

# 타이어에서 스틸코드와 배합고무의 접착(2)

서 곤\*

[차 례]

- 제1장 머리말
- 제2장 접착층의 형성
- 제3장 접착에 영향을 주는 인자들
  - 3.1 코드
  - 3.2 고무
  - 3.3 가황조건
- 제4장 맺음말

## 제3장 접착에 영향을 주는 인자들

황동이 피복된 스틸코드와 배합고무가 황동의 구리와 배합고무의 황이 반응하여 구리 황화물을 형성하므로 접착된다고 단순히 생각할 수도 있다. 그러나 실제 접착층에는 구리와 아연의 황화물과 산화물이 함께 섞여 있고, 접착계면에서는 접착층 구성물질의 생성반응과 함께 고무의 가황반응과 황 등의 물질전달도 진행되는 등 접착은 매우 복잡한 현상이다. 반응물이라고 할 수 있는 코드와 배합고무 외에도 접착이 이루어지는 가황공정의 조건도 접착성질을 결정하는 주요인자이다. 이와 함께 접착층 변형을 초래할 수 있는 열, 응력, 산소, 수분 등 열화인자도 접착상태에 영향이 크다. 이 장에서는 코드, 고무, 가황조건, 코발트 염 접

착증진제 등 인자들이 접착에 영향을 주는 기구와 효과를 앞의 접착기구를 토대로 설명한다.

### 3.1 코 드

코드는 여러 가닥으로 꼬아 만들어졌다는 점에서 단선인 필라멘트(filament)와 구별된다. 여러 가닥이 꼬여있어 고무와 접촉할 수 있는 표면적이 넓고, 충격을 받아 구부러져도 손상 없이 복원될 수 있으므로 충격 흡수나 구조 보강에 효과적이다. 카카스 부위는 충격을 흡수하면서도 열을 방출시킬 수 있어야 하므로, 두터워서는 곤란하다. 따라서 코드를 한 층만 삽입하는 대신 3+9+15×0.22+1 구조처럼 27가닥을 세 층으로 배열하여 꼬은 코드가 사용된다. 반면 벨트 부분에는 충격에 따른 변형이 상대적으로 적기 때문에, 4×0.28 구조처럼 비교적 단순하나 강한 코드를 사용한다. 코드의 구조는 접착성질과 직접 관련되지는 않으나, 구조에 따라 고무의 침투정도가 달라져서 부식이나 마모손상에는 영향이 크다. 3+9+15×0.22+1 구조의 코드에서는 충격으로 가운데 가닥이 서로 부딪혀 황동이 손상되어 부식되므로, 코드와 고무의 접착과 열이 초래되는 경우도 있다. 최근에는 고무의 침투성을 향상시킨 열린 구조(open structure)의 코드가 제조되고 있다.

\* 전남대학교 공과대학 공업화학부 교수

구조보다는 코드에 피복된 황동의 구리 함량에 따라 접착성질이 달라지는 폭이 크다. 가황조건이나 고무의 배합조성에 따라 다르긴 하지만, 구리 함량이 60~70%인 범위에서만 적절한 접착세기가 얻어진다. 구리 함량이 70%보다 많으면, 구리의 활동도가 너무 높아 구리 황화물이 과도하게 성장되어 쉽게 파열되기 때문에 접착성질이 나빠진다. 반면 구리 함량이 60%보다 낮으면 구리 황화물이 충분히 생성되지 못하여 접착성질이 나쁘다. 구리 활동도가 높으면 구리 황화물이 과도하게 성장되어 파열될 수 있다는 점 외에도, 황의 소모가 많아 계면 고무가 충분히 가황되지 못한다는 문제점도 있다. 가황시간의 연장은 고무층의 과가황상태를 초래할 수 있어 바람직한 해결방안이 되지 못한다. 더욱이 주행중 발생하는 열에 의해서 구리 황화물이 느리긴 해도 계속 성장되므로, 접착열화도 빨라질 수 있다. 이러한 문제점을 반영하여 코드에 피복된 황동의 구리 함량은 가급적 낮추는 쪽으로 코드 제조사양이 조절되고 있다. 그러나 구리 함량이 지나치게 낮으면 구리 황화물 자체의 생성마저 충분하지 못하여, 접착이 이루어지지 않을 수도 있다. 따라서 가황공정에서 구리 함량이 낮은 코드에서도 구리 황화물이 충분히 생성되도록 접착증진제를 적절하게 첨가한다. 이러한 시도는 주행중 구리 황화물의 추가 성장을 억제하여 접착열화를 지연시키는 데 효과적이다.

황동의 피복량 역시 접착성질에 영향이 크다. 피복량이 많으면 열화조건에서 구리 황화물의 추가 성장에 필요한 구리가 지속적으로 공급될 수 있어, 가급적 황동의 피복량을 낮추어 접착층이 얇게 형성되도록 조절하고 있다. 열화조건에서도 구리 황화

물의 추가 성장이 억제되어 열화속도를 늦추기 위한 시도이다. 황동의 피복량 감소는 접착열화를 지연시키는 데 효과적이지만, 신선 후 황동피복상태의 균일성 때문에 제한이 있다. 신선된 코드의 철심의 단면이 완벽한 원형을 이루고 있으면, 황동피복량을 줄여 구리 황화물층의 과도한 성장을 억제하는 편이 유리하다. 그러나 신선된 코드의 철심단면은 원형이라고 보기 어려울만큼 굴곡이 심하여, 피복량을 과도하게 줄이면 철이 부분적으로 노출될 수도 있다. 철은 황과 반응하지 않으므로 접착층이 형성되지 않고, 대신 수분이나 산소와 반응하여 철산화물을 만든다. 철산화물이 생성되는 과정에서 부피가 팽창되므로, 피복된 황동층이 철심에서 들뜨게 한다. 그러므로 황동피복량은 코드 표면에 철이 노출되지 않으면서도, 황동이 피복두께가 얇은 부위에서도 적절한 두께의 접착층이 생성될 수 있을 정도로 조절되어야 한다.

철심에 피복되는 황동은 구리가 많은  $\alpha$ -황동상태가 바람직하다. 아연이 상대적으로 많은  $\beta$ -황동은 신선성이 나쁘고 황과 반응에 활성이 낮아 접착에는 부적절하다. 도금선에서  $\beta$ -황동이 소량 혼재가 관찰되기도 하지만, 신선 후에는 거의 확인되지 않는다. 황동의 구조보다는 황동표면의 산화상태가 접착성질에 영향이 크다. 아연의 산화이온화 전위가 높아서 황동 내부에서는 구리 함량이 많지만, 표면에는 아연 함량이 높다. 성능이 매우 낮은 윤활제를 사용하여 제작되었거나 산화 분위기에 오랫동안 방치된 코드에서는, 아연이 표면으로 확산되어 산화물층을 만들어 표면에서 아연 함량이 높아진다. 아연 산화물층이 두터워지면 구리 활동도는 상대적으로 저하되어, 접착층의

주요성분인 구리 황화물이 충분히 생성되지 못하여 접착성질이 나빠질 수 있다. 과도한 표면 산화는 아연 산화물층이 접착층을 지지할 수 없으며 구리의 반응성을 낮춘다는 점에서, 표면 산화정도는 세심하게 제어된다. 코드를 진공으로 포장하거나 포장을 뜯은 후 일정기간내에 사용하는 조치 등은 표면 산화의 부담을 줄이기 위한 노력이다. 아연 산화물층은 수분이 있는 상태에서는 아연 수산화물 형성으로 탈아연화되어 더욱 빠르게 산화된다. 아연 수산화물은 아연 산화물보다 접착에 부정적인 효과가 크다고 알려져 있다.

적절한 두께의 아연 산화물층은 구리의 확산을 부분적으로 억제하여, 열화조건에서 구리 황화물의 과도한 성장을 억제하는 긍정적인 효과도 나타낸다. [그림 1]에서 보듯이 아연 산화물은 황동쪽에 남아있어, 구리의 고무쪽으로 확산을 저해한다. 이로 인해 코드표면의 산화정도는 코드의 안정성 증대나 고무와 반응성 조절에 효과적일 수도 있다. 윤활제가 어느 정도 성능 저하된 상태에서 제조한 코드의 접착성질이 우수했다는 실례 등은, 코드표면의 산화정도는 사용하는 고무의 반응성에 따라 달라질 수 있음을 시사한다. 고무와 반응하여 가황시간내에 적절한 구리 황화물이 생성할 수 있는 범위내로 코드표면의 산화정도는 제어되는 편이 바람직하다.

### 3.2 고 무

코드에 접착되는 고무에는 가교반응에 필요한 황 이외에도 가교반응을 촉진시키는 가황촉진제(활성화제 포함), 고무 물성을 증진시키는 카본블랙 등 충전제, 오존이나 피로에 의한 고무 물성 저하를 지연시키는

노화방지제, 코드와 접착성질을 향상시키는 접착증진제, 가공성을 향상시키는 가공조제 등 다양한 화학약품이 첨가된다. 이 첨가제들은 당연히 고무의 가황반응속도와 물성에 영향을 준다. 뿐만 아니라 정도의 차이는 있지만, 코드와 고무의 접착성질에도 영향을 준다고 보는 편이 합리적이다. 가황촉진제와 접착증진제의 종류와 첨가량은 접착성질에 영향이 큰 반면, 카본블랙의 종류나 첨가량의 영향은 상대적으로 적다. 심지어 활성화제인 스테아린산이나 산화아연도 접착성질에 영향을 주므로, 고무의 배합조성을 변경할 때는 첨가제가 접착성질에 미치는 영향을 세심하고 폭넓게 검토하여야 한다.

고무의 배합조성이 접착성질에 미치는 영향은 크게 두 가지 기구로 설명될 수 있다. 하나는 접착층의 주요 구성물질인 구리 황화물의 생성반응이 가황반응과 마찬가지로 활성화된 황에 의하여 진행되므로, 가황반응에 영향을 주는 첨가제들은 당연히 접착성질에도 영향을 주게 된다는 설명이다. 둘째는 접착층을 매개로 하여 코드에 붙어있는 고무의 물성이 달라지면 접착성질이 달라질 수밖에 없다는 설명이다. 접착층이 제대로 형성되어 있어도 코드에 붙어있는 고무의 물성이 약하면, 고무가 찢어져서 접착이 파열되기 때문에, 계면 고무의 물성에 영향을 주는 첨가제는 모두 접착성질에 영향을 미칠 수 있다. 이와 반대로 어느 첨가제의 종류나 첨가량을 바꾸었을 때, 고무 물성은 크게 달라지나 접착성질은 별로 달라지지 않는 경우가 있다. 접착계면의 물성은 양호하나 과도하게 성장한 접착층에서 접착이 파열되는 경우로, 첨가제에 따라 고무 물성이 달라져도 접착성질에 미치는 호

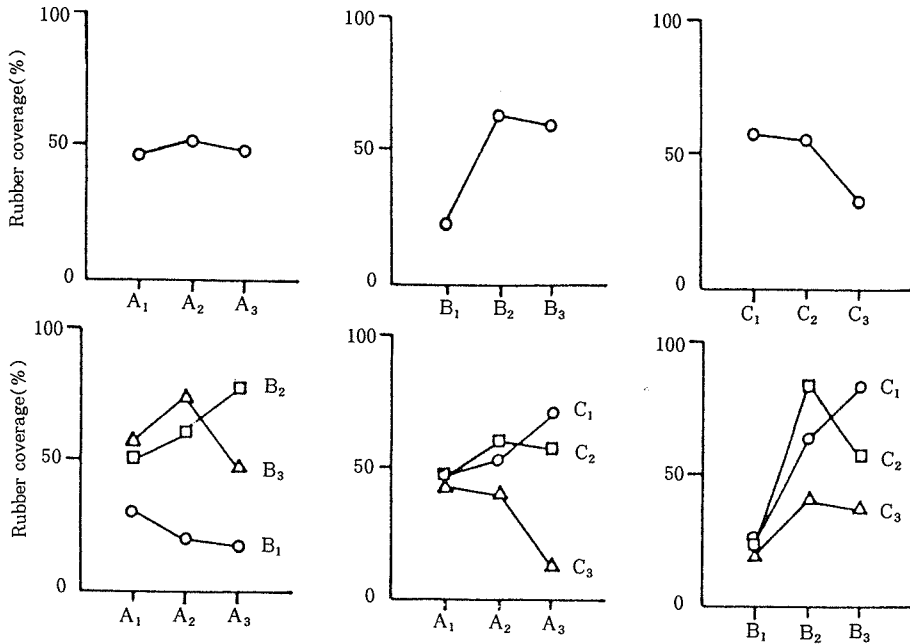
과는 나타나지 않는다. 그러나 황의 활성화 단계에 영향을 줄 수 있는 고무의 배합조성이나 순서, 배합조건은 접착성질에 영향을 클 수도 있으므로 유의하여 고려되어야 한다.

접착성질에 가장 영향이 큰 첨가제는 가황촉진제이다. 접착층 생성반응에서 황이 반응물이지만, 황은 필요량보다 과량으로 첨가되기 때문에 상대적으로 영향이 적다. 반면 황을 활성화시켜 구리 황화물을 형성시키고 고무를 가황시키는 가황촉진제의 영향은 매우 크다. 가황촉진제의 활성이 너무 크거나 첨가량이 많아 가황반응이 매우 빠르게 진행되는 고무에서는 일반적으로 접착성질이 나쁘다. 예외가 있을 수 있겠지만, 가황반응의 속도가 느린 가황촉진제에서 접착성질이 대체로 우수하다. 이러한 현상은 제2장의 접착기구에서 언급한대로, 접착층의 구성물질인 구리 황화물이 고무의 가황반응에 비해 빠르다는 점으로 설명될 수 있다. 접착계면에서 구리 황화물이 빠르게 생성되므로 황이 많이 소모된다. 따라서 계면에 붙어있는 고무에서는 황 농도가 상대적으로 낮아 가황반응이 느리게 진행되어 충분히 가황되지 못한다. 고무의 가황반응이 매우 빠르게 진행되면 고무의 가교정도가 높아져 황의 확산이 저해되어 계면으로 황의 이동이 억제된다. 이로 인해 접착계면에 붙어있는 고무는 충분히 가황되지 못한다. 이 경우 접착층의 형성이나 고무층의 가황은 적절하나, 이들 사이를 연결해주는 계면 고무의 모듈러스가 낮아 접착성질이 나쁘다는 설명이다. 코드에 붙어있는 아주 얇은 고무에서 가황반응의 진행정도를 직접 측정하기가 어려워 실험적으로 이를 확인하지는 못하였으나, 가황촉진제의 활성 순서와 반대인 MOR>DZ>TT 순으로 접착성질이

높게 나타난다는 점을 설명하는 데에는 매우 유용하다. 같은 가황촉진제에서는 첨가량에 따라 접착성질이 최고점을 보인다는 시험결과도, 계면 고무의 가황정도가 접착성질 결정에 중요함을 보여준다.

일반적으로 황 함량은 높고 가황촉진제 함량이 낮은 고무에서 접착성질 특히 열화성질이 우수하다. 이 현상도 가황촉진제가 많이 첨가된 고무에서는 고무층의 가황반응이 빨라져 계면으로 황의 이동이 충분하지 못하여, 접착계면에 붙어있는 고무의 가황반응이 충분히 진행되지 못한다는 점으로 설명할 수 있다. 황이 많으면 계면 고무에서 황 농도의 저하정도가 상대적으로 적으나, 가황촉진제가 많으면 가황반응이 빨라 확산 저해로 황 농도의 저하폭이 크기 때문이다. 황이나 가황촉진제의 적정 첨가량이 사용하는 코드의 성격이나 고무의 배합조성에 따라 달라질 수밖에 없다. 코드에 피복된 황동의 구리 함량이 낮거나 고무의 활성화제 첨가량이 적으면, 황과 가황촉진제 첨가량이 많아져야 한다. 반면 구리 함량이 많거나 고무의 반응성이 강하면 상대적으로 낮게 조절되어야 우수한 접착상태를 얻을 수 있다. [그림 5]의 교호작용도표는 황과 가황촉진제 함량 사이에 교호작용이 있으며, 이들 함량은 서로 관련지어 설정하여야 한다는 점을 보여준다.

코발트 염은 고무와 코드의 접착성질에 영향이 매우 큰 첨가제이다. 스테아레이트, 나프타네이트, 보로아실레이트의 염 형태로 고무에 첨가된다. 분자량이 작아 압착하여 가황시키는 과정에서 계면으로 이동되어, 황을 활성화시켜 접착층 형성을 촉진하는 것으로 유추되고 있다. 코발트 염과 함께 황을 활성화시키는 수소화탈황반응에 사용



[그림 5] 황(A)과 가황촉진제(B)의 교호작용 분석도표

되는 폴리브덴 염도 접착증진제로 언급한 특허도 이러한 추론을 뒷받침한다. 코발트 염의 기능에 대해서는 부식 억제, 표면 반응성 조절 등 여러 설명이 있지만, 주요 기능은 황의 황성화로 구리 황화물 생성을 촉진하는 것으로 보는 것이 무난하다.

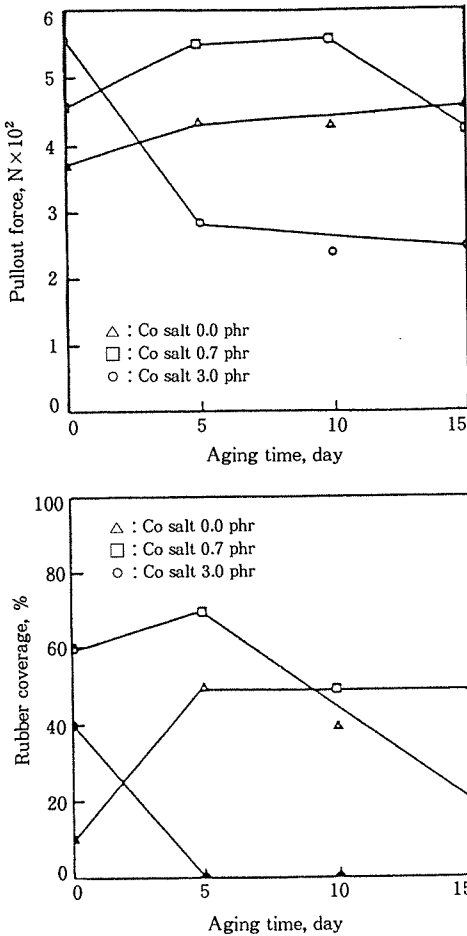
코발트 염이 첨가되면 구리 황화물의 생성을 촉진시켜 초기 접착성질은 현저히 향상된다. 특히 표면의 산화정도가 심하여 구리 활동도가 낮은 코드나 반응성이 낮은 배합고무에서는 적절한 두께의 접착층 형성을 촉진한다는 점에서 코발트 염 첨가가 매우 효과적이다. 그러나 코발트 염이 많이 첨가되면 접착열화가 현저히 빨라진다. [그림 6]에서 보듯이 초기 접착성질은 향상되지만, 열화처리 후 접착성질은 코발트 염의 첨가량이 많아질수록 크게 저하된다. 코발트 염에 의해 접착이 열화되는 현상은 열화 조건에서도 코발트 염이 구리 황화물의 생

성을 촉진시키기 때문으로 설명된다. 따라서 코발트 염은 코드나 고무의 반응성의 저하에 따른 접착층의 불완전상태를 보완할 수 있는 수준으로 첨가량을 작게 설정하는 편이 접착열화를 지연시키는 데 유리하다.

### 3.3 가황조건

코드와 고무를 압착하여 밀착시킨 상태에서 온도를 높여주면 고무의 가황반응과 함께 접착층 형성반응이 진행되어 코드와 고무가 접착된다. 코드와 고무를 밀착시키기 위해 가압하지만, 어느 정도 이상으로 압력이 유지되면 압력의 영향은 거의 없다. 반면 가황온도와 시간은 고무의 물성뿐 아니라 접착성질에도 매우 영향이 크다.

고무 물성과 접착성질이 같이 최적화되도록 가황조건을 설정하여야 하나, 고무의 가황반응속도와 접착층 형성속도가 다르면 원리상 이를 최적화하기가 불가능하다. 따라



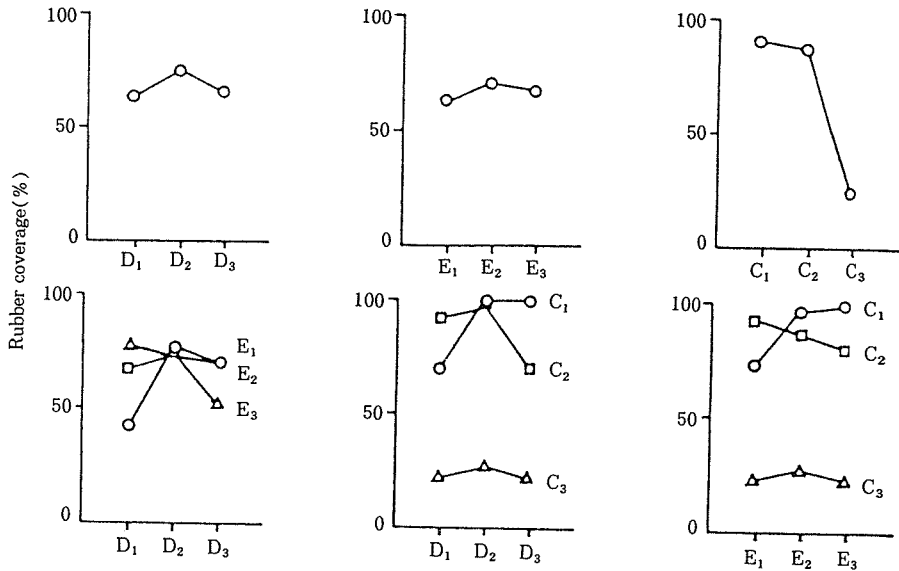
[그림 6] 코발트 염 첨가량과 열화 시간에 따른 뽑는힘 (위)과 고무 부착도(아래)

서 고무의 물성이 극대화되도록 가황조건을 설정하고, 이 조건에서 접착성질이 극대화 되도록 코발트 염 등 접착증진제의 첨가량이나 코드에 피복된 황동의 조성이나 피복량을 결정한다.

가황온도와 시간은 고무 물성뿐 아니라 접착성질에도 강한 교호작용이 있다. 일정 비율로 계산할 수는 없지만, 가황온도와 시간은 서로 관계지어 결정되어야 한다. [그림 7]은 가황온도와 시간의 교호작용을 분석한 것으로, 두 인자가 모두 높은 수준이

나 모두 낮은 수준에서 접착성질이 나쁨을 보여준다. 이러한 결과도 앞에서 설명한 접착기구를 근거로 접착층의 형성과 계면 고무의 가황정도로 설명할 수 있다. 가황온도와 시간이 모두 높은 수준이면 계면 고무는 충분히 가황되겠지만, 접착층은 과도하게 형성되고 고무 역시 과가황되어 물성이 저하되어 접착성질이 나쁘다. 반면 가황온도와 시간이 모두 낮은 수준이면 접착층은 형성될 수 있어도, 계면 고무나 고무층은 충분히 가황되지 못하여 고무 물성의 저하로 접착성질이 나쁘다. 따라서 접착층뿐 아니라 계면 고무와 고무층의 적절한 가황반응 진행이 가능할 정도로 가황온도와 시간을 관련지어 설정해야 우수한 접착성질이 얻어진다.

가황공정의 단축은 타이어 생산공정의 경제성을 향상시켜주기 때문에, 가황시간이 짧아지도록 가황온도를 높이려고 노력한다. 140~180°C 범위에서 가황온도를 바꾸어가며 가황곡선에서 결정된 T<sub>90</sub> 시간 동안 가황시킨 접착계의 초기 인장성질에는 차이가 적으나, 접착성질은 낮은 온도에서 길게 가황시킨 접착시편에서 상대적으로 좋았다. 고온에서 가황시킨 접착시편에서 가황시간이 짧아 시간설정의 정확도가 떨어지므로 측정결과에 편차가 심한 효과 외에도, 지나치게 빠른 가황반응이 계면 고무와 고무층의 물성을 적절하게 조화시키는 데 저해요인이 되는 것으로 생각된다. 확산속도는 온도의 1/2승에 비례하나 반응속도는 지수함수라는 점에서, 확산속도의 상대적 저하로 고무 물성의 균일성이 크게 낮아지는 데서 원인을 찾을 수 있다. 타이어에서 고무 두께가 부위별로 차이가 크므로 높은 온도에서 짧게 가황시키면, 부위에 따라 고무 물



[그림 7] 가황온도(D)와 가황시간(E)의 교호작용 분석도표

성이나 접착성질이 미가황-적정가황-과가황 상태로 차이가 커져 균일성 유지가 어려울 수밖에 없다.

#### 제4장 맺음말

황동피복코드와 배합고무의 접착현상에는 배합고무의 조성, 코드에 피복된 황동, 가황 조건 외에도 접착열화가 진행되는 사용기간과 여건 등 많은 인자가 관련되어 있다. 접착의 형성과 열화를 체계적으로 설명하기 위해서는 이들 인자의 각각의 영향을 규명하고, 이를 근거로 접착기구를 도출해야 하나 관련 인자가 많아 쉽지 않다. 그러나 접착관련 기술은 타이어 제조에 매우 중요하기 때문에 많은 연구가 진행되어 상당한 수준까지 접착기구가 정립되어 있다고 보여진다. 최근 진행되고 있는 코드의 제조사양 변경과 고무의 배합조성 조절 및 효과적이면서도 저렴한 접착증진제 개발 등은 접착기구에 근거하여 진행된다고 보여지기 때문

이다. 열화조건에서 구리 황화물의 생성을 지속적으로 촉진하는 코발트 염 대신에 가황반응 종료 후 활성을 잃어버리는 유기 접착증진제의 개발이나, 접착형성 후 물질이동을 억제하여 접착층의 안정성을 유지시키는 레진계 접착증진제의 활용 등이 좋은 예다. 타이어 부위별로 가황촉진제 종류와 첨가량을 조절하는 방법이나 황동의 구리 함량과 피복량을 가급적 낮추려는 시도들도, 접착기구에 대한 이해 수준의 제고에 근거한 것으로 이해된다. 코드 표면의 산화 정도에 관심이 높아지고 고무의 수분 조절 등도 같은 맥락으로 설명할 수 있다.

코드와 고무의 접착기구에 대한 이해를 바탕으로 접착상태의 향상이 가능하지만, 우수한 접착은 코드와 고무의 최적화가 가장 효과적인 접착 향상 방안일 수도 있다. 어느 수준 이상이면 어느 한 재료나 조건의 향상이 접착의 향상으로 나타나지 않는다는 뜻이다. 코드의 반응성이 높을수록 또는 고무의 반응성이 좋을수록 우수한 접착이 얻

어지지 않는다. 고무의 가황반응속도가 너무 빨라도 또 너무 느려도 좋은 접착상태를 얻기 어렵다. 고무의 물성 향상, 안정한 접착층의 형성, 계면 고무의 모듈러스 강화 등이 모두 어우러져 우수한 접착이 가능해진다. 따라서 코드와 고무의 반응성 조화, 물질전달과 가황반응의 조화 등 관련 인자를 최적화할 수 있는 체계적인 검토가 접착향상에 효과적이다.

코드의 가공기술 개발로 피복량 감소, 열린 구조 코드의 적용, 접착을 열화시키지 않는 접착증진제의 개발, 코드의 상태나 가황조건에 예민하지 않는 배합고무의 설계 등을 통한 접착기술의 개발은 스틸코드보다 우수한 구조 보강재가 보편화될 때까지 지속될 것으로 전망된다. 접착제를 사용하지 않으면서도 강한 접착을 얻을 수 있는 접착계로서 황동피복코드와 배합고무의 접착에 대한 미시적인 이해와 세밀한 제어방법의 발달로 이론적인 접착력의 절반에도 도달하지 못한 현재의 수준을 상당히 높여줄 것으로 전망된다.

이 총설에서 설명한 접착기구는 많은 문헌 결과를 참조하고 금호기술연구소의 지속적인 지원으로 수행된 연구결과를 정리한 것이지만, 충분히 검증되기 위해서는 아직 많은 연구가 필요하다고 생각한다. 접착 연구에는 고무와 금속 그리고 계면화학 등 여러 분야가 관련되어 있어 활성화되기는 어렵다고 생각한다. 그러나 여러 사람들의 참여와 지속적인 연구로 접착기구가 다듬어지고, 이를 토대로 독자적이고 우수한 접착기술이 개발되어 우리 나라 타이어 산업의 국제경쟁력 제고에 기여할 수 있기를 기대한다. 그동안 저의 접착 연구를 지원해준 정부, 금호기술연구소, 전남대학교, 고려강선

주식회사 등 여러 기관과 같이 연구한 동료와 제자들에게 감사의 뜻을 전한다.

[참고문헌]

\*접착에 관한 문헌은 대단히 많으나, 지면 관계로 van Ooij의 대표적인 총설과 저자의 문헌만을 참고로 정리하였음.

1. W. J. van Ooij, "Fundamental aspects of rubber adhesion to brass-plated steel tire cord", Rubber Chem. Technol., 52, 605 (1979)
2. W. J. van Ooij, "Mechanism and theories of rubber adhesion to steel tire cords-an overview", Rubber Chem. Technol., 57, 421(1984)
3. W. J. van Ooij, "Review of recent advances in bonding rubber to steel tire cord", Kautschuk + Gummi, Kunststoffe, 44, 348(1991)
4. 서 곤, 김민호, 전경수, 오세철, 노인기, "코발트 염의 첨가가 고무와 황동이 피복된 강선간의 접착에 미치는 영향", 화학공학, 28, 77(1990)
5. 서 곤, 강상용, 김민호, "XPS를 이용한 금속판과 배합고무의 접착 및 접착열화 연구", 화학공학, 29, 97(1991)
6. 서 곤, 강신영, 박문우, 김재문, 김민호, 문재창, "가황조건과 피복물질이 배합고무와 강선코드의 접착에 미치는 영향 I. 황과 가황촉진제의 영향", 폴리머, 15, 297(1991)
7. 서 곤, 강신영, 박문우, 전경수, 김해진, 오세철, "가황조건과 피복물질이 배합고무와 강선코드의 접착에 미치는 영향 II. 가황온도와 가황시간의 영향", 폴리머, 15, 383(1991)
8. 서 곤, 정선기, 김나현, 김해진, 오세철, 김천식, "가황조건과 피복물질이 배합고무와 강선코드의 접착에 미치는 영향 III. 시험타이어에서 접착상태 조사", 폴리머, 15, 503(1991)
9. 서 곤, 손봉영, "열화처리에 따른 고무와 강선코드간 접착계면의 변화", 공업화학, 5, 630(1994)
10. 서 곤, 류민웅, 전대진, 손봉영, "황동이 피복된 코드의 표면 상태가 배합고무와 코드의 접착에 미치는 영향", 공업화학, 5, 1056(1994)
11. 오세철, 김민호, 김재문, 서 곤, "배합고무와 강선의 접착에 대한 카본블랙의 영향", 공업화학, 6, 751(1995)
12. 전경수, 손봉영, 정승원, 조평래, 조춘택, 서 곤, "천연고무/부타디엔고무(NR/BR) 혼합고무와 황동피복코드의 접착성질", 화학공학, 35, 90(1997)
13. G. Seo, "Stabilizing the adhesion interface between brass film and rubber compounds by the addition of resorcinol formaldehyde resin", J. Adh. Sci. Tech., accepted.

(끝)