

◀ 총 설 ▶

## 셀룰로오스 아세테이트 필터의 분해성

김 정 열

한국인삼연초연구원  
(2001년 6월 2일 접수)

### 머 리 말

세계적으로 환경문제에 대한 인식은 날로 증가하고 있으며, 쓰레기 매립장과 처리장의 감소 및 정부의 규제는 화학제품과 소비재 생산자들로 하여금 Product stewardship의 개념을 도입토록 사회는 변화하고 있다. 즉, 새로운 제품이 개발되었을 때 그것이 환경에 미치는 영향을 고려하지 않으면 안 되는 사회로 발전해 왔다(Taco Tuinsta, 2000). 이러한 환경 문제에 대한 사회적 변화로 인하여 담배꽂초는 환경단체 및 정부로부터 자연환경 저해 물질로써 뿐 아니라 쓰레기로써 주목의 대상이 되고 있다. 담배꽂초가 자연환경에 얼마나 많이 버려지며 어떠한 규제를 받는지 살펴보면, 담배꽂초가 자연에 버려지는 양은 애연가의 기초 질서 의식에 따라서 달라지겠지만 “캘리포니아 해안 위원회의 자료에 따르면 해변과 수로에서 수거한 쓰레기 중 담배꽂초가 제일 많았다.”는 미국 UPI 통신의 1997년 5월 23일 보도처럼 담배꽂초는 환경문제로 대두되고 있으며, 1991년 하와이주 정부는 non-degradable 필터 담배의 판매를 금지시키는 법안을 제안하고 있는 실정이다. 그러므로 담배꽂초가 자연에 버려지더라도 환경 오염원이 되지 않기 위해서는 분해성 소재의 필터를 사용해야 한다는 필요성에 대해서는 이의를 제기할 사람은 없을 것이다. 그럼, 애연가가 담배를 피우고 난 후 버려지는 담배꽂초(필터)에게는 어떤 일이 벌어질까? 아마 일반적으로 애연가가 그 당시 처해 있는 환경에서 쓰레기통에

버리던지 또는 적당히 처리해 버릴 것이다. 담배꽂초 중 일부는 소각장에서 소각되어 없어지던지, 매립될 것이며 나머지는 자연환경인 개울, 강, 하수구, 거리의 쓰레기 등으로 존재하여 꽂초 상태로 남아 있던지 아니면 분해되어 없어지던지 할 것이다.

그러나 다행스럽게도 현재 사용하는 담배 필터의 주 소재인 셀룰로오스 아세테이트 토우는 자연 환경에 버려졌을 때 영원한 것이 아니고 분해된다. 다만 분해되는데 어느 정도의 시간이 요구되느냐가 문제인 것이다. 그러므로 담배꽂초가 어떻게 분해되고, 얼마나 빨리 분해되며, 그 분해 과정에 영향을 미치는 요인들에 대해 지금까지 연구 발표된 자료를 중심으로 하여 검토하고자 한다.

### 필터의 주소재로써 셀룰로오스 아세테이트 토우

필터 소재로는 종이, 셀룰로오스 아세테이트 토우, 레이온, Polypropylene(PP) 등 여러 가지가 있다. 그러나 필터로서의 효율성, 경제성 등에 의해서 오늘날 필터의 주 소재로써 이용되고 있는 물질은 셀룰로오스 아세테이트 토우이다. 토우는 기본적으로 셀룰로오스에 근거한 1차 천연물로 되어 있으며, 셀룰로오스 아세테이트란 3개의 반응성 히드록실기를 갖는 긴 사슬의 무수 glucose와 유기산의 에스테르이다.

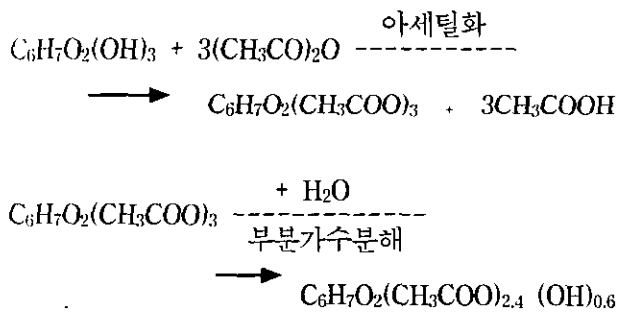
셀룰로오스 트리아세테이트는 1865년 Schutzenberger에 의해서 처음 합성되었으며, 1879년 Franchimont에 의해서 축매로 황산을 이용한 합성

\* 연락처 : 305-345 대전광역시 유성구 신성동 302번지, 한국인삼연초연구원

\* Corresponding author : Korea Ginseng and Tobacco Research Institute, 302 Shinsung-Dong, Yusong-Ku, Taejeon 305-345, Korea

법이 개발되었다. 이 합성법은 오늘날까지 이용되고 있다. 그러나 저렴한 가격의 용매에서 용해성이 낮기 때문에 산업적 개발과 이용이 잘 이루어지지 않았으나, 1904년 Miles and Eichergrun이 셀룰로오스 트리아세테이트를 부분 가수분해시켜 아세톤에 용해될 수 있는 아세테이트 합성에 성공함으로써 현재의 셀룰로오스 아세테이트가 개발되어 담배 필터에 사용되고 있다.

필터의 기본인 셀룰로오스 아세테이트 토우는 셀룰로오스 아세테이트의 연속 필라멘트 집합체로서 일련로 배열되어 주름이 있는 flat 또는 리본 같은 형태이다. 아세테이트 토우 제조공정을 살펴보면 임신된 목재 펄프를 정제하여 제조된 셀룰로오스에 황산의 촉매 작용 하에서 무수 초산으로 아세틸화시켜 셀룰로오스 트리아세테이트를 만든 후 부분 가수분해 반응으로 셀룰로오스 트리아세테이트와 셀룰로오스 디아세테이트가 혼합된 아세테이트 프레이크를 얻는다.



\* Acetyl화도

Combined acetic acid(%)=

$$\frac{\text{Acetic acid Mol. Wt.}(\text{CH}_3\text{COOH}, 60)}{\text{Acetyl group Mol. Wt.}(\text{CH}_3\text{CO}, 43)}$$

× (Acetyl value,%)

Acetyls per glucose	Acetyl value (%)	Combined acetic acid
2.0	35.0	48.8
2.4	39.3	54.8
3.0	44.8	62.5

셀룰로오스 디아세테이트는 아세톤에 용해되면 점액성의 용액 즉, 합성용액인 방사원액(dope)이 되는데 여과 시킨 다음 고압 방적돌기를 통과해서 필라멘트로 방적된다. 방사원액은 fine stream 형태로 경화실로 들어가고 이 과정에서 아세톤은 더운 공기에 의해서 증발되고 stream은 고형화되어 필라멘트로 분리된다. 이들 필라멘트를 함께 뽑아내어 주름(crimp)을 잡아 베일(bale)로 만든다.

### 필터의 분해

폐기된 담배꽂초는 햇빛, 열, 비바람, 땅속 등에 놓여져 자연환경의 지배를 받게 된다. 많은 연구 결과에 의하면 자연 환경에 놓여진 필터들은 영원하지 않고 분해된다는 사실이 밝혀졌다. 다음은 필터의 분해성에 대하여 자료 조사한 내용을 서술하였다. Snoko, R(1957)는 토양매립 실험에서 6개월 이후, 해수에서는 1년 이후 섬유 표면의 부식을 관찰하였으며, Manny Coulon 등(1994)은 호기적 조건의 미생물 배양 실험에서 필터가 완전히 분해되는데 1~2 개월, 토양 매립 시 6~9 개월, 물에서는 약 1년, 해수, 사막, 또는 지하 등과 같은 악조건 하에서는 3년 이상이 소요된다고 발표하고 있다. Lowe와 White(1991)는 토양 매립시 6 개월 후 섬유표면의 부식이 관찰되었고 완전 분해까지는 9 개월이 소요된다고 보고하고 있으며, Courtaulds filter tow의 자료(1991)에 의하면 aquatic system에서는 9 개월 이후 셀룰로오스 아세테이트 분해가, 그리고 토양 매립시에는 9 개월 후 완전 분해된다고 보고하고 있다. 그러나 Tohru Tsujimoto 등(1994)은 필터 구조에 따른 분해 실험을 수행하여 발표했는데 1년 동안의 연구 조사 결과 아세테이트 필터의 분해는 관찰되지 않았다고 보고하였다. 또한 BAT의 W. Wiethaup(1996)의 실험 결과에 의하면 토양 매립 실험에서 27개월이 지난 필터의 경우 어떤 시료는 무게 감소가 70% 있었지만 전혀 무게 감소가 나타나지 않은 시료도 관찰되었으며, 부피 변화 실험에서도 같은 연구 결과를 나타내고 있었다. 그렇지만 필터는 비록 부식 현상이 관찰되었으나 필터형태는 그대로 유지되고 있었음을 보고하였다. 김 등(1999)의 연구 결과에서도 지표면에 노출

시 12개월 후 46%, 토양매립 시 12개월 후 53%의 무게 감소가 관찰되었다고 보고하고 있다.

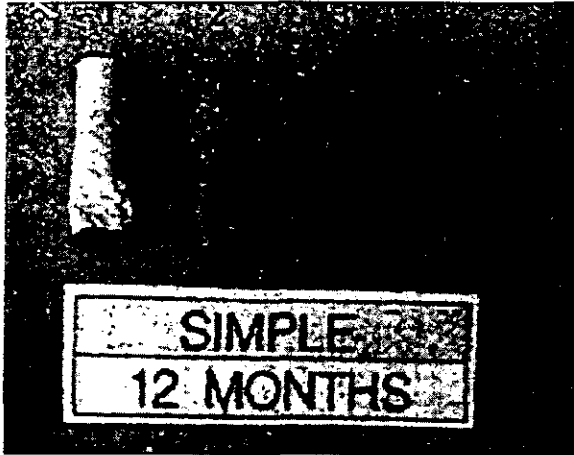


Fig. 1. Waste cigarette butts at each outdoor experimental sites(김주학 등,1999)

그림 1에 12개월 경과한 필터의 사진을 제시하였다. 그림 1의 시료 번호 3은 지표면에 노출시킨 시료이며, 4번은 토양 깊이 5cm로 매립한 시료로서 그림에서 육안으로도 관찰 할 수 있는 것처럼 필터의 분해는 확실히 진행되고 있지만 필터 형태는 크게 변하지 않았음을 알 수 있다. 또한 환경부 자료(그림 2)에 의하면 담배필터가 완전 분해되는 시간을 10~12년 소요된다고 발표하고 있다.

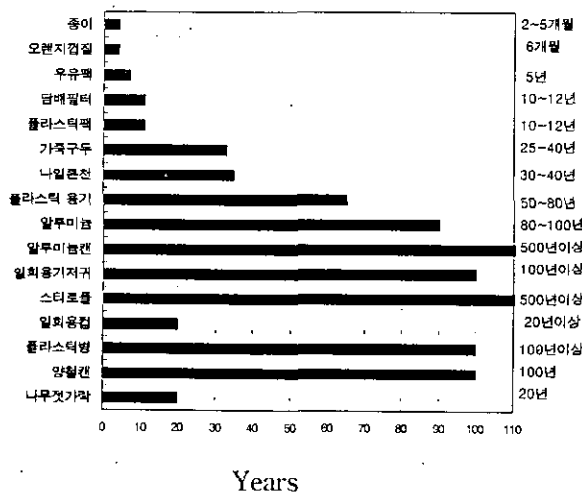


Fig. 2. Degradability of Waste (The Ministry of Environment, Korea)

이와 같이 필터는 자연환경에 버려졌을 때 영원하지 않고 분해된다는 사실이 많은 연구결과에서 확인되었다. 그러나 완전 분해되는데 소요되는 기간이 연구자간에 서로 상당한 차이를 보이고 있다. 이러한 결과는 각 연구자에게 주어진 환경과 조건이 서로 다르며 분해 측정 방법 또한 다르기 때문이다. 그래서 CORESTA Technology Study Group에서는 1993년에 Cigarette Butt Degradability Task Force Team을 구성하여 자연 환경 하에서의 분해 측정 방법 및 실험실적으로 분해성을 짧은 시간 내에 측정할 수 있는 방법을 연구하여 표준 방법을 정립 중에 있다.

### 분해 메카니즘

#### 광분해

자연에 버려진 담배꽂초는 우선 햇빛에 노출된다. 그러므로 많은 연구자들이 광 분해에 관심을 두게 되었으며, 필터의 광 분해성에 대한 연구결과가 발표되었다. Ranby와 Rabek(1975)는 셀룰로오스 아세테이트가 진공 및 공기의 존재 하에서 2,537Å 이하의 UV 파장에 노출되면 분해된다는 사실을 밝혀냈다. UV에 셀룰로오스 아세테이트가 노출되면 탈아세틸화, 분자 구조의 사슬 끊어짐, crosslinking과 같은 photolytic 반응이 일어나 케톤, 일산화탄소, 이산화탄소, 수소, 물 및 초산과 같은 화합물이 생성되어 분해된다고 설명하고 있다.

Nyok-Sai Hon(1977)은 셀룰로오스 트리 아세테이트 및 셀룰로오스 디아세테이트에 2,800Å 이하의 UV를 조사한 실험에서 점도, 인장강도 및 신장률 등이 감소하는 사실과 여러 종류의 라디칼들이 생성됨을 확인하므로써 셀룰로오스 아세테이트에 대한 UV 효과는 유리 라디칼 반응에 의하여 주 사슬 및 side-group의 끊어짐, 불포화 반응이 일어나 분자량이 작은 화합물이 생성된다고 보고하고 있다.

그러나 이들 연구 결과는 비록 셀룰로오스 아세테이트의 광분해 가능성을 확인시켜 주는 결과이지만 파장이 2,800Å보다 짧은 UV 파장은 대기 오존층을 통과할 수 없기 때문에 셀룰로오스 아세테이트는 쓰레기 환경에서는 광학적으로 분해되기 어렵다는 사실을 한편으로 제시하고 있다. 그러므로 자

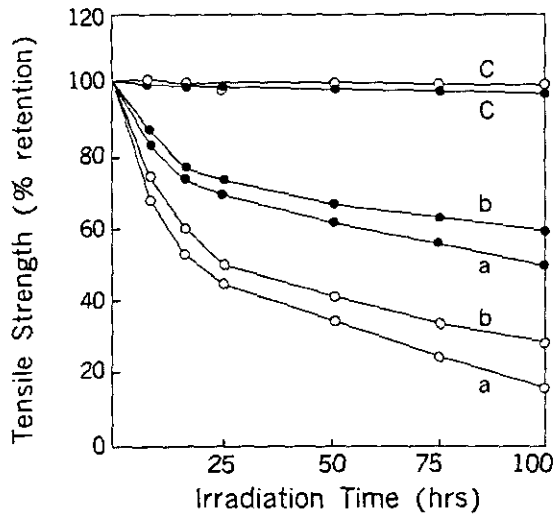


Fig. 3. Decrease of tensile strength of (●)CTA fibers and (○) CDA fibers during irradiation with light:(a)  $\lambda > 2353 \text{ \AA}$  ;(b)  $\lambda > 2800 \text{ \AA}$  ;(c)  $\lambda > 3400 \text{ \AA}$  at ambient temperature.

연환경에서의 분해과정은 실험실적 결과와는 차이가 있을 것이다. 왜냐하면 solar radiation 외에 물(이슬, 비, 습도 등), 오염물(특히, 금속이온), 산소, 오존, 질소 화합물들과 같은 여러 요인이 자연환경에는 존재하며, 이들은 분해과정에 영향을 미칠 것이기 때문이다. 그러므로 Brodof(1996)는 아세틸치환도 2.5 정도를 갖는 담배 필터 원료인 셀룰로오스 아세테이트는 빛과 물의 존재하에서 첫 단계로 가수분해적 탈 아세틸화 반응이 일어나고 이러한 반응이 계속 진행되어 사슬 끊어짐, crosslinking 반응이 일어나 궁극적으로는 케톤, 일산화탄소, 이산화탄소, 물 및 초산과 같은 화합물로 분해된다고 셀룰로오스 아세테이트의 광 분해 메카니즘을 설명하고 있다. 아래에 분해 메카니즘을 제시하였다.

이와 같이 담배 필터에 사용되는 셀룰로오스 아세테이트는 광 분해에 의하여 분해가 되지만 그 분해 속도는 셀룰로오스 아세테이트의 치환도, 노출 시간 및 입사광선에 의존하며, 처해 있는 환경, 온도, 습도, 셀룰로오스 아세테이트 토우 제조 시 사용되는 pigment, polymer crystallinity, 먼지 및 가스 등과 같은 공기 오염물에 의하여 영향을 받는다.

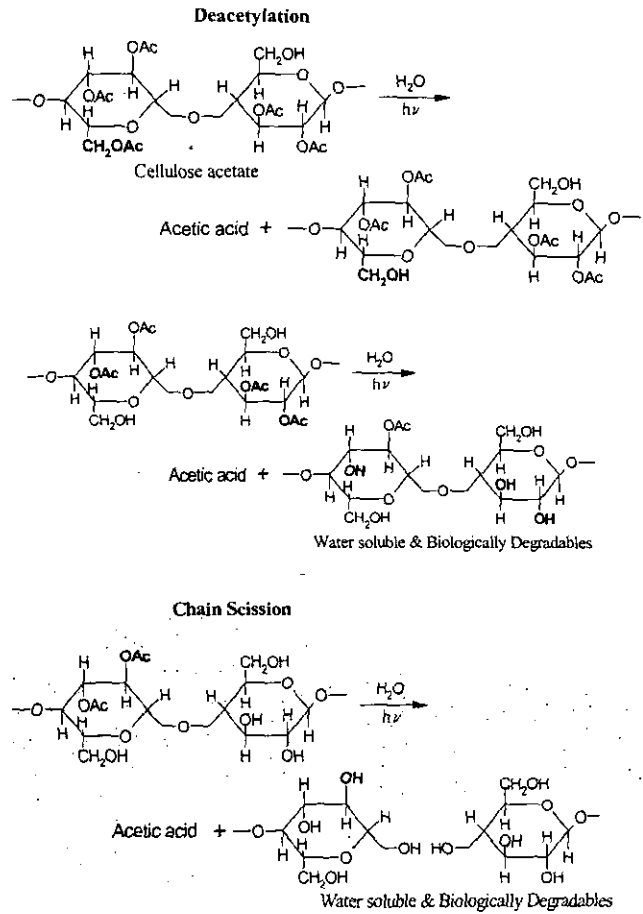


Fig. 4. Proposed scheme for Cellulose Aceate (Terry A. Brodof, 1998)

Weight Loss of Exposed Rods (5% Pz/ No Paper)

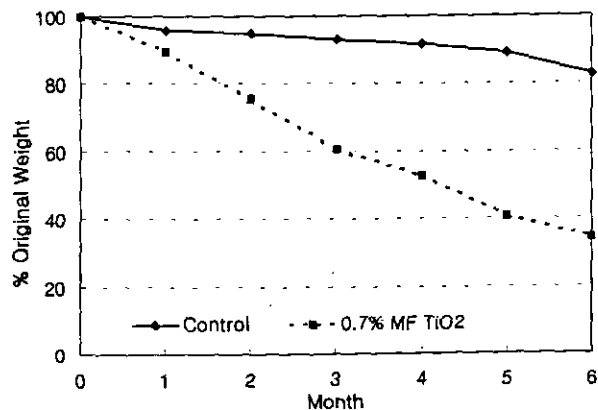


Fig. 5. Weight loss of filter rods exposed outdoors in south Florida(Brodof,1999)

그림 4에 광 분해성을 개선시킨 예를 들었다. 셀룰로오스 아세테이트 제조 시 산화티탄을 첨가제로 사용하는데 이를 anatase type 미립자 산화티탄(입자크기:10nm 이하)으로 대체함으로써 그 분해 속도가 현저히 증가됨을 확인할 수 있다. 산화티탄의 광 촉매 특성은 村擇貞夫(1996), 橋本和仁 및 藤嶋昭(1994)의 주장에 의하면 아래 그림에서와 같이 산화티탄의 가전자대 전자가 빛에너지를 흡수하여 내부에서 전자 또는 정공대가 발생되며, 이 정공은 강한 산화력을 가지고 있어 산화티탄 표면에 화학 흡착되어 있는 물분자와 반응하여 OH 라디칼을 생성함으로써 산화반응을 일으킨다.

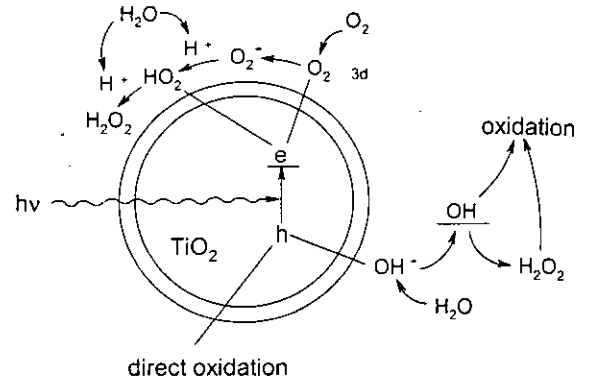


Fig. 6. Scheme for reaction between holes and electrons at the surface of TiO<sub>2</sub> (村擇貞夫, 1996)

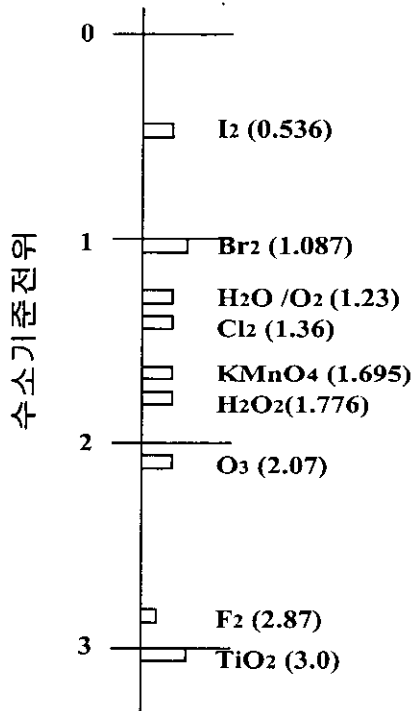


Fig. 5. Oxidation potentials of oxidants (村擇貞夫, 1996)

그러나 이러한 셀룰로오스 아세테이트의 광 분해는 필터를 싸고 있는 틱페이퍼와 필터권이 분리되지 않은 상태에서는 진행되지 않으므로 틱페이퍼 및 필터권이 우선 분리되어야 한다 (Brodo, 1998). 담배꽂초의 분해성은 셀룰로오스 아세테이트 토크, 틱페이퍼, 필터권지 등과 같은 필터 구성물의 분리성 또한 분해 속도에 큰 영향을

미친다. 그러므로 필터 구성물의 분리 촉진 또한 자연환경에서 필터의 분해성을 향상시키는 한 방법이 될 수 있다.

### 생분해성

담배꽂초는 지표면, 토양 매립, 하수구, 강 등과 같은 환경에 처해 있을 수도 있다. 이러한 환경에서는 생물권의 탄소 사이클(biosphere's carbon cycle) 또는 자연의 recycling 과정, 즉 생분해를 고려할 수 있다. 역사적으로 셀룰로오스 에스테르에 대한 생분해에 대해서는 많은 혼란이 있어 왔다. Leighton 등(1983)은 셀룰로오스 아세테이트 분리막의 분해 실험에서 fungi와 박테리아는 분리막을 분해하지 못한다고 하였으며, Stutzenberger와 Kahler(1986)는 셀룰로오스 아세테이트는 미생물 공격이 잘 안되는 물질이라고 보고하고 있다. 또한 치환도가 1.0 이하의 셀룰로오스 에스테르는 폴리머의 치환되지 않은 부분은 미생물의 공격을 받아 분해가 되지만, 셀룰로오스 구조의 backbone에 결합된 에테르는 미생물이 공격을 하지 못한다고 알려져 왔다(Siu 등, 1949; Kasulke 등, 1983; Perlin and S. S. Bhattacharjee, 1971; Wirick, 1968). 이러한 결과는 평균 아세틸기 치환도가 2.5 정도인 셀룰로오스 아세테이트로 제조된 담배 필터는 쓰레기 환경에서는 생분해 될 수 없다는 사실을 의미한다고 볼 수 있다. 그러나 Reese(1957)는 탈아세틸화된 용해성 셀룰로오스 아세테이트와 불용성

cellobiose octaacetate를 분리함으로써 상반되는 결과를 도출해 냈으며, Cantor and Mechalas(1969)는 셀룰로오스 아세테이트의 생분해 가능성에 대한 결과를 발표하였으며, 1992년 이후 호기적(Buchanan 등, 1993, Komarek, 1993) 및 혐기적 조건(Rivard 등, 1992)에서 셀룰로오스 아세테이트는 분해된다고 보고하고 있으며, 많은 셀룰로오스 에스테르들이 쉽게 퇴비화될 수 있다는 사실들이 밝혀졌다(Gardner 등, 1994; J. -D. Gu 등, 1992, 1993; Gross 등, 1993).

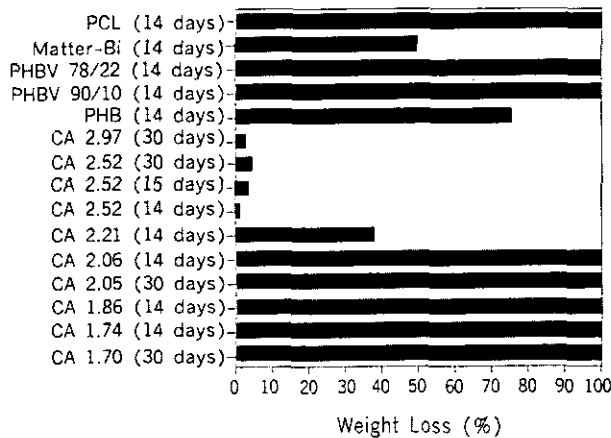


Fig. 8. The relative percent weight 1088 of commonly excepted biodegradable films and cellulose acetate with differing degrees of substitution

즉, 아세틸기 치환도 2.5 정도를 갖는 담배 필터는 미생물 효소계의 deacetylase에 의해 또는 가수분해(Yamashita 등, 1995)에 의해서 탈 아세틸화 반응이 일어나 치환도 2.5 이하의 셀룰로오스 아세테이트가 되며 cellulase와 deacetylase에 의해서 폴리머의 체인이 끊어짐으로써 낮은 분자량을 가지며 물에 용해되는 예를 들면, xylose, glucose, cellobiose, cellotriose 등과 같은 당들이 형성된다.

그림 9에 Ji-Dong Gu 등 (1993)이 제시한 셀룰로오스 아세테이트의 생분해 메카니즘을 나타냈다.

생분해를 위하여 필요한 물리적, 화학적 요구 사항인 온도, pH, 수분, 영양소, 산소, 물리적 여건 등의 조건이 만족되어야 생분해가 활발히 진행될 수 있으며, 그 분해 속도는 광 분해에서와 같은 경

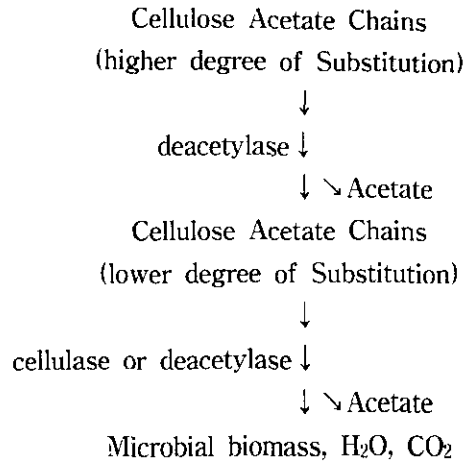


Fig. 9. Proposed Scheme for Cellulose Acetate Biodegradation (Ji-Dong Gu 등, 1993)

향으로 셀룰로오스 아세테이트의 치환도가 감소함에 따라서 증가한다.

### 끝 맺음말

우리 애연가는 담배꽂초가 어떻게 그리고 얼마나 빨리 분해되느냐에 관심을 갖기 이전에 질서 의식을 갖고 우리의 보고인 지구 환경 보호를 위해서 담배꽂초를 아무데나 버려서는 안될 것이다. 또한 현재 사용하고 있는 담배필터는 자연에 영원하지 않으며 광분해 또는 생분해에 의해서 분해되어 사라진다. 그렇지만 그 분해는 담배꽂초가 처해 있는 환경에 지배를 받기 때문에 정확히 어느 정도의 시간이 요구되는지는 정확히 말할 수 없다. 경우에 따라서 사막, 해변, 지하 등 악조건 하에서는 수년 이상이 걸린다. 그러므로 현재 필터의 주 소재인 셀룰로오스 아세테이트 토우보다 더 광분해 및 생분해가 잘 일어나는 환경 친화적 필터 소재 개발과 필터의 분리성을 향상시키는 노력이 이루어져야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

김주학, 윤오섭, 이문수(1999) 실외에서 발생하는 폐 담배필터의 분해특성, 한국연초학회, 제 21권

- 2호, 136-143.
- 村擇貞夫(1996) 酸化티탄 光觸媒와 그의 應用, 色材, 69(7), pp 444-454
- 橋本和仁 및 藤嶋 昭(1994) 光觸媒 反應에 의한 물의 淨化, 用水 및 廢水, 36, pp 851.
- Bhattacharjee S. S. and A. S. Perlin(1971) Enzymatic Degradation of Carboxymethylcellulose and Other Cellulose Derivatives, *J. Polym. Sci., PartC*, 36, 506-521
- Brodof, T. A.(1998) Photochemical Degradation, *Tobacco Reporter*, Nov., 54-61
- Brodof, T. A.(1999) Ashes to ashes-Celanese Acetate studies filter disintegration in the environment, *Tobacco Reporter*, May, 82-85
- Buchanan, C. M., D. Dorschel, R. M. Gardner, R. J. Komarek, A. J. Matosky, A. W. White, and M. D. Wood(1996) The Influence of Degree of Substitution on Blend Miscibility and Biodegradation of cellulose Acetate Blends, *J. Environ. Polym. Degr.*, Vol. 4, No.3, 179-195
- Buchanan, C. M., D. Dorschel, R. M. Gardner, R. J. Komarek, A. J. Matosky, A. W. White(1995) Biodegradation of Cellulose Esters: Composting of Cellulose Ester-Diluent Mixture, *J.M.S.-Pure Appl. Chem.*, A32(4), 683-697
- Buchanan, C. M., R. M. Gardner, R. J. Komarek and A. W. White(1993) Aerobic Bio-degradation of Cellulose Acetate, *J. Appl. Polym. Sci.*, Vol. 47, 1709-1719
- Buchanan, C. M., R. M. Gardner, R. J. Komarek, S. C. Gedon, and A. J. Matosky(1993) in *Fundamentals of Biodegradable Materials and Packing*(D. Kaplan, E. Thomas, and C. Ching, Eds.), *Biodegradation of Cellulose Acetates*, 133-150, Technomic Publishing Co., Lancaster, Pennsylvania
- Cantor, P. A. and B. J. Mechals(1969) Biological Degradation of Cellulose Acetate Reverse-Osmosis Membranes, *J. Polym., Sci.: Part C*, No.28, 225-241
- Collazo H., S. K. Haynes, L. W. Renfro(1995) An Accelerated Method for Assessing the Non-Biological Degradation of Cigarette Filters, CORESTA Meet. Smoke-Techno Groups.
- Coulon M., H. Fozard, E. Teufel, and R. Willmund(1994) Increasing the Degradation Rate of Cellulose Acetate Fibres, *Tobacco Reporter*, June, 48-51
- Deutsch L.(2000) A Draft Final report of Cigarette Butt Degradability Task Force
- Gardner, R. M., C. M. Buchanan, R. Komarek, D. Dorschel, C. Boggs, and A. W. White(1994) Compostability of Cellulose Acetate Films, *J. Appl. Polym. Sci.*, Vol. 52, 1477-1488
- Gross, R. A., J.-D. Gu, D. Eberiel, M. Nelson, and S. P. McCarthy(1993) In *Fundamentals of Biodegradable Materials and Packing*(D. Kaplan, E. Thomas, and C. Ching, Eds.), Technomic Publishing Co., Lancaster, Pennsylvania.
- Ji-Dong Gu, D. Eberiel, S. P. McCarthy, and R. A. Gross(1993) Degradation and Mineralization of Cellulose Acetate in Simulated Thermophilic Compost Environments, *J. Environ. Polym. Degr.*, Vol.1, No.4, 281-291
- J-D. Gu, D. Eberiel, M. Nelson, and S. P. McCarthy(1993) In *Fundamentals of Biodegradable Materials and Packing*(D. Kaplan, E. Thomas, and C. Ching, Eds.) Technomic Publishing Co., Lancaster, Pennsylvania
- Kasulke U., H. Dautzenberg, E. Polter, and B. Philipp(1993). Enzymatic Degradation of Some Cellulose Derivatives, *Cellul. Chem. Technol.*, 17, pp423
- Komarek, R. J., R. M. Gardner, C. M. Buchanan, and S. Gedon(1993), Biodegradation of Radio-labeled Cellulose Acetate and Cellulose Propionate, *J. Appl. Polym. Sci.*, Vol. 50, 1739-1746
- Lawton, T. S. Jr., and H. K. Nason(1945) *Modern Plastics*, Vol.22, Jan., pp 145-177
- Leighton C. W. Ho, D. D. Martin, and W. C. Lindemann(1983) Inability of Micro-organisms

- to Degrade Cellulose Acetate Reverse-Osmosis Membranes, *Applied and Environmental Microbiology*, Feb., 418-427
- Lowe H. M. and J. N. T. White(1991) Degradation of Cellulose Acetate Filters in the Environment, CORESTA Meeting. Smoke-Techno Groups.
- Manny Coulon etal(1994) Increasing the degradation rate of cellulose acetate fibers, *TJI*, June, pp 48-51
- Nyok-Sai Hon(1977) Photodegradation of Cellulose Acetate Fibers, *J. of Polym. Sci.*, Vol. 15, 725-744
- Ranby, B. G.(1975) Photodegradation, photo-oxidation, and photostabilization of polymer, published by John Wiley & Sons Ltd., pp247-251
- Reese(1957) *Industry Eng. Chem.* 49, pp 89
- Rivard, C. J., W. S. Adney, M. E. Himmel, D. J. Mitchell, T. B. Vinzant, K. Grohmann, L. Moens, and H. Chum(1992), Effects of Natural Polymer Acetylation on the Anaerobic Bioconversion to Methane and Carbon Dioxide, *Appl. Biochem. & Biotech.*, 34/35, 725-735
- Siu, R. G.H et al(1949) Specificity of microbiological attack on cellulose derivatives, *Text Res. J.*, 484
- Snoke, L. R.(1957) Resistance of organic materials and cable structures to marine biological attack, *Bell System Technical J.*, 36, pp 1095-1127
- Stutzenberger F. and G. Kahler(1986) Cellulose Biosynthesis during Degradation of Cellulose Derivatives by *Thermomonospora curvata*, *J. Appl. Bacteriology*, 61, 225-233
- Taco Tuinsta(2000) Best Practice : BAT's commitment to sustainable development goes beyond lip service, *Tobacco Reporter*, July, 28-33.
- Tohru Tsujimoto, Susumu Minamisawa, Masayuki Susa, and Taihei Nitadori(1994) A Study of the Physical Degradation of Cigarette Butts, CORESTA Meeting. Smoke-Techno Groups.
- Teufel E. and R. Willmund(1991) Degradation of Cellulose Acetate Filters in Aqueous Systems, CORESTA Meeting. Smoke-Techno Groups.
- Wilson S. A.(1996) Environmentally Disintegratable Cigarette Filters Made from Acetate Tow, 50th TCRC
- Wirick, M. G.(1968) A Study of the Enzymic Degradation of CMC and Other Cellulose Ethers,, *J. Polym. Sci.*, Part A-1, 6, 1965-1974
- Wiethaup, W(1996), The Fate of Cigarette Filters in the Environment, *TJI*, March, 34-36
- Yamashita Y., Shibata T., Shinozaki M., Tokida A.(1995) Degradation of cellulose acetate filters in natural environments, CORESTA Meet. Smoke-Techno Groups.