

부타디엔 고무를 혼합한 폴리우레탄 수지의 물성에 관한 연구

홍 석 표 · 최 상 구
전북대학교 공과대학 공업화학과

A Study on the Properties of Polyurethane Resin Mixed with Butadiene Rubber

S. P. Hong, S. G. Choi

Department of Chemical Technology, Chonbuk National University,
Chonju 560-756, Korea

ABSTRACT

Polyurethane resin was especially mixed with polybutadiene rubbers which had each other different molecular structures and functional groups. Liquid and cure properties were tested experimentally for mixtures. Viscosity of mixtures and drying time were influenced by solubility of thinner and reactivity of rubber. Adhesive strength represented maximum at rubber content 15~22% (Wt. %), and rapidly decreased over 25%. DBTDL(*n*-butyltindilaurate) showed the longest storage stability.

I. 序 論

폴리우레탄 수지는^{1~3)} 유연성과 접착력이 뛰어나 탄성체 및 구조 접착제로 사용되어 왔다.^{4~5)} 또한 전기적 특성도 뛰어나 근래에는 전기 및 전자재료의 절연체로도 많이 사용되고 있다.^{6~7)} 이러한 탄성체나 접착제에 사용되는 폴리우레탄 수지는 대개 분자 말단에 활성 이소시아네이트기(-NCO)를 가진 프리폴리머이거나 분자말단에 히드록시기를 가진 폴리올의 형태이다.

최근 폴리우레탄 수지의 기계적 물성과 열적 성질을 향상시키기 위한 방법으로 폴리우레탄 수지에 다른

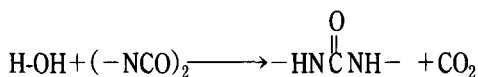
고분자 수지나 액상고무를 혼합하는 연구가 활발하게 진행되고 있다.^{8~9)} 폴리우레탄 수지에 액상고무를 혼합하는 경우에는 두 상간에 적절한 용해성이 있어야 하는데 이것은 용해성이 혼합물의 분산성과 기계적 물성에 큰 영향을 미치기 때문이다. 폴리우레탄 수지에 액상고무와 같은 탄성체를 혼합하는 연구로는 Arnold¹⁰⁾, Elmore¹¹⁾ 등이 연구한 '폴리우레탄과 폴리부타디엔의 정량적 혼합관계'에 관한 것이 있고, Seymour¹²⁾와 Schneider¹³⁾ 등이 연구한 '부타디엔 고무를 혼합한 폴리우레탄 탄성체'에 관한 것이 있다.

본 연구에서는 지금까지 발표된 연구결과를 바탕으로 하여 고무의 분자구조와 말단의 관능기가 서로

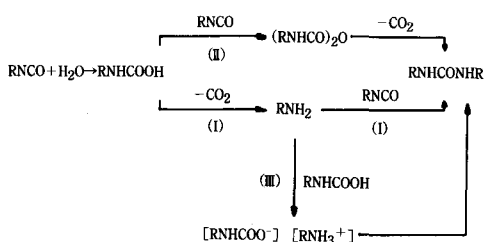
다른 폴리부타디엔 고무 4종을 프리폴리머형 우레탄 수지에 각각 혼합하고 고무의 종류에 따른 혼합물의 액상 및 경화물성을 조사하였다.

II. 濕氣硬化 理論^{14~15)}

분자 말단에 활성 -NCO기를 가진 폴리우레탄 올리고머는 공기중에 존재하는 미량의 수분에 의하여 반응된다. 그 반응메카니즘은 분자말단의 -NCO기들이 물과 반응하여 우레아(요소)결합을 형성하면서 CO₂를 방출하는 아래와 같은 과정으로 되어 있다.



이때 위 반응에서 나타나는 치환 요소는 다음과 같은 거동을 한다.



(I)는 카르바미산(carbamic acid)이 불안정한 속도로 급속히 분해되어 아민화합물을 생성시키고 생성된 아민화합물이 이소시아네이트와 반응하여 우레아를 만드는 과정이다. (II)는 카르바미산이 비교적 안정한 속도로 분해되어 이소시아네이트와 반응하면서 CO₂를 발생시키고 우레아결합을 형성하는 과정이다. (III)은 아민과 카르바미산이 약간 완만하게 반응되는 경우로서 반응기 사이에 입체장애효과(steric hinderance effects)³⁾가 작용되었을 때 생기는 과정이다.

III. 實 驗

1. 시 약

폴리우레탄 수지로는 Bayer사의 프리폴리머형 우레탄 올리고머인 Desmodur L(고형분: 67±2%, -NCO함량: 11~12%)을 사용하였다. 액상고무로는 Fig. 1 및 Table 1에 나타낸 바와 같은 구조와 물성을 가진 BF Goodrich Co.의 CTBN x13과 일본 출광석유(주)의 Poly BD MC-50, HTP-9, R-45HT를 사용하였다. 부착력 증진제로는 동경화성(주)의 neoprene, gum rosin, tricresyl phosphate를 각각 사용하였다. 희석 용매로는 서울화성(주)의 toluene, p-dioxane, butyl acetate를 각각 사용하였다. 건조촉진제로는 Aldrich Co.의 BDMA(*N,N*-dimethyl benzylamine), DBTDL(*di-n*-butyltindilaurate), Sn-octoate를 각각 사용하였다. 침강방지제로는 Degusa Co.의 미립자 실리카인 Aerosil R-972(평균직경: 16 nm)와 GAF Chem Co.의 계면활성제인 Antarox CO-530(HLB: 10.8) 및 CO-430(HLB: 8.9)을 사용하였다

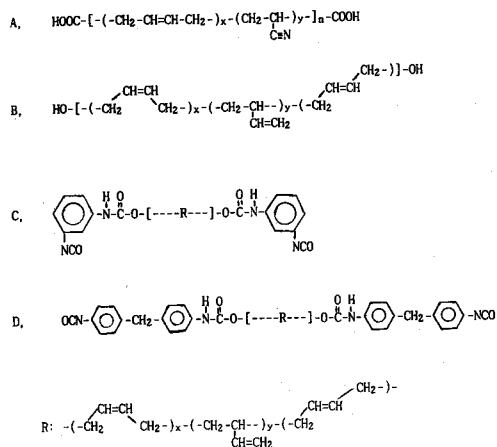


Fig. 1. Main structures of polybutadiene rubbers.
A : CTBN×13 ; B : Poly BD R-45HT ;
C : Poly BD HTP-9 ; D : Poly BD MC-50.

Table 1. Properties of polybutadiene rubbers

Sorts of rubber	Molecular weight	Viscosity(poise) at 25°C	Terminated groups	Equivalent weight
CTBN×13	3200	500~1400	-COOH	1778
Poly BD R-45HT	2800	50~60	-OH	1120
Poly BD MC-50	3150	80~95	-NCO	1575
Poly BD HTP-9	3328	400~500	-NCO	1664

2. 혼합 및 분산

- 1) 폴리우레탄 수지 100g을 용량 500ml의 스테인리스 비이커에 넣은 다음 액상고무를 전체고형분에 대하여 0~30% (중량%) 범위내에서 0~43g 넣었다.
- 2) 희석용매를 전체혼합물에 대하여 0~50% (중량%) 범위내에서 0~67g 넣은 다음 균일하게 혼합하였다.
- 3) 부착력 증진제를 고형분에 대하여 0~5 phr 넣고 침강방지제를 고무함량에 대하여 3phr 넣었다.
- 4) 전조촉진제를 고형분에 대하여 0~3phr 넣은 다음 고속분산기를 사용하여 3,000rpm에서 20분간 균일하게 혼합 분산시켰다.

3. 물성시험

건조시간은 유리판 위에 혼합수지를 150 μm(wet film)의 두께로 도포한 후 지축건조(tack free)시간으로 측정하였다. 부착력은 ASTM D 1002에 따라 만능시험기(Instron)를 사용하여 인장에 의한 전단력으로 측정하였다. 점도는 JIS C 2105에 따라 Brookfield Co.의 B형 회전점도계를 사용하여 측정하였다. 저장안정성은 용량 1L의 도금된 철판 용기에 수지를 3/4 부피 채운 후 50°C 건조로 속에 넣고 수지가 겔이 되는 초기시간을 측정하였다. 침전율은 직경 10mm, 길이 100mm의 메스실린더에 수지를 80mm 채운 후 25°C에서 시간경과에 따라 줄어든 고무층의 길이를 측정하여 처음 고무층의 길이에 대하여 길이 백분율로 구하였다. 부착력은 혼합수지를 유리판 위에 150μm 두께로 도포하고 24시간 건조시킨 후 도막 위에 문구용 칼로 가로 세로 각각 1mm 간격으로 100칸의

금을 그은 다음 그 위에 셀로판 접착테이프를 붙이고 테이프를 45°로 잡아당겼을 때 떨어지지 않고 남은 도막의 수를 세어 백분율로 나타내었다.

IV. 結果 및 考察

1. 액상 고무의 함량변화

Fig. 2는 폴리 부타디엔 고무의 함량에 따른 건

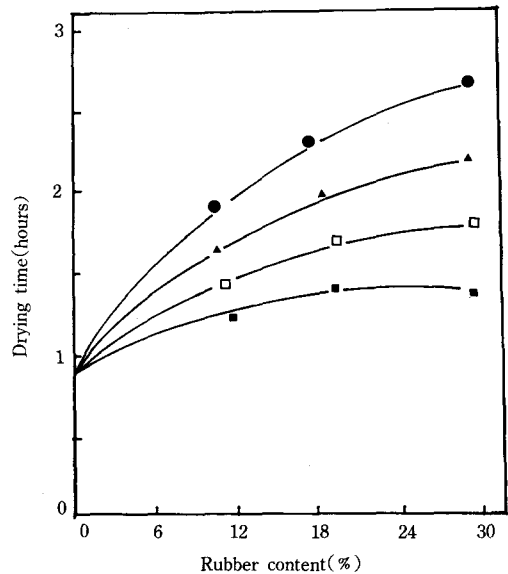


Fig. 2. Drying time vs. rubber content : (●)R-45HT(▲) CTBNx13 ; (■)HTP-9 ; (□) MC-50. Resin composition : Desmodur L/ butadiene rubber=100~70/0~30. Test method : measuring tack-free time for film formed with 150μm(wet film)on the glass plate.

조시간을 나타낸 것이다. 건조시간은 대체로 고무의 함량이 증가됨에 따라 길어졌고 R-45HT > CTBNx13 MC 50 > HTP-9의 순으로 긴 건조시간을 보였다. R-45HT와 CTBNx13의 경우 고무함량 30%에서는 첨가하지 않은 것보다 건조시간이 2배 이상으로 길게 나타났다. R-45HT와 CTBNx13의 건조시간이 비교적 길게 나타난 것은 고무의 분자량이 크기 때문에 단위시간당 결합되는 길이가 길어 걸보기 가속속도는 그만큼 느리게 나타나기 때문인 것으로 판단된다. 바인더 수지로 사용된 Desmodur L은 TMP(trimethylol propane) 1mole에 TDI(toluene diisocyanate) 3mole이 반응된 프리폴리머형 수지이며 분자말단에 미반응된 -NCO를 가지고 있다. 그런 이유로 이것은 공기중에서 미량의 수분에 의하여 서로 결합하여 우레아 결합(-NHCONH-)을 형성하면서 자연건조되는데 일부 뷰렛(bullet)구조나 알로파네이트(allopanite)구조가 형성되기도 한다.¹⁴⁾ 이때 또한 분자말단에 관능기(-NCO, -COOH 또는 -OH)를 가진 폴리부타디엔 고무도 우레탄 수지의 -NCO와 반응하여 우레탄 결합(-OOCNH-)을 만들거나 우레아 결합(-HNCONH-)을 형성한다. 건조시간은 고무의 분자량 및 반응속도에 영향을 받았는데 분자량이 클수록 대체적으로 빠른 건조시간을 보였으며 관능기 별로는 이소시아네이트를 가진 HTP-9이나 MC-50이 빠른 건조시간을 보여주었다. 이소시아네이트를 가진 것들이 빠른 건조시간을 보인것은 -NCO와 -NCO간의 반응속도가 -NCO와 -OH, -NCO와 -COOH에 비하여 빠르기 때문이다. 그리고 고무의 함량이 증가 될수록 우레탄 수지에 대한 고무의 용해성이 부족하여 도막은 불투명하였는데 HTP-9와 MC-50은 고무함량 15% 이상에서 R-45HT와 CTBNx13는 고무함량 18%와 20% 이상에서 각각 불투명하였다.

Fig. 3은 고무의 함량에 따른 접착력을 나타낸 것이다. 접착력은 CTBNx13 > HTP-9 MC-50 > R-45HT의 순으로 높은 값을 나타내었다. 접착력은 고무

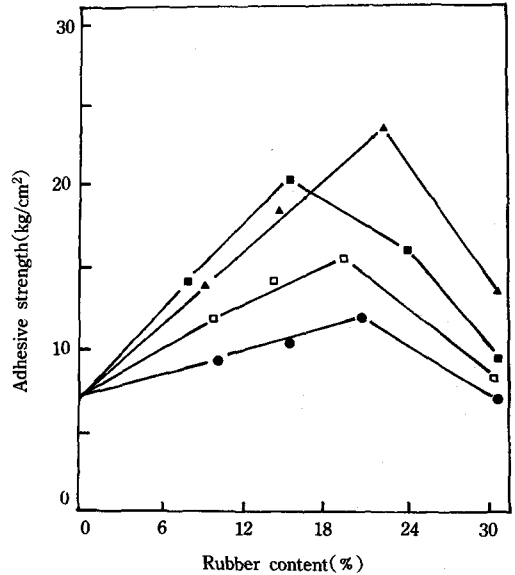


Fig. 3. Adhesive strength vs. rubber content : (●) R-45HT (▲) CTBNx13 ; (■) HTP-9 ; (□) MC-50. Resin composition : Desmodur L/butadiene rubber = 100~70/0~30. Crosshead speed of test machine : 2mm/min.

함량 15~22%에서 최대값을 보였으며 25% 이상에서는 현저하게 낮은 값을 보였다. 접착력은 다른 염화비닐 접착제나 초산비닐 접착제에 비하여 비교적 높은 값을 보여주었는데 이것은 우레탄 수지가 극성이고 반응성이 크기 때문에 접착제 상호간이나 또는 활성수소를 가진 피착체 표면에 2차원 또는 3차원적으로 강력하게 결합하기 때문이다.¹⁷⁾ 고무 중에서 CTBNx13을 사용한 것이 가장 높은 값을 나타내었다. 이것은 비록 반응성은 작아 반응 시간은 오래 걸리지만 -COOH와 -NCO 사이에 강력한 우레아 결합이 형성되기 때문이며, 또한 극성인 아크릴로니트릴($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}\equiv\text{N}$)을 가지고 있어 우레탄 수지와 의 상용성이나 피착체와의 친화도가 다른 것들에 비하여 더 우수하기 때문인 것으로 판단된다.

2. 부착력 증진제의 함량변화

Fig. 4는 부착성 증진제의 함량에 따른 부착력을

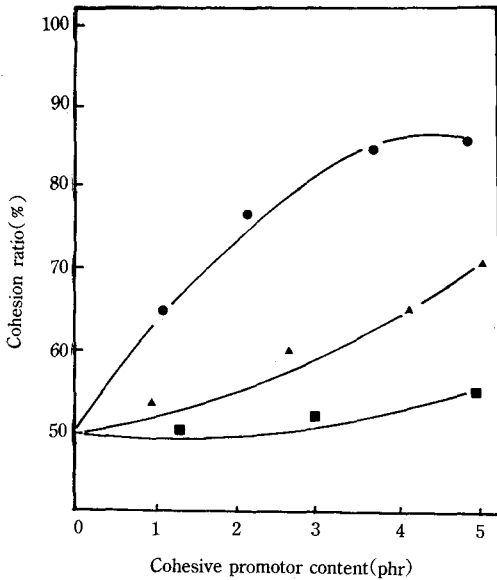


Fig. 4. Cohesion ratio vs. cohesive promoter content : (●)neoprene ; (▲)gum rosin ; (■)tricresyl phosphate. Resin composition : Desmodur L/CTBNx13/cohesive promoter = 80/20/0~5. Test method : cross-cut.

나타낸 것이다. 일반적으로 우레탄 수지에 적당량의 고무를 혼합하면 재료의 내충격성 및 상온접착력은 향상되지만 고무의 함량이 증가됨에 따라 점차 상용성이 나빠져 혼합물의 유동성과 소재에 대한 부착력은 떨어지게 된다.^{4~5)} 여기서 말하는 부착력은 일반적인 접착력과는 다른 의미를 가진다. 접착력이 소재와 접착제간에 이루어지는 반테르발스적인 결합력에 접착제 자신의 강인성을 더한 힘이라면 부착력은 접착제와 피착제간의 접착제면에서 형성되는 순수한 물리화학적 결합력이라고 말할 수 있다.¹⁹⁾ 부착력은 neoprene > gum rosin > tricresyl phosphate의 순으로 높은 값을 나타내었다. Neoprene이 가장 우수한 물성을 나타낸 것은 분자사슬내에 극성인 염소(Cl)가 붙어 있어 쌍극자모멘트가 크므로 정전기적인 인력에 의하여 접착제가 활성인 파착제 표면에 강력하게 밀착되기 때문인 것으로 생각된다.¹⁸⁾ 그러나 neoprene은 다른 것들에 비하여 상온부착력은 우수하지만

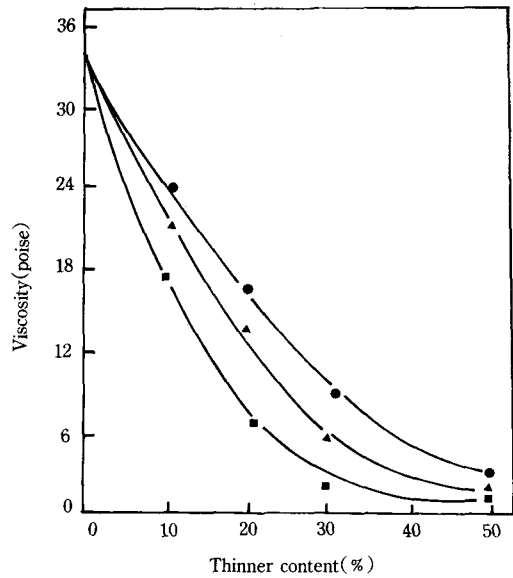


Fig. 5. Viscosity vs. thinner content : (●)toluene ; (▲)dioxane ; (■)butyl acetate. Resin composition : Desmodur L/CTBNx13/thinner = 80/20/0~100. Test method : Brookfield viscometer.

150°C 이상의 고온에서는 부착력이 현저하게 떨어졌다. 이것은 분자사슬에 붙어 있는 염소(-Cl)가 고온에서는 염화수소(HCl)가 되어 떨어져 나가기 때문인 것으로 판단된다.²⁰⁾ 그리고 gum rosin과 tricresyl phosphate는 액상고무와의 상용성이 좋지 않아 장기 저장시에는 상분리되었다.

3. 희석제의 함량변화

Fig. 5는 희석제의 함량에 따른 혼합물의 점도를 나타낸 것이다. 폴리우레탄 수지를 접착제로 사용할 경우에는 수지의 계면침투를 원활하게 하기 위하여 대개 희석제로 희석하여 사용하는데 희석제로는 폴리우레탄 수지와 상용성이 좋은 극성 용매들이 주로 사용되고 있다. 용액의 점도는 희석제의 함량이 증량됨에 따라 현저하게 떨어졌는데 희석제 함량 20%에서는 사용하지 않았을 때보다 1/2 낮은 값을 나타내었다. 점도는 toluene > dioxane > buthyl acetate 순

으로 높은 값을 나타내었는데 부틸아세테이트가 가장 낮은 점도를 보인 것은 이것이 비극성이 부타디엔 고무나 이소시아네이트를 포함하고 있는 우레탄 올리고머 어느 쪽과도 양호한 용해성을 나타내기 때문인 것으로 풀이된다.²¹⁾ 수지액의 투명성은 디옥산을 사용했을 때 가장 투명하였는데 이것은 고무가 비극성이므로 아세테이트류와 같은 극성용매보다는 오히려 중성을 띠는 디옥산에 더 잘 용해되기 때문인 것으로 풀이된다. 전체적으로 회석제함량 40% 이하에서는 수지액이 불투명하였으며 30% 이하에서는 고무분자의 stretching이 불완전하거나 미반응된 고무의 존재로 인하여 건조도막도 불투명하였다.

Fig. 6은 회석제의 함량에 따른 접착력을 나타낸 것이다. 접착력은 dioxane > butyl acetate > toluene의 순으로 높은 값을 나타내었으며 회석제를 사용하지 않았을 때보다도 25~30% 높은 값을 나타내었다.

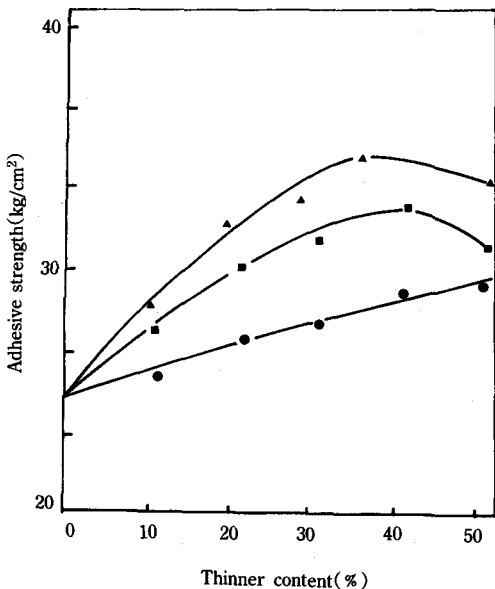


Fig. 6. Adhesive strength vs. thinner content : (●)toluene ; (▲)dioxane ; (■)butyl acetate. Resin composition : Desmodur L/CTBNx13/thinner = 80/20/0~100. Crosshead speed of test machine : 2mm/min.

회석제 중에서 디옥산이 가장 높은 값을 나타내었는데 이것은 디옥산이 고무에 대한 용해력이 좋아 고무분자의 배향을 자유스럽게 하여 균일한 분산이 이루어지게 하였기 때문이며, 또한 휘발속도가 알맞아 접착제가 소지표면으로 양호하게 침투되는데 필요한 적절한 시간을 부여하기 때문이다.²²⁾ 보통 회석제와 접착제간에 상용성이 좋을 때에는 수지분자가 선형으로 배열되지만 그렇지 못할 때에는 구부러지거나 말리는 상태로 배열되게 된다. 이러한 분자배향은 분자의 회전 자유도에 영향을 미치는데 회전 자유도가 클 때 분자는 자유분산되어 접착력이 증가하게 된다. 그러나 만약 회전자유도가 작으면 구부러지거나 말려있게 되며 소지와 결합력이 떨어지고 인장시험시 국부적인 응력집중이 생겨 낮은 접착력을 나타내게 된다.²³⁾ 그리고 회석제의 휘발속도는 접착력에 큰 영향을 미치는데 만약 회석제의 휘발속도가 너무 빠르면 수지가 충분히 피착체에 침투되지 못하게 되고, 너무 늦으면 수지액이 접착면으로부터 이탈되어 시험편 밖으로 흘러나와 결합부위가 발생되면서 접착력이 떨어지게 된다.

4. 침강방지제의 함량변화

Fig. 7은 시간에 따른 고무 입자의 침전율을 나타낸 것이다. 침전율은 CO-430 > CO-530 > R-972의 순으로 높은 값을 보여 주었다. 침전은 처음에는 느린 속도로 일어났으나 시간이 지남에 따라 점차 빠른 속도로 일어났다. 이것은 처음에는 고무입자가 직경 0.5~1.0 μ m의 작은 상태로 분산되어 있어 느리게 침강되지만 시간이 지남에 따라 고무상과 수지상사이의 계면이 분리되어 고무가 이합체 또는 삼합체가 되어 고무입자의 직경이 2~3 μ m로 점점 더 커져 빨라지기 때문이다.²⁴⁾ CO-430이 CO-530보다 침전율이 높게 나타난 것은 CO-430은 CO-530보다 HLB값이 적어 소수성을 나타내므로 마찰가지로 소수성을 띠는 고무의 표면에 양호하게 흡착되지만 극성인 용매와는 친화성이 적으므로 쉽게 분리되기 때문인 것으로 풀

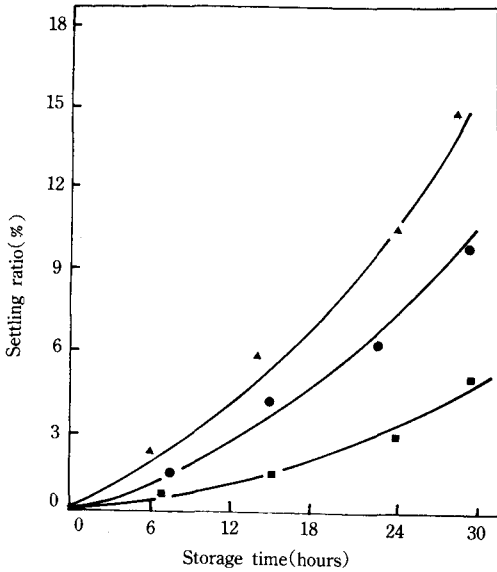


Fig. 7. Settling ratio vs. storage time : (●)CO-530 ; (▲)CO-430 ; (■)R-972. Resin composition : Desmodur L/CTBNx13/dioxane/sedimentation inhibitor = 80/20/100/0.6. Test method : measuring length of settled rubber phase every times at 25°C.

이된다. Aerosil R-972는 가장 작은 침전율을 나타내었는데 이것은 표면이 안정한 폴리실록산(-Si-O-Si-)구조로 되어 있어 계면활성제인 CO-430이나 CO-530처럼 희석제나 고무의 농도에 따라 안정성이 달라지지 않고 오랫동안 분산물 속에 부유하면서 고무입자의 침강을 물리적으로 억제시키는 작용을 하기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 고무입자의 침강은 계면활성제나 미립자 실리카로 어느 정도 늦출 수 있었지만 완전한 침강 방지는 불가능하였다.

5. 건조촉진제의 함량변화

Fig. 8은 건조촉진제의 함량에 따른 건조시간을 나타낸 것이다. 건조시간은 촉진제의 함량이 늘어날수록 짧게 나타났으며 DBTDL>Sn-octoate>BDMA의 순으로 긴 건조시간을 나타내었다. 분자말단에 미반응된 -NCO를 갖는 우레탄 수지의 건조는 미반응된

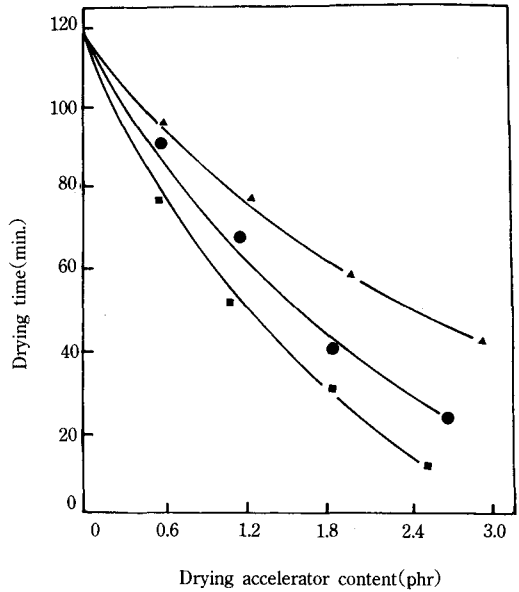


Fig. 8. Drying time vs. drying accelerator content : (●)Sn-Octoate ; (▲)DBTDL ; (■)BDMA. Resin composition : Desmodur L/CTBNx13/dioxane/drying accelerator = 80/20/100/0~3.0. Test method : measuring tack-free time for film formed with 150μm (wet film) on the glass plate.

-NCO가 반응성이 있는 -OH나 -NH 및 기타의 -NHCONH, -NHCOO 등과 복합적으로 반응함으로써 이루어진다. 이때 건조촉진제로는 보통 유기금속염이나 3급아민류가 주로 사용되는데 건조촉진제는 이소시아네이트기나 카르복실기로부터 양이온이나 음이온의 발생을 빠르게 하여 우레탄결합이나 요소결합의 형성을 촉진시키는 작용을 한다. 그러나 촉진제를 너무 과량 사용하면 수지의 색상을 변색시키거나 저장안정성을 크게 떨어뜨리게 된다. 실험결과에서 보는 바와 같이 BDMA를 3phr 이상 사용했을 경우 건조시간은 사용하지 않았을 때에 비하여 1/6로 단축되었지만 저장안정성은 오히려 2배로 불량해졌다. 이것은 저장용기내에 존재하는 미량의 수분에 의하여 촉진제인 아민이 보다 쉽게 활성화되어 강한

반응촉진작용을 하기 때문이다.¹⁵⁾

Fig. 9는 건조촉진제의 함량에 따른 혼합물의 저장안정성을 나타낸 것이다. 저장안정성은 DBTDL>Sn-octoate>BDMA 순으로 보다 길게 나타났다. DBTDL이나 Sn-octoate는 BDMA보다 건조시간은 느리게 나타났지만 저장안정성은 길게 나타났다. 저장안정성은 우레탄 수지 혼합물의 저장용기를 밀봉했을 때가 공기중에 폭로시켰을 때보다 6배 긴 gel-time을 보여주었는데 이것은 우레탄 수지가 미량의 수분에 의하여 보다 쉽게 가교되기 때문이다. 고무는 저장용기 내에서 시간이 지남에 따라 혼합물로부터 점차 분리되었는데 저장 3개월 후에는 혼합물내에 괴상의 덩어리(gel particle)가 생성되었다. 그리고 수지층의 표면에는 용기 상부에 존재하는 공기나 또는 혼합물내의 수분에 의하여 반응물이 형성되어 피막(scanning)이 생겼다. 또한 철재용기의 경우에는 이소시

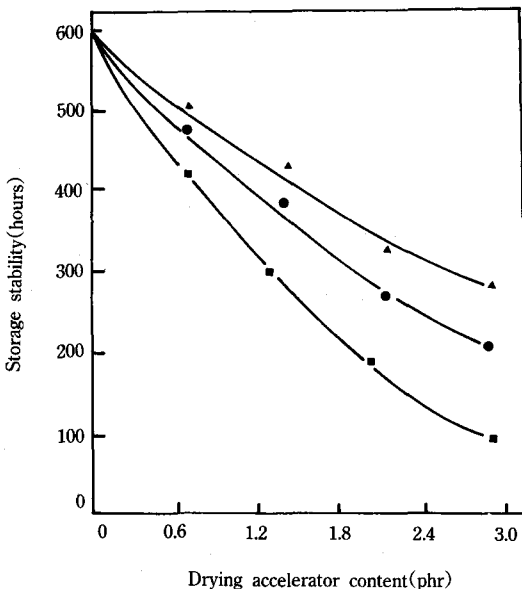


Fig. 9. Storage stability vs. drying accelerator content : (●)Sn-Octoate ; (▲)DBTDL ; (■)BDMA. Resin composition : Desmodur L/CTBNx13/dioxane/drying accelerator=80/20/100/0~3.0. Test method : measuring initial gel-time of resin at 50°C.

아네이트 성분의 강한 부식력에 의하여 용기의 내부 표면이 붉은색으로 변색되었다.

V. 結 論

분자구조 및 말단의 관능기가 서로 다른 부타디엔 고무 4종을 전체 혼합물에 대하여 0~30% 범위내에서 프리폴리머형 우레탄수지와 각각 혼합하였다. 여기에 회석용매, 부착력 증진제, 건조촉진제를 넣고 혼합물의 액상 및 경화물성을 연구한 결론은 다음과 같다.

1. 혼합물의 점도는 우레탄 수지 및 고무에 대한 회석제의 용해력에 영향을 받았는데 butyl acetate>dioxane>toluene 순으로 높은 값을 나타내었다.
2. 건조시간은 고무의 분자량과 관능기에 영향을 받았는데 분자량이 클수록 짧은 건조시간을 보여 주었으며, 이소시아네이트기(-NCO)를 가진 HTP-9과 MC-50이 보다 짧은 건조시간을 보여주었다.
3. 점착력은 고무함량 15~22%에서 최대값을 나타내었고 고무함량 25% 이상에서는 점차 감소하였으며, 디옥산이나 부틸아세테이트 등의 유기용매를 35~45% 혼합하였을 때가 혼합하지 않았을 때보다 25~30% 높은 값을 나타내었다.
4. 혼합물의 저장안정성은 저장물내의 수분 및 건조촉진제의 활성화에 영향을 받았으며, DBTDL과 Sn-octoate가 보다 우수하였다.

참 고 문 헌

1. J. H. Saunders and K. C. Frisch, "Polyurethanes : Chemistry and Technology", Vol. XVI of High Polymer, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1962
2. G. Oertel, "Polyurethane Handbook", Hansen Publishers, New York, 1985.
3. T. A. Potter, H. G. Schmelzer, and R. D. Baker,

- Prog. Org. Coat.*, **12**, 321(1984).
4. H. V. Boening, C. B. Miller, and J. E. Shottafer, *J. of Appl. Polym. Sci.*, **9**, 523(1965).
 5. S. R. Sandler, *J. of Appl. Polym. Sci.*, **11**, 811 (1967).
 6. C. B. Wood, "Evaluation of Conformal Coating of Microelectronic Circuitry in Fuze Application, "HDL-TR 1777, 1971.
 7. ARCO Chemical Co., "Product Bulletin BD-1", 1974.
 8. E. F. Cassidy and H. X. Xiao, *J. of Polym. Sci.; Polym. Edi.*, **22**, 1839(1984).
 9. E. F. Cassidy and H. X. Xiao, *J. of Polym. Sci.; Polym. Chem. Edi.*, **22**, 2667(1984).
 10. C. Arnold, *J. Elast. Plast.* **6**, 238(1974).
 11. R. D. Elmore, "Use of EN-7 to Encapsulate Analyzer Assemblies", PDO 6, 989, 189. 1974.
 12. R. W. Seymour, *Macromolecules*, **6**, 48(1973).
 13. N. S. Schneider, *J. Mater. Sci.*, **13**, 1689(1978).
 14. H. J. Kim, "Plastic Materials Series No. 2 : Polyurethan Resins", Daekwang Press, 41, 1976.
 15. Bayer Co., "Technical Information Bulletin", 1988.
 16. Y. F. Yu, J. J. Chessick, and A. C. Zettlemoyer, *J. Phys. Chem.*, **63**, 1626(1959).
 17. W. D. Harkins, "The Physical Chemistry of Surface Films", Reinhold, New York, p128, 1952.
 18. F. M. Fowkes, *Ind. Eng. Chem.*, **56**, 40(1964).
 19. J. B. Adeniyi and G. Scott, *Polym. Degrad. Stabil.*, **17**, 117(1987)/
 20. J. B. Adeniyi and G. Scott, *Polym. Degrad. Stabil.*, **17**, 117(1987).
 21. K. H. Maeyer, *Ber. Ctsch. Chem. Gas.*, **47**, 826 (1914).
 22. J. E. Gordon. "The Organic Chemistry of Electrolyte Solutions" Wiley. New York, 1975.
 23. R. B. Bird, W. E. Stewart, and E. N. Lightfoot, "Transport Phenomena", p59, 1960.
 24. D. I. Bower and W. F. Maddama, "The Vibrational Spectroscopy of Polymers", p42, 1989.