

폴리우레탄 기술의 현황 및 미래방향

김도현 화재안전연구소 선임연구원

들어가며

고분자 물질은 우리 주변에서 쉽게 사용되고 있는 의류, 생활용품, 가전용품부터 유택한 삶을 영위할 수 있는 거주 공간 및 운송 수단(항공기, 차량, 열차 등) 등 매우 다양한 분야에 활용되고 있다. 이러한 혁신적인 현대적 고분자의 합성은 그 유명한 나일론 66을 합성(개발)한 미국 듀폰사의 과학자인 월리스 캐러더스(Wallace Carothers)로부터의 시작이라고 할 수 있다. 이렇게 시작된 미국의 나일론 합성은 획기적인 섬유산업의 원동력이 되었으며 이에 경쟁하기 위한 독일의 오토 바이엘(Otto Bayer)은 나일론 합성법을 응용하여 폴리우레탄(polyurethane, PU) 합성을 하였다. 폴리우레탄은 우수한 가공성, 경량성, 경제성 등의 장점을 토대로 각종 산업분야에 광범위하게 사용되고 있으며, 그 예는 이미 시작에 언급한 바와 같이 우리 생활 전반에 친숙하게 녹아있다.

이러한 장점에도 불구하고 폴리우레탄은 고분자 물질 특성상 고온의 열에 노출 시 취약한 변형과 연속적 연소반응을 일으키며 연소 시 발생하는 독성가스와 수트(soot) 그리고 다량의 연기가 발생하는 단점을 갖고 있다. 인류의 삶에 근접한 화합물로서 화재 발생 시 이러한 단점은 인명 및 재산상의 피해로 이어져 특히 건축물 화재발생 시

폴리우레탄(단열재 또는 폼)은 장점이 무색할 만큼 여론의 뭇매를 맞고 있다.

사고사례로서 2008년 이전 냉동창고(코리아 2000) 공사 중 발생한 화재로 40여 명이 사망하고 9명이 부상당한 피해가 있다. 2012년에는 국립현대미술관 신축 공사현장에서 발생한 화재로 근로자 4명 사망, 24명이 부상당한 사고가 발생하였다. 두 사례 모두 사고 원인으로 동시다발적인 시공과정에서의 부주의와 주변 공사장비 등에 따른 고열 축적으로 열적변화에 따른 우레탄 연소의 급격한 확산이 피해를 키운 것으로 조사되었다. 이러한 사고사례의 근본적 원인은 위험한 중복공정 및 준수되지 않은 현장시공, 전기적 요인 등으로 밝혀졌지만 폴리우레탄을 향한 우려의 목소리는 강력해지고 있는 실정이다. 이에 유관 부처에서는 유사사례 방지를 위한 개선방안으로 「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」을 일부 개정하여 각 재료에 대해 화재안전성능 기준을 강화하는 방안을 추진하고 있다. 이에 현 업계 및 학계에서는 그동안 상용화되었던 표면의 알루미늄 박막 또는 별도의 코팅처리 등을 제외할 경우의 성능 및 품질 저하를 우려하고 있는 실정이다.

이 글에서는 폴리우레탄이 국면한 현황과 이를 극복하기 위한 대안으로, 현재 폴리우레탄 기술의 개념과 국민이 안심하고 사용할 수 있는 화재에 안전하며 대중의 품으로 다가갈 수 있는 폴리우레탄(단열재, 폼) 기술개발 현황 및 방향을 간단히 소개하고자 한다.

폴리우레탄 개념 및 현황

폴리우레탄은 알코올(R'-OH)과 이소시아네이트(isocyanate, R-N=C=O)가 부가중합반응(Addition Polymerization Reaction)에 의해 반응열을 발생시키면서 형성되는 화합물이다. 적정 조건 하에 반응하며 생성되는 [-NHCOO-]_n 구조의 화합물질을 우레탄 결합(Urethane Bond)이라고 하며(그림 1), 이러한 결합이 연속된 것을 폴리우레탄(Polyurethane)이라고 한다(그림 2).



그림 1 우레탄 결합(Urethane Bond)

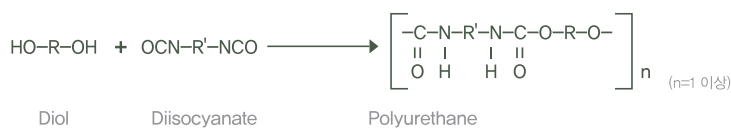


그림 2 폴리우레탄 폼 반응

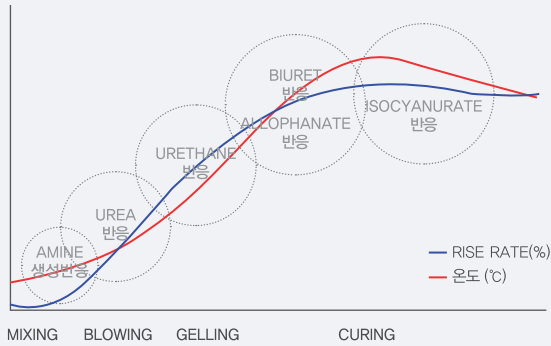


그림 3 폴리우레탄 반응 단계 (금호미쓰이화학, 폴리우레탄 개요)

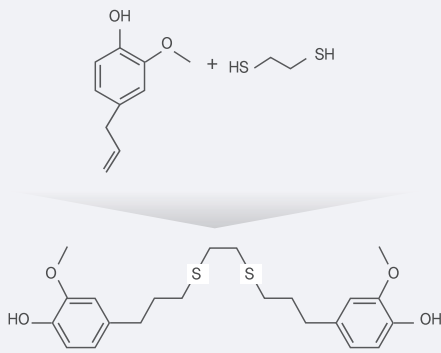


그림 4 난연성 폴리올 구조 및 합성 예시

폴리우레탄 형성에 있어 다양한 단계적 화학적 반응이 수반되어 설명이 필요하지만, 간략히 개념 설명으로 그림 3과 같이 도식화하여 이해를 돕고자 한다.

폴리우레탄에 사용되는 폴리올과 이소시아네이트의 종류는 다양하지만, 반응성, 저비용, 강도 및 탄성 등의 특성을 고려하여 폴리올은 폴리에테르의 폴리프로필렌 글리콜(PPG)과, 이소시아네이트는 MDI(4,4'-Diphenylmethane diisocyanate)를 사용한다. 이외에 폴리우레탄 형성의 부가 첨가물로 화학반응 속도 조절을 통한 혼합물의 폼 물성 변화 및 영향을 위한 촉매(Catalyst), 기포 생성의 균질함을 위한 정포제(Silicone Surfactant), 연소 시 발연과 독성가스 생성을 저해하기 위한 난연제(Flame Retardant), 우레탄 폼 발포를 위한 발포제(Blowing Agent), 분자 간 결합력 강화를 위한 사슬연장 및 가교제(Chain Extender & Crosslinker)가 첨가된다.

폴리우레탄 기술 개발 방향

앞서 설명한 폴리우레탄의 기본 개념은 산업계에서 널리 사용되고 있는 기본 화합물 배합 공식이라고 쉽게 설명할 수 있다. 그러나 화합물의 세부 구조적 변화는 최종 반응 산물의 물리화학적 변화를 나타내고 있어 화재에 안전하면서도 고유의 단열성을 내포하기 위한 폴리우레탄의 기술 개발 방향을 소개하고자 한다.

먼저 기본 구성인 폴리올의 개선으로서 난연성 구조를 포함하는 신규 폴리올 구조를 디자인 및 합성하는 것으로 그림 4와 같은 예시로 접근할 수 있다.

폴리우레탄의 화재안전성능 향상을 위하여 첨가되는 난연제의 대안으로서 종래에 사용되는 인산에스테르계 난연제(TCPP)의 단점(휘발성, 가수분해 문제)을 보완하기 위한 비TCP의 합성(인 및 질소 함량 조절 등)과 이를 폼 형성에 적용하는 기술을 개발할 수 있다.

앞서 신규 난연성 폴리올과 비TCP를 포함하여 화재안전 성능을 극대화할 다양한 무기물(나노실리카, 실리카졸, 에어로겔 등)과 난연제(팽창층, 수산화알루미늄, 수산화마그네슘 등)를 조합하며 적절한 촉매 및 반응 산물을 포함하는 유기 하이브리드 폴리우레탄을 최종적으로 개발하는 것으로, 화재에 안전하여 국민 모두가 안심하고 사용할 수 있는 폴리우레탄의 폭넓은 상용화를 기대할 수 있다.

폴리우레탄 기술 미래 방향

폴리우레탄은 건축용 화재 분야의 기술 개선을 넘어 혁신적 응용 개진에 따라 적용될 수 있는 활용처로는 합성피혁, 스판덱스, 코팅류, 가전 냉장고, LNG 선박, 자동차 내장재, 인공장기 의료 기구용 등이 있으며, 추가적인 융합연구가 필요하다. 더 나아가 지구환경을 고려하여 최근 자연계에서 확보할 수 있는 탄소계 물질인 사탕수수, 셀룰로스, 리그닌 등을 이용하고, 오일류로는 천연유지료 대두, 채종, 피마자 등을 이용한 폴리올로 폴리우레탄을 합성법이 주목받고 있어 더욱 안정적으로 높은 완성도의 폴리우레탄 합성연구가 추진되어 산업체에 적극 활용될수 있는 미래지향적 기술 개발 발전을 기대한다. [K]

참고자료

- 경질 폴리우레탄 폼 제조에 있어서 촉매와 이소시아네이트가 미치는 영향, 2003, 김효주 외
- 새로운 인계 난연제 합성과 이를 이용한 경질 폴리우레탄 폼의 난연성 연구, 2016, 이병준 외
- 폴리우레탄 개요, 금호미쓰이화학