

대전방지제에 의한 폴리에스테르 수지의 표면저항과 인장강도 특성

이전규* · 최환오* · 김은봉** · 김시영** · 주창식*[†]

*부경대학교 화학공학과
608-739 부산시 남구 용당동 산 100
**부경대학교 기계시스템공학과
608-739 부산시 남구 용당동 산 100
(2010년 4월 20일 접수, 2010년 5월 8일 채택)

Surface Resistance and Tensile Strength of Polyester Resin by Anti-static Agents

Jeon-Kyu Lee*, Hwan-Oh Choi*, Eun-Bong Kim**, Si-Young Kim** and Chang-Sik Ju*[†]

*Department of Chemical Engineering, Pukyong National University, San 100, Yongdang-dong, Nam-gu, Busan 608-739, Korea
**Department of Mechanical System Engineering, Pukyong National University, San 100, Yongdang-dong, Nam-gu, Busan 608-739, Korea
(Received 20 April 2010; accepted 8 May 2010)

요 약

선박의 엔진실 등 유증기가 많이 발생하는 위험한 환경에도 적용할 수 있는 대전방지용 폴리에스테르 수지를 개발할 목적으로, 폴리에스테르 수지의 표면저항과 인장강도에 미치는 대전방지제의 영향을 조사하였다. 대전방지제로는 3종의 유기성 대전방지제와 전도성 카본블랙을 단독 혹은 혼합 사용하였다. 이들 대전방지제들의 종류와 첨가량, 그리고 혼합 사용하였을 때의 효과 등에 대한 실험을 수행하였다. 대전방지제의 첨가량이 증가함에 따라 생성되는 폴리에스테르 수지의 표면저항과 인장강도는 전반적으로 감소하였으나, 유기성 대전방지제와 카본블랙을 혼합 사용하여 인장강도가 비교적 우수하면서도 표면저항이 낮은 폴리에스테르 수지를 제조할 수 있었다.

Abstract – In order to develop anti-static polyester resin which may be employed to dangerous circumstance with high organic vapor content, the effect of anti-static agents on the surface resistance and tensile strength of polyester resin were studied. Three organic anti-static agents and a conductive carbon black were adapted and used separately and together. The effects of anti-static agents, their contents, and synergic effect of anti-static agents were experimentally examined. Surface resistance and tensile strength of the polyester resin were decreased with the content of anti-static agents, and polyester resin with low surface resistance and relatively high tensile strength could be prepared by synergic effect of organic anti-static agent and carbon black.

Key words: Polyester, Surface Resistance, Tensile Strength, Anti-static Agent, Carbon Black

1. 서 론

근래에 와서 산업이 급격하게 발달하고 생산 제품이 고급화 기능화 됨에 따라, 특정한 조건에서 특수한 기능을 발휘할 수 있는 다양한 소재 및 부품의 개발이 절실하게 요구되고 있다. 산업에 적용되고 있는 여러 가지 소재 중에서도 고분자 소재는 금속 재료에 비하여 가격이 저렴하고, 가벼우며, 화학적 안정성이나 내식성이 우수할 뿐 아니라 복합소재로의 적용이 용이하기 때문에 많은 관심이 집중되고 있다.

고분자 소재 중에서도 폴리에스테르 수지는 기계적 성질과 내후성 및 형태 안정성이 우수한 것으로 알려져 있다[1,2]. 폴리에스테르

수지는 불포화 지방산과 다가 알코올을 중합하여 선형 불포화 폴리에스테르를 합성하고, 여기에 스타이렌 등의 단량체를 부가반응시켜 안정된 망상구조를 갖게 하는 공정으로 제조된다. 이 부가반응의 과정에서 물이나 알코올 등의 저분자 부산물을 발생시키지 않기 때문에 성형이 용이할 뿐 아니라, 다양한 첨가제를 사용하여 물성을 조절할 수 있어 많은 산업분야에 적용되고 있다. 그러나 폴리에스테르는 전기전도도가 낮고 수분의 흡수량이 낮아 정전기가 쉽게 발생하는 단점을 가지고 있다.

선박에 사용되는 소재는 선박의 특수성에 의해서 일반 산업용과는 다른 물성이 요구되는 경우가 많다. 특히 선박 엔진실의 경우 유증기 등 인화물질의 농도가 매우 높기 때문에, 정전기적 점화로 인한 화재나 가스 폭발이 일어나지 않도록 정전기 발생을 예방할 수 있는 소재를 사용하여야 한다.

정전기를 예방할 수 있는 전도성(즉, 표면저항이 작은) 고분자 소

[†]To whom correspondence should be addressed.
E-mail: csju@pknu.ac.kr

[‡]이 논문은 부경대학교 천재기 교수님의 정년을 기념하여 투고되었습니다.

제를 제조하는 연구는 다양하게 진행되어 왔고, 여러 가지 대전방지제를 사용하는 기법이 보고되어 있다[3]. 이들 연구의 대부분은 고분자 물질의 내부에 대전방지제를 첨가하거나[4-6], 표면에 polypyrrole과 같은 전도성 고분자의 층을 생성시키는 방법[7-9]을 사용하고 있다.

현재 많이 사용되고 있는 유기성 대전방지제로는 4가 암모늄염[5]이나 아민과 같은 이온성 화합물 혹은 폴리그리콜이나 산화에틸렌 유도체들과 같은 친수성 화합물들이 있고, 카본블랙[10]이나 카본나노튜브[11]가 사용되기도 한다.

고분자 내부에 첨가된 대전방지제는 전하의 발생 속도를 감소시키거나 전하의 방전 속도를 증가시키거나 혹은 두 방식을 모두 사용하여 정전기를 해소시키는 작용을 한다. 전하의 발생 속도를 줄이는 과정은 완전하게 이해되어 있지 않지만, 계면활성제의 금속염이 계면에 금속의 층을 형성하고 이 층이 접촉 친밀도를 감소시켜 총 전하의 이동을 일으키기 때문인 것으로 알려져 있다.

그러나 유기성 대전방지제를 사용하는 경우에는 고분자 물질의 표면저항을 감소시켜 대전방지 기능이 부여되기도 하지만, 부수적으로 기계적 성질을 변화시키기도 하기 때문에 이에 관한 연구[9-12]도 보고되고 있다.

이에 본 연구에서는 선박의 엔진실 등 유증기가 많이 발생하는 위험한 환경에도 적용할 수 있는 대전방지용 폴리에스테르 수지를 개발할 목적으로, 폴리에스테르 수지의 표면저항과 인장강도에 미치는 대전방지제들의 영향을 조사하였다. 대전방지제로는 3종의 유기성 대전방지제와 전도성 카본블랙을 단독 혹은 혼합 사용하였다. 이들 대전방지제들의 종류와 첨가량, 그리고 혼합 사용하였을 때의 영향 등을 실험적으로 조사하여 인장강도가 비교적 우수하면서도 표면저항이 낮은 폴리에스테르 수지를 제조할 수 있었다.

2. 실험

본 연구에서 사용한 불포화 폴리에스테르는 Cray Valley Korea사의 G-650B(Y)로, 불포화 폴리에스테르 58~64%에 스타이렌 36~42%가 함유된 것이다. 경화제로는 methylethyleketone peroxide(MEK-PO)를 사용하였고, 유기성 대전방지제로는 비이온계 아민 화합물인 ES-1200, 암모늄염인 ASCO EQ85R(Di-(normpalm carboxylethyl)hydroxyethyl methyl ammonium methosulfate) 및 stearamide 계열의 ASCO SAPDA (N-(3-(dimethylamino)propyl)stearamide)를 각각 사용하였다. 이들 유기성 대전방지제들은 에이케이캠텍주식회사로부터 공급받았다. 무기성 대전방지제로는 신진 C & Tech.사의 전도성 카본블랙인 CHEZACARB B를 사용하였다.

불포화 폴리에스테르 수지에 일정 비율의 대전방지제를 첨가한 후 경화제를 사용하여 경화시키는 방법으로 폴리에스테르 수지를 제조하였다. 경화제 첨가량, 대전방지제의 종류와 첨가량, 그리고 대전방지제의 단독 혹은 혼합 사용 여부 등이 폴리에스테르 수지의 표면저항과 인장강도에 미치는 영향을 조사하였다.

불포화 폴리에스테르 50 g에 0~5 wt%의 대전방지제를 첨가하여 충분히 교반한 후 일정량의 경화제를 첨가하였다. 열경화성인 폴리에스테르 수지는 일단 경화하면 취급이 어려워지므로, 경화가 시작되기 전에 시편 성형용 틀에 주입하여 시험용 시편을 제작하였다. 표면저항 및 인장강도를 측정하기 위한 시편 성형용 틀은 KS M 3015 (열경화성 플라스틱 일반 시험 방법)의 규정에 따라 테플론을 사용하여 각각 제작하여 사용하였다. 상기의 방법으로 제조된 폴리에스테

르 수지 시편들의 표면저항은 항온 항습이 유지된 방에서 표면저항 측정 장치(SIMCO사, ST-3)를 사용하여 측정하였고, 인장강도는 만능재료시험기(Testometric사, M350)를 사용하여 각각 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 경화제 첨가량의 영향

대전방지제의 첨가 폴리에스테르 수지의 표면저항과 인장강도에 미치는 영향을 조사하기 위한 예비 실험으로, 경화제의 첨가량이 이들 물성에 미치는 영향을 먼저 조사하였다. 경화제의 첨가량을 각각 0.5, 0.75, 1.0 및 1.5 wt%가 되게 조절한 후, 표면저항과 인장강도를 각각 측정하여 Fig. 1과 2에 나타내었다.

Fig. 1을 보면, 경화제 첨가량 변화에 따른 표면저항 값은 $10^{13.3}$ ~ $10^{13.4}$ Ω 범위로 거의 일정한 것으로 나타나, 경화제의 첨가량은 생

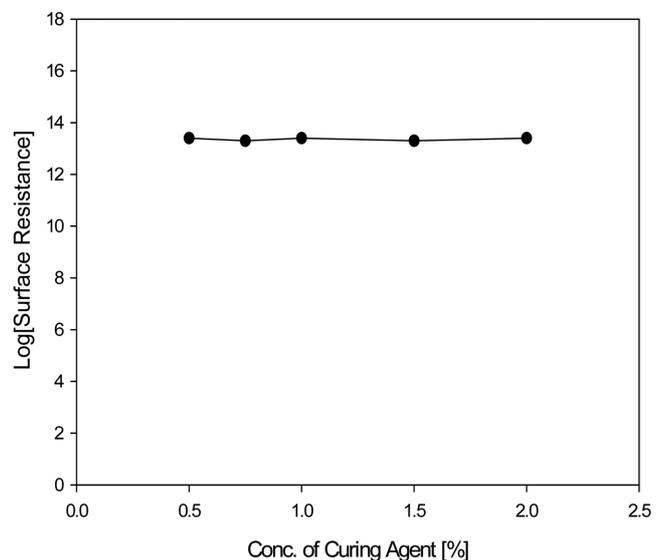


Fig. 1. Effect of curing agent concentration on the surface resistance of polyester resin.

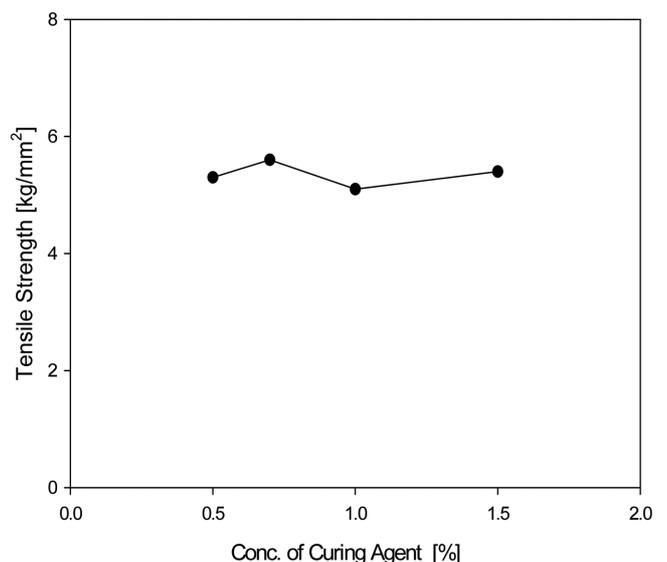


Fig. 2. Effect of curing agent concentration on the tensile strength of polyester resin.

성되는 폴리에스테르 수지의 표면저항에는 거의 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있었다.

경화제의 첨가량에 따른 폴리에스테르 수지의 인장강도 변화를 측정한 결과는 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2를 보면 경화제의 첨가량이 0.5~1.5 wt%까지 변화할 때 생성되는 폴리에스테르 수지의 인장강도는 5.1~5.6 kg/mm² 범위로 일정한 경향성을 나타내지 못하고 있어, 경화제 첨가량의 변화는 생성되는 시편의 인장강도에도 크게 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다.

이러한 실험 결과와 폴리에스테르 수지를 경화시키는 통상적인 공정에서는 경화제를 1.0 wt% 혼합하여 성형시키고 있는 점을 감안하여, 이후 실험에서는 경화제 첨가량을 1.0 wt%로 일정하게 유지하고 다른 첨가제를 혼합하였다.

3-2. 유기성 대전방지제 종류의 영향

고분자 수지의 표면저항을 낮추어 대전방지 기능을 갖게 하는 유기성 대전방지제는 여러 종류가 보고되어 있으나, 수지의 종류에 따라 적용할 수 있는 대전방지제는 달라진다. 본 연구에서는 3종의 유기성 대전방지제를 선택하여 폴리에스테르 수지의 표면저항에 미치는 효과를 조사하였다.

불포화 폴리에스테르에 ES-1200, ASCO EQ85R 및 ASCO SAPDA 등 3종의 유기성 대전방지제를 각각 1.0 wt% 첨가한 후 경화제 1.0 wt%를 사용하여 폴리에스테르 수지의 시편을 제작하여, 이들 대전방지제들이 표면저항과 인장강도에 미치는 영향을 조사하였다.

유기성 대전방지제의 종류가 제조회는 폴리에스테르 수지의 표면저항에 미치는 영향을 나타내고 있는 Fig. 3을 보면, 대전 방지제로 ES-1200이나 ASCO SAPDA의 경우에는 표면저항의 값이 10^{13.3} Ω과 10^{13.1} Ω으로 대전방지제를 사용하지 않은 경우(10^{13.5} Ω)와 비교하여 큰 변화가 없는 것으로 나타났으나, 암모늄염인 ASCO EQ85R을 사용한 경우에는 표면저항 값이 10^{10.5} Ω으로 크게 감소한 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 Gong 등[5]의 연구 결과와도 잘 일치하는 것이다. Gong 등은 폴리에스테르 섬유에 4차 암모늄염(bisquaternary ammonium salt)를 사용하여 대전방지 기능을 크게 향상시킨 연구 결과를 보고한 바 있다.

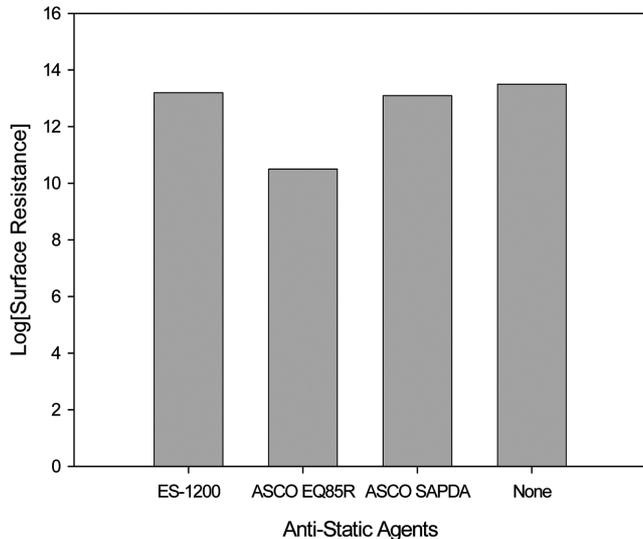


Fig. 3. Effect of organic anti-static agents on the surface resistance of polyester resin.

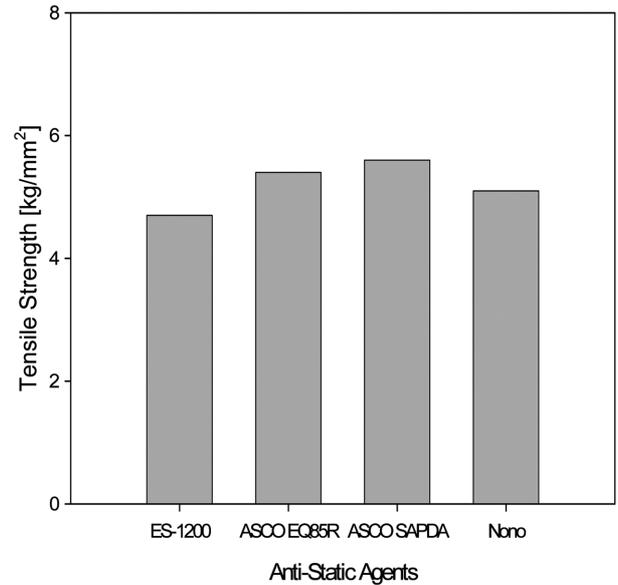


Fig. 4. Effect of organic anti-static agents on the tensile strength of polyester resin.

유기성 대전방지제들이 폴리에스테르 수지의 인장강도에 미치는 영향을 나타내고 있는 Fig. 4를 보면, 폴리에스테르 수지의 인장강도는 유기성 대전 방지제를 첨가하지 않은 시편의 경우 5.1 kg/mm²이지만, ASCO SAPDA를 첨가한 경우의 인장강도가 5.6 kg/mm²로 가장 컸고, ASCO EQ85R을 첨가한 경우가 5.4 kg/mm²이었으며, ES-1200을 첨가한 경우의 인장강도가 4.7 kg/mm²로 다소 감소하였다.

인장강도의 경우에는 ASCO SAPDA를 첨가한 경우가 ASCO EQ85R을 첨가한 경우보다 다소 높은 값을 나타내기는 하였으나, 표면저항에 미치는 영향을 함께 고려하면 ASCO EQ85R을 첨가하는 것이 유리할 것으로 판단되었다.

3-3. ASCO EQ85R 첨가량의 영향

폴리에스테르 수지에 대한 대전방지 효과와 인장강도에 미치는 영향을 동시에 고려하였을 때 3종류의 대전방지제 중 ASCO EQ85R이 가장 우수하였으므로, ASCO EQ85R의 첨가량이 폴리에스테르 수지의 표면저항과 인장강도에 미치는 영향을 실험적으로 조사하였다.

대전방지제 ASCO EQ85R의 농도를 0.5, 1.0, 2.0 및 3.0 wt%로 조절하여 제조한 폴리에스테르 수지의 표면저항 값들을 측정하여 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5를 보면, 폴리에스테르 수지의 표면저항 값은 대전방지제 ASCO EQ85R의 첨가량이 증가함에 따라 점차 감소하는 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 특히 대전방지제의 농도가 2.0 wt%와 3.0 wt%가 되면 폴리에스테르 수지의 표면저항이 각각 10^{9.2} Ω과 10^{8.4} Ω로, 대전방지제가 첨가되지 아니한 수지에 비하여 매우 낮은 것으로 나타났다. 일반적인 플라스틱 제품의 표면저항에 따른 분류법[13]에 의하면, 표면저항이 10⁹ Ω 이하이면 대전이 되지 않은 아주 좋은 상태를 나타내고 10¹² Ω 이상은 대전방지 효과가 전혀 없는 상태를 나타낸다.

ASCO EQ85R의 첨가량이 폴리에스테르 수지의 인장강도에 미치는 영향은 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6을 보면, 폴리에스테르 수지의 인장강도는 ASCO EQ85R의 첨가량이 1.5 wt%가 될 때까지는 지속적으로 증가하다가, 1.5 wt% 이상이 되면 감소하는 경향을 나타내는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 대전방지제의 첨가량이 2.0 wt% 이

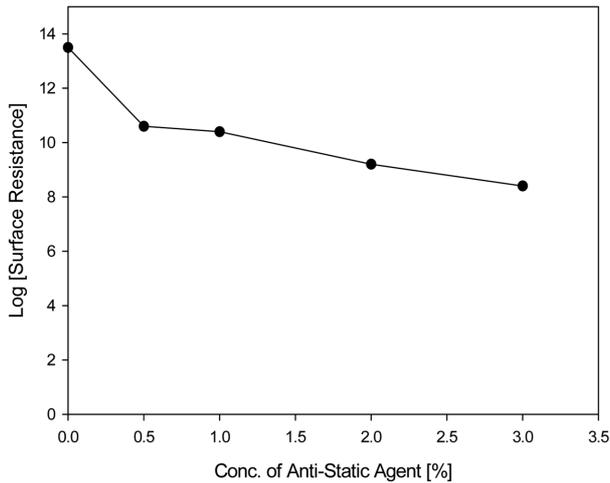


Fig. 5. Effect of concentration of organic anti-static agent(ASCO EQ85R) on the surface resistance of polyester resin.

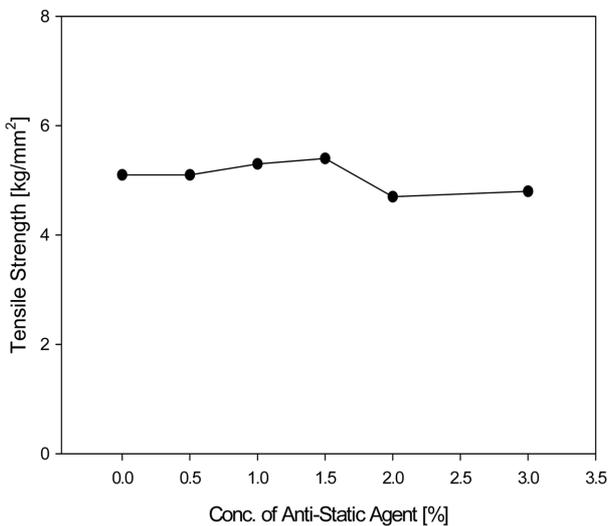


Fig. 6. Effect of concentration of organic anti-static agents(ASCO EQ85R) on the tensile strength of polyester resin.

상이 되면 폴리에스테르 수지의 표면에 나타나기 시작하는 표면층의 영향으로 추정된다.

3-4. 카본블랙의 첨가 효과

고분자 수지의 표면저항을 감소시키기 위하여 사용되는 첨가제로 유기성 대전방지제 외에 전도성 카본블랙이 사용되고 있다. 본 연구에서는 유기성 대전방지제를 일정량 이상 사용할 경우 나타나는 인장강도 감소 문제를 해소할 목적으로, 폴리에스테르 수지에 카본블랙을 첨가하여 폴리에스테르 수지의 표면저항과 인장강도에 미치는 카본블랙 첨가량의 영향을 실험적으로 조사하였다.

Fig. 7은 유기성 대전방지제를 첨가하지 않은 경우 폴리에스테르 수지의 표면저항에 미치는 카본블랙 첨가량의 영향을 나타내고 있다. Fig. 7을 보면, 폴리에스테르 수지의 표면저항은 카본블랙의 농도가 1.0 wt%가 될 때($10^{13.1} \Omega$)까지는 카본블랙을 첨가하지 않은 경우 ($10^{13.5} \Omega$)와 유사한 것으로 나타났다. 그러나 첨가되는 카본블랙의 농도가 2.0 wt%가 되면 폴리에스테르 수지의 표면저항이 갑자기 $10^{8.3} \Omega$ 까지 크게 감소하는 것을 알 수 있다.

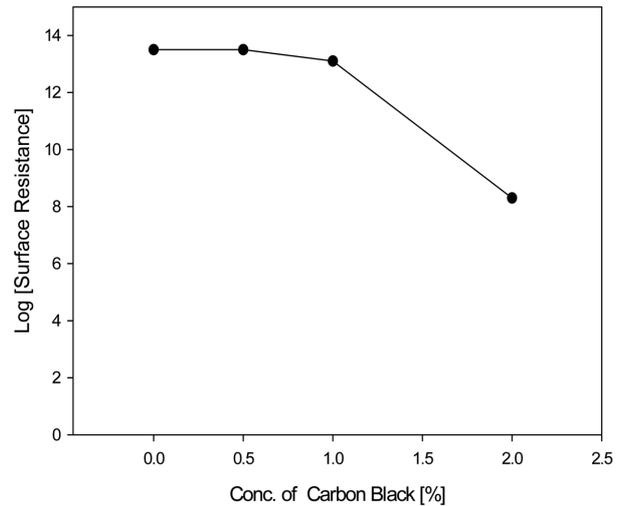


Fig. 7. Effect of concentration of carbon black on the surface resistance of polyester resin.

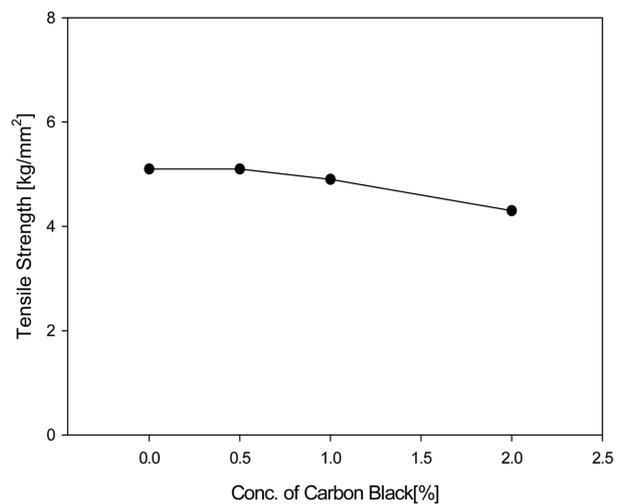


Fig. 8. Effect of concentration of carbon black on the tensile strength of polyester resin.

불포화 폴리에스테르에 카본블랙을 첨가하여 경화시킨 폴리에스테르 수지의 인장강도도 카본블랙의 첨가량에 따라 감소하는 현상이 관찰되었다. 첨가된 카본블랙이 폴리에스테르 수지의 인장강도에 미치는 영향을 나타내고 있는 Fig. 8을 보면, 카본블랙을 1.0 wt% 첨가할 때까지는 폴리에스테르 수지의 인장강도가 크게 감소하지 않으나 2.0 wt%가 되면 4.3 kg/mm²로 크게 감소하였다.

이러한 결과는 카본블랙의 첨가량이 많아지면 표면이 다공성인 카본블랙이 폴리에스테르 수지와 치밀하게 접촉하지 못하기 때문인 것으로 해석할 수 있다. 따라서 폴리에스테르 수지의 표면저항을 감소시키기 위해서 카본블랙만을 첨가하는 것은 생성되는 수지의 인장강도를 크게 감소시키기 때문에 바람직하지 않은 것으로 사료된다.

3-5. ASCO EQ85R과 카본블랙의 혼합 첨가 효과

불포화 폴리에스테르 수지에 대전방지제가 일정량 이상 첨가되면 인장강도가 감소하는 현상을 해소하여 인장강도가 우수하면서 표면저항이 낮은($10^9 \Omega$ 이하) 폴리에스테르 수지를 제조하기 위해서 유기성 대전방지제 ASCO EQ85R과 카본블랙을 혼합 사용하는 공정

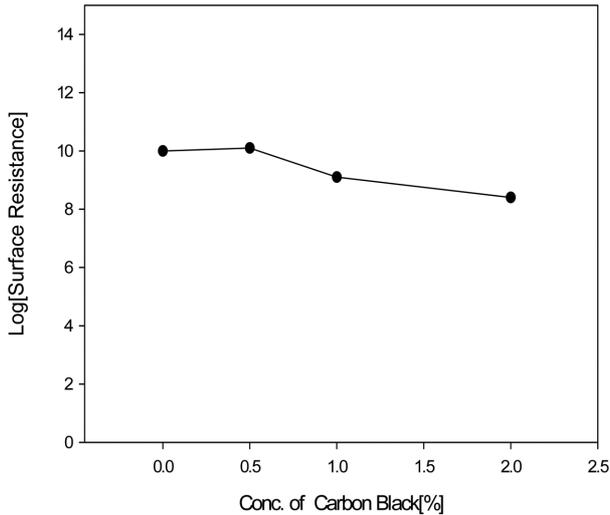


Fig. 9. Effect of concentration of carbon black on the surface resistance of polyester resin (conc. of ASCO EQ85R=1.5 wt%).

을 조사하였다.

Fig. 6에 나타난 것과 같이 ASCO EQ85R의 함량이 1.5 wt%일 때 폴리에스테르 수지의 인장강도가 가장 크므로, 불포화 폴리에스테르에 ASCO EQ85R 1.5 wt%를 혼합한 후 카본블랙을 추가로 혼합하는 방법으로 폴리에스테르 수지를 제조하였다.

유기성 대전방지제 ASCO EQ85R의 함량이 1.5 wt%인 경우 첨가된 카본블랙의 첨가량이 폴리에스테르 수지의 표면저항에 미치는 영향을 Fig. 9에 나타내었다. Fig. 9를 보면, 카본블랙의 첨가량이 증가할수록 생성되는 폴리에스테르의 표면저항은 감소하여 카본블랙의 첨가량이 1.0 wt%, 2.0 wt%가 되면 표면저항이 각각 $10^{9.1}$ Ω과 $10^{8.4}$ Ω이 되는 것을 알 수 있다. 이들 수지의 인장강도는 각각 5.0과 4.6 kg/mm²였다.

이러한 결과로부터 유기성 대전방지제 ASCO EQ85R 1.5 wt%와 카본블랙 1.0 wt%를 혼합사용하면 표면저항은 $10^{9.1}$ Ω으로 대전이 되지 않는 아주 좋은 상태를 나타내고, 인장강도는 5.0 kg/mm²로 대전방지제를 첨가하지 않은 폴리에스테르 수지와 비슷한 값(5.1 kg/mm²)을 나타내는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

우수한 기계적 강도를 유지하면서도 표면저항이 낮아 대전방지 기능을 갖는 폴리에스테르 수지를 개발하기 위하여 수행된 본 연구에서 얻어진 결론들은 다음과 같이 요약될 수 있었다.

(1) 불포화 폴리에스테르 수지의 경화에 사용되는 경화제 MEK-PO의 첨가량은 생성되는 폴리에스테르 수지의 표면저항 및 인장강도에 거의 영향을 미치지 않았다.

(2) 유기성 대전방지제로는 ASCO EQ85R이 생성되는 폴리에스테르 수지의 표면저항을 낮추는데 가장 우수한 성능을 나타내었으며, 인장강도에서도 비교적 우수한 성능을 나타내었다.

(3) 대전방지제 ASCO EQ85R의 첨가량이 증가할수록 생성되는 폴리에스테르 수지의 표면저항은 감소하는 것으로 나타났다. 인장강도의 경우에는 ASCO EQ85R의 첨가량에 따라 증가하다가, 첨가량

이 1.5 wt%에서 최대치에 도달한 후 감소하였다.

(4) 대전방지제로 카본블랙을 사용할 경우, 생성되는 폴리에스테르 수지의 표면저항은 카본블랙의 첨가량에 따라 지속적으로 감소하였으나, 인장강도는 카본블랙의 첨가량이 1.0 wt%까지는 변화가 없다가 그 이상이 되면 감소하였다.

(5) 유기성 대전방지제 ASCO EQ85R 1.5 wt%와 카본블랙 1.0 wt%를 혼합 사용하면 표면저항이 낮고($10^{9.1}$) 인장강도가 비교적 우수한 (5.0 kg/mm²) 폴리에스테르 수지를 제조할 수 있었다.

감 사

본 연구는 지식경제부 부품소재기술개발사업의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Park, Y. H., Park, H. S., Nam, S. W. and Park C. R., "Preparation of Antistatic Polyester Materials and Their Properties (I)," *J. Korean Fiber Soc.*, **29**(7), 54-62(1992).
- Othmer, K., *Encyclopedia of Chemical Engineering*, John Wiley & Sons, New York(1982).
- Ioroi, K. I., "Antistatic Additive for Plastics," *Chem. Eng.*, **70**(4), 211-215(2006).
- Hausmann, K., "Permanent Antistatic Agent Offers Long Term Performance for Films and Containers," *Plastics Additives & Compounding*, **9**(3), 40-42(2007).
- Gong, L., Ni, R., Huang, Y. and Yao, C., "Research on the Antistatic Performance of Bisquaternary Ammonium Salt for Polyester Fabric," *Fangzhi Xuebao*, **29**(5), 72-74(2008).
- Tian, Y., Yu, J., Luo, Z., Chen, X., Liu, Y. and Xiong, Y., "Comparison of Dispersion of Solid and Liquid Antistatic Agents in HDPE and Analysis of Antistatic Effect of Solid/Liquid Antistatic Agents," *Plastic Industry*, **32**(7), 41-43(2004).
- Xu, J., Zeng, X. and Su, H., "Preparation of Waterborne Epoxy Antistatic Coatings with Polypyrrole/SiO₂ as Conductive Agent," *Paint & Coatings Industry*, **35**(6), 30-33(2005).
- Zhou, X. and Liu, P., "Study on Antistatic Modification of Polyurethane Elastomer Surfaces by Grafting with Vinyl Acetate and Antistatic Agent," *J. Appl. Polym. Sci.*, **90**(13), 3617-3624(2003).
- Pan, Y., Zhang, S. P. and Zhou, J. I., "Relation between Antistatic Property and Anti-Corrosion Performance of Antistatic Coatings," *Corr. & Prot.*, **30**(3), 190-192(2009).
- Li, Y., Wang, S., Zhang, Y. and Zhang, Y., "Novel Antistatic and Conductive Polypropylene Composites Filled with Carbon Black," *China Plastics*, **19**(4), 17-22(2005).
- Ma, Q., Zhou, F., Tian, Q., Tang, Y., Li, C., Lu, W. and Tian, F., "Enhancing Antistatic Ability of Three Organic Antistatic Agent by Carbon Nanotubes," *J. Mater. Eng.*, **4**, 24-27(2004).
- Chow, W. S. and Tham, W. L., "Effect of Antistatic Agent on the Mechanical, Morphological and Antistatic properties of Polypropylene/Organo montmorillonite Nanocomposites," *Expr. Polym. Lett.*, **3**(1), 116-125(2009).
- Gachter, R. and Muller, H., *Plastics Additives*, 3rd Ed., p.752, Hanser Publisher, Munich(1990).