

탄화수소계 올리고머를 이용한 환경친화적 고무계면 접착제 개발

장병만 · 장정석[†] · 박성수 · 최덕제* · 김수정**

켄루트 연구부, *금호산업(주) 연구소, **전남대학교 고분자공학과
(2000년 8월 23일 접수)

Development of Environmental Rubber Interphase Adhesive by use of Oligomer of Hydrocarbon

Byungman Jang, Jeongseog Jang[†], Sungsoo Park, Dugjai Choi*, and Su-kyung Kim**

Department of R&D, Chemroot, 856-13 Mugeo-dong, Nam-gu, Ulsan, Korea

*R&D Center, Kumho Industrial Co., Ltd. 555 Sochon-dong, Kwangsan-gu, Kwangju, Korea

**Department of Polymer Engineering, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea

[†]e-mail : jangbm@hanmail.com

(Received August 23, 2000)

요약: 그 동안 고무산업 현장에서는 유기용매계 고무 접착제를 사용하여 왔으며 이로인해 품질의 불균일성과 화재위험성 및 인체유해성이 상존하여 왔다. 이를 해결하기 위해 비휘발성, 고인화점인 탄화수소계 원료를 사용하여 새로운 용액을 개발하였으며 이 용액은 인체에 대한 유해성이 매우 적으며 증발이 되지 않으므로 화재위험 및 환경적인 문제를 해결할 수 있었다. 새로운 용액은 기존 제품에 사용되어 온 고무계 binder대신 고무면으로 비휘발성 용제가 침투, 팽윤 현상을 일으켜 고무면끼리 접착을 유도하는 새로운 개념의 제품이며 접착력 유지 시간이 기존 제품에 비해 현저히 개선되었다. 또한 내구력 면에서도 기존품과 비교할 때 유사한 양상을 보이므로 팽윤 현상으로 인한 물성저하가 나타나지 않았으며 각종 첨가제와도 반응성이 없는 안정한 제품이었다. 기존품의 경우 가교 후 절단면에서 가스로 인한 균열이 발생한 반면 새로운 제품의 경우는 이러한 현상이 발생하지 않았다.

ABSTRACT: Untill now rubber industry field has used organic solvent base adhesive, there was always existed a fire risk, variety of quality and harmfulness of human body. To solve this problem we were developed a new adhesive that was maked by raw materials of hydrocarbon series which has the properties of nonvolatile and high flash point. Because of this new adhesive has the properties of nonvolatile and non-harmfulness to the human body, we expected to solve the problems of a fire hazard and the pollution of the environmental. Instead of the rubber binder that is used to a present adhesive, the new idea is adopted in a new type of adhesive. Nonvolatile solvent penetrated to the rubber surface and caused the swelling in rubber surface and as a result of this action, it has the self-adhesive power. In comparision with the present adhesive a new type of adhesive remarkably improved the maintenance time of adhesion and the durability of this adhesive showed similar aspect. Because it did not exhibit a drop of physical properties of rubber which was caused by swelling effect, we estimate that new type adhesive are very stable and not reacted to several rubber additives. While present adhesive appear the crack at cutting surface of curing rubber that caused by gas, new type adhesive not exist these crack.

Keywords: organic solvent, hydrocarbon series, environmental, swelling, self-adhesive power.

서 론

접착은 분자, 원자, 이온의 인력에 의하여 두 표면이 붙여진 상태를 말하며¹ 접착제는 계면 인력에 의하여 두 물질을 붙일 수 있는 물질로 정의된다. 동일 고분자간의 접착이나 상이한 고분자 재료간의 접착은 지금까지 많은 연구가 진행되어져 왔으며 주요 연구 과제는 어떤 재료는 주어진 조건하에서 잘 접착되는데 반하여 어떤 재료는 잘 접착되지 않는가에 대한 규명이었다.² 접착을 위한 중요한 필요조건 중의 하나는 분자간의 친밀한 접촉(intimate contact)이며³ 고분자 재료의 접착에 관한 또다른 중요한 설명으로는 흡착이론(adsorption theory),⁴ 물리적 상호결합이론(mechanical interlocking theory),⁵ 정전기이론(electrostatic theory),⁶ 그리고 확산이론(diffusion theory)^{7,8} 등이 있다. 성형 후 가교과정을 거쳐 접착이 이루어지는 고분자 재료에서나 고분자 재료를 용해 확산시킬 수 있는 용제가 접착 계면에 존재하는 접착계에서는, 고분자 물질의 상호 확산에 의해 접착이 이루어진다는 확산이론이 접착계의 특성을 설명하는데 보다 적절하다. 고분자 재료간의 접착은 고분자 재료의 종류나 첨가제의 유무뿐만 아니라, 접착시키고자 하는 고분자 재료를 용해시켜 접촉계면 사이에 상호확산되도록 할 수 있는 용제의 유무와 용제의 특성에 따라서도 크게 달라진다. 고분자 물질이 서로 확산되어 접착에 필요한 형태를 갖추기 위해서는 접착되는 고분자 물질이 접착 조건에서 충분한 유동성을 가지는 것이 바람직하다.⁹ “좋은 용제(good solvent)”속에서 고분자의 유동성은 크게 증대되므로, 접착시키고자 하는 고분자 물질은 접촉계면에 용제를 가하여 줌으로써 상호확산이 촉진될 수 있고 이로 인해 접착력의 증진도 기대해 볼 수 있다. Kaang 등은 고무의 접착에 대한 용제의 영향을 규명하기 위하여 실험을 통해 접착강도(G_a)와 천연고무-용제간 interaction parameter(χ)에 관계가 있음을 보고하였다.¹⁰

일반적으로 고무산업 현장에서 제품제조 공정은 보통 배합, 압출, 성형 및 가교 공정을 거쳐 제조된다. 가교과정 이전의 성형과정에서 각 성형부분간의 접착력을 증진시키는 것은 고분자 제품의 제조공정을 개선하고 완제품의 품질을 향상시키는데 중요 과제이

다. 타이어 공업에서 고무재공품간 접착제의 비중은 상당히 높으며 성형과정에서 발생하는 접착불량은 완제품의 불량은 물론 차량사고를 유발할 수 있는 중요 요소이다.

그러나 지금까지 사용되어 온 타이어용 접착제의 경우 제품의 80% 이상을 휘발성 유기용제가 차지하고 있으며 이로 인해 인체에 대한 유해성 문제 및 화재 위험이 작업장내에 항상 상존하여 왔다. 이러한 문제를 해결하기 위해 다양한 접착방법이 시도되고 있으며 휘발성 유기용제를 수용성으로 대체한 제품들도 개발되고 있다.¹¹ 성형과정에서 thermal cutting, ultrasonic 등을 이용하는 방법은 유해성 및 화재위험은 제거할 수 있으나 많은 비용이 투입되는 문제가 있으며 수용성 접착제의 경우는 기존 제품에 비해 접착력이 저하하는 결과를 나타내고 있다.

본 연구에서는 기존 고무재공품의 계면간 접착제에서 사용되고 있는 휘발성 유기용제 대신 인체에 유해하지 않은 탄화수소계 비휘발성 유기물을 도입하였으며 기존 접착제의 경우 용제에 용해된 binder에 의해 접착력이 발휘되었으나 새로운 접착제의 경우 기존 접착제와 달리 binder에 의한 접착력 대신 고무 표면의 팽윤에 의해 자체적으로 접착력이 발휘될 수 있도록 한 개념으로 기존 접착제와 물성을 비교 분석하고자 한다.

실 험

재료 및 사용기기. 본 실험에서 사용되어진 고무재료는 천연고무인 SMR CV-60 (Standard Malaysian Rubber), 합성고무인 SBR1502 (금호석유화학), IR 2200 (Zeon사, 일본)을 사용하였으며 시편 제조를 위해 사용된 첨가물은 tackyfier로 C5수지(코오롱 유화), stearic acid (평화유지), ZnO (한일 화학), insoluble sulfur (Flexsys, 미국), aromatic oil (극동유화), CZ (동양화학), 6-PPD (Monsanto, 미국), PEG 4000 (Yakuri Pure Chem., 일본), PVI (Flexsys, 미국), NS (동양화학)를 정제하지 않고 그대로 사용하였다. 사용한 분석기기는 JSM-820 SEM (ZEOL, 영국), Mattson-5000 FT-IR (Mattson, 미국)이었다.

용액제조. 접착력을 시험하기 위한 제품은 hydro-

carbon 제열, 변성 탄화수소 제열, 지방산, 습윤제 등을 일정비율(4:4:1:1)로 혼합하여 사용하였으며 제품의 인화점은 150 °C 이상, 가열감량 (105±5 °C, 2시간 가열) 0.02% 이하의 물성을 나타내었다. 한편 제품의 각종 화학적 성질을 측정하기 위해 사용한 기기는 FT-IR, SEM이었다.

고무시편의 준비. 실험실적인 raw-data를 얻기 위해 사용한 시편은 천연고무인 SMR CV-60 및 합성 고무인 SBR1502, IR 2200을 각각 실험실용 소형 밀링 혼입기 (Farrel laboratory mill)를 이용하여 3분 동안 break-down하였으며 첫단계에서 ZnO, aromatic oil을 넣고 5분, tackyfier 및 stearic acid, CZ를 투입하고 2분 동안 혼련하였으며 마지막 단계에서 insoluble sulfur를 투입하여 30초간 milling 하였다. 배합이 완성된 후 시험용 시편을 얻기 위해 배합된 고무를 약 2mm 두께의 쉬트로 만들었으며 이 쉬트를 적당한 크기로 잘라 시험용 시편으로 사용하였다.

시편 접착강도의 측정. 접착강도를 평가하기 위하여 (KS M 6625) 낮은 힘을 측정하기에 알맞은 실험장치를 이용하였다. 실험장치의 주요 특성은 비교적 낮은 박리속도 (peeling rate)가 유지되도록 매우 느린 회전 속도인 1/20 rpm의 A.C. motor (Conrac Corporation, Cramer Division, USA)와 낮은 박리강도 (peeling strength)의 측정이 가능하도록 100 gf의 정격하중을 갖고 있는 load cell (Orientec Corporation, Force Transducer, Model T1, Japan)를 각각 사용하였다. 박리강도는 기록계 (TOA Electric Ltd., Flatbed Recorder, Japan)를 load cell에 연결하여 박리와 동시에 기록되어지도록 하였다. 접착강도는 180° peeling test를 이용하여 측정하였다. 시편이 부착되어있는 금속판의 한쪽 끝을 bottom clamp에 고정시켰고 반대 시편의 아래쪽 끝을 top clamp에 고정시킨 후 load cell에 연결하여 이를 motor 축에 다시 연결, 회전시킴으로써 시편이 박리되도록 하였다. 박리 실험은 실온에서 실시하였으며, 박리속도는 4.0 mm/min을 일정하게 유지하였다.

결과 및 고찰

접착 메카니즘의 비교. 기존 용제형 접착제 (이하

기존접착제)와 비휘발성 탄화수소계 접착제 (이하 신접착제) 고분자 물질의 경우 용해도 상수 δ 가 유사한 물질에는 시간의 경과와 함께 용해되는 현상을 나타낸다. 일반적으로 고분자 물질의 용매에 대한 용해한계는 다음과 같다.

1) 화학 구조가 유사한 것은 상용되기 쉽다.

2) 고분자의 분자량이 커지면 용해도는 줄어든다. 이것은 분자가 커지면 그만큼 분자 상호간에 인력이 강해지고 따라서 용매 분자가 침투하기도 어려울뿐더러 분산하기도 어렵기 때문이다.

3) 고분자의 용점이 높아지면 용해도는 줄어든다. 용점이 높다는 것은 분자간의 인력이 강하다는 것이므로 2)에서의 같은 뜻이 된다. 따라서 결정성이 클수록 용해하기 어렵다.¹¹

고분자의 경우 혼합 자유 에너지가 부의 값을 가질 때 용해가 일어난다.

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S \quad (1)$$

(1) 식에서 혼합 엔트로피는 양의 값을 가지므로 ΔG 의 부호는 혼합열 ΔH 의 부호와 크기에 의해 결정된다. 만일 고분자와 용매간에 양의 상호작용이 있다면 ΔH 는 음의 값 (-값)을 가지며 용해가 일어나게 된다. 이것은 보통 용매와 수소결합을 형성할 수 있는 극성 분자들에서 볼 수 있다. 또 분산력만이 포함되는 경우는 ΔH 의 크기에 따라 용해될 때도 있고 용해되지 않을 때도 있다.

δ 가 고분자를 용해시킬 정도로 고분자와 유사한 물질이 아닐 경우 고분자는 용해되지 않고 표면만이 팽윤현상을 나타낸다.

즉, 팽윤이 된 것은 영입 상태로 존재하던 분자 사슬간에 용매가 침투, 사슬간 거리를 이격시켜 분자 사슬의 운동을 보다 자유롭고 용이하게 하고 이는 ΔS 의 증가를 의미하며 자유체적의 증가와 함께 고분자의 유동성도 커지게 된다. 당사에서 개발한 신접착제의 경우 δ 값 ($\delta=8.2$)이 고무와 유사한 물질을 이용, 고무표면의 팽윤현상을 유도하여 고무 유동을 증가시키고 이는 고무계면간 접촉시 계면분자간 확산속도가 증가하는 결과를 가져와 thermal cutting 에서와 같이 접착력을 나타내게 된다.

신접착제의 경우 접착력은 Figure 1에서와 같은

경로를 거쳐 발현된다고 판단된다.

• Step 1 : 미가교 고무 분자가 엉킴 상태로 존재, 고무의 유동성은 거의 없는 상태. 점성계수가 크고 이로 인해 점탄성이 크게 나타난다.

• Step 2 : 신접착제가 미가교 고무 표면에 분무된 상태.

• Step 3 : 신접착제가 고무 표면에 침투, 팽윤이 일어난 상태.

신접착제는 고무 사슬사이에 침투, 고무 분자간 자유체적을 증가시키고 이로인해 고무 분자 운동이 활발해지며 $\Delta G = \Delta H - T \Delta S$ 에서 외부의 열적 도움 없이 ΔS 값이 증가, 계의 반응이 자발적인 방향으로 유도된다. 신접착제의 경우 사용 원료의 δ 값이 고무를 용해시키지 않으면서 팽윤만을 일으키는 δ 값을 가졌으므로 전체적인 계는 외부의 도움 없이 팽윤을 일으키는 방향으로 진행할 것임.

• Step 4 : 접착단계로 thermal cutting에서 접착이 일어나는 것과 같은 원리로 접착이 진행되리라고 판단됨. 팽윤현상으로 인해 고무 분자간 자유체적이 증가, 이로 인해 분자의 운동이 활발해지며 ΔS 증가와 함께 자유공간 V_f 또한 증가, 분자의 유동성이 커진다. Figure 1에서 보는바와 같이 표면 분자의 풀

림현상이 일어나고 표면 분자의 운동이 자유로운 상태에서 접착을 하게될 경우 계면을 구성하는 고분자간의 상호 확산속도가 증가하여 접착력이 크게 증대하는 결과를 가져온다.

신접착제는 위에서 고찰한 바와 같이 thermal cutting과 유사한 메카니즘에 의해 접착력을 나타낸다고 판단된다. 그러나 thermal cutting의 경우 외부에서 가한 열에 의해 내부에너지가 증가, 분자운동 증가, 표면 분자의 풀림 현상이 발생, 점도강하, 확산속도 증가, 접착력 발생이라는 단계를 거치나 외부에서 가한 열이 없어질 경우 고무 분자는 다시 얽혀져 접착력을 상실하게 된다.

반면에 신접착제의 경우는 고무와 유사한 δ 를 가진 물질에 의해 분자간 간격을 넓혀 자유체적 증가, 분자운동 증가, 점도강하, 확산속도 증가, 접착력이 발생하며 thermal cutting과는 달리 분무된 신접착제에 의해 자유공간이 마련되므로 접착력 유지 시간이 기존보다 향상되었으며 아울러 접착계면에 용매 및 다른 고분자가 배제되었으므로 가교 후 깨끗한 접착계면을 얻을 수 있는 장점이 있다.

시편 절단면의 비교. 기존 접착제와 신접착제의 접착계면 상태를 확인하기 위하여 $25 \times 5 \times 100$ mm의 시편을 준비하여 0.001 g/cm^2 의 양이 되도록 접착제를 분무하였다. 준비된 시편을 분무 후 4시간, 3일 동안 방치한 다음 170°C 에서 10분간 가류한 후 절단하여 절단면을 SEM (2000배)으로 확인하였다. 시편은 미도포 시편 (이하 blank), 기존접착제, 신접착제의 3가지였다 (Figure 2).

SEM으로 절단면을 확인한 결과 blank와 신접착제의 경우 방치 시간에 관계없이 깨끗한 접착계면을 얻을 수 있었으나 기존접착제의 경우에는 접착계면에 균열이 발생하였다. 기존접착제 계면에서 균열이 발생한 원인은 대략 두가지로 생각할 수 있으며 첫째로 접착제에 사용된 용매가 가교시 완전히 증발하지 못한 상태로 계면에 남아 균열을 발생시킬 수 있으며 둘째로 기존접착제의 경우 binder로 사용된 고무에 의해 접착계면에 도막이 형성되므로 이 도막에 의해 가교시 발생하는 각종 가공조제의 가스가 빠져나가지 못하여 균열을 발생시킨 것으로 판단된다.

가교 후 고무표면의 관찰. 기존접착제 절단면에서 발생한 균열의 원인을 규명하고자 가류시편의 표면을

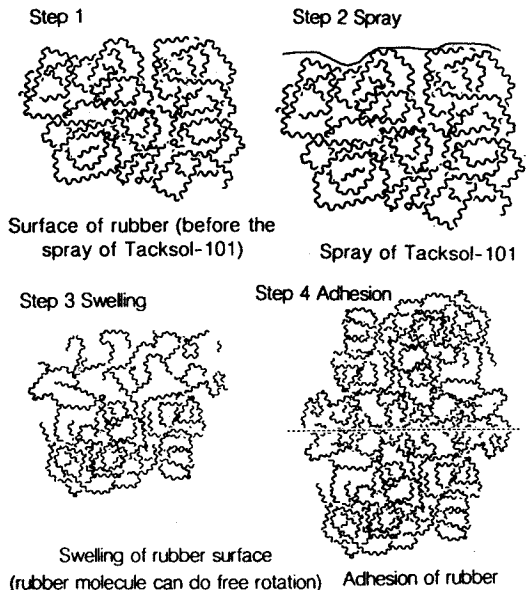
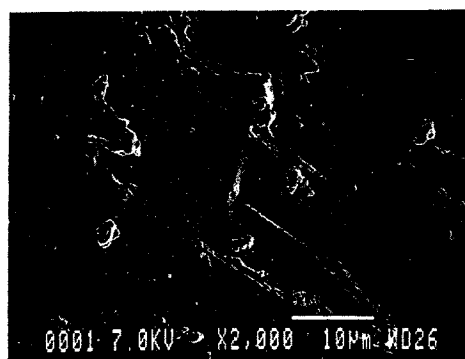
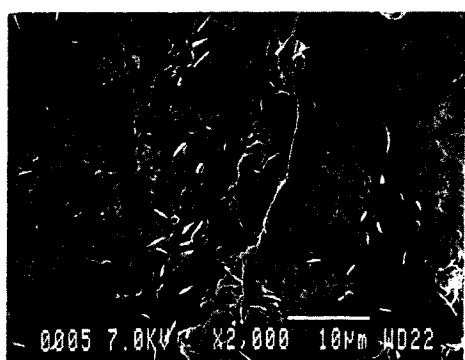


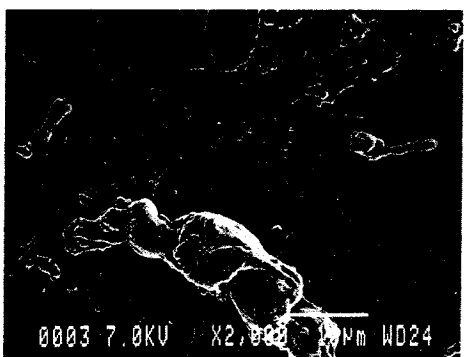
Figure 1. Adhesion mechanism the new type adhesive.



Blank



Present adhesive

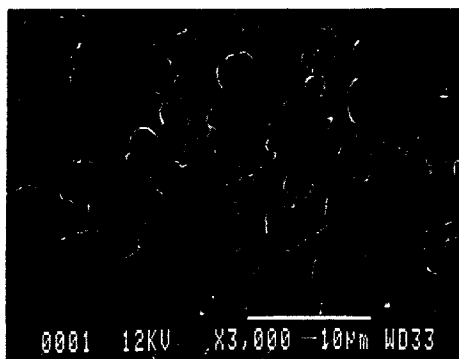


New type adhesive

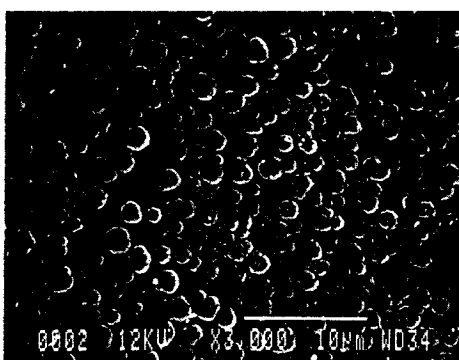
Figure 2. Comparison of rubber cutting plane after curing.

SEM을 이용하여 관찰하였다.

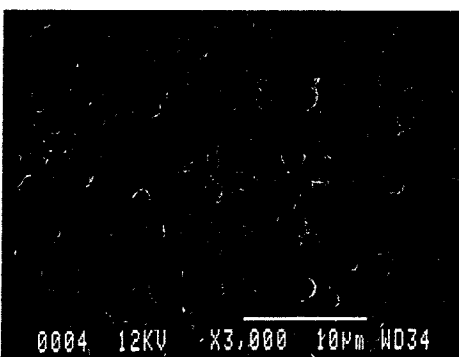
100×100×2 mm의 미가류 고무시편에 0.1 g의 기존접착제 및 신접착제를 분무하였으며 표면 상태를 비교하기 위해 미도포 시편을 함께 준비하였다. 각각의 시편은 170 ℃에서 10분간 가교하였다(Figure 3).



Blank



Present adhesive



New type adhesive

Figure 3. Comparison of the rubber surface after curing that was sprayed with present and new adhesive.

시편을 관찰한 결과 미도포 고무면의 경우 고분자속에 함유된 각종 화합물중 가교시 분해 또는 휘발되는 성분이 증발되면서 고무면에 분화구 형태의 흔적이 남아있으나 기존접착제의 경우 분화구 형태가 아닌 불룩한 형태를 유지하고 있다. 이는 도포후 생성된

도막이 표면부터 건조되기 때문에 가류시 발생하는 각종 가스가 도막에 의해 제대로 배출되지 못하기 때문에 발생한 현상이며 가류시편의 절단면에서 발생한 균열은 이러한 가스에 의한 것이라고 판단된다. 또한 신접착제의 경우 미도포 고무면과 유사하게 분화구 형태를 취하고 있으나 분화구의 크기가 미도포 시편에 비해 작으며 고무면이 훨씬 불균일 하였다. 이는 신접착제가 분무된 고무면의 경우 팽윤이 일어나므로 고무면의 점도가 떨어지기 때문에 발생한 현상이라고 판단되며 이는 신접착제의 접착 메커니즘을 잘 나타내주고 있다.

고무첨가제에 대한 반응성. 신접착제와 고무에 첨가되는 각종 첨가제와의 반응성을 알아보았다. 실험은 Figure 4와 같은 장치에 sulfur, 6-PPD, stearic acid, PEG4000, PVI, CZ 1g에 신접착제 10g을 각각 첨가하여 170 ℃에서 10분간 가열한 후 가스의 포집량과 가열 전후의 IR 스펙트럼을 비교하여 보았

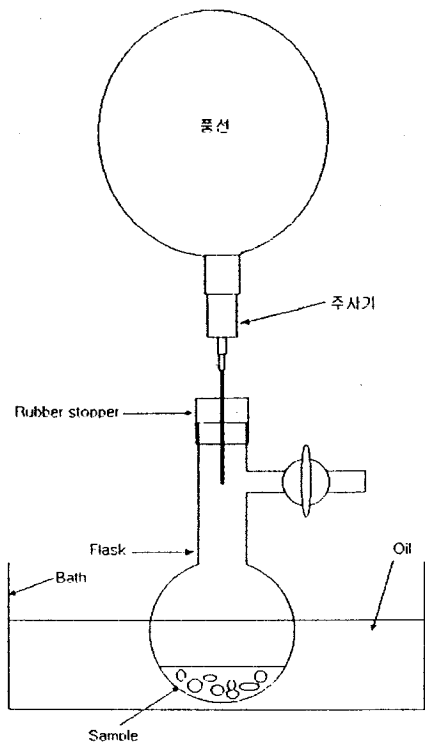


Figure 4. Reaction apparatus of the new type adhesive and various rubber additives.

다 (Figure 4, 5).

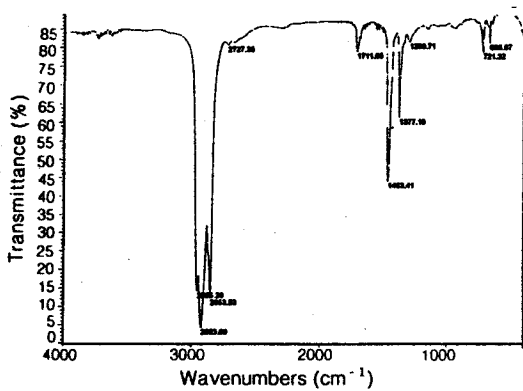
실험결과 170 ℃에서 10분간 가열한 후 포집된 가스는 없었으며 가열 전, 후의 IR 스펙트럼을 비교해 본 결과 신접착제와 각종 고무첨가제와 반응성이 없음을 알 수 있었다.

시간에 따른 접착력 비교. 시간의 경과에 따른 접착력의 변화를 관찰하기 위하여 25×5×100 mm의 시편을 준비하여 0.001 g/cm²의 양이 되도록 접착제를 분무하였다. 준비된 시편을 도포 4시간 후부터 5일까지 시간의 경과와 함께 0.5 kg/cm²의 힘으로 2초간 압착한 후 인장강도기를 사용하여 접착강도를 측정하였으며 가교 후 접착력을 보기 위해 각각의 시편을 170 ℃에서 10분간 가교하였다.

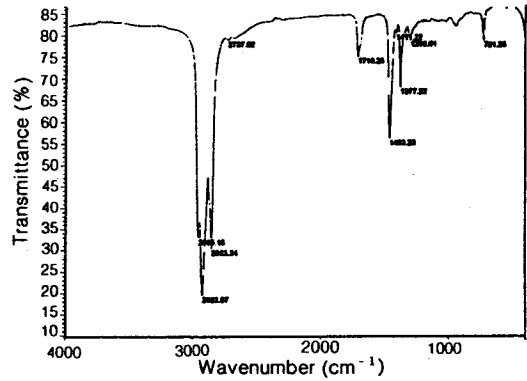
접착력 평가결과 상온에서 최대 5일 방치후 측정 한 신접착제의 접착력이 기존접착제 1일 방치시 보다 접착력이 우수하였다. 이는 기존접착제의 경우 도포에 의해 형성된 도막에서 용매가 완전히 건조될 경우 접착력을 나타낼 수가 없지만 신접착제는 비휘발성 용액이 고무표면을 팽윤시키므로 오랜시간 동안 접착력을 나타낼 수가 있다 (Figure 6).

한편 기존접착제와 신접착제를 사용하여 제작된 타이어의 내구력을 비교 평가하기 위해 트레드 압출물에 용액을 도포한 후 타이어를 제조하였으며 제조된 타이어를 600 kg의 하중을 가하면서 170 km/hr의 속도로 wheel test를 하였다. 이때 타이어는 용액을 각각 타이어 tread 끝 부위에 분무한 후 4시간 경과 시점에서 성형하였다. 내구력 측정결과 도포된 고무계면에서 분리현상은 전혀 없었으며 기존제품과 동등 이상의 내구력 특성을 보여주었다 (Figure 7).

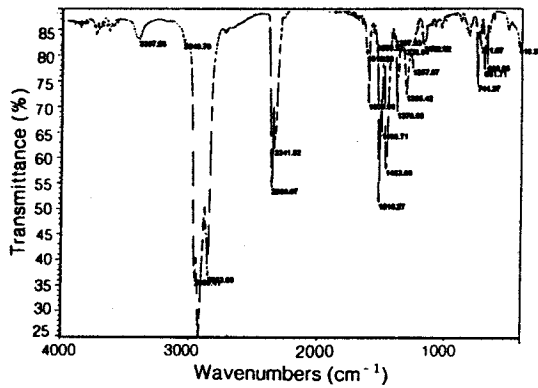
고무별 접착력 비교. 고무의 종류에 따라 접착력에 미치는 영향을 알아보고자 NR, SBR, IR고무를 각각 단독으로 milling한 후 25×5×100 mm크기로 시편을 준비하여 0.001 g/cm²의 양이 되도록 신접착제를 분무하였다. 분무후 4시간이 경과한 시점에서 각 시편을 접착시키고 0.5 kg/cm²의 힘으로 2초간 압착한 후 인장강도기를 사용하여 접착강도를 측정하였다. 측정결과 IR 보다는 NR의 접착력이 좋았으며 SBR의 접착력이 가장 약하였다. 일반적으로 고무에서는 분자량이 클수록 접착력이 좋아지게 되며 팽윤 개념을 이용한 접착제에서는 이것이 결정적으로 영향을 미치는 요인으로 작용한다. NR의 경우 수평균분



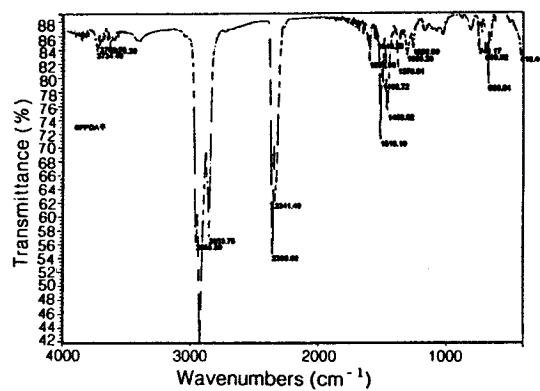
Before heating of stearic acid



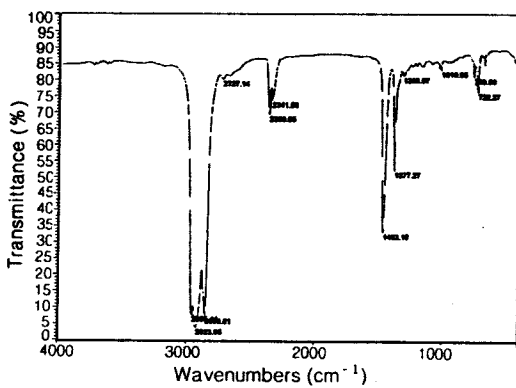
After heating of stearic acid



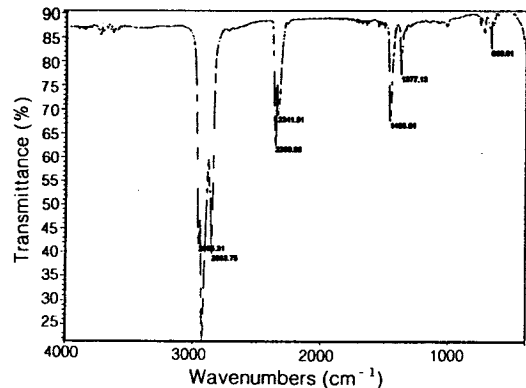
Before heating of 6-PPD



After heating of 6-PPD



Before heating of NS



After heating of NS

Figure 5. Comparison of IR spectra of the new type adhesive and various rubber additives before and after heating.

자량이 약 90만이지만 천연물이기 때문에 고무내에 분자량 분포가 매우 넓으며 분자량이 큰 것은 수백만에 이르기기도 한다. 이러한 큰 분자량을 가지는 분자에 의해 다른 고무보다 우수한 접착력을 나타내게 된

다. IR의 경우는 합성고무이므로 수평균 분자량이 NR과 유사하여도 분자량 분포폭이 매우 작아 NR에서와 같은 큰분자가 존재하지 않으므로 NR보다는 낮은 접착력을 보였다. SBR의 경우는 수평균 분자

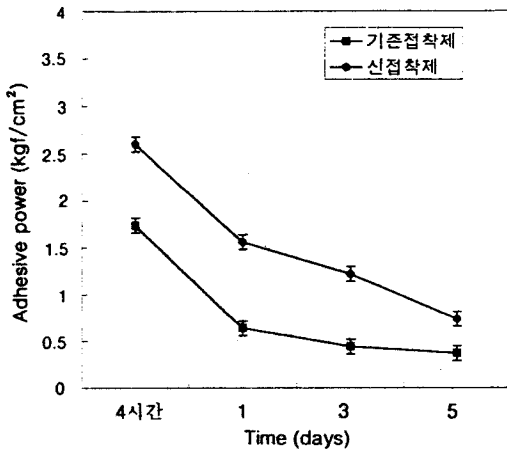


Figure 6. Variation of the adhesive strength according to the time.

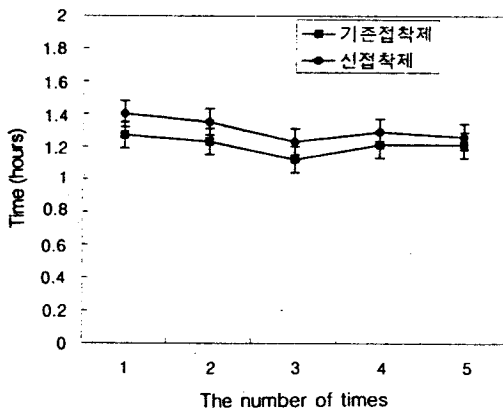


Figure 7. Comparison of the durability of tire using present and new adhesives.

량이 50만정도에 불과하며 NR과 IR에 비해 약한 극성을 나타내므로 신접착제가 표면에 분무된 후 신접착제와 고무의 극성차이로 인해 용액이 고무로 전이되는 속도가 다소 느렸다. 접착강도면에서도 분자량이 작은 만큼 분자간 상호작용이 작아 접착강도가 NR, IR 대비 낮은 양상을 보였다 (Figure 8).

결론

본 연구결과를 통해서 얻은 종합적인 결론은 다음과 같다.

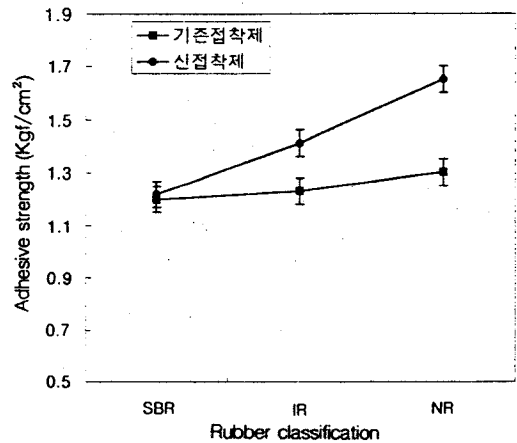


Figure 8. Comparison of the adhesive strength according to rubber classification.

1. 신접착제는 기존접착제에서 접착력을 얻기위해 사용한 binder를 사용하지 않고 팽윤 현상을 통해 우수한 접착력을 얻을 수 있었다.
2. 기존접착제에 사용되어온 휘발성 유기화합물 대신 휘발성이 없고 인화점이 높은 hydrocarbon계 원료를 사용하여 품질의 균일성을 높일 수 있었으며 작업장에 상존하고 있는 화재위험성 및 인체유해성을 크게 개선시킬 수 있었다.
3. 고무에 대한 접착력이 기존제품 대비 개선되었으며 특히, 시간의 경과와 함께 필연적으로 수반되는 접착력 저하가 크지 않아 장기적인 사용이 가능하다.
4. 가교시 접착제면에 가스로 인한 균열현상이 발생하지 않아 고무제품의 안정성을 높일 수 있다.
5. 실제 응용에 있어 타이어를 제조하여 내구력을 비교해본 결과 기존접착제를 사용한 것과 크게 차이가 나지 않았으며 이는 팽윤 개념을 도입한 신접착제가 기존 물성을 저해하지 않음을 나타낸다.
6. 고무제품에 사용되는 여러 반응성 첨가제와의 화학적 반응성이 없었으며 이는 신접착제가 고무에 침투, 팽윤, 가교 단계에서 첨가제의 성능 저하를 야기하거나 이로 인한 물성의 저하를 일으키지 않음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. "ASTM Glossary of ASTM Definitions", 2nd Ed.,

- American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1973.
2. S. S. Voyutskii, "Autoadhesion and Adhesion of High Polymers", Interscience, New York, 1963.
3. S. Prager and M. Tirrell, *J. Chem. Phys.*, **75**, 5194 (1981).
4. W. C. Wake, *Polymer*, **19**, 291 (1978).
5. J. R. Evans and D. E. Packham, *J. Adhesion*, **9**, 177 (1979).
6. J. Krupp and W. Schnabel, *J. Adhesion*, **5**, 296 (1973).
7. S. S. Voyutskii and V. L. Vakula, *J. Appl. Polym. Sci.*, **7**, 475 (1963).
8. M. D. Ellul and A. N. Gent, *J. Polym. Sci.: Polym. Phys. Ed.*, **23**, 1823 (1985).
9. K. Judd, H. H. Kausch, and J. G. Williams, *J. Material Sci.*, **16**, 204 (1981).
10. S. Y. Kaang, G. Seo, and S. K. Lee, *Polymer(Korea)*, **18**, 481 (1994).
11. A. N. Gent, *Rubb. Chem. Tech.*, **56**, 1011 (1983).