

# UV 경화기술의 산업적 응용

장진호 · 구광희

금오공과대학교 신소재시스템공학부 섬유패션공학전공

## 1. 서 론

UV 경화는 섬유제품 생산과 공해방지에 있어 새로운 가능성을 제시한다. 전통적인 코팅용 고분자의 주요 용제는 질소산화물과 반응하여 오존을 발생시키는 휘발성 유기물질(VOC)이다. UV 경화형 코팅은 용제를 함유하지 않으므로 대기오염과 화재유발 문제가 없고 경화온도가 낮아 열에 민감한 재료에 이상적이므로, 완전히 새로운 고부가가치 코팅기술이 될 수 있다<sup>1)</sup>.

광중합인 자외선 경화는 1970년대 초에 상업적으로 시작되었고 초기에는 느리게 적용되었지만 20년 이상 급속도로 성장하여 현재 세계적으로 중요한 산업이 되었다. 하지만 섬유산업에서 일반적으로 다양한 직물과 의복에 수지 및 고분자가 처리됨에도 불구하고, 자외선 조사경화는 섬유산업에 서서히 도입되고 있다. 섬유산업에 기존 UV 경화기술을 적용하는 데 곤란한 문제 중의 하나는 고분자 시스템, 구성성분 및 섬유 표면에 적용하는 방법과 관련되어 있다. 대부분의 섬유는 고흡수성이고 표면은 모세관 현상을 가지므로 경화용 고분자물질이 섬유 내부로 흡수되는 단점을 갖는다. 또 다른 문제는 경화된 고분자가 직물 태 및 드레이프에 미치는 영향이다. UV 경화된 고분자는 가교도가 높으므로 의류용에는 부적합한 비신축성과 딱딱함을 발생시킬 수 있다. 최근 새로운 고분자와 경화계의 개발이 섬유산업에 새로운 가능성을 제시한다고 볼 수 있다.

## 2. 산업적 응용 분야

먼저 섬유산업 외 기타 산업에서 기존에 사용되는 분야를 살펴보면 다음과 같다<sup>2)</sup>.

### 2.1 그래픽 아트 분야

많은 인쇄업자들이 UV 경화용 잉크를 특별한 분야로 인식하고 있지만 잉크 분야는 조사경화에 있어 중요한 분야이다<sup>3,4)</sup>. 하이브리드 잉크는 기존 잉크와 UV 경화 잉크를 연결하기 위해 도입되었는데<sup>5,6)</sup>, 이 UV 잉크는 일반적으로 롤러가 있는 기존 인쇄기에 사용되므로 부가되는 장치비용이 없다. 유성수지 잉크에 기초한 UV 경화능이 있는 하이브리드 잉크를 이용하면 인쇄 후 충분히 건조된 후 연속적으로 UV 경화에 의한 광택 작업이 가능하다. 양이온 경화 반응기가 유성수지 말단에 도입된 것도 있다<sup>7)</sup>. 유성수지는 티올과 상용성이 있고 아실포스핀옥시드에 의해 티올-엔반응이 개시되므로 빠른 경화가 일어난다<sup>8)</sup>. 열고정 잉크의 텃인쇄 UV 광택제도 있다<sup>9)</sup>. 플렉소 인쇄는 UV 경화의 고속 생산성 때문에 빠르게 성장하고 있는 분야이다<sup>10)</sup>. UV를 이용한 디지털 프린팅은 상업적인 가능성이 크기 때문에 투자가 많이 이루어지는 분야이다<sup>11-13)</sup>. 양이온 경화를 포함한 수용성 UV 경화용 잉크가 알려져 있다<sup>14,15)</sup>. 또한 안료형 양이온 잉크도 개발되어 있다<sup>16-18)</sup>. UV 경화용 잉크가 표면에 잘 부착시키기 위한 좋은 방법은 광개시제로 고분자 표면을 기능화하는 것이다<sup>19)</sup>. 유리와 세라믹은 접착성 문제가 있지만 어느 정도 해결되었다<sup>20)</sup>. UV 경화는 수표의 안전정보와 바코드 인쇄에 쓰이는 열전사 필름을 만드는 데도 사용된다<sup>21)</sup>.

안료 혼합을 사용한 잉크 경화는 비교적 쉽게 이루어질 수 있다. 잉크안의 안료 농도는 14%에서 25%로 일반적인 페인트와 비교했을 때 낮다. 효과적인 경화를 이루기 위해서는 선택된 광 개시제와 경쟁적인 광흡수가 일어나지 않도록 안료를

선택하는 것도 중요하다. 빛이 잉크 필름을 투과하는 이유는 안료 분자에 의한 UV 산란 때문이다. 하지만 경화 성능은 안료 간 열 흡수 차이 때문에 달라질 수 있다.

## 2.2 나무 및 표면 코팅 분야

최근 코팅액과 나무 성분으로부터 발생하는 휘발성 알데히드 감소에 대한 연구가 진행되었고<sup>22)</sup>, 포장 냄새 문제를 해결하기 위해 질소 불활성화와 고분자형 광개시제 사용이 제안되었다<sup>23)</sup>. 분사코팅 방식에서는 물이나 심지어 용매 조성액이 사용된다. 따라서 일반적으로 경화 전 용매를 제거하는 것이 필요하다<sup>24)</sup>. 이 여분의 에너지 요구 단계가 수성 조성액 사용을 제한한다. 용매 제거 후 코팅이 끈적거리지 않으면 보관이 용이하고 필요에 따라 경화할 수 있다는 장점을 가진다. 폴리우레탄은 일반적인 수분산용 수지로서 사용된다<sup>25,26)</sup>. 수분산 비스아실포스핀옥시드<sup>27)</sup>는 옥외용 나무코팅을 위한 안정제와 UV 차단제를 포함하는 조성에 유용하다<sup>28,29)</sup>. 아크릴화 왁스를 사용하면 광산란이 증가한다<sup>30)</sup>. 코팅의 내마모성과 내긋힘성 개선은 메타크릴화 실리카에 의해 얻어질 수 있다<sup>31)</sup>.

분말코팅은 크게 성장할 수 있는 한 분야이다. 종이, PVC<sup>32)</sup>, 판지, 벽지<sup>33)</sup>와 같은 온도에 민감한 기질과 나무 표면에 적용된다. 중밀도섬유판(MDF) 코팅에서 수분이 경화층 표면의 결점이 되므로 수분함유량은 중요한 인자이다<sup>34,35)</sup>. 이를 극복하기 위해 메타크릴레이트<sup>37,38)</sup>와 비닐에테르/불포화에스테르<sup>39)</sup>를 기초로 한 양이온과<sup>36)</sup> 라디칼 경화제가 소개되어 있다. 비스아실포스핀옥시드는 아세토페논형 개시제와 혼합했을 때 회색을 포함한 안료분말 코팅의 경화에 유용하다<sup>40,41)</sup>. 금속과 폴리올레핀 같은 수분함유율이 거의 없는 기질은 근적외선을 사용할 수 있다<sup>42,43)</sup>. 금속에 UV 경화형 분말코팅을 사용하는 것은 많은 장점을 가지고 있다<sup>44)</sup>. 적용분야로는 전기모터와 자동차 합금 휠 코팅을 포함한다<sup>45)</sup>.

## 2.3 접착제 분야

현재 접착제의 조사경화는 라미네이팅용 접착제<sup>46,47)</sup>, 감압 접착제, 이형지 분야에서 빠르게 확장되고 있다. 접착제는 라디칼 반응 또는 양이온 경화 시스템을 기본으로 한다<sup>48,49)</sup>. 광학 디스크

드라이브 생산에서 UV 경화는 불량품 발생빈도를 감소시킨다<sup>50)</sup>. 라미네이팅 접착제는 광학장치<sup>51)</sup>와 DVD<sup>52)</sup> 제조에 적용되는 데, 양이온 시스템은 발생된 산이 폴리카보네이트 층에 도금한 금속층을 부식시키기 때문에 라디칼 반응이 경화 공정에서 선호되고 있다.

DVD의 경우 디스크 두 층을 접착제로 붙이고 조립한 후에 경화된다. 따라서 경화를 개시하는데 필요한 UV는 폴리카보네이트 층과 금속층을 지나서 통과하여야 한다. 이 경우 자외선이 접착제에 도달하기 위해서는 적합한 광흡수 특성의 개시제와 UV 램프의 발광 파장영역이 중요하다<sup>53)</sup>. 경화공정 변수의 영향과 산소에 의한 중합금지작용에 대해서는 참고문헌에 자세히 설명되어 있다<sup>54)</sup>. 산소의 중합금지 작용은 CD 보호층 경화에 있어 중요하다. 산소 중합금지 작용은 코팅 부여와 경화 전에 수지 내 가스를 제거하거나 조성액의 점도를 높이면 감소시킬 수 있다<sup>5)</sup>.

모노아크릴화된 폴리우레탄 접착제는 상처 드레싱에서 사용된다<sup>56)</sup>. 접착제의 끈끈함을 감소시켜 드레싱 제거 시 고통을 줄이는 데 도움이 되는 독창적인 광반응 시스템도 있다<sup>57,58)</sup>. UV 경화는 일반적으로 핫멜트 PSA와<sup>59)</sup> 접착제 제조에 적용될 수 있다<sup>60,61)</sup>. 주차티켓 라벨에 사용되는 이형지용 양이온 경화 PSA와<sup>62)</sup> 에폭시 실리콘이<sup>63)</sup> 알려져 있다. 접착제 기술에서 사용된 것과 유사한 조성은 유리수리(자동차 앞면 유리)와 전자산업에서 부품 및 부품 밀봉분야에서도 사용된다.

## 2.4 의료용 분야

의료용에서 사용되는 주 분야 중 하나는 콘택트렌즈 등 하이드로겔 제조이다<sup>64)</sup>. 일부 생분해성 고분자는 하이드로겔을 형성하므로 UV 경화용 유도체도 만들어져 사용되고 있다<sup>65,66)</sup>. 이 하이드로겔은 약물전달 시스템에 잠재적인 사용가치가 있다. PEG와 젯산의 공중합체 아크릴레이트와 드레싱은 직접 경화에 의해 상처치료에 도움을 준다<sup>67)</sup>. 생분해성 하이드로겔은 조직공학에서 사용된다<sup>68)</sup>. 무수물로 연결된 고분자는 체액에 의해 분해되므로 수술용과 약물전달에 사용될 수 있다<sup>69)</sup>. 여기서 가장 중요한 것은 무독성이기 때문에 독성 평가가 필요하다<sup>70)</sup>.

아크릴화 PEG로 된 하이드로젤은 센서분자의 캡슐화에서 사용되었다<sup>71)</sup>. 금에 부착된 하이드로젤은 바이오칩(예를 들어, 생리적으로 활성인 화합물의 혈액 속 농도 측정)에서 사용되었다<sup>72)</sup>. 고분자 코팅은 인공치아<sup>73)</sup>, 카테터(도뇨관)와 같은 보철장치<sup>74)</sup>에 적용되었다. 바이오센서 생산용 지방족 고분자는 벤조페논이 연결된 실리카 표면에 공유결합되었다<sup>75)</sup>. 기공 크기가 온도의존성을 갖는 막의 가교는 acridizinium의 이량화 반응을 통해 도입되었다<sup>76)</sup>. 미세여과용 막에 광중합된 N-isopropylacrylamide도 유사한 기능을 갖는다<sup>77)</sup>. 조사경화가 적용된 또 다른 분야는 치과용 재료이다<sup>1)</sup>. UV 또는 가시광 경화용 조성액은 일시적인 시멘트, 치과용 수복물질, 크라운 관, 의치 피복, 인상 물질로 사용되고 대부분 복합재료이다.

## 2.5 나노기술 분야

나노 실리카 입자를 경화용 조성액에 사용하면 경화된 필름의 내화학적성과 경도<sup>78)</sup>, 투명도와 내굴곡성이 증가한다. 최대 내마모성은 약 50nm 입자로부터 얻어졌다<sup>80)</sup>. 중합가능한 입자는 여러 층의 근적외선 반사코팅을 만드는 데도 사용되었다<sup>81)</sup>. 이런 제품은 다중신호가 동시에 접속되는 광섬유 코팅에도 사용된다<sup>82)</sup>. 구조화 점토는 뛰어난 성질을 가지는 충전제로 경화에 의해 나노복합재료를 제조한다<sup>83,84)</sup>. Bioassay에 사용되는 나노미터 크기의 점은 AFM과 광중합에 의해 만들어진 것이다<sup>85)</sup>. 육방정계의 나노복합재료는 액정의 광중합에 의해 형성되는 데<sup>86)</sup>, 이는 란탄 이온의 발광성 개선과<sup>87)</sup> 촉매 지지체로 사용된다<sup>88)</sup>. 중합형 미셀은 팔라듐 나노입자의 전구체<sup>89)</sup>로서 팔라듐 이온을 포착하는데 사용되고 안정한 나노 구 제조<sup>90)</sup>에 사용된다. 신나메이트의 환상 이량화 반응은 이블록 공중합체로부터 나노섬유를 만드는 데 사용된다<sup>91)</sup>.

## 2.6 광학 및 광전자 분야

조사경화는 콘택트 렌즈와 안경 렌즈 생산에도 이용되었다<sup>92,93)</sup>. 렌즈의 굴절 특성은 굴절율이 다른 고분자량과 저분자량 물질의 혼합한 실리콘으로 변화될 수 있다<sup>94)</sup>. 마이크로렌즈 배열을 위한 렌즈도 UV 경화용 수지로 만들 수 있다<sup>95)</sup>.

홀로그램은<sup>96)</sup> 하이브리드 양이온-라디칼 시스템을

사용하여 제조하는데<sup>97)</sup>, 신용카드의 연속생산 중 광학 측정을 위한 홀로그램<sup>98)</sup>, 고분자 도파관<sup>99)</sup>, 유기발광다이오드<sup>100)</sup> 제조에도 사용되었다. UV 경화용 접착제는 마이크로 이하 정확도를 갖는 광학부품 조립에 사용되는 데 여기서 중요한 구성요소는 광학부품과 같은 굴절율을 갖는 실리카 입자이다. DVD를 만드는 두 디스크의 라미네이팅에 사용되는 접착제는 폴리카보네이트를 잘 접합해야 하고 최소 수축율을 보여야만 한다. 이 목적으로는 아크릴레이트 수지에 용해된 스티렌/부타디엔 공중합체가 아실포스핀옥시드에 의해 광중합된다<sup>101)</sup>.

## 2.7 액정 분야

액정고분자는 LED, 편광 장치, 굴절을 경사를 갖는 광섬유 등에 적용된다. 가장 간단한 시스템은 액정물질이 고분자 안에 포함되어 있는 것이다. 예를 들어, 비스말레이미드와 디비닐에테르 혼합액을 경화시켜 액정이 포함된 고분자를 제조하고<sup>102)</sup>, 중합 전에 액정을 배향시키거나 편광을 사용하여 중합하면 배향을 형성시킬 수 있다<sup>103)</sup>. *p*-Phenylene diacrylate로부터 유도된 폴리에스테르로 이루어진 선형 공중합체도 이러한 현상을 보이는 데<sup>104)</sup>, 에스테르는 불포화 에스터 그룹의 [2+2] 환상부가 반응에 의해 중합된다. 주사술에 신나메이트 잔기를 함유하는 키랄 폴리에스테르는 isosorbide를 디올로 사용하여 키랄성이 도입되고<sup>105)</sup>, 청색 진주빛 필름으로 제조된다. 광학 이방성은 선편광된 빛으로 중합을 개시하여 도입할 수 있다. 또한 광변색성 키랄 액정 시스템은 스피로옥사진을 사용한다<sup>106,107)</sup>. 이는 광학 스위치와 광학 기억장치 분야에 잠재적인 적용가능성이 있다. 키랄 네마틱 모노머가 중합하는 동안 광확산의 조절에 의해, 나선형 피치가 필름 단면을 통해 점차 변하는 콜레스테릭 네트워크를 형성한다<sup>108)</sup>. 이 물질은 반사형 편광필터를 만드는 데 사용되고 미세조정에 의해 선편광 콜레스테릭 필터를 만들 수 있다.

## 2.8 전자재료 분야

조사경화는 소형 형태를 생산하는데 장점이 있기 때문에 미세회로기판 제조용 레지스트, 전도성 잉크, 유전체, 전도성 접착제와 캡슐제로 사용된다. 최소 크기는 가능한 최소 파장으로 만들어지고 이 경우 전

자빔이 선택되나<sup>109)</sup>, 193nm 파장의 광조사에 적합한 경화 조성액 개발이 요구된다. 조사 파장이 짧을수록 탄소-탄소 이중결합 등의 광흡수 계수가 높기 때문에 필름을 투과하는 빛을 얻기가 더 어렵다. 하지만 노보넨과 말레인산 무수물 공중합체가 193nm 조사에서 성공적으로 사용되었다<sup>110)</sup>. 양이온 중합에 의한 포지티브 레지스트의 경우 초임계 이산화탄소로 가교 물질의 팽윤 없이 미 중합 물질을 없앨 수 있다<sup>111)</sup>. 다수의 불화탄소기와 실세스키옥산을 포함하는 수지는 157nm 조사에서 사용되었는데<sup>112)</sup>, 실세스키옥산은 157nm에서의 투명도를 개선한다. 많은 새로운 레지스트 시스템이 제안되는 데 그 중 하나는 산이 유리되는 카보네이트 덴드리머이다<sup>113)</sup>. 4번 위치에 긴 사슬의 과불화탄소 측쇄를 가지는 폴리스티렌은 자기조립능 양이온 중합형 포지티브 레지스트로 사용될 수 있다<sup>114)</sup>. 비닐에테르로부터 만들어진 아세탈의 산촉매 분해도 포지티브 레지스트 시스템에서 사용되었다<sup>115)</sup>. 광개시제 첨가 후 poly(3-hydroxy-alkanoate)를<sup>116)</sup> 패턴화하고 미조사 부분은 효소 분해하여 수 마이크로미터 형태를 갖게 하였다. 만약 삼차원 물체가 레지스트로 코팅되었다면 균일한 코팅을 얻기 어려운 데, 이 문제는 전기영동 레지스트를 사용하여 극복할 수 있다<sup>117)</sup>. 또한 조사경화는 회로기판의 민감한 부품을 위한 보호 코팅과 전자부품 충전제로 사용되고 이 분야에서 양이온 경화가 자주 사용된다.

## 2.9 복합재료 분야

조사 경화는 에너지와 공간 절약, 생산시간 감소, 휘발성 물질 배출을 감소시키는 장점이 있다. 복합재료의 적용에 있어 중요한 것은 복합재료 성형 후 현장경화성이다. 하수구 내 파이프를 수리할 때 유리섬유로 강화된 중합형 수지인 UV 경화용 라이너를 삽입할 수 있다<sup>118)</sup>. 경화 속도는 라이너 두께에 의존되고 시간당 30~50미터이다. 관련 분야로는 건물의 직접 방수코팅이 있고<sup>119)</sup>, 개시제 조성은 근적외선 개시제와 비스아실포스핀옥시드 조합을 사용한다. 근적외선 개시제는 끈끈하지 않는 상태로 수지를 경화하는 데 사용되고 아실포스핀옥시드에 의해 일광에서 일어난다. 유리섬유 강화 복합재료는 보통 불포화 에스테르와 스티렌 혼합액으로 열경화에 의해 상당한 양의 스티렌 손실을 일으킨다. 이 손실은 비스아

실포스핀옥시드와 같은 광개시제 첨가에 의해 저온 경화하여 감소시킬 수 있다<sup>120)</sup>. 하지만 이 수지 시스템은 넓은 표면적을 가지는 몰드 제조에 사용될 때 스티렌이 심각하게 손실되기 때문에 위험하다. 과산화수소 개시제가 포함된 수지에 광개시제를 첨가한 액체를 올바른 조건하에 조사하면 램프와 가장 가까운 최상층 표면만 경화되어 스킨 층이 만들어 지고<sup>121)</sup>, 수지 전체의 경화는 열경화로 얻어진다. 불포화 폴리에스테르/스티렌과 비닐 에스테르 수지는 필라멘트 와인딩으로 섬유강화 복합재료를 생산하는데 사용된다<sup>122)</sup>. 서핑보드는 유리섬유가 혼합된 불포화 폴리에스테르/스티렌 혼합물을 UV 경화하여 제조할 수 있다<sup>123)</sup>. 이 경우의 장점은 경화 시간을 감소시키고 휘발성유기물 배출을 크게 감소시키는 것이다. 지금까지 유리섬유로 사용된 것으로 인용된 분야에서 UV 경화가 큰 문제점이 없지만, 탄소섬유와 같은 불투명한 물질을 포함하는 두꺼운 필름을 통과하는 경우에는 빛의 투과가 곤란하며, 이 경우 전자빔을 사용하는 것이 더 효과적이다<sup>124)</sup>. 두꺼운 코팅을 경화할 때 중합열에 의해 160°C의 고온까지 증가하고 이 열이 반응도와 경화필름의 유리전이온도에 영향을 준다. 메타크릴레이트를 사용할 경우 저온에서 유리화가 일어나 메타크릴레이트가 모두 반응하지는 않는다. 복합재료의 UV 경화에서 가장 오래된 적용분야는 충전재(초미세 실리카)를 포함하는 메타크릴레이트 수지의 경화이다. 경화된 코팅의 접착력을 향상시키기 위해 에톡시실란기를 포함하여 제조된 메타크릴레이트 수지도 생산되고 있다<sup>125)</sup>.

## 2.10 착색기술 분야

염료는 광증감제로서 사용되었지만 비용과 견뢰도 문제 때문에 UV 경화형 제품의 색소로 사용되지 않았다. 그러나 잉크젯 적용에서는 염료가 어느 정도 사용되었다<sup>126)</sup>. 유·무기 안료는 경화 조성에서 사용되는 주요한 색소 성분이다. 안료는 경화거동보다 안료의 색상, 유변학적 특성 및 분산거동 등에 따라 선택된다. 최근 UV 경화용 백색 나무코팅과 플렉소잉크의 성장은 TiO<sub>2</sub>나 금속 조각과 같은 불투명성 안료의 UV 경화를 증가시켰다. 아실포스핀옥시드형 광표백 개시제가 이 분야에서 중요하게 사용된다<sup>127-131)</sup>. 보통 알루미늄 또는 구리-아연 합금 코팅 등 금속 착색은 잉크와 장식 코팅에서 많이 사용되는

데, 경화가 매우 어려워 보이지만 필름이 너무 두껍지 않다면 안료의 UV 반사성이 높아 코팅 내에서 광을 투과하므로 경화가 가능하다. 반투명성 혼합 잉크의 거동은 Skinner에 의해 연구되었다<sup>132)</sup>. 여러 종류의 잉크를 함유하는 조성액의 경화속도와 성능은 안료의 광흡수영역 차, 산란 특성, 잉크의 표면 반사성 및 필름의 열흡수성에 따라 달라진다. 착색 잉크용 개시제는 안료의 흡수 밴드 외 조사 파장영역을 선택해야한다. 진한 색상의 경우 티오잔톤 등 청색 흡수형 개시제가 개시제 혼합물에 종종 사용된다. Stowe에 의하면 착색 조성의 경화성능 최적화는 램프와 반사경의 조사파장특성을 고려하면 개선할 수 있다. 이것은 조성액의 광학특성과 개시제의 광화학 특성에 관련된다<sup>133)</sup>. 이 방식은 고효율성 개시제인 신규 이관능성 케토술폰 개시제 연구에서 입증되었다<sup>134)</sup>.

만약 염기성 물질이 존재한다면 양이온 경화 시스템은 모든 경화가 금지될 수 있다. 안료 제조자는 분산성 증가제로서 염기성 물질을 사용하는 데, 이는 양이온 조성을 위한 안료 선택을 곤란하게 한다. 최근 나무와 금속에 노랑색과 옅은 회색 코팅에 불투명 분말조성액이 사용될 수 있다고 보고되었다<sup>135)</sup>. 조사경화에 있어 착색기술의 진보는 경화 기본 공정의 확실한 이해로부터 얻어진다<sup>136,137)</sup>.

## 2.11 기타 분야

3차원 제품은 종종 분사식 코팅이 필요하다. 분사코팅을 위해 첫 번째 필요한 것은 조성액 점도를 낮게 유지하는 것이다<sup>138)</sup>. 분사식 장치를 선택과 작동하려면 펌프의 올바른 선택과 분사물의 미세화도 조절 등에 주의를 기울여야 한다<sup>139)</sup>. 자동차 부품생산 분야 등 분사코팅의 조사경화는 빠르게 성장하는 분야이다. 40가지의 다른 분야는 경주용 자동차에서 예를 찾을 수 있다<sup>140)</sup>. 일반 자동차의 전조등 장치를 포함한 많은 부품은 현재 상업적으로 조사경화를 사용한다<sup>141)</sup>.

조사경화의 또 다른 적용분야는 모형제작분야로, 소규모 모델로부터 엔진 부품 성형용과 일상용품용 몰드까지 고속으로 생산한다. 초기에는 일반적인 아크릴레이트를 사용하였지만, 경화된 물질의 약한 기

계적 물성 때문에 다양한 신규 아크릴레이트 모노머와 수지가 개발되었다<sup>142)</sup>. 에폭시드에 기초한 양이온 경화 시스템은 수축이 최소화되고 제품이 우수한 강도를 갖기 때문에 많이 사용된다<sup>143,144)</sup>. 개시제인 오늄염은 일부 카바졸 유도체에 의해 확장된 흡수파장 영역을 가질 수 있어 레이저 조사에 더 민감하고<sup>138)</sup>, 특히 옥세탄이 추천된다<sup>145)</sup>.

## 2.12 섬유산업에서의 적용분야

UV 경화기술은 80년대 말경부터 도입하려는 시도가 있었지만 보수적인 섬유산업의 환경에서 수용되지 않았다. 예를 들면 섬유에 적합한 경화조성의 제한, 노하우 부족 및 섬유산업을 위한 데이터 및 정보 부족 등 기술적 또는 비 기술적인 문제에 원인이 있다고 볼 수 있다. 하지만 최근 유럽 및 미국 등 몇몇 선진국에서는 UV 조사기술을 섬유산업에 이용하고 있다. 이는 환경친화성뿐 아니라 기술적인 면과 경제적인 면에서 장점이 많기 때문이다. 최근 급속도로 발전하고 있는 UV 경화제와 관련 공학기술은 섬유산업에의 적용을 용이하게 하고 있다. 고유연성 우레탄 아크릴레이트는 부드러운 태를 갖는 섬유코팅을 가능하게 하고, 새로운 광개시제와 램프 시스템이 사용가능한 광영역을 넓게 할 것이다. UV 조사경화기술은 이미 섬유분야에 적용되고 있다. 미가교 기능성 물질과 모노머, 광개시제의 조성액으로 섬유를 코팅하고 광중합하여 기능성 물질을 고정화할 수 있다. 예를 들어 UV 경화 기술에 의해 기능성 물질을 섬유재료에 코팅하여, 온도, pH, 광, 전기장, 응력 등 환경변화에 따라 구조를 변화시키는 자극민감형 지능형 섬유가 개발되고 있다. 이는 약물, 향기 및 향미생물제 전달, 온습도 조절, 분리 및 센서 등 분야에 이용될 수 있다. 섬유산업에 관련된 자외선 조사를 이용한 염색 가공 기술 동향은 발표된 총설과 논문을 참고하길 바란다<sup>146-156)</sup>.

## 참고문헌

1. A De Raeve, "Proc. RadTech Europe", Barcelona, 2005.
2. R S Davidson and R J Holman, *Rev. Prog. Color.*, **33**, 52(2003).

3. D Eddowes, *Polym. Paint Col. J.*, (Jul), 12(2001).
4. S Mihno. *Ink World*(Jul), 20(2001).
5. A J Bean, *RadTech Rep.*, 16(2), 20(2002).
6. D Savastano, *RadTech Rep.*, 16(4), 57(2002).
7. K J Ven Den Berg. H Klinkenberg and A Noomen, WO. Pat. 9947617(2003)
8. F J A D Bakkeren, R P Klassen and A J H Lansbergen, EP. Pat. 1048706(2000)
9. M D Latunski, *RadTech Rep.*, 16(4), 76(2002).
10. D H Biro, *RadTech Rep.*, 16(2), 22(2002).
11. D Savastano, *Ink World*(Jul), 26(2002).
12. V J Cahill, *RadTech Rep.*, 15(4), 20(2001).
13. A Hudd, "Proc. Paint Res. Assoc. Conf. Materials and Markets", Stockport, 2002.
14. H Noguchi and M Shimomura, *RadTech Rep.*, 15(2), 22(2001).
15. J D Roth, US. Pat. 5889048(1999).
16. M P Secord and R C Woudenberg, WO. Pat. 0049097(2000).
17. J E Fleischer, *RadTech Rep.*, 14(6), 48(2000).
18. J K Braddock, *RadTech Rep.*, 16(4), 13(2002).
19. M Kunz and M Bauer, *RadTech Rep.*, 14(6), 34(2000).
20. S Presutto, *Screen Printing*(Jun), 68(2001).
21. J Whelan, "Proc. RadTech North Amer.", Indianapolis, p.627, 2002.
22. J Prieto, *Polym. Paint Col. J.* (Jul), 15(2001).
23. M Visconti, M Cattaneo and G Li Bassi, "Proc. RadTech North Amer.", Chicago, p.28, 1998.
24. J A Arceneaux, J-P Bleus, A Corley, L Lindekens, T Moorehead and Z J Wang, "Proc. RadTech North Amer.", Chicago, p.235, 1998.
25. J Wekard, W Fischer, E Luhmann and D Rappen, "Proc. 6th Congress Creative Adv. Coat. Technol.", Nuremberg, 2001.
26. R Awad and F Lunzer, "Proc. RadTech Eur.", Basle, p.415, 2001.
27. M Burglin, M Kohler, K Dietliker, J-P Wolf. I Gatlik, G Gescheidt, D Neshchadin and G rist, "Proc. RadTech North Amer.", Baltimore, p.577, 2000.
28. A Valet and C Decker, *RadTech Rep.*, 14(6), 40(2000).
29. S Friebe, *Eur. Coat. J.*, 1-2, 68(2001).
30. E Krendlinger, H Ehrhardt, F-L Heinrichs and H Endres, *Eur. Coat. J.*, 5, 32(2002).
31. S Frahn, V Valter and G Leder, "6th Congress Creative Adv. Coat. Technol.", Nuremberg, 2001.
32. M Strid, H Bolm and V Rekowski, "Proc. RadTech Eur.", Basle, p.95, 2001.
33. M M G Antonisse, P H G Binda and S Udding-Louwrier, *Amer. Ink Maker*(May), (2001) 22.
34. M M G Antonisse, R A Baijards, W H Kaptijn and S Udding-Louwrier, *Eur. Coat. J.*, 10, 32(2001).
35. C Kuhne and H Laver, "Proc. RadTech Eur.", Basle, p.87, 2001.
36. M Resinger and C Rickert, "Proc. RadTech Eur.", Basle, p.101, 2001.
37. S Padaki and R Buehner, "Proc. RadTech North Amer.", Baltimore, p.698, 2000.
38. C Zune and K Buysens, *Eur. Coat. J.*, 5, 18(2000).
39. S Udding-Louwrier, R A Baijards, E Sjoerd de Jong and P H G Binda, "Proc. RadTech North Am.", Baltimore, p.650, 2000.
40. R Jahn, H Laver and C te Walvaart, *Polym. Paint Col. J.*, May, 16(2000).
41. Z Jovanovic, J Lahaye, H Laver, S Megert and C te Walvaart, *Polym. paint Col. J.*, Jul, 8(2000).
42. K Blatter, M Strid, O Thiele and F Zimmermann, *Eur. Coat. J.*, 10, 24(2000).
43. R Blum, R Schwalm and O Stephan, WO. Pat. 0157149(2001).

44. P Mills, *RadTech Rep.*, **11**(6), 16(1997).
45. P Mills, "Proc. RadTech Eur.", Basle, p.65, 2001.
46. M Scheiber and H Braun, *RadTech Rep.*, **11**(2), 19(1997).
47. D J Gaber, *RadTech Rep.*, **11**(2), 22(1997).
48. C Bachmann and C Cantor, *Adhes. Age*, **42**(4), 24(1999).
49. J A Dougherty, J McKittrick and G S Russell, "Proc. RadTech North Am.", Baltimore, p.65, 1998.
50. P Spillane, *Adhes. Age*, Mar, 36(1995).
51. K Rhodes, *RadTech Rep.*, **14**(4), 33(2000).
52. J T Whelan and J F Taylor, *RadTech Rep.*, **14**(2), 15(2000).
53. D Skinner, "Proc. RadTech North Amer.", Baltimore, p.140, 1998.
54. V V Krongauz and C P Chawta, *RadTech Rep.*, **15**(5), 34(2001).
55. S Helity and N Gager, "Proc. RadTech Eur.", Berlin. p.489, 1999.
56. C W G Ansell, S J Masters and E J Millan, *J. Appl. Polym. Sci.*, **81**, 3321(2001).
57. R A Chivers and I Webster, "Proc Conf. Adhes. 99 Cambridge", UK, p.37, 1999.
58. I Webster, *Int. J. Adhes.*, **19**(1), 29(1999).
59. M Scheiber and H Braun, *RadTech Rep.*, **11**(2), 19(1997).
60. A Dobner, *Adhes. Technol.*, **17**(2), 14(2000).
61. K Schumacker, U Dussterwald and R Fink, *Adhes. Technol.*, **17**(2), 18(2000).
62. H Smith, *Adhes. Age*, **42**(12), 38(1999).
63. E-J Gerard and J Schneider, "Proc. RadTech Eur.", Lyon, p.175, 1997.
64. R P Eckberg and M Krenceski, "Proc. RadTech North Amer.", Chicago, p.530, 1998.
65. W A Martin, J P Adams, K Bjerre, S Christensen, T Kindt Larsen, C W Walker, W D Tsu-Fang, M Widham and S C Pegram, US. Pat. 5981618(1999).
66. Y Zhang, C-Y Won and C-C Chu, *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.*, **37**, 4554(1999).
67. Y Fhang, C-Y Won, and C-C Chu, *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.*, **38**, 2392(2000).
68. A S Sawhney and J A Hubbell, *RadTech Rep.*, **15**(3), 14(2001).
69. G John and M Mortia, *Macromolecules*, **32**, 1853(1999).
70. K S Anseth and D J Quick, *Macromol. Rapid Commun.*, **22**, 564(2001).
71. S Bryant, P Martens, J Elisseeff, M Randolph, R Langer and K S Anseth, in *Wiley Polymer Networks Review*, Eds B T Stokke and A Elsaeter, **2**, 395(1999).
72. R J Russell, A C Axel, K L Shields and M V Pishko, *Polymer*, **42**, 4893(2001).
73. A Laschewsky, O Ouari, C Manganet and L Jullien, *Macromol. Symp.*, **164**, 323(2001).
74. O Prucker, K Muller and J Ruhe, *Mater. Res. Symp.*, **629**, FF9.8.1-9.8.6(2000).
75. T M Shah, US Pat. 6291543(2001).
76. W W Shen, W Knoll and C W Frank, *Polym. Mater. Sci. Eng.*, **84**, 400(2000).
77. D Kuckling, I G Ivanova, H-J PAdler, K-F Arndt and T Wolff, *Polym.*, **41**(1), 714(2000).
78. L Liang, X Feng, L Peurrung and V Viswanathan, *J. Membr. Sci.*, **162**, 235(1999).
79. C Vu, A Eranian, C Fraurent, P Noireaux and J Deveau, "Proc. RadTech Eur.", Berlin, p.523, 1999.
80. C Vu, C Faurent, V Elango, A Eranian, P Vincent, D Wihelm, P Noireaux, J Deveau, F Oudet and F Nadaud, "Proc. RadTech North Amer.", Baltimore, p.822, 2000.
81. C Vu, O LeFerte and A Eranian, "Proc. RadTech Eur.", Basle, p.621, 2001.
82. M Menning, P W Oliverira, A Frantzen and H Schmidt, *Thin Solid Film*, **351**, 225(1999).

83. D Blanc, S Pelissier, K Saravanaumuttu, S I Nazafi and M P Anderews, *Adv. Mater.*, **11**, 1508(1999).
84. W Huimin, M Minghua, J Yongcia, L Qingshan, Z Xiaohong and W Shikang, *Polym. Int.*, **51**, 7(2001).
85. K Zahouily, S Benfarhi, T Bendaikha, J Baron and C Decker, "Proc. RadTech Eur.", Basle, p.583, 2001.
86. G Wurtz, R Bachelot, F H'Dhili, P Royer, C Triger, C Ecoffet and D-J Lougnot, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **39**, L98(2000).
87. D L Gin, D H Gray, R C Smith, H Deng, E Kim, E Juang and B C Baxter, *Polym. Mater. Sci. Eng.*, **80**, 5(1999).
88. D H Gray, E Juang, H Deng, D L Gin and K B Schwarz, *Polym. Prepr.*, **40**(1), 429(1999).
89. J H Ding and D L Gin, *Chem. Mater.*, **12**, 22(2000).
90. R S Underhill and G Liu, *Polym. Mater. Sci. Eng.*, **83**, 557(2000).
91. F Henselwood and G Liu, *Macromolecules*, **31**, 4213(1998).
92. G Liu, L Qiao, and A Guo, *Macromolecules*, **29**, 5508(1996).
93. S Luetke, *RadTech Rep.*, **10**(2), 29(1996).
94. A Gupta, *RadTech Rep.*, **10**(2), 30(1996).
95. J M Jethmalani, D M Schwartz, *Polym. Prepr.*, **40**(2), 271(1999).
96. J D Roth, US. Pat. 5889084 (1999).
97. M B Sponsler, *The Spectrum*, **13**, 37(2000).
98. Y Ohe, H Ito, N Watanabe and K Ichimura, *J. Appl. Polym. Sci.*, **77**, 2189(2000).
99. L R Lindvold, J Stensborg and T Rasmussen, *RadTech Rep.*, **15**(3), 31(2001).
100. C Pitois, S Vukmirovic, A Hult, D Weisman and M Robertsson, *Macromolecules*, **32**, 2903(1999).
101. T Braig, M S Bayer, O Nuyken, D C Muller, M Gross and K Meerholz, *Polym. Mater. Sci. Eng.*, **80**, 122(1999).
102. C Decker and T Bendaikha, *J. Appl. Polym. Sci.*, **70**, 2269(1998).
103. C E Hoyle, J B Whitehead, N L Gill, M L Hladik and W Kuang, *Polym. Mater. Sci. Eng.*, **82**, 336(2000).
104. K Kawatsuki, I Sai and T Yamamoto, *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.*, **37**, 4000(1999).
105. B Sapich, J Stumpe, T Krawinkel and H R Kricheldorf, *Macromolecules*, **31**, 1016(1998).
106. J Stumpe, H R Kricheldorf, A Fritz and A Schonhals, *Macromolecules*, **34**, 5694(2001).
107. H Hattori and T Uryu, *Liq. Cryst.*, **28**, 25(2001).
108. V P Shibaev, A Y Bobrovsky and N Boiko, *Macromol. Symp.*, **174**, 319(2001).
109. D J Broer, J A M Haaren and J Lub, *Proc. SPIE*. **4107**, 59(2000).
110. C Morgan, G S Chen, C Boothroyd, S Bailey and C Humphreys, *Phys. World*, 28(1992).
111. R R Dammel, J-B Bae, W-K Kim, T Kudo, D McKenzie, M Padmanaban and M D Rahman, *Polym. Mater. Sci. Eng.*, **84**, 283(2001).
112. V Q Pham, G L Weilbel, A H Hamad and C K Ober, *Polym. Mater. Sci. Eng.*, **84**, 49(2001).
113. H V Tran, R J hung, D A Loy, D R Wheeler, J Byers, W Conley and C G Wilson, *Polym. Mater. Sci. Eng.*, **84**, 213(2001).
114. D C Tully, A R Trimble and J M Frechet, *Polym. Prepr.*, **41**(1), 142(2000).
115. T Hayakawa, J Wang, N Sundararajan, M Xiang, X Li, B Glusen, M Ueda and C K Ober, *Polym. Prepr.*, **41**(1), 486(1999).
116. S-Y Moon, *J. Appl. Polym. Sci.*, **81**(2001) 3399.
117. S N Kim, S C Shim, D Y Kim, Y H Rhee and Y B Kim, *Macromol. Rapid Commun.*,



- 22(13), 1067(2001).
118. T Schmitt, P Goldman and G Orosz, *RadTech Rep.*, **15**(2), 16(2001).
  119. B Persson, *RadTech Rep.*, **15**(3), 28(2001).
  120. K Ohtani, T Yamamoto, H Sendai, T Kadota, S Sugita, H Kamata and T Watanabe, EP. Pat. 0922727(1999).
  121. T Jung, M Koehler and D Wostratzky, *Soc. Advancement Mater. Process Eng. J.*, **34**(4), 40(1998).
  122. R McCartney, *RadTech Rep.*, **15**(3), 20(2001).
  123. E Lackey, K Inamdar, L Worrel, W Al-Akhdar and D Wostratzky, *RadTech Rep.*, **15**(3), 36 (2001).
  124. F Vigeant and D Wostratzky, *RadTech Rep.*, **15**(3), 20(2001).
  125. T Glauser, M Johansson and A Hult, *Polymer*, **40**, 5297(1999).
  126. E Muh, J E Klee, H Frey and R Mulhaupt, *Polym. Mater. Sci. Eng.*, **82**(1), 99(2000).
  127. H-T Macholdt, "Proc. Ink Makers Forum 2nd Eur. Congress Printing Inks", Nuremberg, p.223, 2003.
  128. D Skinner, "Proc. Paint Res. Assoc. Conf. Aspects of Photoinitiation", Egham, p.231, 1993.
  129. J P Fouassier, *Curr. Trends Polym. Sci.*, **4**, 163(1999).
  130. K Dietliker, A Compilation of Photoinitiators (2002).
  131. M Koehler, M Holer, M B Aebli and E Eckstein, WO. Pat. 0129093(2001).
  132. S Megert, M Koehler, D Rogez, M Burglin and A Litzler, "Proc. Paint Res. Assoc. Conf. Radcure Coat. Inks", Harrogate, (2000).
  133. A Avalet, *Prog. Org. Coat.*, **35**, 223(1999)
  134. R W Stowe, Proc. 16th Int. Conf. Waterborne, *High Solids Radcure Technol.*, Frankfurt, 1996; "Proc. RadTech North Amer.", Indianapolis, p.613, 2002.
  135. M Cattaneo, R Filpa, P Soragna, and M Visconti, "Proc. RadTech Eur.", Basle, p.539, 2001.
  136. M Resinger and C Rickert, "Proc. RadTech Eur.", Basle, p.101, 2001.
  137. A B Scranton, G A Miller, L Gou and M El-Maazawi, "Proc. RadTech North Amer.", Indianapolis, p.129, 2002.
  138. R Bao and S Jonsson, "Proc. RadTech North Am.", Indianapolis, p.249, 2002.
  139. B Cox and O Valdes-Aguilera, *RadTech Rep.*, **13**(3), 40(1999).
  140. J Owed and D Fisher, *RadTech Rep.*, **14**(6), 28(2000).
  141. P Mills, "Proc. RadTech Eur.", Basle, p.65, 2001.
  142. K H Joesel, *RadTech Rep.*, **14**(6), 16(2000).
  143. P H Stenson and C H McLean, "Proc. RadTech North Amer.", Chicago, p.62, 1998.
  144. E V Sitzmann, R J Brautigam, C M Srivastava and G D Green, "Proc. RadTech North Amer.", Chicago, p.57, 1998.
  145. T Yamamura, Y Kato, T Ukachi, T Tanabe and Y Chen, WO. Pat. 0049080(2000).
  146. J Jang and D S Park, *J. Korean Soc. Dyers & Finishers*, **17**(1), 7(2005).
  147. Y K Jeong, Y J Jeong and J Jang, *J. Korean Soc. Dyers & Finishers*, **17**(6), 27(2005).
  148. J Jang, S I Eom and Y H Kim, *J. Korean Fiber Soc.*, **39**(1), 100(2002).
  149. J Jang and D S Park, *J. Korean Soc. Dyers & Finishers*, **17**(1), 7(2005).
  150. Y K Jeong, Y J Jeong and J Jang, *J. Korean Soc. Dyers & Finishers*, **17**(6), 27(2005).
  151. J Jang, S I Eom and Y H Kim, *J. Korean Fiber Soc.*, **39**(1), 100(2002).
  152. J Jang, M J Kim and Y J Jeong, *J. Korean Fiber Soc.*, **40**(5), 424(2003).

153. M J Kim, J Jang and Y J Jeong, *J. Korean Fiber Soc.*, **41**(2), 80(2004).  
 154. J Jang, *Fiber Technology and Industry*, **7**(3), 303(2003).

155. J Jang and C. M. Carr, *J. Korean Fiber Soc.*, **36**(1), 82(1999).  
 156. J Jang and C. M. Carr, *J. Korean Fiber Soc.*, **36**(2), 179(1999).

## 저 자 소 개

## 장진호



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



2005~현재 금오공과대학교  
 섬유패션공학과 박사과정

Tel. : 054-478-7725; Fax. : 054-478-7710  
 E-mail : koo0707@kumoh.ac.kr