

UV 경화제의 최근 개발동향

장진호 · 구광희

금오공과대학교 신소재시스템공학부 섬유패션공학전공

1. 서 론

조사경화는 많은 분야에서 에너지, 공간, 비용을 절감할 수 있고 휘발성 유기물질을 사용하지 않아 환경친화적 기술로 고려된다. 조사경화에 사용할 수 있는 새로운 물질은 제품의 성능을 향상시키고 새로운 적용분야를 개발할 수 있게 한다. 조사경화에서는 액체에서 고체로 경화하기 위해 대부분 자외선(UV) 또는 전자빔 조사에 의해 중합공정을 개시한다¹⁾. 자외선 경화제의 조성으로는 올리고머(프리폴리머), 반응형 희석제(모노머), 광개시제 등이 필수적이다. UV 경화에서는 고분자량의 수지가 아니라 짧은 사슬의 올리고머(oligomer)를 사용하며 올리고머에 따라 반응성, 광택, 부착성, 내화학성, 내굴힘성, 내마모성, 황변 등 코팅의 전체적 물성이 결정된다. 올리고머는 유사한 반응성을 갖는 모노머(monomer)에 용해시킨다. 모노머는 종종 저가이고 다목적으로 사용된다. 그렇지만 저 점도를 요구하는 용도에서는 조성 내에 다량의 모노머가 사용되기 때문에 이에 의해 물성이 결정된다. 모노머는 분자 내에 하나의 관능성기나 불포화기를 갖는 단 관능성이거나 다 관능성이다. 일반 코팅에서 공통적으로 용제가 대기로 배출되지만 관능성기를 갖는 모노머는 반응을 통해 경화물의 일부로 된다. 세 번째로 광개시제(photoinitiator, PI)가 있는데, UV를 흡수하여 자유라디칼이나 이온을 발생시키고 이 활성종이 올리고머나 모노머의 중합과 가교를 가능하게 한다. 또한 착색을 위한 안료나 첨가제가 사용되는 데 첨가제는 저장 중 겔화방지제, 탈포제, 부착 증진제, 습윤제 등의 역할을 한다. 주로 사용되는 중합공정은 라디칼 반응과 양이온 중합이 있고 두 방법이 적용분야에서 약 90%를 점유한다. 다른 형태의 반응은 특수화된 분야로서 스크린 프린팅, 빛에 의한 고리형 부가

반응 등이 있다. 라디칼 반응의 단점은 산소의 의해 중합이 억제되어 표면이 경화되지 않는 것이다. 이는 광개시제 낭비와 코팅의 열적 또는 광화학적 불안정성을 야기한다. 일반적인 라디칼 경화형 코팅에는 아크릴레이트와 메타크릴레이트를 주로 이용된다²⁾. 반면 양이온 경화제는 주위 습기에 민감하고 중합 물질과 광개시제에 제한이 있고 라디칼 경화계보다 고가이다. 또한 양이온 시스템은 강한 친핵성 물질 존재 시 경화능이 낮고 사용가능한 색소도 제한된다. 양이온 시스템은 조사 후 암 조건에서도 경화가 일어나는 장점이 있어 적외선 램프와 같이 사용되기도 한다. UV 경화에는 유전극 또는 무전극 중압수은 램프가 사용되는데 불순물로 Fe, Ga 등을 넣어 사용자에게 적합한 넓은 스펙트럼을 갖도록 할 수 있다. 그리고 열관리 시스템과 반사경 디자인이 중요하다³⁾. 열에 민감한 재료를 코팅할 때 램프에 의해 생성된 열을 효과적 제거가 필요하였고 새로운 반사경 시스템이 제안되고 있다⁴⁾.

현재 불활성 가스인 질소 분사장치를 UV 조사 직전에 시료에 근접하게 배치하면 경화에 필요한 UV 조사량과 광개시제의 양을 줄일 수 있어 발생 열과 비용을 감소시키고 코팅 품질도 향상된다^{5,6)}. 일부 경우에는 질소 도입으로 개시제를 첨가하지 않고도 아크릴레이트를 경화할 수 있다^{7,8)}. UV 경화의 재현성을 향상시키기 위해서는 광량계를 설치하여 램프 출력을 계속적으로 관찰하는 바람직하다⁹⁾. 전자빔 경화 장치의 경우 더 낮은 가속 전압을 사용하여 비용 절감과 신뢰성을 향상시키고 있다¹⁰⁾. 이러한 장치는 접착제 생산과 그래픽 인쇄산업에서 유용하게 쓰인다^{11,12)}.

전자발생 시스템이 기밀된 장치 안에 있어 고진공을 유지 필요성을 제거한 인상적으로 낮은 비용의 시스템도 있다¹³⁾. 이 시스템은 에너지 효율이 높다고 한다. 일반적인 중압 수은램프는 적

외선을 방출하므로 이색성 반사경 또는 열 필터를 사용해 열에 민감한 재료의 손상을 줄여주는 것이 필요하다. UV 경화장치 분야에서 최근 도입되고 있는 엑시머 램프는 좁은 발광 파장 폭을 가지므로 이에 적합한 경화조성물에 한하여 경화에 사용될 것이다.

2. 새로운 UV 경화제

2.1 라디칼 광경화제

광개시제를 사용하지 않는 중합체인 비닐에테르와 말레이미드 광 공중합은 매우 흥미로운데^{14,15)}, 이 반응은 전하이동작용을 통해 일어나고¹⁶⁾, 용이하게 치환할 수 있는 수소를 가진 반응물에 의해 더 쉽게 일어난다¹⁷⁾. 새로운 물질로서 특허에 등록¹⁸⁻²⁰⁾되었지만 말레이미드가 상업적으로 성과를 얻을 수 있을지 알 수 없다²¹⁾. 티올엔반응은 다른 광개시제가 없는 반응이다^{22,23)}. 이 반응은 산소에 의한 중합금지 작용은 없으나 색소가 함유되어 있는 조성의 안정성은 문제이다²⁴⁻²⁵⁾.

최근 발표된 광개시제에 관한 총설과 참고서가 있다^{26,27)}. 수용성이면서 조사경화가 가능한 조성에 대한 관심이 증가되어^{28,29)} 아실포스핀옥시드와^{30,31)} 또 다른 광분해형인 광개시제의^{32,33)} 수분산액이 개발되었다. 아실포스핀옥시드의 파장 민감성은 형광증백제와 같은 증감제를 사용해서 확장될 수 있다^{34,35)}. 아실포스핀옥시드 고분자는 안과용으로 개발되었다³⁶⁾. 비스아실포스핀옥시드는 가시광 영역의 빛을 흡수하므로 UV 차단제와 중합억제제를 함유하는 경화조성에서 개시제로서 사용된다³⁷⁾. 이것은 옥외 사용가능한 UV 경화코팅 제품에 이용될 수 있다. Yagci등이 개발한 부가-절단반응형 광개시제는 블록 공중합체 제조용 광개시제에 관한 많은 특허를 양산했다^{38,39)}. 또한 Fig. 1의 다관능성 광개시제⁴⁰⁻⁴²⁾는 쉽게 조성액에 용해되고 경화된 코팅안에 고착된다.

따라서 이 개시제는 식품 포장에 사용되는 UV 경화용 잉크 또는 접착제로 사용될 수 있는 장점이 있다. 또한 고반응성과 양호한 UV흡수성을 갖는 새로운 베타절단형(Fig. 2(a))도 소개되었다⁴³⁾. 이것의 흡수 파장 민감성은 조성액에 티오잔톤 증감제를 첨가함으로써 개선될 수 있다⁴⁴⁾. 근적외선 조사에 의해 활성화된 개시제는 토목용 복합재료 경화에 사용된다⁴⁵⁾. 일부 백금 복합체는 광촉

매 하에서 히드로시릴화 반응을 한다^{46,47)}. 이니퍼터 개시제는 코팅 산업에서 거의 사용되지 않지만, 센서 제조용 유리에 코팅 등의 특수 코팅에서 사용된다⁴⁸⁾. 또한 새로운 절단형 개시제로 α -amino-enol ether 형태가 있고⁴⁹⁾, 절단 효율이 아주 높아 낮은 강도의 광원으로도 경화될 수 있다. 많은 종류의 잉크에서 이 개시제(Fig. 2(b))의 우수한 성능이 증명되었고 이 물질에 관한 관심이 많다.

라디칼 중합형 반응성 희석제(모노머)와 올리고머에 관한 새로운 경향은 다음과 같다. Hexane-1,6-diol diacrylate는 빠른 경화로 자주 사용되지만 잠재적 증감제일 뿐 아니라 눈과 피부에 자극제가 될 수 있다. 2,4-diethyloctane-1,5-diol diacrylate이 대체 물질이 될 수 있다⁵⁰⁾. Calixarene 골격을 갖는 메타크릴레이트는 부착성 증가와 유용한 특징을 갖도록 쉽게 개질될 수 있다⁵¹⁾.

2,2-dimethylol-propionic acid/폴리올의 에스테르화에 의해 제조된 하이퍼브랜치 고분자는 말단기 조절함으로써 쉽게 개질될⁵²⁾ 수 있어 많은 관심을 받고 있다. 이는 산소 금지작용이 거의 없고, 낮은 수축률 등 우수한 특성으로 인해 많이 이용되고 있다⁵³⁾. 다른 것으로 지방족 덴드리머를 들 수 있다⁵⁴⁾. Fig. 3에서 보듯이 sorbate와 acrylate ester의 Diels Alder 반응을 통해 쉽게 하이퍼브랜치 고분자를 제조할 수 있다⁵⁵⁾. 아크릴레이트에 β -케토에스테르를 첨가하여 제조된 수지(Fig. 4)는 광개시제 없이도 경화될 수 있는 장점을 가지고 있다⁵⁶⁾. 아크릴레이트 희석제와 디설피드 그룹을 가지고 있는 많은 올리고머들은 산화제나 환원제 처리에 의해 제거가능한 코팅이 만들어질 수 있다⁵⁷⁾.

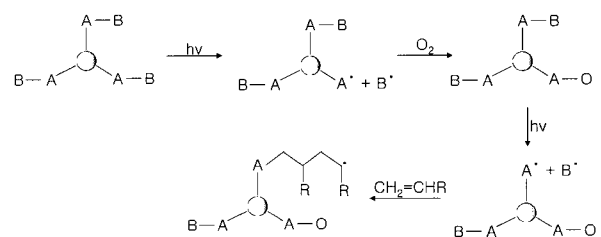


Fig. 1. 다관능성 광개시제¹⁾.

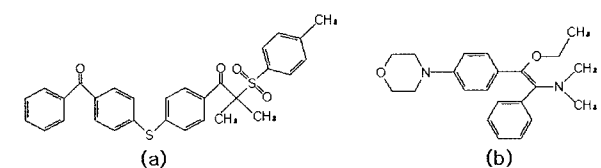


Fig. 2. 라디칼 개시형 광개시제¹⁾.

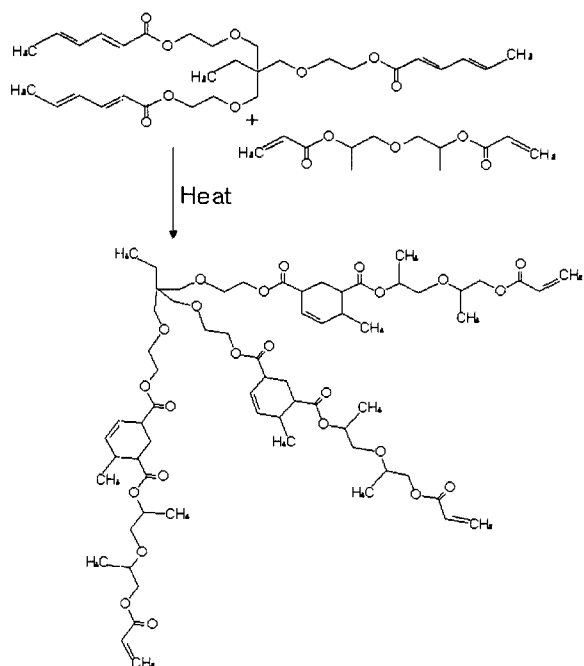


Fig. 3. 하이퍼브랜치 고분자 합성¹⁾.

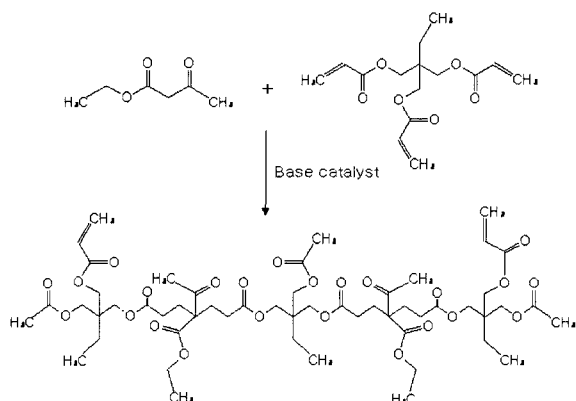


Fig. 4. 무개시제 수지의 제조¹⁾.

2-vinyl-4-hydroxymethyl-1,3-dioxolane과 같은 알릴화합물은 쉽게 폴리에스테르와 폴리우레탄으로 변형될 수 있고 효소를 사용하는 재활용 단계에서 제거될 수 있다⁵⁸⁾. 고리화 반응을 통해 중합되는 디알릴 화합물은 수축을 최소화할 수 있어 많은 기질에 대해 접착력이 우수한 코팅이 될 수 있다⁵⁹⁾. 이 물질은 아크릴레이트와 상용성이 우수하기 때문에 다양한 물리적 특성을 갖는 코팅을 만들 수 있다. 그리고 저점도 폴리아크릴레이트는 접착성 개선과 수축을 감소에 유용하게 이용된다⁶⁰⁾. 또한 일부 무취 티올은 티올엔 반응에서 효과적으로 사용될 수 있다⁶¹⁾. 중합가능한 이관능성 피리돈은 수분에 의해 팽윤할 수 있는 코팅에 사용된다⁶²⁾.

2.2 양이온 광경화제

양이온 중합형 광개시제에 대한 참고문헌이 있지만^{63,64)}, 상업적으로는 오늄염이 가장 많이 사용된다. 이러한 물질의 광분해는 미소량의 벤젠을 생성시키므로 식품포장 분야에 사용하기 곤란하다⁶⁵⁾. 이러한 문제점을 극복하기 위해 di-(4-isobutylphenyl)-4-tolyl-iodoniumhexafluoro phosphate가 개발되었고^{66,67)}, 친유성을 가지는 다른 물질도 있다⁶⁸⁾. 양이온 경화의 주 적용분야는 점착 코팅 생산을 위한 에폭시 실리콘 중합이다. 이 분야를 위해 실록산에서의 용해도가 개선된 새로운 개시제가 만들어졌고 현재 이용가능하다^{69,70)}. 요도늄 염의 조사파장에 대한 민감성은 camphorquinone⁷¹⁾과 squarylium염⁷²⁾ 등 증감제 사용에 의해 증가될 수 있다. 요도늄 염의 분해를 돕기 위해 카바졸과^{73,74)} 페노티아진⁷⁵⁾이 사용된다. 자체 증감제를 갖는 요도늄 염은 액정 접착제 중합용으로 개발되어 있다⁷⁶⁾. 설포늄이 주 사슬의 일부인 고분자 설포늄 염은 방향족 탄화수소에 술폭시드의 친전자성 첨가에 의해 합성된다⁷⁷⁾. 전통적인 오늄염의 대안으로서 페나실과 히드록시술포늄염이 있다⁷⁹⁾. 첨가-절단 반응을 통해서 분해되는 마이클 케톤 유도체도 양이온 경화를 개시하는 것으로 알려졌다⁸⁰⁾.

양이온 중합형 반응성 희석제와 올리고머에 관한 새로운 경향은 다음과 같다. 기름, 지방⁸¹⁻⁸³⁾, 터펜⁸⁴⁾ 등 천연물질로부터 에폭시를 생산하려는 관심이 많다. β-피넨은 노플로 변환되고 이는 양이온 경화가 가능한 물질로 쉽게 변할 수 있다⁸⁵⁾. 디시클로펜타디엔은 또 다른 저가 공급원이다⁸⁶⁾. 에폭시드와 프로페닐에테르 그룹을 동시에 함유하는 화합물은 요도늄 염으로 경화될 때 높은 반응성을 보여준다. 놀랍게도 에폭시드가 프로페닐에테르보다 더 빠르게 경화된다. 유사한 예로 5-norbornene-2-methanol과 tetrahydrobenzyl alcohol은 에폭시드와 프로페닐에테르 관능 그룹을 함유하는 화합물로 전환되었고 유사한 효과가 관찰되었다⁸⁷⁾. 상업적인 적용가능성이 있는 화합물은 1,4-diisopropenylbenzene의 디에폭시드이다⁸⁸⁾. 에폭시 실리콘은 UV 경화용 접착제로 널리 사용되어지고 3,4-epoxy cyclohexylethene의 hydrosilyl화에 의해 제조된다⁸⁹⁾. 이 물질의 졸겔 축합은 말단에 에폭시시클로hex산을 갖는 선형 고분자를 만들고, 효율적인 양이온 경화가 일어난다. 옥세탄에 대한 관심은 3-ethyl-3-hydroxymethyl

oxetane이 상업적으로 이용가능해진 이후 증가하였는데 이 화합물은 많은 다관능성 화합물로 변형되기 때문이다⁹⁰. 이 물질의 에테르는 쉽게 경화되지만^{91,92} 에스테르 유도체는 에스테르기의 유도효과 때문에 경화가 느리다. 히드록시기는 실록산 사슬에 붙이면 감압 접착제용 이형지와 접착제로 사용될 수 있다⁹³⁻⁹⁵. 3-ethyl-3-hydroxymethyl oxetane과 디에폭시드 조합은 에폭시드의 경화성 향상과 단단한 필름생산에 사용된다⁹⁶. 3-ethyl-3-hydroxymethyl-oxetane의 OH기는 메타크릴레이트가 될 수 있고 메타크릴레이트 그룹에 의해 호모 또는 헤테로 고분자로 변환될 수 있고⁹⁷, 이 고분자는 말단에 옥세탄기를 가지고 있어 양이온 개시제에 의해 가교된 고분자로 경화된다. 옥세탄과 에폭시드 그룹은 calixarene에 붙일 수 있고 양이온 개시제에 의해 개시되는 데 이 옥세탄 시스템을 사용한 광중합은 더 높은 반응성을 가진다⁹⁸.

비닐에테르는 코팅 물성을 조절할 수 있도록 에폭시와 함께 혼합할 수 있는 비닐계 양이온 경화형 물질이다⁹⁹. 프로페닐 에테르도 유사한 속도로 경화되어¹⁰⁰, 불균일 구조를 나타내는 필름을 형성하는 데 열처리에 의해 더 균일한 구조가 된다¹⁰¹.

4-methylene-1,3-dioxolane과 같은 비닐에테르는 양이온 경화될 수 있고¹⁰², 또는 이관능성 물질과 혼합하여 필름을 형성하는¹⁰⁰ 폴리 케토에테르이다¹⁰³⁻¹⁰⁵. 메틸렌 디옥솔란을 갖는 올리고머도 제조되었는데¹⁰⁶, 비닐에테르와 유사하게 이런 디옥솔란은 말레이미드와 같이 중합될 때 교대 공중합체를 만든다^{100,107}. 비닐에테르는 아크릴레이트의 희석제로도 사용되며 산소의 중합금지에 대한 민감성을 감소시킨다¹⁰⁸.

음이온 중합형 광개시제 개발은 타 개시제에 비해 다소 느린데 이는 염기 촉매 반응이 느리고, 적절한 시간에 경화가 되려면 열에너지가 필요하기 때문이다. 단파장의 광 조사에 의해 아민을 발생시키는 많은 카바메이트는 미세석판기술용 개시제로 사용된다^{109,110}. 또한 장파장에서 사용할 수 있는 물질의 필요한 데, 이는 phenacylammonium의 butyltriphenylborate염이 광분해되어 아민과 페나실 라디칼을 발생시킨다는 사실을 발견함으로써 충족되었다^{111,112}.

페나실기의 종류가 변화하면 넓은 조사파장 범위에서 민감성을 갖게 할 수 있다. 이러한 물질은 분해시 강한 아민을 발생시키는 페나실암모늄

염 사용으로 흡수파장영역이 더욱 넓어진다¹¹³. 강한 염기는 아민의 아크릴레이트 부가반응 촉매로 사용된다. 이 개시제는 아크릴레이트에 말로네이트의 마이클부가 촉매로도 사용된다¹¹⁴. 부가-절단 반응으로 분해하는 개시제도 이 목적으로 사용된다. 광분해에 의해 페나실암모늄염의 dithiocarbamate염도 염기를 방출한다¹¹⁵. O-아실옥심도 염기를 방출하는 데 중합된 O-아실옥심을 사용하면 다가의 염기를 발생시킨다¹¹⁶. 이 반응은 N-O의 분열로 생성되고 탈카르복시화반응과 라디컬 재결합으로 Schiff 염기가 만들어진다. 발생된 염기의 가수분해는 아민을 발생시킨다.

3. 섬유산업과 UV경화기술

3.1 섬유의 UV 코팅

섬유재료 위에 적용되는 고분자 층은 혁신적인 신제품 개발을 위한 기본 기술이고 새로운 비즈니스 기회를 제공할 수 있다. 코팅은 표면 구조, 활동성, 투과도, 기계적 강도 등 기존 물성에 영향을 미칠 수 있을 뿐 아니라 방염, 방오, 대전방지성, 발수성 그리고 외부환경 대응성 등 기능성을 부여할 수 있다. 기존 섬유산업에서는 용제계, 수계, 고체계(분말 접착제 또는 핫 멜트) 등 세 가지 코팅방식을 사용한다. 기술적으로 코팅의 몇 가지 장점 때문에 유기용제형 코팅은 아직까지 많이 사용되고 있지만 유기 용제가 대기로 증발하여 오존발생을 초래하는 온실효과 때문에 VOC 배출을 감소시켜야하는 문제에 직면해 있다. 발생하는 용제를 제거하기 위한 소각기 사용이 필수적이지만 고비용 문제를 유발하며 이는 사후처리 해결방식이라고 할 수 있다. 용제 배출은 코팅 조성 내 고형분 함량을 증가시키거나 수계 시스템을 사용함으로써 효과적으로 감소시킬 수 있다. 수계 코팅 시스템은 저비용, 우수한 상용성, 고 신축성 코팅 등 장점을 갖지만 약 5%정도 휘발성 용제를 함유하고 있고 수계 코팅 물질은 쉽게 건조되기 때문에 롤러 청소를 피하기 위해서는 계속 운전되어야하고 코팅 부여 후 물을 증발 제거시키기 위해 다량의 건조에너지가 요구된다. 또한 경화를 위해 가스 오븐을 사용하는 경우 온실 가스인 이산화탄소 발생의 단점이 있다. 따라서 최근에는 100% 고체계가 특정 용도에서는 중요성이 증가하고 있으며 이러한 시스템에서

는 폴리에틸렌, 공중합 폴리아미드나 폴리에스테르, 폴리프로필렌, 에틸비닐아세테이트, 열가소성 폴리우레탄 등을 기반으로 한 분말이나 핫 멜트를 사용한다. 이 시스템은 생태계 교란 감소, 재사용, 적은 에너지 소비(건조 과정 생략) 등의 장점이 있고, 단점으로는 기질에 대한 제한, 딱딱한 촉감, 낮은 부착성 등이 있다. 용도로는 주로 카펫 또는 가구용 직물의 뒷면 코팅이나 라미네이팅 용 접착제로 사용된다.

3.2 UV 경화의 특징

세계적으로 환경문제에 대한 인식이 점점 더 심화되고 있는 가운데 지구 온난화, 온실효과, 오존층 파괴, 광화학적 스모그, 공해 및 삼림파괴 등은 이제 일상화된 문제이다. 환경 보호기관과 정부의 보건 및 안전 관련기관 뿐 아니라 수많은 비정부 기구는 건강, 환경, 지구의 미래를 보호하기 위해 지역적으로, 국가적으로 또는 세계적으로 활동하고 있다. 미국 및 유럽 국가들은 특히 대기 오염 문제와 관련하여 규제를 강화하고 있기 때문에 급속도로 새로운 유기용제를 쓰지 않는 코팅기술이 적용되고 있다. 예를 들어 유럽연합에서는 1999년에 “산업설치에 있어 VOC 배출감소에 관한 지침”을 채택하여 유기용제 배출에 대한 기준을 제시하였고 유기용제를 사용하는 업체가 1990년 배출수준의 50%까지 감축하려는 목표를 갖고 있다. 현존 시설의 경우에도 2007년 10월까지 최대 허용 배출기준에 부합해야하고 2004년 이후 건축된 시설의 경우에도 마찬가지로 적용된다¹⁾. 선진국 섬유회사는 노동집약적인 의복 분야에서 경쟁하기가 더 어려워지기 때문에 새로운 산업용 또는 특수 제품을 혁신적으로 개발하여야한다. 이것은 공해억제 필요성과 제조업체가 직면하는 경쟁상황을 이해하여 수익과 현금 흐름을 증가시킬 수 있는 혁신적인 제품과 공정을 사용하기 위해 노력해야한다는 것이다. 자외선 중합은 신제품 개발과 공해 억제라는 두 가지 목적을 달성하는 신기술이라 할 수 있다. UV 기술은 무용제형 액체와 분말의 개발에 성공하였으며 다음과 같은 장점을 갖고 있다.

- i. 신속한 건조: 전통적인 코팅방식인 수계 또는 용제형 코팅은 대부분 증발에 의한 건조방식을 사용하는 데, 이는 수 분이상의 건조시간을 요구하는 매우 느린 방식이다.
- ii. 경화기구가 수계에 비해 약 20% 에너지를 요

구하는 에너지 절감형 공정이다. 또한 UV 경화제는 용제가 없으므로 화재 위험성이 없고, 온실효과 및 오존층 파괴 물질이 발생하지 않는다.

- iii. 기존에는 건조 속도가 제조과정의 최대운전속도를 결정하지만, UV 코팅에서는 매우 빨리 건조하므로 상황이 완전히 달라진다. 최대 운전속도는 최대 코팅 속도 등 타 인자에 의해 결정된다.
- iv. 일반 코팅에서 용제 증발과 산화 등에 의한 점도 증가나 표면 건조 등의 문제가 일어나지만 UV 경화형 코팅 물질은 UV 조사 전 액체이므로 이 문제가 유발되지 않을 뿐 아니라 청소시간을 감소시킨다.
- v. 대부분 100% 반응성 액체나 분말이므로 경화 온도를 조절하기 쉬워 폴리올레핀(PE, PP)과 같은 열민감성 재료에 적용하기 적당하다.
- vi. UV 램프와 반사판은 건조능력에 비하여 매우 작으므로 기존 제조 공정에 부착하기 쉽다. UV 건조 장비 가격은 가스나 오일을 사용하는 타 건조 방식과 유사하다.

3.3 UV 경화제의 안전성

역사적으로 자외선 기술은 눈과 피부 자극을 일으키는 휘발성 모노머를 사용하였지만 현재 사용되는 모노머는 비휘발성이므로 대기 접촉에 의한 자극은 제거되었다. 액체와의 접촉은 민감한 사람의 경우 아직도 자극 또는 알러지를 일으킬 수 있다. 앞치마, 장갑, 마스크, 고글 등 적당한 보호복과 일반적인 안전 규칙이 적용된다면 작업자에게 안전하다.

UV 경화에 사용되는 자외선 램프는 피부나 눈에 화상을 일으킬 수 있지만 적당한 기구(UV 필터, 고글, 보호복)로 방지할 수 있다. 적외선 조사는 과열을 초래할 수 있으므로 UV경화가 중지되면 램프를 자동적으로 꺼야한다. 오존은 자외선 램프에서 발생하는 유일한 부산물이다. 이는 산소가 254nm의 자외선에 노출되었을 때 발생하고 오존은 눈, 코, 목에 대한 자극을 일으키고 고농도에서 두통과 현기증, 가슴 통증, 기침 등을 일으킬 수 있다. 무 오존 발생 UV 램프나 질소 충전을 사용하면 방지가능하고 오존은 냉각 송풍기에 의해 효과적으로 배출할 수 있다. 매우 불안정한 오존은 빠르게 산소로 바뀌지만 외부로 배출할 때는 관련 기관의 규제에 부합하여야한다.

참고문헌

1. R S Davidson and R J Holman, *Rev. Prog. Color.* **33**, 52(2003).
2. G Webster, G Bradley and G Lowe, *A Compilation of Oligomers and Monomers* (Edinburgh: SITA Technology Ltd. 2001).
3. J Raymont, *RadTech Rep.*, **16**(3), 14(2002).
4. F Zinnbauer, *Asia Pacific Coating*(Aug) **16**(2001).
5. J Walia, *Proc. 6th Conf. Creative Adv. Coat. Technol.* Nuremberg, Germany, 175(2001).
6. J Walia and D Skinner, *Surf. Coat. Int. Part A*, **85**(A5), 192(2002).
7. N Lambert, A Strachan, R Wallis and V Wright, *WO 9906489* (Perstorp Ltd: 1999).
8. T Scherzer, W Knolle, S Naumov and R Mehnert, *Proc. RadTech Eur.*, Basle, Switzerland, 225(2001).
9. A Ridtard, *Proc. RadTech North Am.*, Indianapolis, USA, 515(2002).
10. U Lauppi, *Polym. Paint Col. J.*(May) **26**(2000).
11. I Rangwalla and E F Maguire, *RadTech Rep.*, **14**(3), 27(2000).
12. A Dard, *Proc. Paint Res. Assoc. Conf. Radcure Coat. Inks*, Harrogate, UK(2000).
13. E Berejka, T Felis, K Felis and T Avnery, *Proc. RadTech North Am.*, Indianapolis, USA, 919(2002).
14. C Decker, C Bianchi, F Morel, S Jonsson and C Hoyle, *Proc. RadTech Eur.*, Berlin, Germany, 447(1999).
15. I Bovell, R S Davidson and C J Mead, *Proc. RadTech Eur.*, Basle, Switzerland, 207(2001).
16. J von Sonntag, D Beckert, W Knolle and R Mehnert, *Radiat. Phys. Chem.*, **200**, 1005 (1999).
17. K Viswanathan, S C Clark, C Miller, C E Hoyle, S Jonsson and L Shao, *Polym. Prepr.*, **39**(2), 644(1998).
18. A A Dias, J F G A Jansen and M van Dijk, *Proc. RadTech Eur.*, Berlin, Germany, 473(1999).
19. S Yoshinobu, M Atsushi, Y Hisatomo, I Hidenobu and K Katsuji, *EP 0878482* (Dainippon Ink & Chemicals; 1998).
20. J Ericsson, *WO 0168602*(Perstorp Flooring AB; 2001).
21. R S Davidson, *PRA RadNews*, (36) 19(2001).
22. R S Davidson, *PRA RadNews*, (37) 18(2001).
23. S Jonsson, D Yang, K Viswanathan, E Shier, C Hoyle, K Belfield and K Lindgren, *Polym. Prepr.*, **42**(2) 703(2001).
24. T M Roper, K L Rhudy, C M Chandler, C E Hoyle and C A Guymon, *Proc. RadTech North Am.*, Indianapolis, USA, 697(2002).
25. B K Christmas, H Ho, T Ngo and D Brenes, *Proc. RadTech North Am.*, Indianapolis, USA, 712(2002).
26. J P Fouassier, *Curr. Trends polym. Sci.*, **4**, 163(1999).
27. K Dietliker, *A Compilation of Photoinitiators* (Edinburgh: SITA Technology Ltd, 2002).
28. R S Davidson, *PRA RadNews*, (39) 23(2001/2002).
29. D Stirner and T Vester, *PRA RadNews* (40) 17(2002).
30. M Koehler, M Holer, M B Aebli and E Eckstein, *WO 0129093* (2001).
31. S Megert, M Koehler, D Rogez, M Burglin and A Litzler, *Proc. Paint Res. Assoc. Conf. Radcure Coat. Inks*, Harrogate, UK(2000).
32. M Visconti and M Cattaneo, *Prog. Org. Coat.*, **40**(1-4), 243(2000).
33. M Visconti and M Cattaneo, *Proc. RadTech North Am.*, Baltimore, USA, 1057(2000).
34. W A Wilczak, *U.S. Pat. 5707781*(Bayer AG; (1996)).
35. W A Wilczak, *Proc. RadTech North Am.*, Baltimore, USA, 570(2000).
36. K A Hodd, K A Dillingham, J De Groot and H Haitjema, *WO 0055214* (2000).
37. A Valet, *Prog. org. Coat.*, **35**, 223(1999).
38. E D Gunersel, Y Hepuzer and Y Yagci, *Angew. Makromol.*, **264**, 88(1999).
39. R S Davidson, *PRA RadNews* (40) 19(2002).

40. D R Illsley, A A Dias, R S Davidson and R E Burrows, *WO Pat. 9717378*(Coates Brothers plc; 2001).
41. R Burrows, R S Davidson and D R Illsley, *Proc. Paint Res. Assoc. Conf, 'Materials and Markets'*, Stockport, UK(2002).
42. S Herlihy, *Proc. RadTech North Am., Indianapolis, USA, 413*(2002).
43. M Visconti, M Cattaneo, E Meneguzzo and G Li Bassi, *Proc. RadTech Eur., Berlin, Germany, 117*(1999).
44. J P Fouassier, X Allonas, J Lalevee and M visconti, *J. Polym. Chem. Part A, 38, 4531* (2003).
45. H Sendai, T Kadota, S Sugita, H Kamata and T Watanabe, *EP 0922727*(1999).
46. T Mayer, D Burget, G Mignani and J P Fouassier, *J. Polym. Sci., 34, 3141*(1996).
47. M D Butts, *U.S. Pat. 6127446*(General Electric; 2000).
48. L Liang, P C Rieke, G E Fryxell, J Liu, M Engehard and K L Alford, *J. Phys. Chem. B, 104, 11667*(2000).
49. R S Nohr and J G MacDonald, *WO 9962962* (Kimberly Clark; 1999).
50. W Paulus, R Koeniger, M Kahmen and D Kratz, *DE. 19826715* (BASF; 1999).
51. M M Iyo, K Tsutsui, A Kameyama and T Nishikobo, *J. Polym. Chem. Pt A, 37, 3071* (1999).
52. M Johansson and A Hult, *Proc. Conf. Waterborne, High Solids Radcure Technol., Frankfurt, Germany*(1996).
53. D James, *Proc. RadTech Eur., Basle, Switzerland, 635*(2001).
54. M Kawashima, M Nakamura and H Tanaka, *EP 0899286*(Toyo Ink Mfg Co.; 1999).
55. R B Fings and M Wend, *Proc. Paint Res. Assoc. Conf, 'Materials and Markets'*, Stockport, UK(2002).
56. M S Sheridan, T M Moy, M L Gould, S Narayan-sarathy, T Marino, A Mejiritski and D Martin, *Proc. RadTech North Am., Indianapolis, USA, 462*(2000).
57. M Andrews and R S Davidson, *Polym. Prepr., 42(2), 791*(2001).
58. R F Kovar, N Orbey, and S Wentworth, *WO 0160870*(2001).
59. S Dailey, K M Blackwood, P E Y Milne, A W Hall, J W Goodby and A G Biggs, *RadTech Rep., 14(4), 28*(2000).
60. A T Slark, M S Chisholm and H C Harte, *Proc. RadTech North Am., Baltimore, USA, 886*(2000).
61. N Rehnberg, A Harden, S Lundmark, A Manea and L Svensson, *Polym. Prepr., 42(2), 701*(2001).
62. L A White, S Jonnson, C E Hoyle and L J Mathias, *Polymer, 40, 6597*(1999).
63. J V Crivello, in *Ionic Polymerisation and Related Processes*, Ed. J E Puskas, NATO Science Series Appl. Sci. Vol. 359(Dordrecht; Kluwer Academic Publishers, 1999) 45.
64. Y Yagci, in *Ionic Polymerisation and Related Processes*, Ed. J E Puskas, NATO Science Series Appl. Sci. Vol. 359(Dordrecht; Kluwer Academic Publishers, 1999) 205.
65. R Holman, *PRA RadNews*(32) 18(2000).
66. R Schulz, J-L Birbaum, J-P Wolf, S Ilg, H Yamoto and T Asakura, *U.S. Pat. 6306555* (Ciba SC Holding AG; 2001).
67. J-L Birbaum and S Ilg, *Proc. RadTech Eur., Basle, Switzerland, 545*(2001).
68. R Eckberg and S Rubinsztajn, *Proc. RadTech North Am., Indianapolis, USA 41*(2002).
69. C Priou and J-M Frances, *Proc. RadTech Eur., Lyon, France, 314*(1997).
70. Y Toba, M Saito and Y Usui, *Macromolecules, 32, 3209*(1999).
71. J V Crivello and M Sangermano, *J. Polym Sci., Part A: Polym. Chem., 39, 343*(2001).
72. H Yong, W Zhou, G Liu, M Z Li and W Erjian, *J. Photopolym. Sci. Technol., 13*(2000) 253.
73. Y Hua and J V Crivello, *polym. prepr., 42(2),*

- 781(2001).
74. T Yamamura, T Tanabe and T Ukachi, *J. Photopolym. Sci. Technol.*, **13**, 117(2000).
 75. J V Crivello, *Polym. Prepr.*, **42**(2), 755(2001)
 76. D Wohrle, A Harlwig, G Schnurpfeil, A Harder and H Schroder, *Polym. Adv. Technol.*, **11**, 739(2000).
 77. A Haryono, K Miyatake and E Tsuchida, *Macromol. Chem. Phys.*, **200**, 1257(1999).
 78. J V Crivello and S Kong. *Macromolecules*. **33**, 825(2000).
 79. J Ahn and J V Crivello, *Polym. Prepr.*, **43**(2), 918(2002).
 80. A Onen and Y Yagci, *Polymer*. **42**, 6681(2001).
 81. G J H Buisman, *Surf. Coat. Int.*, **82**, 127(1999).
 82. D Desai, M Rahim and J L Massingill, *Proc. RadTech North Am.*, Baltimore, USA, 22(2000).
 83. J T Guthrie and J G Tait, *Asia Pacific Coat. J.* (Aug) 11(2000).
 84. J V Crivello, *Polym. Prepr.*, **41**(2), 1849(2000).
 85. J V Crivello and S Liu, *J. Polym. Sci. Polym. Chem. Pt A.* **37**, 1199(1999) .
 86. J V Crivello and S Song, *J. Polym. Sci. Chem. Part A.* **37**, 3427(1999).
 87. S K Rajaraman, W A Mowers and J V Crivello, *Macromolecules*. **32**, 36(1999).
 88. N A Nikolic and R A Schultz, *EP 878472* (1998).
 89. J V Crivello, K Y Song and R Ghoshal, *Chem. Mater.*, **13**, 1932(2001) .
 90. W Carter, *Proc. RadTech North Am.*, Baltimore, USA, 641(2000).
 91. I Igarashi, H Sasaki and T Sanematsu, *JP 11140279*(1999).
 92. H Sasaki, *Proc. RadTech North Am.*, Baltimore, USA 61(2000).
 93. H Suzuki, A Washimi and T Yamamura, *JP 11199673*(1999).
 94. H Suzuki, A Washimi and T Yamamura, *JP 10316757*(1998).
 95. H Sasaki, *Proc. RadTech North Am.*, Baltimore, USA, 735(2000).
 96. A Carroy F Chomienne and J F Nebout, *Proc. RadTech Eur.*, Berlin, Germany 499(1999).
 97. T Sato, T Oki, M Seno and T Hirano, *J. Polym. Sci., Pt A: Polym. Chem.*, **39**, 1269(2001).
 98. T Nishikubo, A Kameyama and K Tsutsui, *J. Polym. Sci., Pt A: Polym. Chem.*, **39**, 1169(2001).
 99. E V Sitzmann, R F Anderson, J G Cruz, M J Proszowski, A B Patel, S A Bratslavsky and D E Vradley, *RadTech Rep.*, **12**(2) 37(1998).
 100. I Bovell, R S Davidson and C J Mead, *Proc. RadTech Eur.*, Basle, Switzerland, 207(2001).
 101. M Sangermano, G Malucelli, R Bongiovanni, A Priora, U Annby and N Rehnberg, *Polym. Int.*, **50**, 998(2001) .
 102. R S Davidson, G J Howgate, F H A Lester and C J Mead, *Proc. RadTech Eur.*, Berlin, Germany, 483(1999).
 103. C Bolln, H Frey and R Mulhaupt, *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.*, **33**, 587(1995).
 104. K D Belfield and F B Abdelrazzaq, *Macromolecules*, **30**, 6985(1997).
 105. K D Belfield and F B Abdelrazzaq, *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.*, **35**, 2207(1997).
 106. H Hartl and R B Frings, *EP 1090916* (Dainoppon Ink & Chemicals; 2001).
 107. E Shier, D Yang, C E Hoyle, S Jonsson and K Belfield, *Proc. RadTech North Am.*, Indianapolis, USA, 450(2002).
 108. M Seufert, H Binder, D J H Funhoff, M Lokai, W Reich, W Schrof, R Schwalm and S Weigunym, *Proc. RadTech North Am.*, Baltimore, USA, 631(2000).
 109. J M J Frechet, *Pure Appl. Chem.*, **64**, 1239(1991).
 110. J F Cameron and J M Frechet, *J. Am. Chem. Soc.*, **113**, 4303(1991).
 111. S Hassoon, A Sarker, D C Neckers and M A J Rodgers, *J. Am. Chem. Soc.*, **117**, 11369(1995).
 112. B Strehmel, A M Sarker, J H Malpert and D C Neckers, *Polym. Prepr.*, **39**(2), 723(1998).

113. V Halle-Goulle, S C Turner and A F Cunningham, *WO 9838195* (Ciba Geigy; 1998).
 114. H Klinkenberg and A Noomen, *WO 0172910*(2002).
 115. H Tachi, T Yamamoto, M Shirai and MTsunooka, *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.*, **39**, 1329(2001).
 116. K Suyama, S Yamaguchi, M Shirai and M Tsunooka, *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.*, **39**, 1708(2001).

저자소개



장진호

1987 서울대학교 섬유공학(학사)
 1992 서울대학교
 섬유고분자공학과(석사)
 1994 영국 UMIST 섬유학(박사)
 2002~현재 금오공과대학교 섬유패션공학과
 교수

Tel. : 054-478-7715; Fax. : 054-478-7710
 E-mail : jh.jang@kumoh.ac.kr



구광희

2004 금오공과대학교
 섬유패션공학(학사)
 2005~현재 금오공과대학교 섬유패션공학과
 석사과정

Tel. : 054-478-7725; Fax. : 054-478-7710
 E-mail : koo0707@empal.com