



산불토양복원을 위한 Extracellular Polymeric Substances (EPS) 생성세균의 분리, 동정 및 특성에 관한 연구

이건영, 송인근, 정재춘*, 김영준
가톨릭대학교 생명공학부 환경공학, 연세대학교 환경공학부*
(2004년 11월 20일 접수, 2004년 12월 10일 채택)

Isolation and Characterization of Extracellular Polymeric Substances (EPS)-producing bacteria for restoration of burnt forest soils

Gun-Young Lee, In-Geun Song, Jae-Chun Chung*, Young-Jun Kim

Division of Biotechnology, The Catholic University of Korea, Puchon 420-743, Korea
Division of Environmental Engineering, Yonsei University, Wonju, Korea1*

ABSTRACT

We have isolated two bacterial strains, FM-02 and AL-02, which produced EPS from forest soil for the restoration of forest fire by promoting soil aggregation. FM-02 was found to be Gram negative rod and belong to *Beta Proteobacterium* sp. through 16s-rDNA sequence analysis, and AL-02 was Gram positive rod and showed 81% of similarity to *Zoogloea* sp. through the analysis of 16s-rDNA sequence. FM-02 and AL-02 produced about 1.8g and 8.3g of EPS, respectively, per 1L of culture as dry weight. Flocculation activity (FA) was also measured in two strains. FM-02 showed 2.31 FA against active carbon, and AL-02 showed 6.21 FA against kaolin clay. From these results, we expect that AL-02 strain will be applied as a good biological material for the reduction of forest soil erosion by wild and rain after fire through promoting coagulation of soil particles

Keywords : EPS-producing Bacteria, , Forest Soil Restoration, Soil Flocculation

초 록

본 연구에서는 입단화 촉진을 통한 훼손토양의 복원을 위하여 산불토양으로부터 EPS 생성균주 2종을 순수분리 하였다. EPS 생성세균인 FM-02 균주는 Gram 음성 간균으로 16s-rDNA 염기서열분석 결과, *Beta Proteobacterium* sp. 에 속하는 종으로 동정 되었고, AL-02 세균은 양성 간균으로 16s-rDNA 염기분석 결과 *Zoogloea* sp. 와 81%의 유사도를 나타내었다. 분리균주가 생산하는 EPS의 양은 건중량 측정 시 FM-02 균주는 1L당 약 1.8g 의 생산율을 보였으며, AL-02의 경우 약 8.3g의 수율을 보였다. 분리균주의 토양입단에 미치는 영향을 알아보기 위해 응집활성을 측정하였으며, FM-02 세균은 active carbon

에 대한 응집활성 (FA)이 2.31로 나타났고, AL-02 세균은 kaolin clay에 대한 응집활성 (FA)이 6.21로 나타났다. 이상의 결과로부터, FM-02균주는 active carbon에 대한 높은 응집활성을 고려할 때 화학응집제를 대신한 생분해성 응집활성제로의 응용 가능성을 확인하였으며, AL-02균주는 kaolin clay에 대한 고활성의 응집능과 고생산성의 EPS수율을 갖는 균주로써 훼손된 토양에서 토양입자들의 응집을 통한 입단을 촉진하여 강우에 의한 토사유출 피해를 줄이는데 도움이 될 것으로 기대된다.

핵심용어 : EPS 생성세균, 산불토양복원, 토양입단화

1. 서론

우리나라의 산림은 전국토의 65%라는 막대한 면적을 차지하고 있으며 토양 및 생태계 보전, 임산물, 수원함량 등의 기본적인 공익 기능으로 수십조원의 경제적 가치를 지니고 있으며, 산림으로부터 목재와 같은 경제재는 물론, 인간의 생명유지에 필수적 산소, 물 등의 혜택을 더불어 받고 있다.^{1,2)} 산불은 인류가 불을 사용하기 이전부터 지구상에서 끊임없이 발생한 자연현상으로 산림에서 발생하는 가장 흔한 생태계 교란요인 중의 하나이다. 산불은 인명뿐만 아니라 재산상의 손실을 초래하여 사회적인 문제를 유발시킴과 동시에 수십 년 또는 수백 년 동안 축적된 임목을 일시에 소실시키기도 한다. 우리나라의 경우, 동해안의 강릉시, 동해시, 삼척시 및 경상북도 울진군에 이르는 광범위 지역에서 2000년 4월 7일부터 15일까지 발생한 큰 산불은 여의도 면적의 약 80여배에 달하는 23,794 ha의 임목피해를 입었다.^{3, 4)} 산불은 임산물의 소실로 인한 물질적 피해뿐만 아니라 임상의 피복물까지 연소시킴으로서 토양이 노출되어 강수 침투능의 저하와 지표유출을 증대 시켜 토사유출을 가속화하는 등 산림환경에 막대한 피해를 야기시킨다.^{5,6)} 또한 산불은 산림과 서식 동식물은 물론 토양 미생물들에 직접적인 피해를 미칠 뿐만 아니라⁷⁾ 산불 발생 후의 영양환경적 변화는 미생물 분포에 지속적인 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다.^{8,9)} 우리나라는 겨울과 봄철에 건조하고 특히 동해안 지역의 높새바람에 의한 기후 특성상 산불이 자주 발생하고 있어 피해지 복원에 대한 합리적인 방안이 모색되어야 한다.⁶⁾ 이러한 산불의 피해

를 최소화하기 위해서는 예방에 집중하여야 하며, 산불 발생시, 산불피해지의 조기 식생회복 및 토양유실을 최소화 하는 것이 최선의 대책이라 할 수 있다.⁵⁾

토양 미생물은 자연계의 물질 순환과 식물의 생육에 영향을 미치고, 토양 내 유기물을 분해 및 생산하는 역할을 하며 한정적인 물질 자원, 특히 C, N, P, S 등의 이용을 극대화 시키는데 기여하며 근권에서 식물체와 밀접한 관계를 맺기 때문에 산불피해지역에서 매우 중요한 요소가 될 수 있다.¹⁰⁾ 따라서 산불의 피해를 최소화하기 위한 산불피해지의 조기 식생회복 및 토양유실을 최소화 하기 위한 방법의 하나로 미생물에 의한 생태계 복원이 가능할 것이다. 이처럼 미생물을 이용하여 산불지역을 복원하고자 하는 연구는 주로 산불직후 발생된 유해 물질 (다이옥신, PCBs, PAHs 등)의 분해를 통한 복원 연구¹¹⁾와 산불지역의 토양미생물 군집을 생태학적으로 모니터링한 연구¹²⁾가 있다. 그러나 미생물이 분비하는 세포외 물질을 이용한 복원에 관련된 연구는 구체적으로 이루어지지 않고 있는 실정이다.

미생물이 생산하는 다당류에 대한 연구는 1942년에 *Leuconostoc mesenteroides*가 생산하는 다당류인 dextran이 혈장증량제로 개발¹³⁾된 이래 xanthan gum,^{14,15)} pullulan¹⁶⁾ 등을 비롯한 여러 가지 다당류에 대하여 기초 및 응용연구가 진행되어 왔다. 이러한 미생물성 다당류는 10개 이상의 단당 또는 유도단당이 glucoside 결합에 의하여 형성된 탄수화물계 고분자로 자연계에서 가장 풍부하게 존재하면서 인간에게 유용하게 사용되어오고 있다.¹⁷⁾ 일부 다당류는 점성을 갖거나 분산을

용이하게 하는 성질을 갖는 물질로서 조건에 따라 겔 형성능, 유화 안정능, 표면장력의 조절능, 물 흡수능, 점착능, 유화능 및 필름 형성능 등의 광범위한 기능성을 갖는다. 이러한 기능 때문에 식품산업 외 각종 산업에 이용되고 있다.^{18,19)}

따라서 본 연구는 강우에 의한 산불피해 초기 토양 유실에 의한 피해를 줄이기 위해 토양 입단화 촉진 소재로의 개발을 목적으로 EPS를 분리하는 미생물을 탐색·분리 하고, 이중 EPS 생산 능력과 응집활성이 우수한 균주를 선별·동정하여 토양 입단의 안정성 및 토양 입단화 촉진제로서의 활용여부를 파악하고자 하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 EPS 생성 균주의 분리

산불 토양의 복원을 위한 EPS 생성균주를 분리하기 위하여 강원도 강릉 사천, 옥계, 삼척의 산불지역과 농경지의 토양을 채취하여 분리용 시료로 사용하였다. 이들 시료를 NA 배지 및 PDA 배지에 도말하여 30°C에서 3일간 배양 하였다. 콜로니 형태, 색깔 등 특징적인 균주들을 배양한 후 점성을 가지거나 표면이 젤리형태인 균주를 1차 선별 하였다. 1차 분리된 균주를 EPS medium²⁰⁾에서 배양 한 후 건중량 측정을 통해 수율이 높은 균주를 최종 선정하여 본 연구에 사용하였다.

2.2 EPS 생성균주의 생화학적 특성

분리세균의 동정을 위하여 1차적으로 그람 염색을 실시하였으며, 운동성 여부를 확인하기 위해 단일 콜로니를 취하여 NA 반고체배지 중앙에 접종한 후 30°C, 24시간동안 배양시키고 배양된 모양을 관찰하여 운동성 여부를 파악하였다. 세균의 생화학적 특성을 조사하기 위하여 API 20E Test Kit (Biomérieux, France)을 사용하였으며, 실험 방법은 제조사의 manual에 따라 실행하였다.

2.3 16s-rDNA의 cloning 및 염기서열 결정

분리한 세균의 계통진화학적 분류를 위하여 세균

으로부터 염색체를 분리한 후 16s-rDNA를 PCR(Polymerase Chain Reaction)을 통하여 증폭하였다. 증폭을 위한 primer는 세균의 공통 primer인 9F(5'-GAGTTTGATCCTGGCTCAG-3'), 1542R(5'-AGAAAGGAGGTGATCCAGCC-3')를 사용하였고 반응조건은 다음과 같다. Micro tube에 멸균된 증류수 62.5 μ l, Chromosomal DNA Template 3 μ l, 10X Buffer 10 μ l, 25mM MgCl₂ 6 μ l와 공통 primer를 각각 5 μ l씩 10 μ l로 총 부피 100 μ l PCR 완충액을 넣고 Gene Cyclor™ (BIO RAD)를 이용하여 증폭하였다. Pre-denaturation 과정으로 99°C에서 8분간 반응시킨 후, 5U/ μ l Taq Polymerase 0.5 μ l와 2.5mM dNTP 8 μ l를 첨가하고 2분간 반응을 더 진행시킨 다음, 94°C에서 1분간 변성작용(Denaturation Step), 55°C에서 30초간 혼성과정(Annealing Step), 72°C에서 2분간 중합반응과정(Polymerization Step)의 세 가지 과정을 35회 반복시켰다. 이후 PCR 과정의 마지막 복제과정(Post-polymerization Step)으로 72°C, 10분간 방치한 후 반응을 완료하였다. 증폭한 PCR의 산물은 2% Agarose Gel에 전기영동하여 약 1.5Kb의 크기에 해당하는 16s rDNA Band를 확인하였다. 증폭된 16s rDNA를 Chromosomal DNA로부터 순수분리하기 위해 DNA PrepMate™ II Kit (Bioneer. Co. Ltd)를 이용하여 Gel Purification 하였으며, 분리된 DNA 절편을 pGEMT-Easy Vector System II (Promega)를 사용하여 vector에 ligation한 후, E. coli JM109 세균에 형질전환 하였다. 형질전환 후 mini-prep에 의해 확인된 positive colony로부터 Qiagen tip (Mini) Kit을 사용하여 Plasmid DNA를 순수 분리하였으며 분리된 plasmid는 (주) 솔젠트의 DNA Sequencing Laboratory에 의뢰하여 16s rDNA의 염기서열을 분석하였다.

2.4 EPS 생성량 측정

생성 균주를 EPS 배지에서 25°C, 48시간 200 rpm에서 진탕배양 한 후, 배양액 10ml을 10,000 rpm에서 20분간 원심분리하여 균체를 제거한 후,

상층액에 2배의 cold isopropanol을 첨가하여 4℃에서 24시간 방치 시킨 후, 침전되는 EPS를 10,000 rpm에서 10분간 원심분리하여 50℃에서 24시간 동안 건조한 다음 무게를 측정하였다.

2.5 EPS 생성능 측정

배양 상등액을 10ml 취한 후 증류수를 이용하여 12시간 동안 투석하여 monosaccharide를 제거한 후, 총당량을 측정하였다. 투석시 pore size는 12,000-14,000을 사용하였으며, 발색시약으로는 anthrone reagent를 사용하였고, 90℃에서 15분간 반응 후 냉각하여 600 nm에서 흡광도를 측정하였다.²¹⁾

2.6 응집활성 측정

응집활성 측정은 5,000 ppm의 kaolin clay 및 활성 탄소(active carbon) 현탁액 90 ml을 100 ml mass cylinder에 넣고 원심분리를 통해 얻은 배양 상등액 10 ml를 첨가하여 100 ml이 되게 한 후 10~60분간 방치 한 다음 상등액을 취하여 660 nm에서 흡광도를 측정하였다. 대조구는 배양액 대신 증류수를 사용하여 이 두 흡광도의 차이를 응집활성으로 나타내었다. 측정된 흡광도에 의한 응집활성 (flocculation activity ; FA)의 계산은 다음 식과 같다.²³⁾

$$FA = 1/a - 1/b$$

a : Sample의 660nm에서의 O.D. 값

b : Control의 660nm에서의 O.D. 값

3. 결과

3.1 EPS 생성 균주의 분리

산불지역과 농경지의 토양 시료를 NA 배지 및 PDA 배지에 도말하여 30℃에서 2일간 배양 후, 170 여종의 미생물을 분리하였고, 이 중에서 점성을 가지거나 표면이 젤리형태인 균주 6종을 1차 선별 하였다 [Table 1]. 1차 분리된 균주를 액체 EPS medium에서 배양 한 후 건조량 측정을 통해 수율이 높은 2종의 균주를 최종 선정하여 FM-02, AL-02로 각각 명명하였다.

3.2 EPS 생성균주의 생화학적 특성 및 동정 산불토양으로부터 분리한 FM-02의 경우 그림 1에 음성 간균이었으며, 운동성은 없는 것으로 확인되었다. 고체배지 상에서 백색의 불투명한 젤리형태를 띠고 있으며, 균체들 간의 응집력이 매우 커서 생리식염수 등에 잘 부유되지 않고 뭉친 형태로 존재 하였다.

농경지 토양으로부터 분리한 AL-02의 경우 그림 2에 양성 간균이었다. 운동성이 관찰되었으며, 고체 배지 상에서 상아색의 부정형 콜로니를 형성하였고, 점액질의 물질이 콜로니 내부에 포함되어 있었다. 분리된 균주의 생화학적 특성은 [Table 2]와 같이 나타났다. FM-02균주는 Catalase에는 음성을 나타냈으며 두 균주 모두 Gelatinase에 양성을 나타냈다.

3.3 16s-rDNA 염기서열 분석

분리된 2종의 EPS 생성 균주의 Chromosomal DNA로부터 증폭된 16s rDNA를 cloning 하여 염기서열 분석을 위한 BLAST search 결과는 다음과 같이 나타났다. FM-02 세균의 9F Primer로부터의 염기서열은 uncultured beta Proteobacterium과 96%의 유사성을 나타내었으며, 또한 1542R Primer로부터 얻은 염기서열의 비교 결과 uncultured beta Proteobacterium 98%, uncultured Eubacterium WD264, Aquaspirillum arcticum gene 과는 97%의 유사성을 나타내었다. 위 종들은 모두 beta

[Table 1] Morphological Characteristics of the Isolated Strains

Strain	Shape	Color
FM-01	circular	white
FM-02	circular	white
FM-03	irregular	ivory
FM-04	circular	orange
AL-01	irregular	ivory
AL-02	irregular	ivory

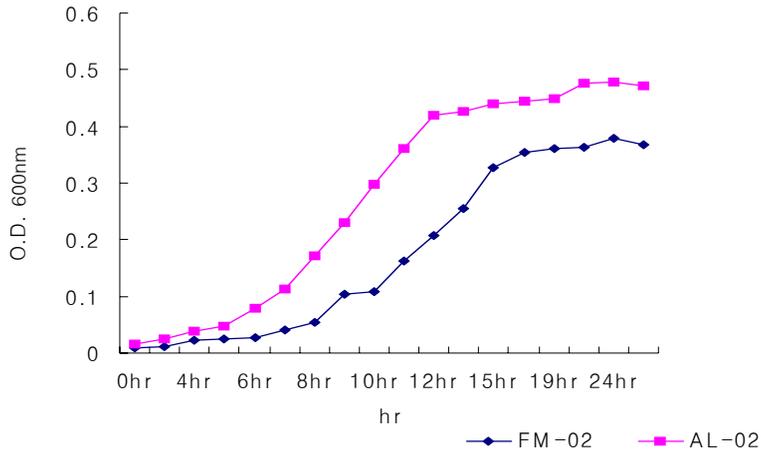
[Table2] Physiological and Biochemical Characteristics of the Isolated Strains

Substrates	Reaction / Enzyme	FM-02	AL-02
Gram stain		- rod	+ rod
Motility		-	+
Catalase	Catalase	-	+
2-nitrophenyl-β-D-galactopyranoside	β-galactosidase	-	+
Arginine	Arginine Di Hydrolase	-	-
Lysine	Lysine De carboxylase	-	+
Ornithine	Ornithine De Carboxylase	-	-
Trisodium citrate	Citrate utilization	-	+
Sodium thiosulfate	H ₂ S product	-	-
Urea	Urease	-	+
Tryptophane	Tryptophane De Aminase	-	-
Tryptophane	Indole production	-	-
Sodium pyruvate	acetoin production	+	+
Gelatin	Gelatinase	+	+
Glucose	Fermentation / Oxidation	-	-
Mannitol	Fermentation / Oxidation	-	-
Inositol	Fermentation / Oxidation	-	-
Sorbitol	Fermentation / Oxidation	-	-
Rhamnose	Fermentation / Oxidation	-	-
Sucrose	Fermentation / Oxidation	-	+-
Melibiose	Fermentation / Oxidation	-	-
Amygdalin	Fermentation / Oxidation	-	+-
Arabinose	Fermentation / Oxidation	-	-

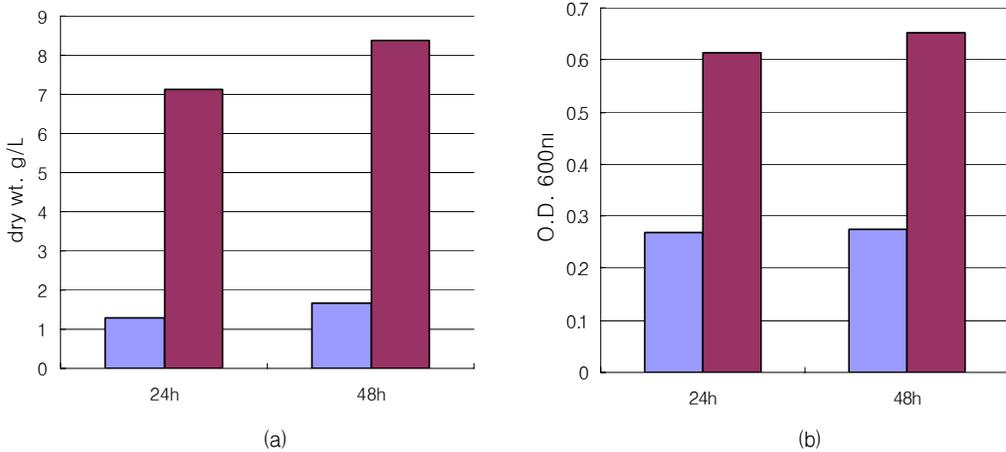
Proteobacterium sp. 에 속하는 종들이며 따라서 FM-02 균주도 beta Proteobacterium sp.에 속하는 것으로 판단된다. AL-02의 경우 9F Primer로부터 얻은 염기서열의 비교 분석결과 Zoogloea sp. 와 81%의 유사성을 보였으며, 1542R Primer로부터 얻은 염기서열의 비교 분석 결과 uncultured Lake bacterium 과 81%, Rainbow trout intestinal bacterium 과 81%의 유사성을 보였다. AL-02는 여러 종들과 유사성이 81% 이하로 매우 낮게 나타났다.

3.4 세균의 생장곡선, EPS 생성능 및 응집활성 측정

EPS 생성 세균 FM-02와 AL-02균의 생장곡선은 [Fig. 1]과 같다. 균주별 Generation time은 각각 63분, 186분 이었으며, 균체량은 두 균주 모두 48시간 이후에 일정하게 유지 되었다. EPS량은 AL-02균주가 건중량과 흡광도 측정에서 FM-02균주에 비해 3~4배 이상 높은 수율을 보였으며, 배양일수에 따라서는도 증가하는 경향을 보였다(Fig. 2). 균주별 응집활성은 사용된 부유물질과 분리균주에 따라 상이한 결과를 보였다. FM-02의 경우, 활성 탄소에 대한 FA값이 2.31로 나타났으나, kaolin에 대한 응집활성은 미미하였다. 반면 AI-02의 경우 활성 탄소에 대한 응집력은 거의 없는 것으로 나타났으나 kaolin에 대해



[Fig.1] Growth curve of the isolated strains.



[Fig.2] EPS productivity of the isolated strains

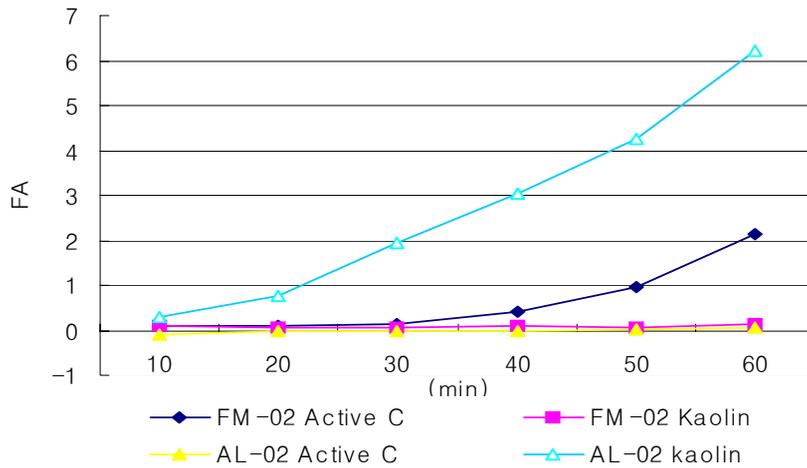
- a. Dry weight of EPS according to incubation time
- b. The measurement of O. D. with anthrone reagent

서는 FA 값이 6.21로 나타나 큰 응집활성을 보였다.[Fig. 3]

4. 고찰

본 연구에서 분리된 FM-02 세균은 beta

Proteobacterium sp. 에 속하는 것으로 나타났으며, AL-02 세균의 염기서열 분석 결과 Zoogloea sp. 및 다른 여러 종의 균주와 유사도 81% 이하의 결과를 나타내었다. 이러한 결과로 볼 때 AL-02 균주가 Zoogloea sp. 에 속한다고 보기는 어려우나 Zoogloea sp. 들이 생성하는 EPS가 보고 되었



[Fig. 3] Flocculation Activity by EPS against Two Kinds of Suspended Particles at Different Time Course.

으며²³⁾, 소 등²⁴⁾ (2002)의 연구에서 brown sugar를 탄소원으로 사용시 약 8.7 g/L의 EPS 수율을 보인 것으로 나타나, AL-02 균주와의 일치 가능성을 보이고 있다.

일반적으로 미생물 다당류 생합성은 제한배지에 첨가된 탄소원에 대한 질소, 인산, 또는 유황성분 등의 비율 및 환경적 인자들에 의해서 영향을 받는다. 특히 탄소원은 미생물에 의해 생산되는 다당류의 생합성과 물성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다²⁵⁾. 다당류 생성에 효과적인 탄소원으로는 glucose²⁶⁾와 sucrose²⁰⁾가 알려져 있으며 어떠한 탄소원이 최적의 탄소원인가 하는 것은 균주의 특성으로부터 오는 결과라고 추정되고 있다²⁷⁾. 본 연구에서는 sucrose가 분리 균주의 생장에 보다 효율적인 탄소원으로 이용되는 것으로 나타났으며 이는 분리균주가 다당류의 탄소원을 효과적으로 이용하기 위한 효소 체계가 존재하는 것으로 사료된다. 본 실험에서는 일반적으로 알려진 EPS 생성 배지를 이용하였으나, 추후 연구를 통해 탄소원과 질소원등의 영양요인과 pH, 온도 등 EPS 생성에 영향을 주는 조건들을 확인하여 분리된 균주들의 EPS 생산조건을 최적화 할 필요성이 있다.

AL-02 세균의 경우, 건중량 대비 약 8.4 g/L의 생산율을 보였으며, 안 등²⁶⁾ (1994)의 연구에서

Bacillus sp. A29 균주가 8.3 g/L의 수율을 보였고, 손 등²⁰⁾의 연구에서 Xanthomonas sp. EPS-1 균주가 sucrose 5%의 최적배지에서 14.5 g/L의 수율을 보였다. 이와 같은 결과를 비교해 볼 때, AL-02균주의 EPS 생산 최적조건을 결정하여 배양한다면 기존 균주의 EPS 생성수율을 크게 상회할 것으로 기대된다. FM-02의 경우 EPS의 수율은 낮았지만 2000년도 강원도에서 발생한 산불지역 토양으로부터 분리한 토착형 균주이므로 산불토양에 직접 활용시 높은 생존율과 더불어 산불토양의 입단화를 촉진하여 훼손된 토양의 미생물학적 복원소재로서의 이용이 가능할 것이다.

본 연구에서 분리된 두 종의 EPS 생산 균주는 각각 활성탄소와 kaolin clay에 대해 높은 응집 활성을 나타내었다. 응집활성은 토양 입단화 소재로 이용하기 위한 중요한 특성 중 하나이며, 따라서 응집활성이 뛰어나다는 것은 토양 입단화 소재로서의 활용 가능성이 높다는 것을 의미한다. 또한 손 등²⁸⁾과 이 등²¹⁾의 연구에서 응집활성 측정시 무기 염류를 첨가했을 때 응집활성에 영향이 있다는 결과와 관련하여 CaCl₂를 첨가하여 응집활성의 변화를 확인해 보았으며, CaCl₂ 첨가시 응집활성이 증가하는 경향을 보였다 (Data 생략). 일반적으로 산

불피해로 인한 산성화 토양의 pH 조절을 위해 석회를 이용 하고 있으며, 따라서 피해지 복원시에 분리균주 및 세포외 고분자물질을 처리할 경우 pH 조절용 석회의 칼슘 성분과의 작용에 의해 응집활성이 상승할 것으로 기대 된다. 특히 AL-02의 경우 생산되는 EPS는 토양의 성분과 유사한 kaolin clay에 대한 응집활성이 크게 나타나 토양입자 응집유도를 통한 입단화에 좋은 효과를 기대 할 수 있으며, 토양응집뿐만 아니라 토양의 입단화에 따른 부가효과로 산불피해 초기 초본식생의 생장촉진에 도움이 될 것으로 기대된다.

차후 이들 EPS 생산 균주 및 세포외 생분해성 고분자 물질이 미치는 토양 입단화에 대한 현장 연구가 수행되어야 할 것이며, 또한 토양 내 EPS생성 세균의 생존률도 확인할 필요가 있다. 본 연구에서 분리된 미생물과 기타 유기물 및 미생물 혼합제제를 이용하여 토양의 입단을 촉진할 수 있다면 산불 초기 강우에 의한 토양의 유기물 유실을 예방 할 수 있을 것이며 이는 산불피해지역의 신속한 미생물학적 복원을 유도할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2004년도 환경부 차세대 핵심환경기술개발사업의 연구비로 이루어진 것으로써 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Martell, D.L., et al., "Forest management challenges for operational researchers", *Eur. J. Operat. Res.*, 104, pp 1~17 (1998).
2. Nabuurs, G.J., et al., "The role of European forests in the global carbon cycle a review", *Biomass and Bioenergy*, 13, pp 345~358 (1997).
3. 임업연구원, "우리나라의 산불", http://www.kfri.go.kr/-kor/far_info.htm (2000).
4. 정연숙, "동해안 산불지역 생태계 변화 및 복

원기법 연구". 환경부 최종 보고서, (2000).

5. 마호섭 외 3인, "산지사면에 있어서 산불에 의한 토사유출량의 변화", *경상대학교 농과대학 부속연습림 연구보고*, 7, pp 21-30 (1997).
6. 이창우 외 4인, "고성 산불피해입지의 토사유출 특성", *한국산림학회지*, 93, pp 198-204 (2004).
7. 이원규 외 6인, "산불이 산림토양의 이화학적 성질에 미치는 영향", *한국생태학회지* 20, pp 157-162 (1997).
8. 박동진 외 4인, "산불 발생 후 토양 미생물의 밀도 변화", *한국미생물학회지*, 35, pp 78-81 (1999).
9. Acea, M.J., and T. Carbalas, "Changes in physiological groups of microorganisms in soil following wildfire", *FEMS Microbiol. Ecol.*, 20, pp 33-39 (1996).
10. Fowells, H.A., and R.S. Stephenson, "Effect of burning on forest soils", *Soil Sci.*, 38, pp 175-181 (1933).
11. 박용하 외 7인, "산불지역의 토양미생물 생태계 복원기술 개발", *자연재해방재기술개발사업단 · 임업연구원 공동심포지엄 논문집*, pp 131-143 (2002).
12. 안태석 외 3인, "산불지역의 토양미생물 군집의 생태학적 모니터링", *자연재해방재기술개발사업단 · 임업연구원 공동심포지엄 논문집*, pp 144-173 (2002).
13. Glicksman, M., "Food hydrocolloides", *CRC Press, U.S.A.*, pp 125-149 (1982).
14. Fu, J.F., and Y.H. Tsen, "Construction of lactose utilizing *Xanthomonas campestris* and production of xanthan gum from whey", *Appl. Environ. Microbiol.*, 56, pp 919-923 (1990).
15. Michel, R. J. Seviour and L.M. Pethica, "Exocellular polysaccharide production by isolates of *Epococum purpurascens*", *Biotech. Letters*, 9, pp 741-744 (1987).
16. Desmond, P.F. Auer and R. J. Seviour.

- “Influence of varying nitrogen sources on polysaccharide production by *Aureobasidium pullulans* in batch culture”, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 32, pp 526-532 (1990).
17. 이홍금, “해양미생물로부터 바이오폴리머 개발동향”, <http://bric.postech.ac.kr/webzine/content/review/marine/2001/Apr/bio04.html>, (2001).
 18. 김배형 외 3인, “*Xanthomonas campestris*에 의한 xanthan gum 생산에 관한 연구”, *한국생물공학회지*, 5, pp 25-36 (1990).
 19. Marra, M., “Structural characterixation of the exocellula polysaccharides from *Cyanospira capsulata*”, *Carbohydr. Res.*, 197, pp 338-344 (1990).
 20. 손봉수 외 5인, “다당류를 생산하는 미생물의 분리와 배양특성”, *Kor. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 23, pp 263-268 (1995).
 21. 강현미 외 3인, “발효 식품에서 분리한 유산균 생성 EPS의 특성 비교 I. *Streptococcus thermophilus* 와 *Lactobacillus* spp.에 의한 Exopolysaccharide 생산을 위한 탄소원 이용성에 관한 연구”, *한국 식품공학회지*, 19, pp 121-126 (1999).
 22. 이순호 외 6인, “응집제 생산 균주의 분리 및 배양특성”, *J. Korean Soc. Food Nutr.*, 24, pp 790-795 (1995).
 23. Stauffer, K. P., et al., “Characterization of zooglan-115, an exocellular glycan of *Zoogloea ramigera* 115”, *J. Food Sci.*, 45, pp 946-952 (1980).
 24. 소한섭 외 2인, “*Zoogloea ramigera* 115SLR의 다당류 생산에 영향을 미치는 인자”, *한국생물공학회지*, 3, pp 264-269 (2002).
 25. Marshall, K, and H. Weigel, *Carbohydr. Res.*, 83, p 321 (1980).
 26. 안성구 외 6인, “*Bacillus* sp. A29에 의한 다당류의 생산과 물성”, *Kor. J. Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 22, pp 175-181 (1994).
 27. 권기석 외 2인, “*Bacillus polymyxa* KS-1에 의한 다당류 KS-1 생산의 발효 조건”, *한국생물공학회지*, 4, pp 441-448 (1995).
 28. 손봉수 외 3인, “*Xanthomonas* sp. EPS-01이 생산하는 다당류의 점도”, *J. Kor. Soc. Food Nutr.*, 25, pp 53-57 (1996). 