

수분산 폴리우레탄, 폴리실록산, UHMWPP 분말을 이용하여 제조한 자동차 부품용 코팅제 합성 및 물성 연구

김용성^{1†} · 박성진¹ · 김영환² · 김혜진³ · 임충선³ · 서봉국³

¹㈜인코캠

²대한유화㈜

³한국화학연구원

(2023년 10월 24일 접수, 2023년 11월 21일 수정, 2023년 11월 23일 채택)

Synthesis and Properties of Coating Agents for Automobile Parts Using Water-born Polyurethane, Polysiloxane, and UHMWPP Powder

Yong-Sung Kim^{1†} · Sung-Jin Park¹ · Young-hwan Kim² · Hyejin Kim³ · Choong-Sun Lim³ · Bong-kuk Seo³

¹InCoChem. Co., Ltd, Ulsan 44968, Korea

²KOREA Petrochemical Ind. Co., Ltd., Ulsan 44758, Korea

³Research Center for Advanced Specialty Chemicals, Korea Research Institute of Chemical Technology,
Ulsan 44412, Korea

(Received October 24, 2023; Revised November 21, 2023; Accepted November 23, 2023)

요약: 외부 온도 변화에 따른 특성변화가 적어야 하는 자동차 부품용 코팅제는 외부 환경 변화에 의한 노이즈 특성 변화가 매우 중요하다. 이에 내한성, 내후성, 내마모성이 우수한 연질의 폴리우레탄과 하이드록시 말단 혹은 결사슬이 아민으로 변성된 폴리실록산 등이 널리 사용되고 있다. 본 연구에서는 각각의 폴리머 성분들이 노이즈에 미치는 영향을 확인하기 위하여 수분산 폴리우레탄을 합성하였고, 폴리실록산, ultra high molecular polypropylene (UHMWPP) 분말, 카본블랙, 소광제를 첨가하여 코팅제를 제조하였다. 수분산 폴리우레탄의 hard/soft 세그먼트의 함량을 27.1%/72.9%, 아민으로 변성된 폴리실록산과 하이드록시 말단 폴리실록산이 2:7의 비율에서 노이즈의 발생이 가장 적었으며, 마찰자가 고속에서 움직일 때 마찰계수의 차이가 컸다. 또한 SiO₂를 UHMWPP 분말로 대체함으로써, 노이즈가 감소하였으며 광택도 또한 감소하였다.

Abstract: For automotive coating agents that require little change in characteristics due to changes in external temperature, changes in noise characteristics due to changes in the external environment are very important. Therefore, soft polyurethane with excellent cold resistance, weather resistance, and abrasion resistance, and polysiloxane whose -OH terminated and side chains are modified with amines, are widely used. In this study, coating agents was prepared by adding water-born polyurethane, polysiloxane, ultra high molecular weight polypropylene (UHMWPP) powder, carbon black, and a matting agent to determine the effect of each resin component on noise. To study the effect of each resin component on noise, a coating agent was prepared by adding water-born polyurethane, polysiloxane, UHMWPP powder, carbon black, and a matting agent. The hard/soft segment ratio of water-born polyurethane, the main component of the coating, was 27.1%/72.9%, and the ratio of amino siloxanes to hydroxy-terminated polysiloxane was 2:7, which produced the least noise. The difference in friction coefficient was large when the friction body moves at high speed. When UHMWPP powder replaced SiO₂, noise decreased and gloss also decreased.

Keywords: Polysiloxane, Water-born Polyurethane, Coating agent, Friction coefficient, Noise property

[†] Corresponding author: Yong-Sung Kim (yskim99@empas.com)

1. 서론

폴리우레탄은 우수한 내마모성과 탄성을 가지고 있으며 폴리올과 이소시아네이트의 화학적조성과 함량 그리고 합성 방법에 따라 물성 조절이 가능하며, 접착제, 도료, 방수제, 코팅제 등 다양한 산업분야에 이용되고 있다[1,2]. 특히 폴리올 중 폴리카보네이트디올은 내열성, 내후성, 내수성 및 내알칼성이 우수하다고 알려져 있다[3]. 폴리우레탄은 합성 시 hard 세그먼트의 함량을 증대함으로써 폴리우레탄 사슬의 이동성을 제한하여 신율을 감소시키고 인장강도를 증가시킬 수 있다[3]. 폴리실록산은 낮은 반응성, 높은 유연성과 가스 투과성, 낮은 표면 에너지 및 UV 흡수성, 높은 열 안정성 및 우수한 생체 적합성, 발수성, 전기절연성, 내한성, 내약품성, 투명성이 뛰어나기 때문에 광학 기기, 디스플레이, 전극 등의 첨단 제품 소재의 코팅제 및 전기, 전자 보호 응용 기술 제품에 자주 사용되고 있다[4-6]. 또한 전기, 전자, 광학 제품 및 자동차 어플리케이션에 있어 굽힘 및 충격에 노출되고 장기적인 내스크래치성이 요구되고 있는 분야에서도 폴리실록산의 코팅을 적용하고 있다[7]. 자동차 부품 중 고무제품들은 밀폐성과 내구성을 향상시키기 위해서 ethylene propylene diene monomer (EPDM), 또는 ethylene propylene monomer (EPM) polymer 등의 탄성이 우수한 재료를 많이 사용되고 있다. 이런 소재들이 적용될 때는 표면의 마찰력 제어기술이 적용되어야 한다. 즉, 마찰저항 감소, 노이즈 감소 등 표면에서 발생하는 특성을 조절하는 것이 중요하다[8-10]. 특히, 자동차에 사용되는 탄성소재는 앞유리와 같은 고정된 창이나, 도어 등의 개폐 부위에 사용되어 비, 바람, 먼지, 오물 등의 실내 유입을 방지함과 동시에 외부로부터의 소음을 차단하고 도어 부분의 진동을 차단하는 역할을 수행하기에 이런 탄성소재에 코팅되는 코팅제 또한 탄성체의 특성과 열적, 기계적 특성, 내한성, 슬립성 등의 물성을 가지고 있어야 한다. 이런 다양한 종류의 물성을 코팅제들이 가지고 있어야 하기에 최근에는 실리콘과 아크릴 공중합체, 실리콘과 폴리우레탄의 공중합체, 실리콘과 에폭시 공중합체에 대한 연구가 진행되고 있다[11-13]. 현재 코팅제 조성물로는 기계적 특성을 위해서 폴리우레탄을, 슬립성 및 열적 특성을 위해서 폴리실록산을 적용하고 있지만, 특히 최근에는 전기자동차 및 수소자동차가 판매되면서 노이즈 발생 방지에 대한 기술도 부각되고 있다.

본 연구에서는 코팅 조성물로서 합성한 수분산 폴리우레탄, 폴리실록산, UHMWPP 분말을 주성분으로 하여 저경도 탄성소재표면에 대한 노이즈 발생 감소 등 여러 가지 물성을 확인하였다[14,15].

2. 실험

2.1. 시약 및 재료

본 연구에서는 수분산 폴리우레탄을 합성하기 위하여 polycarbonate polyol (PCD, 1,000 g/mol, 2,000 g/mol, Asahi-Kasei, 3,000 g/mol, Kuraray), 2,2-Bis(hydroxylmethyl) propionic acid (DMPA, 134.13 g/mol, Perstorp), Isophorone diisocyanate (IPDI, 222.29 g/mol, Evonik)는 정제없이 사용하였고, 용매로는 1-Ethyl-2-pyrrolidone (NEP, Sigma-Aldrich)는 4Å 분자체를 이용하여 수분을 제거하여 사용하였다. Triethylamine (TEA, Sigma-Aldrich)은 정제없이 사용하였다. aminoethylaminopropylmethylsiloxane-dimethylsiloxane copolymer (viscosity = 1,000 cPs/25°C Dow Corning), hydroxy terminated polydimethylsiloxane (viscosity = 20,000 cPs/25°C, Dow Corning)은 정제없이 사용하였다. 폴리머 성분 외 조성물로는 카본블랙, UHMWPP 분말(평균 입자사이즈(D₅₀)=10 μ m, Mw=1,000,000g/mol, 대한유화(주)), 소광제, 소재 습윤분산제, 침강방지제, 소포제를 사용하였다.

2.2. 수분산 폴리우레탄 합성

Fig. 1의 반응 경로에서 보는 바와 같이 2L 분리형 4구 둥근 바닥 플라스크에 PCD, IPDI를 투입 후, DMPA를 NEP에 용해시켜 투입하였다. 200 ppm tin계 촉매를 투입하고 질소 분위기에서 85°C로 반응하여 이소시아네이트 말단 프리 폴리머를 중합하였다. 중합 완료 후 TEA로 중화하고 증류수를 이용하여 이소시아네이트 말단 프리 폴리머를 물에 분산하였다. 물에 분산 후 남은 이소시아네이트는 80°C에서 12hr 동안 물과 반응하여 사슬연장시킨 후, FT-IR 분석을 통하여 이소시아네이트 피크가 사라지는 것을 최종 확인하였다. Fig. 1에 반응 경로와 Table 1에 수분산 폴리우레탄 합성에 사용된 조성물들의 물 비율을 나타내었다.

2.3. 코팅제 제조

중합된 수분산 폴리우레탄과 분산제를 이용하여 미리 분산한 카본블랙, aminoethylaminopropylmethylsiloxane-dimethylsiloxane copolymer, hydroxy terminated polydimethylsiloxane 그리고 UHMWPP 분말, 소광제, 소재습윤 분산제, 침강방지제, 소포제를 사용하여 코팅제를 제조하였다. Fig. 2에 aminoethylaminopropylmethylsiloxane-dimethylsiloxane copolymer, hydroxy terminated polydimethylsiloxane의 구조식을 나타내었고, Table 2에 코팅제의 조성을 나타내었다.

2.4. 물성 평가

수분산 폴리우레탄의 100% 모듈러스, 인장강도, 신율을 측정하기 위하여 20cm×15cm의 이형지에 0.2mm 필러 게이지를 이용하여 1회 코팅 후 100°C, 1시간, 드라이 오븐에

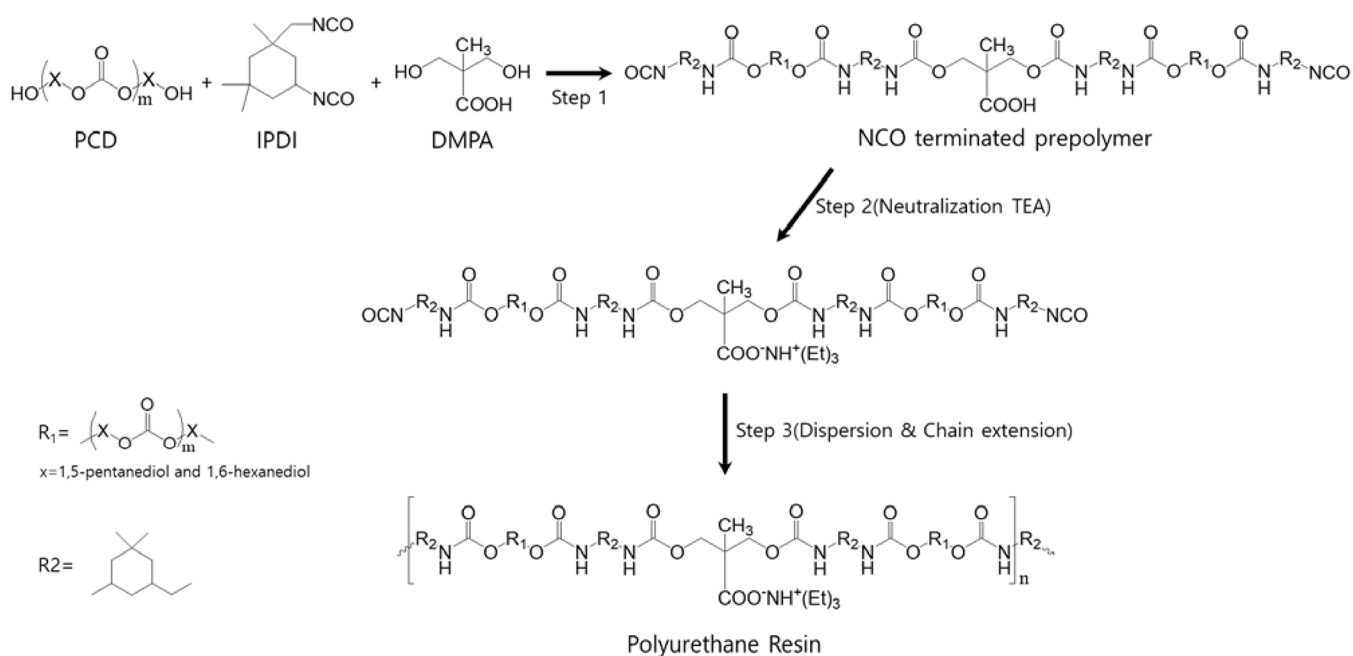


Figure 1. Synthetic process of polyurethane.

Table 1. Composition of the prepared polyurethane

Sample No	PCD		DMPA		IPDI		Segments		NCO%	
	grs	mol	grs	mol	grs	mol	Hard(%)	Soft(%)		
PUD-1										
Mw1,000	25.50	0.02550								
Mw2,000	-	-	1.64	0.01223	11.36	0.05110	33.8	66.2	2.91	
Mw3,000	-	-								
PUD-2										
Mw1,000	12.76	0.01275								
Mw2,000	25.50	0.01275	2.32	0.01730	13.68	0.06154	29.5	70.5	2.91	
Mw3,000	-	-								
PUD-3										
Mw1,000	-	-								
Mw2,000	51.00	0.02550	3.00	0.02237	16.00	0.07198	27.1	72.9	2.90	
Mw3,000	-	-								
PUD-4										
Mw1,000	-	-								
Mw2,000	25.50	0.01275	3.66	0.02729	18.30	0.08232	25.6	74.4	2.90	
Mw3,000	38.26	0.01275								
PUD-5										
Mw1,000	-	-								
Mw2,000	-	-	4.30	0.03206	20.58	0.09258	24.6	75.4	2.91	
Mw3,000	76.50	0.02550								

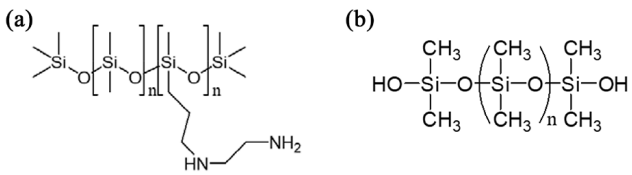


Figure 2. Structures of (a) aminoethylamino-propylmethylsiloxane-dimethylsiloxane copolymer (b) hydroxy-terminated polydimethylsiloxane.

서 건조하여 폴리우레탄 필름을 제조하였다. 제조된 필름을 길이 100mm, 폭 5mm, 두께 0.1mm 시편을 제작하여 만능 인장시험기(UTM, Zwick-1435, Zwick)로 ASTM D412 시험방법에 따라 3개의 시편을 측정하여 평균값을 사용하였다. 분자량 측정은 GPC (1260 series, Agilent Technologies, USA)를 사용하였고 수분산 폴리우레탄의 입자분석은 PSA (LS I3 320, BECKMAN COULTER, USA)를 사용하였다. 수분산 폴리우레탄의 마찰계수와 코팅제 물성평가 때는 경화제로 polycarbodiimide (carbodilite E-02, Nisshibo Chemical Inc.)를 이용하여 중량비로 100:5, 150°C, 10분 경화하였다. 수분산 폴리우레탄과 제조한 코팅제의 마찰계수는 Zins Ziegler SSP-04 (MTRONICS, Germany)를 이용하여, 길이 150mm, 폭 70mm의 도장판에 내부온도 23°C, 상대습도 50±10%, 조건에서 길이 100mm, 폭 30mm 코팅된 탄성시편을 압축하중 2.0±0.2 N으로 누르고, 자동차 부품의 길이방향으로 1~89 mm/s 속도로 20mm 왕복 운동하여 정지 마찰계수와 운동 마찰계수를 측정하였다. 노이즈는 MB dynamics (MB Dynamics Inc., USA)를 이용하여 내부온도 23°C, 상대습도 50±10%, 길이 150mm, 폭 70mm의 도장판에 길이 100mm, 폭 30mm 코팅된 탄성시편을 압축하중 5.0±0.5 N, 자동차 부품의 길이방향으로 3mm 진동하며 소음원으로부터 150mm 떨어진 거리에서 30초 동안 마이크로폰을 이용하여 dry와 wet 조건에서 실제 발생하는 노이즈를 측정하여 진행하였다. dry 조건은 물이 표면을 적시지 않은 조건이며, wet 조건은 도장판과 자동차 부품 사이에 물 2ml로 표면을 적시어 준 상태이다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수분산 폴리우레탄 구조 확인

코팅층을 보호하기 위해서는 코팅층을 이루는 성분이 일정수준 이상의 내마모성을 보유하여야 한다. 코팅층의

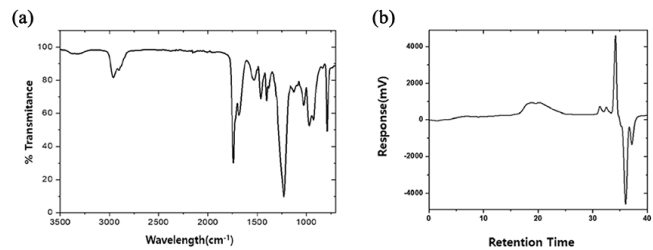


Figure 3. (a) FT-IR spectra of PUD-3 and (b) GPC chromatogram of PUD-3.

내마모성 및 기본 물성을 확보를 위해서는 고분자량의 수분산 폴리우레탄이 합성되어야 한다. 따라서 폴리우레탄의 합성과정에서 말단의 하이드록시기와 이소시아네이트기의 존재 및 소멸여부를 확인하였다. Fig. 3(a)은 수분산 폴리우레탄의 FT-IR 스펙트럼이다. 수분산 폴리우레탄의 스펙트럼에서 2270cm⁻¹의 NCO 피크가 사라졌고 3346~3348cm⁻¹, 1534cm⁻¹에서 우레탄의 NH 특성 피크가 1732~1736cm⁻¹, 1600cm⁻¹에서 폴리우레탄의 C=O 피크가 나타나는 것으로 보아 수분산 폴리우레탄이 합성되었음을 확인하였다. 수분산 폴리우레탄의 분자량은 GPC 크로마토그램으로 확인하였다. Fig. 3(b)의 결과를 보면 PUD-3의 수평균 분자량은 160,600 g/mol, 중량평균 분자량은 451,700 g/mol임을 확인할 수 있었다.

3.2. 수분산 폴리우레탄 기계적 물성

코팅제는 외부 충격과 외부기상 변화에 대해 도장면을 보호해야 하므로 코팅제 조성물 중 폴리머 성분들은 일정수준 이상의 인장강도, 유연성, 내약품성, 내화학성, 내마모성 등의 물성을 가지고 있어야 한다. 폴리우레탄의 경우 내마모성, 인장강도 및 인열강도가 우수하고, 유연성 및 형상기억, 그리고 탄성이 우수한 특성을 가지고 있으며 이러한 물성은 구성 성분들의 조성 및 중합방법에 따라 다양한 결과를 보여주고 있다. 특히 PCD는 PTMG, PCL, polyester polyol에 비해 내열성, 내후성, 유연성, 내수성, 내에탄올성이 우수한 것으로 알려져 있고, IPDI는 코팅, 엘라스토머, 접착제, 실린트 등에 널리 사용되며 폴리우레탄 중합 후 물에 분산 시 분산이 용이한 장점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 수분산 폴리우레탄을 합성하고 기계적 물성을 확인하기 위하여 세 종류의 분자량을 가지는 PCD와 IPDI를 이용하여 수분산 폴리우레탄을 합성하였다. hard/soft 세그먼트 함량을 PUD-1은 33.8%/66.2%, PUD-2은 29.5%/

Table 2. Static and Kinetic friction coefficient of polyurethane (velocity 13 mm/s)

Classification	PUD-1	PUD-2	PUD-3	PUD-4	PUD-5
Static friction coefficient	0.54	0.39	0.28	0.20	0.15
Kinetic friction coefficient	1.01	0.87	0.68	0.54	0.34

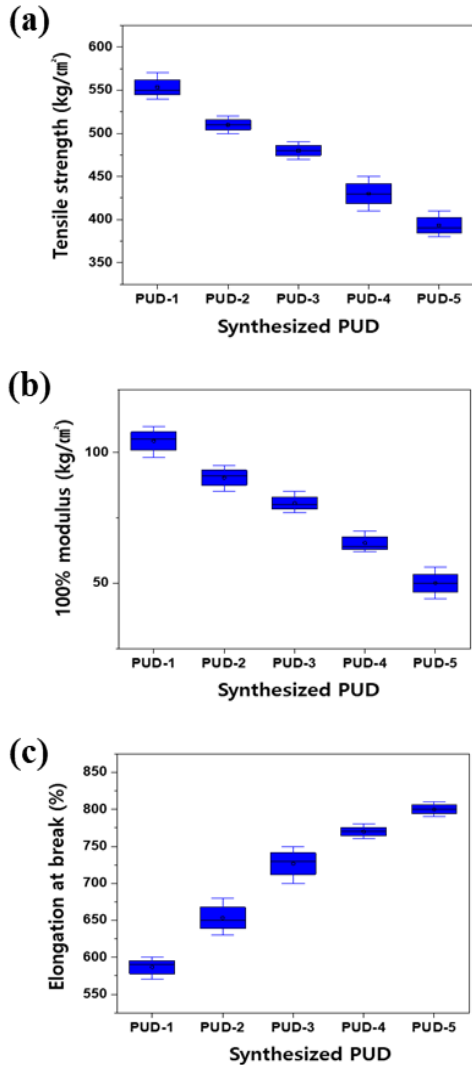


Figure 4. (a) Tensile strength, (b) 100% modulus, and (c) elongation at break of various PUD.

70.5%, PUD-3은 27.1%/72.9%, PUD-4은 25.6%/74.4%, PUD-5은 24.6%/75.4%하였고 이소시아네이트 말단 폴리머에서의 NCO 함량은 PUD-1~5 모두 2.90~2.91%로 하여 물로 쇄 연장하였다. 설계된 조성물의 PCD와 IPDI의 함량비

를 Table 1에 나타내었고, Fig. 4에 수분산 폴리우레탄의 기계적 물성을 나타내었다. PCD 분자량 1,000 g/mol을 단독으로 사용하고 hard/soft 세그먼트의 함량이 33.8%/66.2%에서 가장 높은 인장강도와 100% 모듈러스 그리고 가장 낮은 신율을 확인할 수 있었으며, PCD 분자량 3,000 g/mol을 단독으로 사용한 hard/soft 세그먼트의 함량이 24.6%/75.4%에서 가장 낮은 인장강도와 100% 모듈러스, 가장 높은 신율을 확인할 수 있었다. 이러한 거동은 hard/soft 세그먼트의 함량을 PCD의 분자량을 조절하여 사용함으로써 가능하고 이소시아네이트 말단 폴리머에서 이소시아네이트 함량 변화 없이도 인장강도, 100% 모듈러스, 신율을 조절할 수 있음을 확인할 수 있었다. 코팅제 조성물 중 수분산 폴리우레탄 혹은 유기용제에 녹아있는 폴리우레탄은 우수한 내마모 성능을 나타내지만 마찰계수가 높을수록 노이즈가 발생하는 단점을 가지고 있다. 따라서 코팅제로 적합한 수분산 폴리우레탄을 선택하기 위하여 수분산 폴리우레탄 중 경화제와 100:5로 혼합 후 탄성소재에 코팅하여 폴리우레탄의 도막의 마찰계수를 측정하고 기계적 물성과 비교하였다. PUD-1은 인장강도는 553 kg/cm², 100% 모듈러스는 104 kg/cm², 신율이 587%, 정지마찰계수 0.54, 운동마찰계수 1.12의 결과를 나타내었다. 이는 내마모성은 우수할 수 있으나 코팅표면에서 높은 마찰계수로 노이즈가 크게 발생할 수 있음을 의미한다. PUD-5는 인장강도가 393 kg/cm², 100% 모듈러스는 50 kg/cm², 신율이 800%, 정지 마찰계수 0.15, 운동 마찰계수 0.34로 PUD-1 대비 기계적 물성이 약하여 내마모성은 약하지만 마찰계수가 PUD-1 보다 낮아 노이즈가 적게 발생할 수 있음을 의미한다. 수분산 폴리우레탄의 정지 마찰계수와 운동 마찰계수를 Table 2에 나타내었다.

본 연구에서는 수분산 폴리우레탄의 기계적 물성 평가로 우수한 내마모성과 마찰계수 평가로 노이즈 발생확률이 적은 인장강도 480 kg/cm², 100% 모듈러스 81 kg/cm², 신율 727%, 정지 마찰계수 0.28, 운동 마찰계수 0.68인 PUD-3을 기본 코팅 조성물로 선정하였으며 입자 사이즈, 코팅제의 물성평가를 진행하였다.

Table 3. Compositions of coating agents(wt%)

Sample No.	PUD-3	Amino Siloxanes copolymer	Hydroxy-terminated polydimethylsiloxane	UHMWPP	SiO ₂	Additives	Water
CO-1	15.0	1.0	8.0	3.5	0.5	2.3	70.0
CO-2	15.0	2.0	7.0	3.5	0.5	2.3	70.0
CO-3	15.0	3.0	6.0	3.5	0.5	2.3	70.0
CO-4	15.0	4.0	5.0	3.5	0.5	2.3	70.0
CO-5	15.0	5.0	4.0	3.5	0.5	2.3	70.0

Table 4. Noise of coating agents(sones)

Classification		CO-1	CO-2	CO-3	CO-4	CO-5
-10±2°C	dry	1.24	1.40	1.68	2.01	2.64
23±2°C 50%	dry	0.80	0.84	1.05	1.59	2.27
	wet	0.94	0.98	1.26	1.64	2.01
60±2°C 50%	dry	0.71	0.75	0.97	1.25	1.88
	wet	0.71	0.76	1.01	1.34	2.04

3.3. 코팅제의 물성평가

마찰계수는 물체의 재질과 물체의 움직임에 설명하기 위하여 도입한 것으로 마찰력의 크기는 수직 항력에 비례하게 되는데, 이때의 비례상수가 마찰계수가 된다. 따라서 같은 수직 항력이 작용할 때, 마찰계수가 클수록 마찰력 크기도 커지게 되고, 물체의 재질, 표면의 매끄러운 정도, 윤활제의 유무와 종류에 따라 마찰계수는 달라지게 된다. 일반적으로 마찰계수가 크면 노이즈가 크게 발생하고 마찰계수가 작으면 노이즈가 작게 발생한다고 알려져 있으나, 앞서 정의한 바와 같이 수직 항력, 물체의 재질, 매끄러운 정도에 따라 마찰계수는 달라지게 되므로 실제 노이즈는 마찰계수의 측정만으로는 정확하게 판단하기 어렵다. 따라서 수직 항력 즉 누르는 힘과 마찰자의 운동속도에 따른 마찰계수와 실제로 발생하는 노이즈를 측정하여 이 결과들을 비교 분석하는 것은 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 마찰계수와 노이즈를 측정하여 코팅제 조성물과의 관계를 확인하였다. Table 4에 MB dynamics를 이용하여 발생하는 노이즈를 측정한 결과를 나타내었고 Fig. 5에 제조한 코팅제의 마찰계수 변화를 알아보기 위하여 정지마찰계수와 운동마찰계수의 차이를 측정하여 결과를 나타내었다. aminoethylaminopropylmethylsiloxane-dimethylsiloxane copolymer와 hydroxy terminated polydimethylsiloxane의 함량에 따른 정지마찰계수와 운동마찰계수를 측정하여 마찰계수의 차이를 비교한 결과 마찰자의 속도가 증가함에 따라 aminoethylaminopropylmethylsiloxane-dimethylsiloxane copolymer 대비 hydroxy terminated polydimethylsiloxane의 함량이 많을수록 마찰계수의 차이가 컸으며, aminoethylaminopropylmethylsiloxane-dimethylsiloxane copolymer의

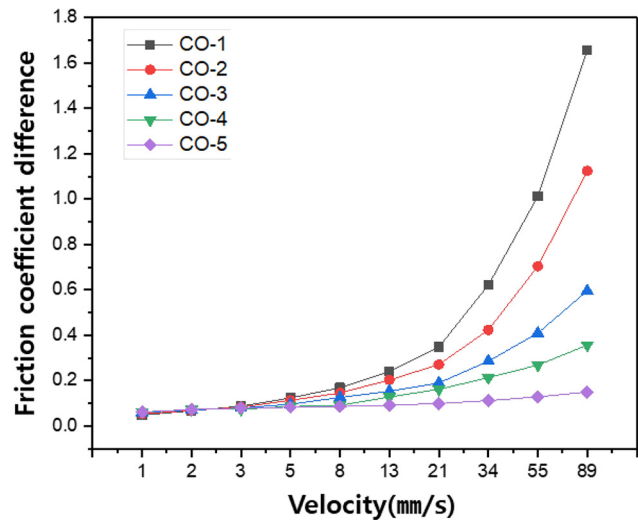


Figure 5. Relationship between velocity and difference in kinetic and static friction coefficients for various coating agents.

함량이 많아질수록 마찰계수의 차이는 적어졌다. 이는 aminoethylaminopropylmethylsiloxane-dimethylsiloxane copolymer의 함량이 많아질수록 슬립성이 증대하여 저속과 고속 모두에서 마찰계수 차이에 영향을 미치지 않는 것을 의미한다. Table 3과 4에서 aminoethylaminopropylmethylsiloxane-dimethylsiloxane의 함량이 증가할수록 노이즈가 크게 발생하는 것을 알 수 있다. 이것을 Fig. 5와 비교해보면 저속에서는 마찰계수의 차이가 적고 노이즈에 큰 영향을 미치지 않으나 마찰자의 속도가 빨라지게 되는 고속에서는 마찰계수의 차이가 클수록 노이즈에 영향을 미치게

Table 5. Noise of coating agents(sones)

Sample No.	PUD-3	Amino Siloxanes copolymer	Hydroxy-terminated polydimethylsiloxane	UHM WPP	SiO ₂	Additives	Wat-er	Gloss (60°)	Noise 23±2°C 50% dry (sones)
CO-2	15.0	2.0	7.0	3.5	0.5	2.3	70.0	2.0	0.84
CO-2-1	15.0	2.0	7.0	3.0	0.7	2.3	70.0	1.7	0.97
CO-2-2	15.0	2.0	7.0	2.5	0.9	2.3	70.0	1.5	1.13
CO-2-3	15.0	2.0	7.0	2.0	1.5	2.3	70.0	0.8	2.10
CO-2-4	15.0	2.0	7.0	1.5	2.0	2.3	70.0	0.4	3.05

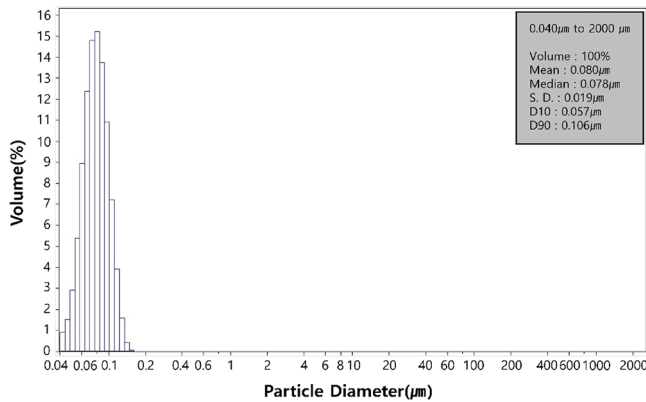


Figure 6. Particle size of PUD-3.

되고 노이즈가 작게 발생한다는 것을 의미한다. 즉 마찰자의 속도가 빠른 고속에서는 마찰면에서의 마찰계수 차이가 커짐으로써 마찰자와 코팅제가 도포된 표면에서의 움직임을 작게 만들고 그 결과로 노이즈 발생이 작아진다는 것을 의미한다.

Table 5에서는 소광제로 사용하는 SiO₂ 및 UHMWPP 분말 함량에 따른 노이즈 결과를 나타내었다. PP소재들이 소광 특성이 있고, SiO₂는 노이즈를 발생시킨다는 것은 이미 알려져 있는 사실이다. 따라서 SiO₂의 함량을 줄이고 UHMWPP 분말로 대체함으로써 노이즈의 발생이 감소되는 것이 확인되었다. 이는 UHMWPP powder가 SiO₂ 대비 구형이고 균일한 입자사이즈를 제공해 줌으로써 코팅면에서의 거칠기를 감소해주기 때문이다.

3.4. 수분산 폴리우레탄의 Particle Size

Fig. 6에서는 수분산 폴리우레탄 입자 사이즈를 나타내었다. 수분산 폴리우레탄의 평균 입자 사이즈인 D₅₀이 0.080 μm이고 D₁₀이 0.057 μm, D₉₀이 0.106 μm으로 확인되었으며, 수분산 폴리우레탄을 기계적 물성을 측정하기 위하여 필름으로 만들었을 때 필름 상태가 안정적이었고 코팅 시 스프레이 장비에 막힘 현상이 발생하지 않는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 내마모성 및 유연성 향상을 위하여 PCD, IPDI, DMPA로 수분산 폴리우레탄을 합성하였다. 마찰자의 운동속도인 저속과 고속에서의 마찰계수 특성을 이용하기 위하여 aminoethylaminopropylmethylsiloxane-dimethylsiloxane copolymer, hydroxy terminated polydimethylsiloxane을 다양한 비율로 혼합하여 코팅제를 제조하였다. 코팅제가 도포된 표면에서의 마찰계수와 노이즈를 측정된 결과, aminoethylaminopropylmethylsiloxane-dimethylsiloxane

copolymer가 많을수록 저속, 고속 모두 마찰계수가 작았고 그 차이도 크지 않았지만 노이즈는 크게 발생됨을 확인할 수 있었다. 이는 마찰계수의 차이는 작지만 진동에서는 반복적으로 발생하는 미끄러지는 슬립성 때문에 노이즈 발생이 커지는 경향을 확인할 수 있었다.

SiO₂를 UHMWPP 분말로 대체함으로써 노이즈 발생이 감소되고 소광특성이 향상됨을 확인할 수 있었다.

Acknowledgement

본 연구는 2023년도 산업통상자원부 및 한국산업기술기 획평가원 연구비 지원에 의한 연구임(20011130, 고강성·저비중 UHMWPP 복합소재 및 내충격성, 내마찰성이 우수한 자동차 응용제품 개발).

References

1. A. Santamaria, I. Fernandes, F. Barreiro, M. Angeles Corcuera, A. Eceiza, *Polymers* **13**(3), 409 (2021).
2. L. D. Agnol, F. T. G. Dias, H. L. Ornaghi Jr., M. Sangermano, *Progress in Organic Coatings*, 154, 106156 (2021).
3. Abhijit. Das, Prakash Mahanwar, *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*. **3**, 93 (2020).
4. E. J. Kim, Y. R. Kwon, Y. W. Chang, D. H. Kim, *Elastomers and composites*. **18**, 57 (2022).
5. Xiaojiao, J., Jiangling, L., Jing, J., Fei, C., Yunxin, F., Lu, Z., Guoqiao, L., Xilin, H., Xiongfa, Y., *ACS Omega*. **6**, 2890 (2021).
6. Yang, X., Liu, J., Wu, Y., Liu, J., Cheng, F., Jiao, X., Lai, G., *Prog. Org. Coat.* **129**, 96 (2019).
7. Vaicekaskait, J., Mazurek, P., Uvdayagiri, S., Skov, A. L., *J. Mater. Chem.* **8**, 1273 (2020).
8. A. S. Fawcett, *Macromolecules* **48**, 6499 (2015).
9. S. Niu *et al.*, *Macromol. Chem. Phys.* **217**, 1185 (2016).
10. T. L. Park *et al.*, *J. Kor. Soc. Precis. Eng.* **35**, 803 (2018).
11. H. Ju *et al.*, *Prog. Org. Coat.* **117**, 118 (2018).
12. Y. Yuan, M. S. Shoichet, *Macromolecules* **33**, 4926 (2000).
13. S. S. Pathak, A. sharma, A. S. Khanna, *Progress in Organic Coatings*, **65**, 206 (2009).
14. M. Zielecka, A. Rabajczyk, K. Cyganczuk, L. Jurecki, *Materials*, **13**(21), 4785 (2020).
15. Y. S. Kim *et al.*, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **688**, 36 (2019).
16. Y. S. Kim *et al.*, *GMLC, Taylor & Francis on line* (2023).