

고분자의 광분해

임 대 우 · 김 대 진

1. 서 론

약 100여년 전에 발명된 합성수지는 천연재료에 비하여 기계 및 전기적 특성, 투명성, 내부식성, 내후성, 내수성 등의 우수한 성능으로 천연재료를 대체하여 여러 분야에 사용되고 있다. 그러나 이러한 합성수지도 자연에 노출되면 물성이 저하되는 단점이 있다.

대부분의 합성수지들은 자외선을 흡수할 수 있는 chromophoric group에 의하여 화학반응을 하게 된다. 즉 지구의 대기권을 통과하여 들어오는 태양광선에 함유되어 있는 자외선에 의하여 광반응이 일어나며 이러한 자외선이 자연환경에 미치는 영향은 매우 크다. 자외선에 의한 광화학 반응은 일반적으로 고분자를 산화시켜 발생되며, 옥외에 노출된 고분자 물질은 광에 의하여 brittle해지거나 색상의 변화 등 분해에 기인한 물성변화가 일어난다. 그러므로 대부분의 플라스틱 생산업체에서는 이와 같은 물성저하를 방지하기 위하여 산화방지제, 자외선 안정제를 첨가하는 등 여러 방법을 강구하고 있다.

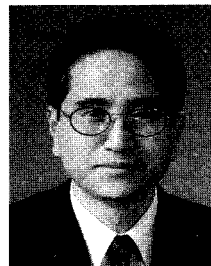
또한 흥미있는 것은 이와 같은 분해현상을 이용하여 고분자물질의 life-time을 예측하여 용도에 적합하게 사용할 수 있다. 즉 최근에는 플라스틱이 우수한 내구성에 의하여 자연으로의 환원이 안되어 토양 및 해양 등 환경오염의 주된 원인으로 지목되고 있어, 사용후 단기간에 분해가 가능하도록 분자설계를 하여 1회용품 등에 적용하려는 노력들이 많이 진행되고 있다.

최근에는 자연에서의 광화학 변화의 예측 및 광화학 반응을 산업현장에서 응용하기 위하여 실험실이나 공업적으로 필요한 여러 파장의 강력한 광원을 개발하여 응용하고 있다

1.1 광원

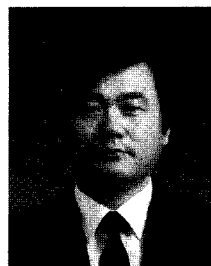
태양광은 고분자물질 등 화학제품에 영향을 미치는 중

요한 광에너지원이다. 태양광선 중 290~3,000 nm 범위의 파장의 광선이 지표에 도달하고 있으며 이중 각 파장의 분포는 지역 및 대기의 환경상황에 따라 상당한 차이가 있다. 지표에 도달하는 태양광선 중 자외선이 10% 이상, 가시광선이 50%, 적외선이 40% 정도를 차지하고 있다. 이러한 현상을 실험실이나 공업적으로 이용하기 위하여 여러 가지 광원이 개발되고 있다. 이중 가장 보편적으로 사용되고 있는 광원은 수은램프로 이는 3가지 종류가 있다. 1) Low pressure lamp는 184.9 nm와 253.8 nm의 2개의 강한 intense를 나타내고 2) Medium pressure lamp는 여러 파장의 자외선을 발생하나 366 nm에서 가



임대우

1973 서울대학교 섬유공학과(학사)
1981 미국 North Carolina대
섬유화학과(석사)
1984 미국 North Carolina대(박사)
1984~ Case Western Reserve대
1986 (Post Doc)
1986~ New York 주립대 교수
1988
1993~ (주)새한 기술연구소 연구소장
현재



김대진

1977 성균관대학교 섬유공학과
(학사)
1981 서울대학교 대학원 섬유공학과
(석사)
1988 서울대학교 대학원 섬유공학과
(박사)
1988~ (주)새한 기술연구소
현재 수석연구원

Photodegradation of Polymers

(주)새한기술연구소(Dae Woo Ihm and Dae Jin Kim, R & D Center, SAEHAN Industries, #14 Nongseo-Ri, Kiheung-Eub, Yongin-City, Kyunggi-Do 449-900, Korea)

장 강한 intense를 나타낸다. 3) High pressure lamp는 가장 많이 사용하는 광원으로 높은 emission intensity를 가지며 254, 265, 313, 366, 436, 546 nm의 UV를 발생시킨다. 이외에 carbon arc와 xenon arc lamp를 많이 사용하는데 이는 자연에서와 같은 효과를 기대하는 weathering test시 사용한다. 그림 1에 광원의 emission spectra를 나타냈다.

최근에는 단일파장은 발하는 고성능 광원이 개발되어 신속하고 정밀한 광화학 반응이 요구되는 반도체회로 제

조 등에 사용되고 있다. 각 광원의 발생파장과 pulse energy를 표 1에 나타냈다.

1.2 광흡수와 Quantum Yield

고분자의 광화학 반응은 다른 화학물질과 같이 광화학의 법칙에 의거한다. 즉 광 흡수에 의하여 일어나는 반응으로 광 에너지를 흡수 가능한 관능기 혹은 발색단(chromophores)을 분자 내에 함유하고 있거나 감광성 화합물이 첨가되어 있는 경우 광화학 반응이 일어난다. 여러 화학적 구조 중 자연환경에서 광 에너지를 효율적으로 흡수 가능한 감광성 관능기로는 $-N=N-$, $-CH=N-$, $-CH=CH-$, $-C\equiv C-$, $-NH-NH-$, $-S-$, $-NH-$, $-O-$, $>C=O$ 등이 있으며 이와 같은 화학결합들이 고분자의 분자구조 내에 있으면 광을 흡수하여 분해반응이 일어난다. 또한 광중감제나 금속화합물을 고분자에 첨가시 에너지의 이동, 라디칼의 발생, 촉매작용 등을 일으켜 고분자의 광분해를 촉진시킨다. 이들에 benzophenone, acetophenone, acetoquinone 등의 방향족 케톤화합물로서 고분자로부터 수소를 이끌어내어 광산화물을 개시시킨다. 또한 dithiocarbamate의 금속착체도 광조사시 라디칼을 발생시켜 고분자를 분해시킨다.

각 화학결합별 광 흡수 밴드는 다음과 같다.

saturated compound $C-C$, $C-H$, $O-H$, $C-Cl$:

$\lambda \leq 200$ nm

carbonyl group, conjugated $C=C$: $\lambda > 200$ nm

대부분의 화합물들은 상기와 같은 태양광을 흡수할 수 있는 관능기들을 함유하고 있으며 고분자의 화학구조에 따라 태양광을 흡수할 수 있다.

일반적으로 photon을 흡수함에 따라 에너지상태는 $S_0 + h\nu \rightarrow S_1$, $S_0 + h\nu \rightarrow T_1$ 으로 변환한다. Extinction coefficient가 다른 경우는 $\epsilon(S_0 \rightarrow S_1) \gg \epsilon(S_0 \rightarrow T_1)$ 로 $S_0 \rightarrow T_1$ 의 광화학 반응은 거의 무시할 정도로 반응기회가 적다 (이를 forbidden이라 함). 화학반응은 S_1 이나 T_1 상태에서 일어나며 이때 T_1 에서의 life time은 길며($K_p: 10^6 - 10^{-1}/s$) $T_1 \rightarrow S_0$ 의 전이는 "forbidden"이다. 또한 internal conversion은 매우 빨리 진행된다($k_{IC} \approx 10^{10}/s$). 또한 S_1 에서 S_0 로 전이되는 fluorescence는 T_1 에서 S_0 로 전이되는 phosphorescence보다 빨리 일어난다($k_F \gg k_P$). 그림 2에 energy state diagram을 나타냈다.

광화학 반응에서는 Einstein과 quantum yield로 광흡수도 및 광반응도를 나타낸다. 즉 일반적으로 광조사시 단위무게나 단위 부피당 흡수하는 photon의 수로서 광흡수도를 측정한다. 이때 photon 1 mol의 단위를 "Einstein"으로 광조사시 흡수한 photon당 변화된 원자나 분자의 개수를 "quantum yield"로 표시하며 이를 광화학에서의 기준단위로 한다. 즉 광분해 quantum yield $\Phi(S)$ 는 고분자에 흡수된 photon 1개당 주쇄의 절단 개수를 의미한다.

표 2에 몇가지 photophysical process를 나타냈다.

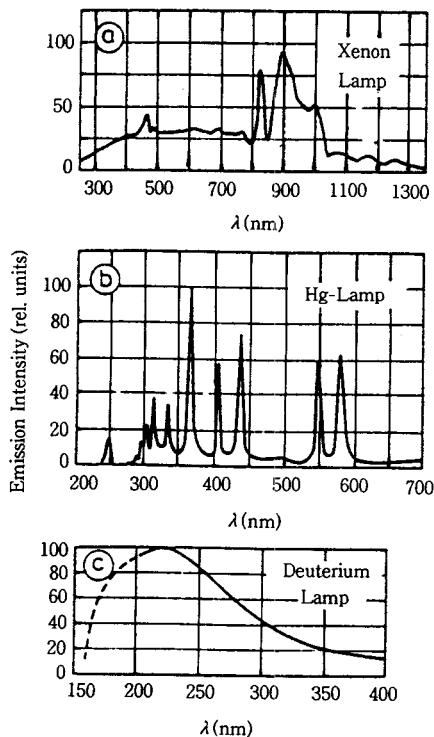


그림 1. Emission spectra of lamps.

표 1. Commercially Available High Power Laser

Type	λ (nm)	Pulse energy (mJ)	비	고
RUBY	694	>1000	Solid state, Pulse repetition rate: 1Hz,	
	347	300	Frequency doubled	
Nd-YAG	1060	>1000	Solid state, Pulse repetition rate: 20Hz,	
	530	300	Pulse repetition rate: 1Hz,	
	265	50	Pulse repetition rate: 1Hz,	
N_2^+	337	9	Gas	
ArF	193	110	Gas, excimer	
KrF	249	500	Gas, excimer	
XeCl	308	250	Gas, excimer	
SF	351	180	Gas, excimer	
CO_2	10600	2800	Gas	

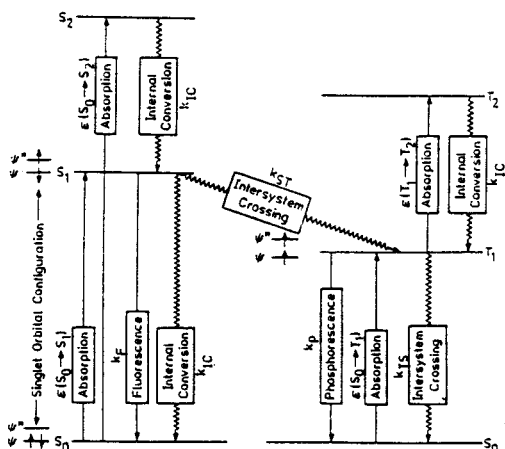


그림 2. Energy state diagram indicating important photophysical processes.

표 2. Photophysical Processes

Photon	$^1M + h\nu \rightarrow ^1M^*$ (1st excited singlet state)
Absorption	$^1M + h\nu \rightarrow ^1M^{**}$ (higher excited singlet state)
	$^1M + h\nu \rightarrow ^3M^* + 2e^-$ (photoionization)
Radiationless	$^1M^* \rightarrow ^1M + \text{energy}$ (internal conversion)
Transitions	$^1M^* \rightarrow ^3M^* + \text{energy}$ (intersystem crossing)
	$^1M^{**} \rightarrow ^1M^* + \text{energy}$ (internal conversion)
	$^3M^{**} \rightarrow ^3M^* + \text{energy}$ (internal conversion)
Luminescence	$^1M^* \rightarrow ^1M + h\nu$ (fluorescence)
(Radiative Transitions)	$^3M^* \rightarrow ^1M + h\nu$ (phosphorescence)

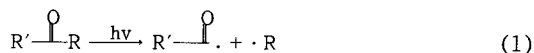
1: singlet, 2: doublet, 3: triplet.

2. 광분해기를 함유한 고분자

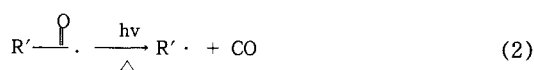
2.1 Carbonyl기를 함유한 고분자

대표적인 광분해 고분자는 카르보닐기를 함유한 고분자로서 이는 고분자의 구조에 따라 자외선을 흡수하여 다음과 같이 여러 메카니즘에 의하여 분해된다.

A) Norrish Type I 반응



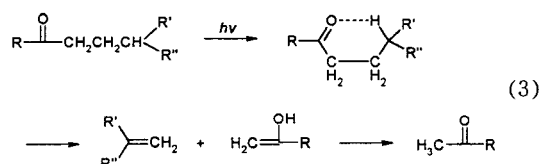
카르보닐기와 α -carbon사이의 결합이 분해되어 두개의 자유 라디칼을 생성하는 반응 (1)으로 온도가 상승하면 acyl radical은 decarbonylate되어 carbon monoxide를 생성한다 (2).



B) Norrish Type II 반응

카르보닐기에 대하여 γ -위치의 탄소가 Norrish Type II 반응과는 달리 non-radical 반응으로 linear ketone

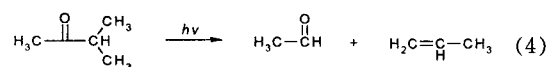
일 경우 γ -carbon의 수소가 six-membered ring의 중간체를 거쳐 excited carbonyl의 산소에 전이되어 enol이 되어 methylketone과 olefin을 생성하는 반응 (3)이다.



고분자에서 Norrish Type II 반응은 long chain segment의 intramolecular process에서 일어나며 이때 수소의 transfer와 elimination은 step-wise process의 single step이나 alternative의 조합으로 이루어진다. 이로써 excited singlet와 triplet state는 Norrish Type II 반응에 의하여 반응된다.

C) Norrish Type III 반응

Methyl iso-propyl ketone 같이 γ -탄소에 수소를 함유하지 않은 카르보닐에서 카르보닐과 탄소의 C-C결합이 절단되어 aldehyde와 olefin을 생성하는 반응 (4)이다.



1) 주쇄에 카르보닐기를 함유

Ethylene과 CO,¹ styrene과 CO,² vinyl chloride와 CO를³ 공중합 함으로 주쇄에 카르보닐기를 도입시킬 수 있다. 이러한 공중합체는 Norrish Type II 반응에서 transition 상태에서 six-membered ring을 경유하므로 한쪽이 methyl 혹은 phenyl기인 경우에는 알킬기(R)의 탄소수가 증가하여도 six-membered ring의 형성에 영향이 없으나 양쪽이 R로 치환되면 ring의 구조를 이루기 어렵다. 표 3에서와 같이 CH₃COR, C₆H₅COR 등은 탄소수가 증가하여도 양자수율의 변화가 없으나 symmetrical ketone(RCOR)은 양자수율이 감소한다.⁴ 반면 Norrish Type I 반응에서는 주쇄의 길이가 길어질수록 즉, 탄소가 많으면 광반응에 의하여 생성된 라디칼의 solvent "Cage"에의 확산이 어렵고 RCO·와의 재결합 확률이 커지므로 양자수율은 감소한다. 그 결과 Norrish Type I 반응의 활성화 에너지는 4.8 kcal/mole로 Norrish Type II 반응의 1 kcal/mole보다 상당히 크다.

온도에 따른 양자수율의 변화를 검토한 결과 Et-CO의 경우 90~25 °C에서 필름이나 용액상에서의 양자수율은 0.025로 일정하지만 -50 °C에서 -150 °C로 온도가 저하될수록 양자수율은 0.015에서 0.000으로 크게 감소한다. 이는 segment 운동과 microbrown 운동에 기인되는 것으로서 Norrish Type II 반응에서는 온도가 상승하면 six-membered ring의 중간체를 형성하기 위한

표 3. Φ_{II} as a Function of Chain Length for Ketones

R(탄소수)	CH ₃ COR	C ₆ H ₅ COR	RCOR
4	0.25	0.31	0.11
5	0.20	0.31	-
6	0.20	0.25	0.092
7	0.20	0.30	0.080
8	-	0.29	-
9	0.20	-	-
11	-	-	0.072
17	0.15	0.31 ± 0.02	-
21	-	-	0.059

표 4. Photolysis of 8-Pentadecanone. CO Quantum Yields

용 매	온도 (°C)	점도 (CP)	$\Phi_{CO} \times 10^2$
n-Heptane	60	0.28	0.49
Dodecane	60	0.73	0.46
Paraffin oil	60	9.2	0.42
Dodecane	80	0.58	0.75
Paraffin oil	90	4.1	0.90
Dodecane	100	0.47	1.1
Dodecane	120	0.40	1.5
Paraffin oil	120	2.1	1.5

segment 운동이 활발하여져 분해가 많이 되어 양자수율이 증가한다.

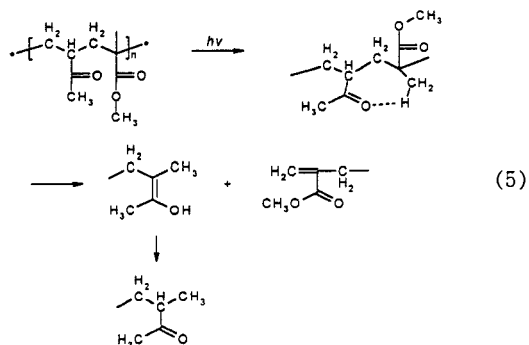
용매의 점도에 따른 양자수율을⁵ 표 4에 나타냈다. 즉, 낮은 온도(60 °C)에서는 점도가 큰 용매에서는 용매분자의 segment가 “cage”를 형성함으로써 Norrish Type I 반응을 저지시켜 양자수율이 감소하지만 높은 온도(120 °C)에서는 용매의 점도저하 및 각 segment의 활성화로 점도에 의한 영향이 없다.

2) 측쇄에 카보닐기를 함유

비닐케톤의 중합 및 공중합의 방법이 많으나 여기서는 몇 가지의 예를 들겠다.

MMA와 methylvinylketone(MVK) 공중합체의⁶ 양자수율은 $\Phi_{cs}=0.20$ 으로 polymethylvinylketone(PMVK) ($\Phi_{cs}=0.025$)보다 상당히 크다. 이로부터 Norrish Type II 반응이 주로 일어나며 Norrish Type I 반응은 거의 일어나지 않음을 알 수 있다. 또한 용액상에서와 필름상의 광분해를 비교하여 보면, PMVK의 T_g 는 75 °C로 필름상의 양자수율은 25 °C에서 $\Phi_{II}=0.0065$, 86 °C에서 $\Phi_{II}=0.12$ 로 필름에서는 양자수율이 T_g 와 밀접한 관계가 있으나 용액에서는 $\Phi_{II}=0.20$ 으로 온도와 관계가 없다. 즉 T_g 이상에서는 molecular mobility의 증가로 β - γ 의 탄소결합의 절단을 위한 cyclic seven-membered ring을 형성한다 (5).

또한 광분해의 산소에 의한 영향을 검토하여 보면 MMA-MVK와 St-MVK공중합체를 질소와 공기 중에서 측정한 결과⁷ MMA-MVK는 질소 중에서 즉 산소가 없는 환경에서 St-MVK는 공기 중에서 광분해가 빨리 진



행된다. 이는 seven-membered ring을 거치지 않고 가속적인 분해가 일어나는 라디칼 메카니즘에 의하여 분해되며 공기 중에서는 광조사에 의하여 생성된 라디칼이 산소와 결합하여 분해를 감소시킨다.

고분자의 입체구조에 따라서도 광분해 반응에 차이가 있다.⁸ 즉 isotactic poly(*t*-butylvinylketone)(*t*-BVK)는 syndiotactic이나 atactic인 경우보다 Type II 반응이 적게 일어나며 주쇄절단 양자수율은 atactic인 경우가 isotactic보다 크며 PPVK는 bulky한 페닐기의 입체장애로 six-membered ring의 형성이 어려워 T_g 이하에서는 양자수율이 감소하다가 증가하지만 T_g 이상에서는 일정한 값을 갖는다.

광중합제의 효과를 알기 위하여 Et-vinyl alcohol에 diazo-acetophenone과 *p*-substituted diazoacetophenone을 그래프트시켜 광조사 시키면 acetophenone에서 먼저 α -keto ether group이 Norrish Type II 반응에 의해 분해되어 주쇄에 keto group을 생성시키고 그후 Norrish Type I, II 반응에 의하여 주쇄가 절단된다.

2.2 Oxime기를 함유한 고분자

옥심 화합물은 N-O 결합에너지가 53 kcal/mol로 다른 결합에너지보다 낮기 때문에 광에너지에 의하여 쉽게 절단되어 라디칼을 발생시킨다. 이들의 광분해에 관하여는 많은 연구들이 진행되었으며 그 중 Delzenn 등은⁹ *o*-acyloxime의 분해 메카니즘을 연구하여 1-phenyl-1,2-propanedione-2-*o*-benzoyloxime의 양자수율을 용매별로 측정하여 benzene에서는 0.86, carbontetrachloride에서는 1.4로 용매에 따라 분해도에 차이가 있음을 확인하였다. 또한 Tsunooka는¹⁰ *o*-acyloxime기의 광분해성을 검토하기 위하여 모델화합물로 oximeacetate를 이용하여 분해 메카니즘을 규명하였으며 aromatic oximeacetate의 광분해는 benzophenone에 의하여 증감되며 이때의 양자수율은 약 0.9로 측정하여 *o*-acyloxime group을 측쇄에 갖는 고분자는 다음과 같은 반응이 일어남을 확인하였다 (6). 이로부터 acyloxime기를 갖는 고분자는 용액이나 공기 중에서는 광분해가 되지만 질소 중에서는 가교

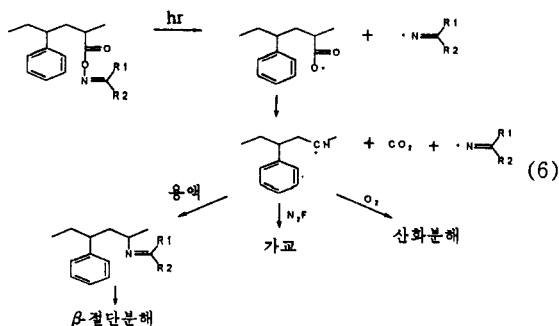


표 5. The Photolysis Quantum Yield of the Copolymer Containing Acyloximino Group

Copolymer	Solution(benzene)	Film
ANOMA(7.5%)-MMA	0.27	0.020
APOMA(5%)-MMA	0.19	0.019

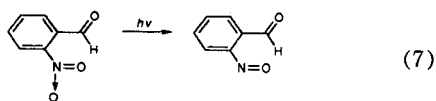
ANOMA : 2-Acetonaphthene oxim methacrylate.
APOMA : Acetophenone oxim methacrylate.

반응이 일어남을 알 수 있다. Acyloxime기를 갖는 공중합체의 용액 및 필름의 광분해 양자수율은 표 5에 나타났다.

Benzophenone을 증감제를 첨가한 용액상태와 고체상태(필름상)에서의 광분해 현상을 비교하면 관능기의 분해와 주쇄절단의 관계는 용액에서는 1/3~1/2, 필름에서는 1/30로서 필름에서는 decarboxylation 반응후 라디칼의 재결합이 일어나기 용이하기 때문에 주쇄절단의 효율이 낮다. 또한 용액상태에서는 증감제로 첨가한 benzophenone이 증감제로서 뿐만 아니라 가소제의 역할도 한다. 즉 benzophenone 존재하에서는 주쇄절단수가 온도상승과 비례하여 증가하는데 이는 benzophenone이 가소제 역할을 하여 T_g 를 낮추어 segment 운동이 활발하여져 주쇄절단이 용이해지는 것으로 추정된다.

2.3 Nitro기를 함유한 고분자

o-Nitrobenzaldehyde와 glycol의 축합중합으로 중합된 poly(o-nitrobenzaldehyde acetal)에 자외선을 조사시 다음과 같이 분해현상을 일으킨다 (7).¹¹



상기와 같은 광화학 메커니즘을 이용하여 poly(o-nitrobenzaldehyde acetal)은 광에 의하여 연속적인 분해가 일어나 glycol과 o-nitroso benzoate ester 유도체로 분해된다 (8).

2.4 Sulfide결합이 있는 고분자

Tanaka는¹² thiirane화합물을 CdSi를 촉매로하여 유화중합으로 polysulfide를 합성하였다. 이와 같이 합성된 고분자의 성질은 표 6과 같다.

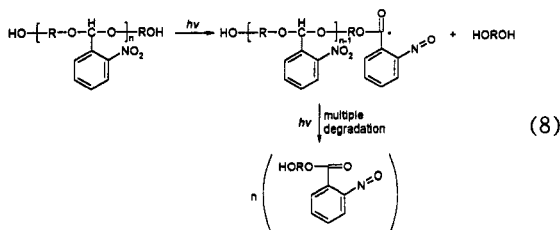


표 6. Physical Properties of Degradable Polythiiranes

Polymer	I	II	III	IV	V
X	H	Me	Et	n-Bu	C ₆ H ₅
Properties	Rubber-like Amorphous	White powder Crystalline	White powder Partially cryst.	White powder Partially cryst.	White powder
Solvent	Chloroform Chlorobenzene Toluene	Hot chloroform Chlorobenzene	Chloroform Chlorobenzene Toluene	Chloroform Chlorobenzene Tetrahydrofuran	Chloroform
UV light	Sensitive	Sensitive	Sensitive	Sensitive	Sensitive
EB	?	Sensitive	Sensitive	Sensitive	Sensitive
Developer	Ethylacetate	Chloroform	Xylene	Toluene	Ethylacetate

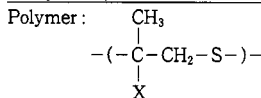
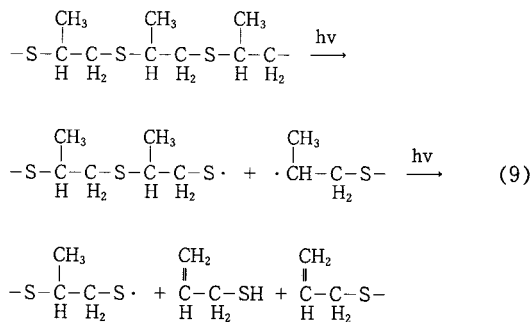
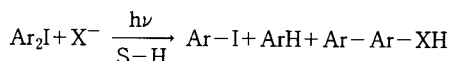


표 6에 나타낸 바와 같이 고분자 1과 3은 물성이 좋으나 2는 결정성이 커서 필름성이 나빠고 일반용매에는 난용성이며 4는 분자량분포가 커서 현상이 불균일하게 된다. 상기 고분자들을 공기 중에서 광분해시 황색유 의 냄새를 발생하는데 이 가스를 분석한 결과 약 10여종의 분해물로 분석되며 이들 중 1에서 발생하는 가스는 $\text{CHR}_1=\text{CH}_2$ 및 $-\text{SH}$ 로 확인된다. 이들로부터 polythiirane의 광분해 메커니즘은 다음과 같이 추정된다 (9).



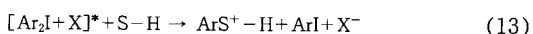
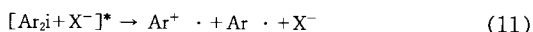
2.5 Diaryliodonium Salt를 갖는 고분자

Diaryliodonium salt($\text{Ar-I}^+ + \text{Ar}'\text{X}^-$)는 광조사에 의하여 cation중합개시제로^{13,14} 사용 가능하며 또한 이를 고분자에 응용하여 분해성 고분자로 이용할 수 있다. 용액에서의 광조사시 다음과 같은 반응이 일어난다.



상기 반응을 이용하여 위와 같은 이온결합을 고분자의 주쇄 및 측쇄에 도입하여 positive resist로 이용 가능하다. Okawara는 측쇄에 diaryliodonium salt를 갖는 phenylpolystyryliodonium salt를 합성하여 광분해를 검토하였으며 Crivello는 주쇄에 함유한 고분자를 합성한 예도 있다.

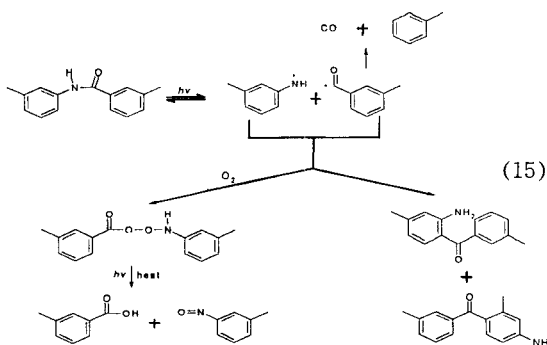
Diaryliodonium salt는 광을 흡수하여 다음과 같은 반응을 일으킨다.



상기 식 중 (11)이 주반응으로 C-I결합을 절단하는 excited 분자는 용매에 의하여 친핵 공격을 받을 수 있다. 이들의 313 nm 광을 조사하였을 때의 양자수율은 0.2이며 이때의 광반응은 산소에의 quenching 및 온도에 따른 차이는 없다.

2.6 Aromatic Polyamide의 광분해성

Aramids는 내연소성, 내열성 및 내화학성 및 high modulus를 가지는 물질이 우수한 고분자로 개발되었다. 이러한 aramids가 광에 sensitive한 것은 amide의 isomeric structure에 의한 것으로 여러 isomeric aromatic amide의 산소 존재 여부에 따른 광화학 지동을 검토하여^{15,16} 산소가 없을 때는 Photo-Fries rearrange를 일으켜 주쇄에 2-와 4-amino benzophenone을 생성하고(15) 이때의 양자수율은 $<1 \times 10^{-6}$ mole/einstein으로 매우 작은값을 나타내지만 T_g 가 감소하고 backbone mobility가 증가할수록 양자수율은 증가한다. 또한 산소 중에서는 생성된 라디칼이 산소와 결합하여 acid를 형성시킨다.



3. 결 언

지금까지 다양한 감광성기를 함유한 광분해성 고분자에 관하여 살펴보았다. 이들 고분자의 광분해에 관하여는 1960년대 후반부터 많은 연구가 되어왔고 최근에는 일회용 제품 등 자연으로 환원이 안되는 플라스틱 폐기물에 의한 환경오염이 사회의 큰 문제로 제기되고 있어, 이를 방지하기 위하여 광분해성 고분자에 관한 연구, 개발이 많이 진행되고 있다. 이를 위하여는 새로운 광분해성기에 관한 연구보다는 폴리에틸렌이나 PVC, 폴리스티렌 등 기존의 범용수지에 광분해성기를 도입시키거나 금속착체 등 광분해 첨가제를 첨가시키는 방법이 개발되고 있다. 또한 환경오염을 방지하기 위하여 광분해 뿐만 아니라 토양 중의 미생물에 의하여 분해되는 생분해성 고분자에 관한 연구도 많이 진행되고 있다.

이외에 신속하고 선택적이고 순간적인 반응을 시킬 수 있는 광반응의 장점을 이용하여 미세회로 가공이 요구되는 반도체회로 제작 등 정보처리재료, 인쇄제판 및 사진 재료 등에 많이 사용되고 있다.

참 고 문 헌

1. S. K. L. Li, *J. P. S., Polym. Chem. Ed.*, **18**, 2221 (1980).
2. W. Kawai, *J. P. S., Polym. Chem. Ed.*, **15**, 1479 (1977).
3. W. Kawai, *J. P. S., Polym. Chem. Ed.*, **12**, 201 (1974).
4. F. J. Golemba, *Macromolecules*, **5**, 63 (1972).
5. G. H. Hartley, *Macromolecules*, **1**, 413 (1968).
6. Y. Amerik, *Macromolecules*, **4**, 375 (1971).
7. M. Kato, *Makromol. Chem.*, **177**, 3455 (1976).
8. H. Tanaka, *J. P. S., Polym. Chem. Ed.*, **15**, 2613 (1977).
9. G. A. Delzene, *Eur. Polym. J.*, **6**, 933 (1970).
10. M. Tsunooka, *J. P. S., Polym. Chem. Ed.*, **15**, 107 (1977).
11. J. G. Calvert and J. N. Pitts, "Photochemistry", p. 477-480, John Wiley and Sons, 1969.
12. 田中秀明, *高分子論文集*, **37**, 269 (1980).
13. J. V. Crivello, *Macromolecules*, **10**, 1307 (1979).
14. J. V. Crivello, *J. P. S., Symp.*, **56**, 387 (1977).
15. D. J. Carlsson, *J. P. S., Polym. Chem. Ed.*, **16**, 2353 (1978).
16. D. J. Carlsson, *J. P. S., Polym. Chem. Ed.*, **16**, 2365 (1978).