

실외에서 발생하는 폐 담배필터의 분해특성

김주학^{1)*} · 윤오섭²⁾ · 이문수

¹⁾한국담배인삼공사 신탄진제조창, ²⁾대전산업대학교 환경공학과,
한국인삼연초연구원
(1999년 11월 15일 접수)

The degradation characteristics of waste cigarette filter in outdoor

Ju-Hak Kim^{1)*}, Oh-Sub Yoon²⁾, Moon-Soo Rhee

^{1)*}Sintarjin Manufacture Department, Korea Tobacco & Ginseng Cooperation

²⁾Department of Environmental Engineering,

Taejon National University of Technology, Taejon 305-320, Korea

Korea Ginseng and Tobacco Research Institute, Taejon 305-345, Korea

(Received November 15, 1999)

ABSTRACT : This study was conducted to evaluate the degradation characteristics of waste cigarette filters under 0, 5, 10, and 15cm in depth from soil surface by environmental conditions. Weather was the most important factor during degradation of waste cigarette filters in this study. Bulking of cellulose acetate filaments exposed on soil surface was observed after 2 months, but the form of filter was kept up after 12 months. The treated cigarette filters in soil landfill revealed a little different degradation pattern at each soil landfill depth, The sample in 5cm depth of soil was more degraded then other site. A fluffy appearance of cellulose acetate filaments in the control filter rods was also developed more strongly in soil landfill then on soil surface. From the observation of waste cigarette filters by scanning electron microscopy, much degradation of the fiber of waste cigarette filters could be ascertained in soil landfill. The weight of waste cigarette filters under 5cm from soil surface was reduced about 50%, and the tensile strength of the samples in soil surface and under 5cm from soil surface were reduced 66.0% and 92.4%, respectively. The microbial population and cellulolytic microorganisms showed the maximum values under 5cm from soil surface, suggest that microorganisms in soil play an important roll in the degradation of acetate cigarette filters.

Key words : waste cigarette filter, filter degradation, soil landfill, microbe

담배가 기호품의 하나로 흡연자의 욕구를 충족
시켜왔지만, 실외흡연이 증가하는 추세에 따라 무

단 투기되는 담배꽂초가 환경오염을 야기 시키고
있다. 때문에 실외에서 발생하는 담배꽂초는 흡연

*연락처 : 306-712, 대전광역시 대덕구 평촌동 100번지, KT & G, 신탄진 연초 제조창

*Corresponding author : Sintarjin Manufacture Dep., Korea Tobacco & Ginseng Co., 100 Pyungchon-Dong,
Daeduk-Ku, Taejon 306-712, Korea

자의 도덕성과 거리의 쓰레기통에만 의지할 뿐 뚜렷한 대책이 없어 사회적으로 폐기물 문제를 초래하고 있다.

담배필터 재료인 셀룰로오스 아세테이트(cellulose acetate ; CA)는 반 합성 섬유로써 흡연자에게 보건위생상 효과적일 뿐만 아니라, 담배의 고유한 맛과 향을 유지시킬 수 있는 장점을 지니고 있다. 반면에 거리, 옥외 경기장 등 실외에 무단 투기될 경우 자연환경에서 분해가 용이하지 않아 불쾌한 인상을 갖게 하며, 수거 시 많은 인력을 요구하는 등 단점도 없지 않다. 최근 5년 동안 국내에서 연평균 1천억 본의 담배가 소비되어 발생된 폐 담배필터의 양은 연간 약 3만 톤으로 추정할 수 있으며, 여기에는 실외에서 발생된 것이 상당수 포함되어 있다고 할 수 있다. 또한 이 양은 전체 폐기물의 0.14%(한국담배인삼공사, 1992)를 점유하고 있는 것으로 파악되었다.

담배필터 재료로 대부분 사용되는 CA의 분해(Celanese report, 1991; Tohru, 1994)는 광분해(Barret, 1955; Hon, 1977; Gu, 1993), 생분해(Siu, 1949; Buchanan, 1996; 松林 克明 등, 1997)가 복합적으로 작용한다고 하였으며, 치환도와 관련한 분해 메카니즘을 제안(Brodof, 1996)하기도 했다. 이처럼 분해에 관여하는 인자를 쉽게 도출하거나 증명한다는 것은 곤란하지만 가장 근접한 결과를 얻어냄으로써 그 결과를 응용할 수 있을 것으로 사료된다.

따라서, 본 연구는 일정한 실험실 조건이 아닌 우리나라 토양과 기후조건 아래에서 발생된 폐 담배필터가 어떤 분해특성을 나타내는지 조사하여 향후 환경친화형 고분자 소재개발의 기초자료를 얻고자 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

실험재료

실험용 시료는 대전광역시 일부지역에서 발생된 시판제품 담배꽂초중 수 작업으로 특징적인 4종의 폐 필터만을 선별하여 1998년 3월부터 12개월 동안 지표면 폭로 및 지하 매립실험을 수행하였다. 폐 필터의 길이는 24mm(THIS, 88 LIGHT)와

30mm(ESSE, SIMPLE)로 분류하였으며, 폐 필터(각 100개)에 부착된 응축물의 영향을 참고하기 위해 담배가 부착되지 않은 필터로드(각 10개)도 병행하여 실험하였다.

자연환경 폭로

폐 담배필터의 분해성 실험은 지표면(soil surface ; SF) 폭로 실험과 토양 내 매립(soil landfill ; SL) 실험을 수행하였다. 특히, 토양 매립시료는 Celanese社의 실험(1991)과 유사하게 토양 매립깊이(5, 10, 15cm)별로 분해정도를 실험하였다. 또한 실험이 진행되는 동안 일일 기후도 동시에 관측하였다.

각 실험장소에서 채취한 시료는 주기적인 육안 관찰과 흡연직후, 6개월경과 후, 12개월 경과 후 종이 및 cellulose acetate 폐 필터의 전자현미경(JEOL JSM-840A, Japan)관찰을 했으며, 무게측정 과정에서 전처리하는 시료에 부착된 토양입자와 이물질을 제거하기 위해 90℃에서 수욕(水浴) 후 오븐(Mechanical convection oven, HAN MI Scientific Co, HM-30)으로 105℃에서 2시간 건조시킨 후 20℃, 상대습도 65%에서 4시간 항온항습(Low temp & humi test chamber, C & C Scientific Co, C.C-101-S)후 무게를 측정(Denver instrument Co, AA-200)하였으며, 인장강도(Instron, USA)시험은 각 실험장소에서 실험기간의 경과에 따른 CA시료의 인장강도(g_f/de)를 KS K 0520의 정속인장식에 의거 10mm를 파지하고 시험하였는데 시료는 CA를 대표하는 SIMPLE 시료를 3회 연속 시험하였다. 시험값은 시료 파지 후 정속인장시 시료가 절단되는 값(g_f)을 시료의 total denier(td ; 30,000 de)로 나누어 계산(g_f/de)하였다.

미생물 실험

미생물 실험은 폭로기간 경과 후 CA의 분해현상을 조사하였다. 잘 알려진 대로 CA가 수용성이 아니므로 배지로부터 cellulose acetate에서 cellulose만을 추출해 실험하였다. 분석항목은 각 시료의 생균수, 분해균수의 변화를 대조용 시료(control ; CO), THIS 시료(T), SIMPLE 시료(S)로 구분하여 각 실험장소에서 3개의 시료를 채취해 실험하였다.

생균수 조사

폐 담배필터를 폭로시킨 각 실험장소에서 적당량의 시료를 현장에서 polyvinyl bag에 채취하여 ice - box에 넣고, 이동된 시료로부터 필터를 포함한 토양과 대조시료 장소의 토양을 각각 5g 씩 채취하여 삼각플라스크에 넣어 증류수(D.W) 45 ml와 혼합한 후 30℃, 200 rpm에서 2시간동안 진탕 배양 (SangWoo Scientific Co. SW-90S)을 하였다. 진탕 후 각각의 삼각플라스크에서 1 ml 씩 채취하여 연속 희석한 후 평판 배양법에 의해 생균수를 조사하였는데 미생물은 곰팡이와 세균으로 나누어 조사했고 곰팡이는 PDA 배지 (potatoes ; 200 g, bacto dextrose ; 20 g, bacto agar ; 15 g, D.W ; 1 l)를 사용하였으며, 세균은 NA 배지 (polypeptone ; 6 g, beef extract ; 3 g, D.W ; 1 l)를 이용하였고, PDA와 NA 배지에 tetracycline (50 µg/ml)과 cycloheximide (50 µg/ml)을 각각 첨가하였다. 연속 희석한 각 시료를 접종하여 30℃에서 곰팡이는 48시간, 세균은 24시간 정치배양 (SangWoo Scientific Co. SW-901)한 후 생균수를 CFU (colony forming unit)/g 으로 환산하여 표시하였다.

Cellulose 분해 미생물 조사

Cellulose 분해 미생물 조사는 앞서 언급한 생균수 조사방법과 동일하게 연속희석 평판 배양법으로 수행하였다. 각 시료 내에 포함된 cellulose 분해 미생물만을 선택적으로 배양하기 위해 cellulose ; 10 g, (NH₄)₂SO₄ ; 2 g, KH₂PO₄ ; 1 g, MgSO₄ 7H₂O ; 0.25 g, CaCl₂ ; 1.2 g, FeSO₄ · 7H₂O ; 0.01 g, Agar ; 20 g, D.W ; 1 l로 제조하여 실험하였고, cellulose 분해 미생물을 효과적으로 분리하기 위해 염색시약으로 tryphane blue (0.09 g/D.W 1 l)를 사용하였으며 곰팡이와 세균의 오염을 방지하기 위해 cycloheximide (50 µg/ml)와 tetracycline (50 µg/ml)을 각각 첨가하였다. 이어서 정치 배양기를 이용하여 곰팡이는 72 시간, 세균은 48 시간동안 30℃에서 배양 한 후 투명환 (clear zone)에 형성된 군락 (colony)을 계수 하였다.

결과 및 고찰

육안관찰

1개월 주기로 육안관찰을 한 결과 지표면 시료의 경우 3개월경과 후 모든 시료의 tip paper가 이완되고, 2-4개월경과 후 집중적으로 plug wrap이 분리되는 것을 관찰할 수 있었다. 5개월경과 후 필터는 부풀림(bulk)현상과 섬유사(filament) 돌출이 시작되었고, 필터로드는 곡선의 형태로 변형되었지만 재질변형에 있어서 초기모습과 큰 차이는 없었다.

토양에 묻어둔 시료는 6개월경과 후 부풀림 현상이 뚜렷하였으며, 종이필터는 형체를 알아볼 수 없었다. 밝은 밤색을 지닌 시료는 12개월경과 후에 필터 및 필터로드 모두 섬유사 돌출현상이 두드러지게 나타났다. Fig. 1은 각 실험 장소별로 채취한 시료를 나타내고 있다.

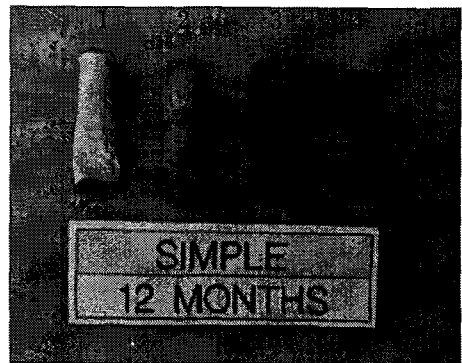


Fig. 1. Waste cigarette butts at each outdoor experimental sites.

Fig. 1에서 보는바와 같이 필터전체가 단일재료로 되어있는 시료를 확인하기위해서 시판제품 SIMPLE 필터를 1.흡연직후, 2.콘크리트 포장도로 노출, 3.지표면 노출, 4.토양 매립 5cm 순서로 나열한 것인데 지표면 시료에서 섬유사 돌출이 심하게 발생됨을 확인할 수 있었다. 12개월경과후 필터로드의 경우 지표면시료에서는 단순한 곡선형태로 변형되었지만 매립시료의 경우 미세한 섬유사가 상당히 돌출되어 있었다. 또한, 종이부분은 혼

적을 찾을수 없었으며 cavity등은 지중에 잔존함을 볼 수 있었다.

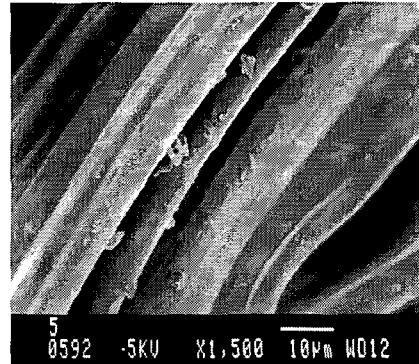
전자현미경(SEM) 관찰

변형된 폐 필터의 분해형태를 확인하고자 전자현미경을 관찰한 결과 흡연직후 CA 필터에서는 흡연으로 흡착된 이물질들을 관찰할 수 있었고, 종이 필터는 줄기형태를 유지하고 있었다. 6개월경과 후 지표면에 폭로된 종이필터는 줄기형태가 붕괴된 모습을 확인할 수 있었고, 매립된 CA 필터는 생물의 이동경로 같은 흔적을 관찰할 수 있었다. 12개월경과 후 지표면 시료보다는 Fig. 2와 같이 매립된 CA 시료가 형태를 알아볼 수 없을 정도로 분해가 왕성함을 관찰할 수 있었다.

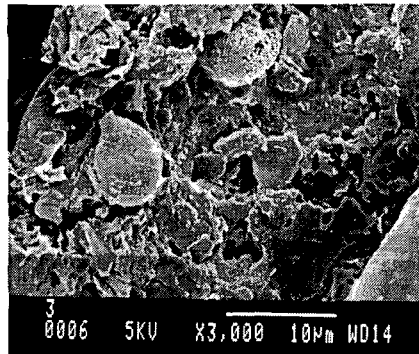
무게변화

자연환경에서 폭로된 시료의 무게변화 측정은 아래 Table 1과 같다.

Table 1에서 보는바와 같이 4종의 시료가 지표면 위에서는 약 46%, 매립시료의 경우는 약 53%의 평균 무게감소를 나타내었다. 이처럼 지표면보다는 지중에 존재하는 미생물과 토양환경에 의해 매립된 시료의 분해가 활발함을 간접적으로 확인할 수 있었으며, 대조용 시료인 필터로드의 경우



Initial



After 12 months

Fig. 2. Scanning electron microscopy of the fibers in fresh and degraded SIMPLE cigarette filters in soil landfill for 12 montho.

Table 1. Weight loss of butts from the waste cigarettes filters exposed at different sites.

(unit ; mg)

Site	Date	Cigarettes name				Wt.loss (%)	RODS	Remarks
		ESSE	THIS	88 LIGHT	SIMPLE			
Soil surface	1998.3.16	133.29	233.34	348.05	212.89		674.51	
	9.16	95.87	174.80	71.50 ^{a)}	144.68		602.11	
	1999.3.16	89.64	150.55	68.97 ^{a)}	137.32		577.90	
	Wt.(%)	-32.75	-35.48	-80.18	-35.50	-45.98	-14.32	Butts(10)
Soil landfill ^{b)}	1998.3.16	131.91	237.74	348.84	215.61		666.92	Rods(5)
	9.16	92.06	152.04	53.02 ^{a)}	136.61		521.34	
	1999.3.16	84.43	117.25	48.76 ^{a)}	131.12		488.67	
	Wt.(%)	-35.99	-50.68	-86.02	-39.19	-52.97	-26.73	

a) Exception of open cavity (One pack ; 147.4mg)

b) depth ; 5cm

는 지표면 그리고 매립시료가 각각 14%, 26%의 감소율을 나타냈는데 이것은 필터로드에 지류가 부착되지 않아 순수한 CA가 자연환경에 폭로되었기 때문에 분해율이 낮은 것으로 추측된다. 이와 같은 무게감소는 Coulon(1994)와 Brodof(1996)의 실험결과와 유사함을 나타내었다.

인장강도 시험

폐 담배필터의 자연환경 폭로에 따른 분해율을 측정하는 방법으로 측정한 인장강도 시험결과를 Table 2에 나타냈다.

Table 2에서 보는바와 같이 12개월경과 후 지표면 위의 시료는 66%, 매립시료는 92%의 감소율 나타냈다. 6개월경과 후부터 시험 값이 완만하게 감소된 것은 동절기의 분해현상이 하절기 보다 둔화된 영향으로 볼 수 있는데, 이러한 결과는 Fels(1960)의 실험결과와 유사하였다.

미생물 실험

본 연구에서 수행된 앞의 결과들 즉, 폐 담배필터의 육안 관찰, 전자현미경 관찰, 무게 변화, 인장강도 시험 등의 결과를 종합적으로 살펴보면 CA의 분해속도는 자연상태에서는 매우 느리지만 CA섬유의 분해에 관여하는 미생물의 영향이 있을 것으로 추정된다. 이러한 예측은 Siu(1949)등의 미생물에 의한 cellulose 유도체들에 대한 분해연구에서도 지적된 바 있다. 따라서 본 연구에서는 각종 폐 필터들의 미생물에 대한 분해능을 생균수와 cellulose 분해균수 등을 측정 하므로써 그 영향을

확인하였다.

생균수 조사

각 실험장소에 폭로된 시료와 시료주변에 서식하는 생균수를 측정된 결과 대체적으로 fungi보다 bacteria수가 월등히 높음을 확인할 수 있었다. Fig.3 은 실험장소중 지표면에 서식하는 생균수이다.

Fig. 3 에서와 같이 지표면에서의 생균수는 대조시료(CO)보다 모든 시료 주변에 부착된 토양에서 bacteria, fungi의 분포가 다소 높음을 알 수 있었다. 그러나, Actinomycetes는 대조시료에 비하여 그 증가폭이 낮았다. 이러한 결과로부터 지표면에서 폐 담배필터의 분해에는 bacteria, fungi가 관여

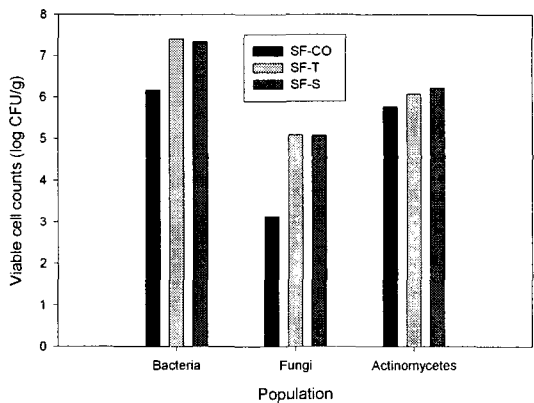


Fig. 3. The number of viable cell counts of microbial poulation inhabited in soil surface (SF; Soil surface, CO; Control, T; THIS, S; SIMPLE).

Table 2. Tensile strength change of the waste cigarette filter exposed under natural weather conditions.

Sample Description	gf(①)			Denier(②)	Values(gf/De) ③=(①÷3)÷②	Change(%)	
	1	2	3				
Initial	11,010	8,199	9,157		0.315	0.00	
6 Mt.	soil surface	3,621	1,962	4,411	30,000	0.111	-64.76
	soil landfill ^{a)}	1,294	934	744		0.033	-89.52
12 Mt.	soil surface	3,874	3,189	2,585		0.107	-66.03
	soil landfill ^{a)}	558	652	948		0.024	-92.38

a) depth ; 5cm

한다는 것을 예측할 수 있었으며 이 경우 특히 fungi가 bacteria보다 더욱 증식한 것을 고려할 때 필터분해에 fungi의 역할이 큰 것으로 생각된다.

토양매립 5cm의 시료에서는 Fig. 3과 비슷하였으며, 특히 SIMPLE 시료 보다 THIS 시료에서 더 많은 생균수가 나타났는데 이것은 활성탄으로 구성된 필터의 비표면적이 넓어 상대적으로 많은 균수가 관측된 결과로 Fig. 4에 나타내었다.

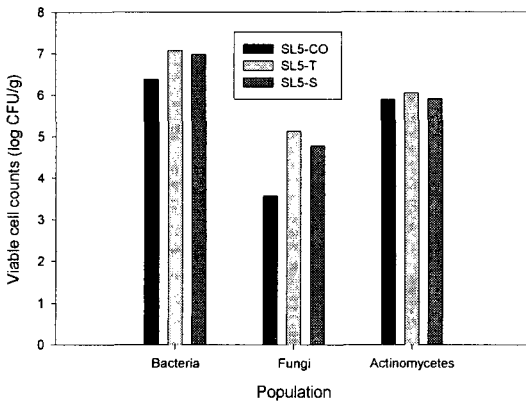


Fig. 4. The number of viable cell counts of microbial population inhabited in the depth of 5 cm below soil landfill (SL5-CO; Soil landfill 5cm-Control, SL5-T; Soil landfill 5cm-THIS, Soil landfill 5cm-SIMPLE).

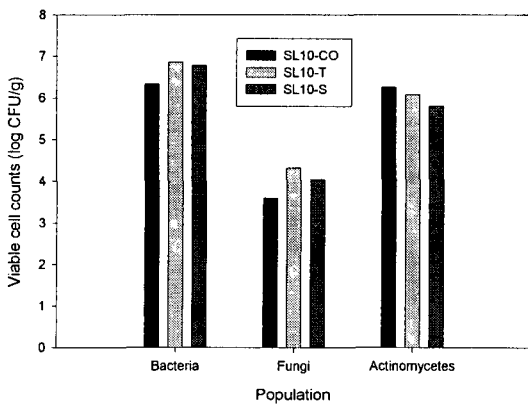


Fig. 5. The number of viable cell counts of microbial population inhabited in the depth of 10cm below soil landfill.

토양매립 10cm에서 서식하는 생균수는 대조시료와의 생균수 격차가 감소되었으며, actinomycetes는 반대로 대조시료가 다른 시료보다 많음을 Fig. 5에서 확인할 수 있었다. 이것은 일정한 토양깊이로 들어갈수록 분해에 관여하는 미생물이 희박함을 추정할 수 있다. 이러한 결과는 다음 Fig. 6에서 보는 바와 같이 SL-15에서는 더욱더 세균수의 분포가 감소된 것으로도 확인이 가능하였다.

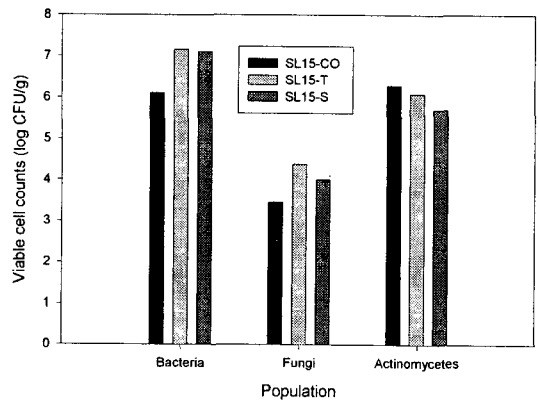


Fig. 6. The number of viable cell counts of microbial population inhabited in the depth of 15cm below soil landfill.

Cellulose 분해 미생물 조사

지표면에서 서식하는 cellulose 분해균수는 Fig. 7에서 보는바와 같이 대조시료보다 약 2 viable cell counts(log CFU/g)정도 높은 것이 조사되었다. 토양매립 5cm(SL-5)에서 회수한 필터 주변에 서식하는 cellulose 분해 균수는 bacteria, fungi 모두 Fig. 8과 같이 대조시료와의 차이가 감소됨을 볼 수 있는데, 이러한 현상은 Alexander(1961)가 지적한 것처럼 계절의 영향에 따른 토양의 섬유소 분해속도는 지표면에서 지하 5cm깊이까지 섬유소 분해율이 높음을 확인할 수 있었다.

또한, 토양 표면으로부터 10cm 매립에서 15cm 깊이로 했을때 필터에 부착된 분해균수가 감소되는 결과를 Fig. 9, 10에 나타내었으며, 이것은 토양의 깊이가 깊어질수록 용존산소등이 적어 미생

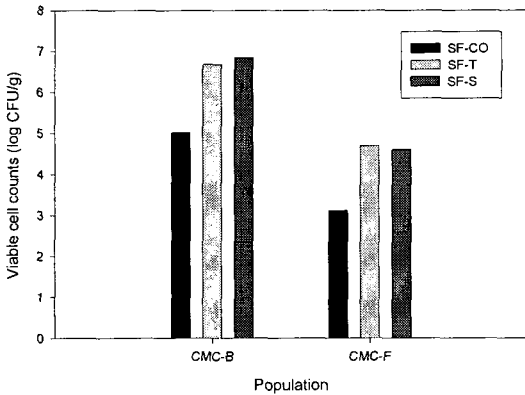


Fig. 7. The number of viable cell counts of cellulolytic microorganisms inhabited in soil surface (CMC-B; Carboxymethylcellulose-Bacteria, CMCC-F; Carboxymethylcellulose-Fungi).

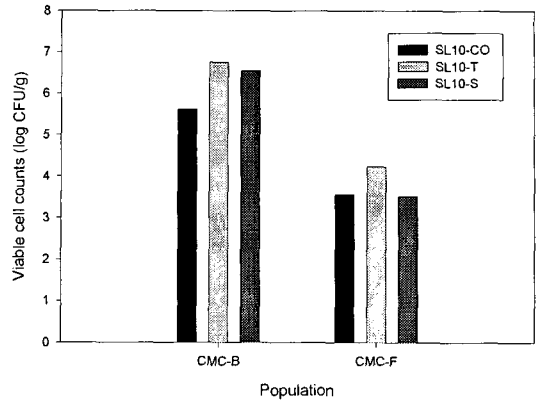


Fig. 9. The number of viable cell counts of cellulolytic microorganisms inhabited around filter reclaimed in the depth of 10cm below soil landfill.

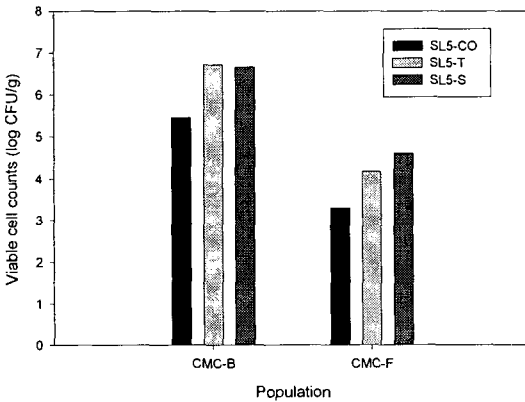


Fig. 8. The number of viable cell counts of cellulolytic microorganisms inhabited around filter reclaimed in the depth of 5cm below soil landfill.

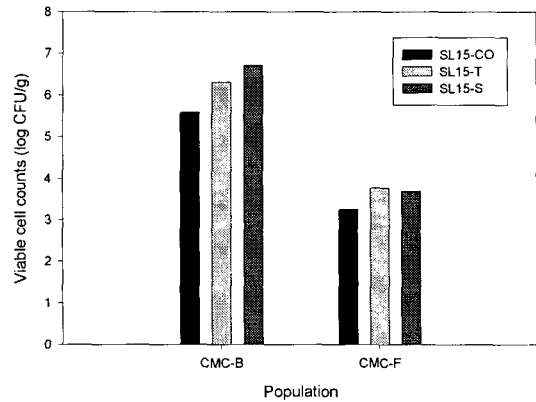


Fig. 10. The number of viable cell counts of cellulolytic microorganisms inhabited around filter reclaimed in the depth of 15cm below soil landfill.

물의 증식에 적절치 않은 조건이 되기 때문인 것으로 사료된다.

결 론

실외에서 무단 투기되는 폐 담배필터를 지표면 및 지표면에서 5, 10, 15cm 깊이로 매립하였을 경우 분해되는 특성을 관찰한 결과 매립깊이 5cm에

서 가장 활발한 분해특성을 나타내었는데 이러한 분해특성을 확인하기 위하여 수행한 여러 실험에서 분해되는 양상의 주요인자로서 자연기후조건이 크게 작용한 것으로 생각된다. 육안관찰의 경우 지표면 위의 시료는 폭로 2개월경과 후부터 섬유사의 bulking이 시작되에도 불구하고 12 개월경과 후에는 초기모습과 큰 변화가 없었으나, 매립시료의 경우는 매립깊이별로 다소 차이는 있었지만 5

cm 깊이에 매립된 필터의 분해가 진전됨을 관찰할 수 있었다. 대조시료로 사용된 필터로드의 경우 역시 매립시료에서 상당히 섬유사가 돌출됨을 확인할 수 있었다. 이것은 전자현미경으로 내부구조를 관찰한 결과에서도 확인할 수 있었고, 특히, 무게변화에서 토양매립 5cm의 시료는 50% 이상 무게가 감소되었고, 인장강도 시험의 경우 지표면과 토양 매립 5cm의 시료가 초기에 비해 각각 66%, 92%의 현저한 감소를 나타내었다. 미생물 실험에서도 마찬가지로 지표면보다 지표면에서 깊이 5cm 까지 존재하는 생균수와 분해균수가 가장 활발한 분해능을 나타냈다.

참 고 문 헌

- 한국담배인삼공사 (1992) 담배꽂초 재활용 방안 검토.
- 松林 克明, 辻本 直彦 (1997) 生分解性セルロースアセテート系纖維及びその製造方法, Japanese patent 平 9-291414.
- Alexander, M. (1961) Introduction to soil microbiology, Willey, New York, U.S.A, 19-29.
- Brodf Terry A. (1996) Filter disintegration in environment, 50th TCRC
- Buchanan. C. M. et. al (1996) The influence of degree of substitution on blend miscibility & biodegradation of cellulose acetate blends, *J. Environ. Polym. Degrad.*, 179-195.
- Celanese report (1991) Cellulose acetate cigarette filter degradability Fels, M. (1960) Weathering of textile yarns, *J. Text. Inst.* 648-656.
- Ji-Dong Gu et. al (1993) Degradation & mineralization of cellulose acetate in simulated thermophilic compost environment, *J. Environ. Polym. Degrad.*, (4) ; 281-291.
- Manny Coulon et. al (1994) Increaseing the degradation rate of cellulose acetate fibers, *TJI*, 48-51, June.
- Nyok-Shi Hon (1997) Photodegradation of cellulose acetate fibers, *J. Appl. Polym. Sci, Polym. Chem. Ed.*, 725-744.
- Robert B. Barrett (1995) Resistance of plastics to outdoor exposure,(PB 131331) Picatiny Arsenal Dover, N.J., 1-261.
- Siu, R. G. H et. al (1949) Specificity of microbiological attack on cellulose derivatives, *Text. Res. J.*, 484.
- Tohru Tsujimoto (1994) A study of the physical degradation of cigarette butts., CORESTA, October.