

외부 환경에 의한 자동차 헤드라이트의 변화를 외장관리 적용시 중고차의 차량가치에 미치는 영향 분석

박중찬*, 강석현**, 김성호***.

서정대학교 스마트모빌리티과

*, 서정대학교, **(주)오토컴포즈, ***서정대학교

steam0218@naver.com, santa4296@naver.com, 8902ksh@daum.net

Analysis of the Impact of Vehicle Value of Used Cars on the Application of External Management of Automobile Headlights by External Environment

Park Joong-chan, Kim Sung-ho Department of Smart Mobility Seojeong University .
Kang Suk-hyun, AutoCompose Co., Ltd.

요 약

본 연구는 자동차 주행 시 운전자와 보행자의 안전을 확보하기 위한 핵심 요소인 헤드라이트의 성능 유지와 외장 관리의 중요성을 고찰하고자 한다. 헤드라이트의 주요 소재인 폴리카보네이트(PC)의 물리적·화학적 특성을 분석하고, 산성 화학물질 노출 시 발생할 수 있는 열화 현상을 규명하였다. 폴리카보네이트는 우수한 기계적 강도와 높은 투명성을 바탕으로 자동차를 비롯한 다양한 산업 분야에 널리 사용되고 있으나, 산성 환경에 대한 내구성은 여전히 중요한 기술적 과제로 남아 있다. 본 연구에서는 이러한 문제 해결을 위한 헤드라이트 진단 및 복원 기술을 적용하여, 손상된 헤드라이트를 신차 수준으로 복원하는 과정을 제시 하려고한다. 이를 통해 차량의 외관 품질 향상은 물론, 중고 차량의 판매 시 차량 가치 증대에도 도움이 될 수 있는지를 판단해 보고자 한다.

Abstract

The purpose of this study is to examine the importance of maintaining the performance of headlights and external management, which are key factors for securing the safety of drivers and pedestrians when driving a car. The physical and chemical properties of polycarbonate (PC), the main material of headlights, were analyzed, and the deterioration phenomenon that may occur when acidic chemicals are exposed was identified. Polycarbonate is widely used in various industrial fields including automobiles based on its excellent mechanical strength and high transparency, but durability against acidic environments remains an important technical task. This study proposes a process of restoring damaged headlights to the level of new cars by applying the headlight diagnosis and restoration technology to solve this problem. Through this, it is intended to determine whether it can contribute not only to the improvement of the appearance quality of vehicles but also to the increase in vehicle value when selling used vehicles.

Key words : 헤드라이트, 폴리카보네이트, 복원, 황변, 투광도, 조명, 복원률, 샌딩, 광도

제1장 서론

1. 서론

자동차 헤드라이트는 운전자와 보행자의 안전을 위한 핵심 장치로, 그 성능은 주간 및 야간 운전의 시야 확보와 사고 예방에 직결된다. 본 연구는 헤드라이트 재질인 폴리카보네이트(PC)의 화학적 내구성을 향상 시키기 위해 산성 환경(pH 1~5)에서 황산, 염산, 질산, 아세트산에 노출시켜 황변, 크랙, 투광도 변화를 분석하였다. 또한, 노후된 헤드라이트에 대해 800방 3000방까지의 샌딩 작업 후 UV코팅 복원 공정을 실시하고, 각 단계에서 투광도(cd)를 측정하여 복원률을 평가하였다. 이어 13차 UV코팅 분사 후 도막 두께를 측정해 코팅 효과와 지속력을 분석하였다.

자동차 헤드라이트의 주요 소재인 폴리카보네이트(PC)가 산성 환경에 노출될 때 발생하는 황변, 크랙, 투광도 저하 등의 문제를 분석하고, 이를 효과적으로 복원하는 방법을 제시하는 데 목적이 있다. 이를 위해 pH 1~5 범위의 황산(H_2SO_4), 염산(HCl), 질산(HNO_3), 아세트산(CH_3COOH) 등 다양한 산성 용액에 폴리카보네이트를 노출 시킨 후, 일정 시간 경과 후의 물리적 변화(황변, 균열, 투광도 저하)를 진단하였다. 실험은 다음 두 가지 방식으로 진행되었다.

실험 1에서는 사용 기간이 5년 이상 경과하여 황변, 크랙, 투광도 저하가 심한 헤드라이트를 대상으로 하였다. 800방, 1000방, 2000방, 3000방 순서로 단계적 샌딩 작업을 시행한 후, 각 단계에서 투광도(cd)를 측정하고 복원률을 분석하였다. 이후 마무리 단계로 UV 코팅을 적용하여 투광도 향상과 외관 복원을 시도하

였다. 실험 2에서는 UV 코팅 효과를 검증하기 위해, 1차~3차에 걸친 코팅 분사 후 각각의 도막 두께를 측정하고 코팅의 지속력, 유지력, 방오성을 평가하였다.

복원된 헤드라이트는 최종적으로 신차 수준인 약 13,000cd의 투광도를 확보하였으며, 실험을 통해 산성 환경이 폴리카보네이트 재질에 미치는 부정적 영향을 확인하고, 이에 대한 복원 방법의 유효성을 입증할 수 있었다. 외부 환경 및 화학적 요인으로 인해 노화된 헤드라이트를 효과적으로 복원함으로써 차량의 기능적 성능과 야간 주행 안정성은 물론, 시장 가치 및 미적 수준까지 향상시킬 수 있음을 보여준다. 또한, 자동차 외장 진단과 관리의 중요성을 강조하며, 운전 미숙자나 야간 운행이 많은 운전자에게 실질적인 안전 확보에 기여할 수 있음을 입증하였다.

2. 헤드라이트(폴리카보네이트) 복원실험

헤드라이트(폴리카보네이트)개요

폴리카보네이트(Polycarbonate)는 열가소성 플라스틱의 한 종류로, 뛰어난 투명성, 내충격성, 내열성을 자랑하는 고성능 플라스틱입니다. 일반적으로 유리 대체재나 기계 부품, 전자제품 외장재, 건축자재 등 다양한 산업에 사용되고 있다.

2.1 실험개요

실험 투광도(cd) 복원률/ 코팅 μm (마이크로미터) 측정
헤드라이트 황변, 크랙, 투광도 실험
ph 1- 5 노출된 노후가 심한 자동차 대상

2.2 실험 재료

- 1) 샌딩 페이퍼 800방, 1000방, 2000방, 3000방
- 2) 히팅 건, 에어건, 전용 타올
- 3) 탈지제, UV코팅제
- 4) 마스킹 테이프, 커버링 테이프
- 5) 헤드라이트(폴리카보네이트) 황변, 크랙, 투광도(cd)
- 6) 도막측정기, 광도측정기

2.3 헤드라이트 황변, 크랙, 투광도 실험

- 1) 노후 된 헤드라이트 황변 현상시
- 2) 노후 된 헤드라이트 크랙 발생시
- 3) 노후 된 헤드라이트 투광도 검사



Fig 1 헤드라이트 황변 증상



Fig 2 헤드라이트 크랙 증상



Fig.3 헤드라이트 투광도 증상

2.4 헤드라이트 진단 외장 복원 작업

1) 헤드라이트 마스킹 테이프 작업



Fig. 4 마스킹.커버링작업 (800방 샌딩)

3) 헤드라이트 1000방 - 2000방 샌딩

헤드라이트 황변 완화, 크랙 완화



Fig. 5 헤드라이트 샌딩

4) 헤드라이트 3000방 샌딩

헤드라이트 황변 증상, 크랙, 투광도 완화

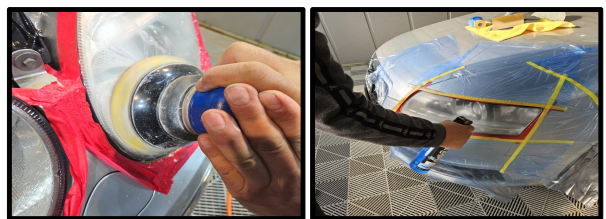


Fig 6 헤드라이트 샌딩/탈지작업

5)헤드라이트 UV 코팅



Fig 7 헤드라이트 UV코팅 1차, 2차 3차

2.5 헤드라이트 코팅

- 1) 투광도(cd) 복원률 측정
 - 2) 코팅막 두께(μm) 측정
 - 3) 헤드라이트 1차 코팅
 - 4) 헤드라이트 2차 코팅
 - 5) 헤드라이트 3차 코팅
- 헤드라이트 투광도(cd) 복원률

2.6 헤드라이트 UV 코팅의 변화

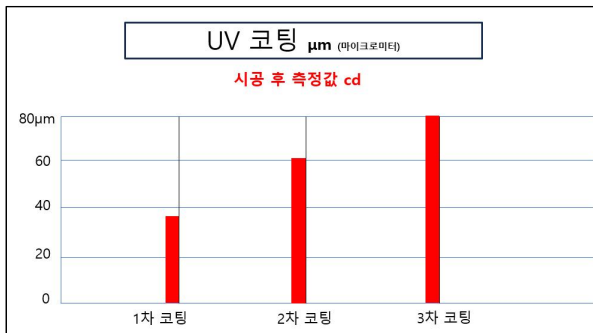


Fig. 8 헤드라이트 UV 코팅후 투명성 변화

UV코팅 1차, 2차, 3차 분사를 통해 코팅의 두께가 증가하며 진단 케어를 통해 지속성, 방오성, 헤드라이트의 기능적 환경을 최상으로 만들어 주었으며 폴리카보네이트는 투명성이 특히 우수한 고분자로 가시교아선의 경우 80 - 90% 투과율이 보인다.

2.7 헤드라이트 투광도의 변화

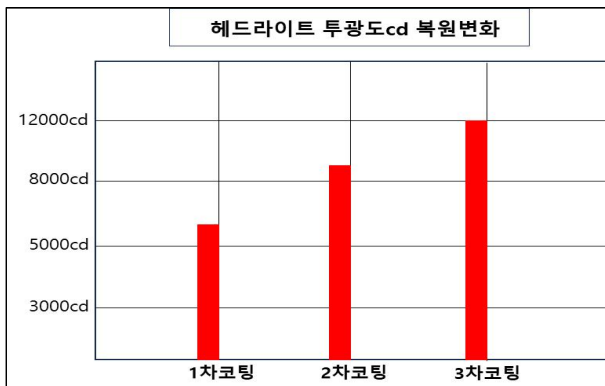


Fig. 9 헤드라이트 투광도 변화)

1차, 2차, 3차 코팅으로 변화된 투광도이며, 신차기준 투광도 12,000cd - 15,000cd이다.

2.8 헤드라이트 복원 후 중고차 판매 시 가격 상승효과

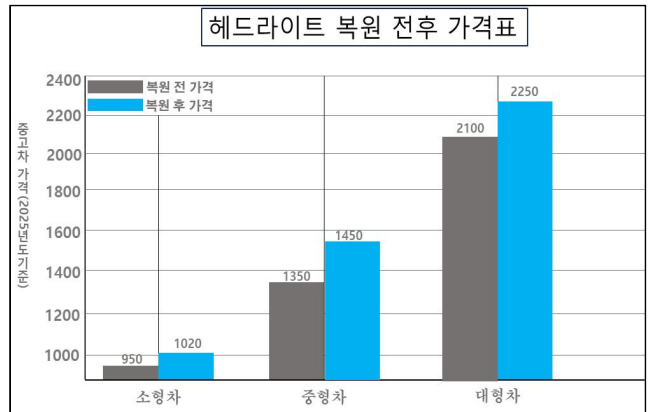


Fig 10. 헤드라이트 복원 전,후 중고차 가격변동)

소형차: 복원 시 약 70만 원 상승

중형차: 약 100만 원 상승

대형차: 약 150만 원 상승

차량의 외관 상태를 평가할 때, 헤드라이트 투명도 등을 고려하여 차량의 가치를 산정합니다. 특히, 헤드라이트의 혼탁이나 변색은 차량의 전반적인 외관 상태를 저하시켜 감가 요인으로 작용할 수 있습니다. 중고차업체(KB차차차, 엔카, 케이카, 롯데오토엑션 등) 차량 상태 평가 기준에 따르면, 외관 상태가 '우수' 등급에서 '양호' 등급으로 하락할 경우, 차량의 가치가 수백 달러에서 천 달러 이상 감소할 수 있습니다.

2.9 헤드라이트 복원의 가격 상승효과

Table 1.헤드라이트 전·후 가격변동

차종	복원전 평균시세(원)	복원후 평균시세(원)	시세 상승폭(원)	상승률(%)
소형차	950	1020	70	7.40%
중형차	1,350	1450	100	7.40%
대형차	2,100	2250	150	7.10%

제3장. 결론

자동차 헤드라이트는 단순한 조명 장치를 넘어, 주행 시 시야 확보와 안전을 책임지는 자동차의 '눈'이라 할 수 있다. 특히 폴리 카보네이트(PC) 재질의 헤드라이트는 외부 환경에 지속적으로 노출되면서 기능적 노화와 성능 저하가 발생하기 때문에, 이에 대한 체계적인 관리와 복원기술에 대한 연구가 필요한 시점이다.

1. 외부 환경에 따른 헤드라이트 노화 실태

헤드라이트 렌즈는 자외선(UV), 산화, 산성비, 대기 오염물질 등의 영향을 받아 시간이 지남에 따라 변색(황변), 열변형, 스크래치 등의 손상이 발생한다. 이는 광 투과율을 감소시키며, 야간 주행 시 시야 확보에 불리하게 작용해 안전성을 저하 시킨다. 또한 외관이 노후 되어 보이게 함으로써, 특히 중고차 구매자에게 ‘첫 인상’의 품질 저하로 작용하고, 이는 차량의 가격 협상에 직접적인 영향을 줄 수 있다.

2. 외장 관리(헤드라이트 복원 및 코팅)의 효과

전문적인 복원 작업을 통해 헤드라이트 렌즈의 혼탁을 제거하고 광택을 회복할 수 있으며, UV 차단 코팅제를 적용함으로써 향후 산화 및 변색을 방지하는 효과도 기대할 수 있다. 이러한 관리는 시각적인 개선뿐 아니라 실제 조명 성능까지 향상 시켜 운전자의 안전 확보에 실질적으로 기여 한다.

3. 중고차 가치 향상에 대한 기여

복원 및 코팅이 적용된 차량은 외관 상태가 우수하게 평가되어 중고차 매입 및 판매 가격이 상승하는 효과가 있으며, 차종과 관리 수준에 따라 중고차 시장에서 약 1~3%의 가격 상승이 관찰된다. 특히 프리미엄 진단 세차 및 외장 디테일 관리 이력이 있는 차량은 구매자에게 높은 신뢰를 제공하며, 거래 성사율 또한 높아지는 경향이 있다.

체계적인 외장 관리, 특히 헤드라이트의 주기적인 복원 및 코팅 관리는 단순한 미용을 넘어 차량 자산 가치를 보존하고 향상시키는 중요한 전략이다. 더불어 이러한 관리 이력을 체계적으로 기록하고 제공하는 것은 중고차 유통 과정에서 차별화된 마케팅 포인트로 활용될 수 있다.

제4장 연구의 한계성 및 과제

헤드라이트의 경우 차종별로 구조가 서로 다르고, 검사영역(ROI)의 위치, 수 및 크기가 상이하다. 본 연구를 진행하면서 지역적 제한성으로 수도권 및 일부 지역 차량을 중심으로 한 연구로 전국적 일반화에는 한계가 있고 시공 품질의 표준화에 대한 검증이 미흡한바 시공자 숙련도, 자재, 공정 차이에 따른 품질 편차 존재하였다.

향후 연구 과제에는 다양한 기후 조건에서 외장관리 효과와 변질 양상을 비교 분석하고 외장관리 품질의 정량화와 투과율, 색변화, 내구성 등 표준 평가 지표 마련이 필요하다.

(참고 문헌)

- [1] 주병윤1, 고재현2, “자동차용 레이저 헤드라이트 광학계 연구 동향” (1한국기술교육대학교 기계공학부, 2한림대학교 응용광물리학과) (2016)
- [2] 김성호, 조행묵, “승용차 루프의 손상으로 루프 및 AB 필러

부위 수리 차량의 재사고 시 천정의 강성 변화 해석에 관한 연구”

- [3] 정현욱,이재식,김우년, “폴리프로필렌/폴리카보네이트 블렌드의 유변학적 성질에 관한 연구”(1996)
- [4] 김성호,조행묵, “유한요소 해석을 이용한승용차측면사고로 B필러 수리 차량의 재사고시 차체의 강성변화 해석“(2022)
- [5] 박무승, “자동차 튜닝산업의 플랫폼 구축에 영향을 미치는 요인에 관한 연구“(2021)
- [6] 이상수, 조재영, “폴리카보네이트구조,물성 및 응용“(1993)
- [7] 김성민1,김경훈 이근혁 안세훈 임상호, “ 한승희1, ”폴리카보네이트 특성 향상을 위한 고기능성 다층 박막 제조” (2014)
- [8] 주병윤,고재현 “자동차용 레이저 헤드라이트 광학계 연구 동향: (2016)
- [9] 김 근 흥1), 문 창 배2), 김 병 만3), 오 득 환4)* “차량 헤드라이트 불량검사 방법” (2018)