J. Korean Soc. Environ. Eng., 39(2), 59~65, 2017
Original Paper
https://doi.org/10.4491/KSEE.2017.39.2.59
ISSN 1225-5025, e-ISSN 2383-7810

Polysaccharides를 이용한 PM_{10} 먼지억제제의 먼지제어 효과와 수질 및 토양 환경에 미치는 영향에 대한 연구

A Study on the Dust Control Effect of PM_{10} Dust Inhibitor by Polysaccharides and its Effect on Water Quality and Soil Environment

이한섭† · 최성부 · 황수진* · 황현석**
Han Seob Lee† · Sung Boo Choi · Su Jin Hwang* · Hyun Seok Hwang**

용인대학교 자연과학대학 환경과
*죽전고등학교 · **연세대학교 생명시스템대학 생화학과
Department of Environmental Science, University of YongIn
**JUKJEON High School · **Department of Biochemistry, University of YONSEI*

(Received January 21, 2017; Revised February 10, 2017; Accepted February 15, 2017)

Abstract : In this study, A dust inhibitor for PM_{10} was prepared by using molecular structure, molecular weight, viscosity, hydrophilicity, swelling and wetting / moisturizing properties of natural polysaccharide which is widely used as food and cosmetic materials. Various dust control effects were confirmed and superior results were obtained than simple water spraying and synthetic PVA as a control. In addition, the comparison of water evaporation, pot test of cabbage seed germination, effects on fish and aquatic plants, and effects on herb plant growth were studied and the safety of soil and water quality was studied. The availability of the dust inhibitor was confirmed.
Key Words : *Polysaccharides, PM_{10}, Dust Inhibitor, Collecting, Pot Test, Natural Polymer*

요약 : 본 연구에서는 식품과 화장품 재료로 다양하게 이용되는 천연다당류의 특성인 분자구조, 분자량, 점성, 친수성, 팽윤 및 습윤/보습 등을 이용하여 PM_{10}에 대한 먼지 억제제를 제조하였고 Lab과 Field Test를 통하여 다양한 먼지 제어 효과를 확인하였으며 대조군인 물에 의한 단순 살수와 합성 PVA보다 우수한 결과를 도출하였다. 또한, 수분 증발 비교, 배추씨 발아와 배추 생장 비교실험(Pot Test), 물고기와 수생식물에 대한 영향 및 허브 식물 성장에 대한 영향 등의 토양 및 수질 시험 등을 통하여 토양과 수질에서의 안전성 등을 연구하여 Polysaccharides를 이용한 PM_{10} 먼지 억제제의 이용 가능성을 확인할 수 있었다.
주제어 : 천연다당류, 미세먼지, 먼지억제제, 포집, 토양테스트, 천연고분자

1. 서 론

천연다당류(polysaccharide)는 n = 10 이상의 단당류 또는 그 유도체들이 glycoside 결합에 의하여 연결된 중합체로 자연계에 존재하는 탄수화물의 대부분을 차지한다. 전분, 섬유소, 글리코겐, 키틴 등과 같이 한 종류의 단당류로 이루어진 것을 homo polysaccharide라 하고 펙틴, 헤미셀룰로오스, 한천 등과 같이 두 가지 이상의 단당류로 이루어진 것을 hetero polysaccharide라고 하는 천연 고분자화합물이다. 종류에 따라 직선의 사슬모양 또는 가지 달린 구조를 가지며 크기는 여러 가지인데 종류에 따라 다르며, 동일한 종류라도 크기가 다른 분자의 혼합물인 것이 많다. 여러 가지 방법으로 분류되며, 예를 들면 기원에 의해 해조 다당류, 동물 다당류, 세균 다당류와 같이, 또는 생리적 의의에 의해 저장 다당류, 구조 다당류와 같이 분류되며, 혹은 특정 함유성분에 의해 pentosan, polyuronide 등과 같이 구별되는 경우도 있다. 그러나 이러한 분류는 모두 불완전하여 다음과 같이 화학적 성분에 의해 분류하는 것이 합리적이다. 먼저 단지 한 종의 단당으로 되어 있는 homoglycan(단일 다당류)와 2종 이상의 단당으로 되어 있는 heteroglycan(복합 다당류)로 대별된다.[1,2)]

한편 최근 미세먼지에 대한 이슈가 사회적으로 큰 관심사가 되어 있으며 PM (particulate matter)이란 입자상 물질이라는 뜻으로 PM_{10}은 입자의 크기가 지름 10 μm 이하를 말하며 발생 원인은 자연적 요인으로 생성되어 대기로 유입되는 미세먼지의 종류로 토양 입자, 꽃가루, 균류의 포자 및 화산재 등과 황사와 같이 중국, 몽골의 건조지대에서 강한 바람에 의해 높은 대기로 올라간 흙먼지가 바람을 타고 이동해 지상으로 떨어지는 자연현상이 있으나 대부분은 인위적 요인으로 고농도 미세먼지인 일상 생활과 교통, 산업활동 등에 의해 발생하며 공사장, 각종 공장, 발전소, 광산 및 농장 등의 사업장, 도로, 가정에서 연소, 배기가스 배출 등에 의해 생성된다.[3~5)]

본 연구에서는 식품과 화장품 재료로 다양하게 이용되는 천연 다당류의 특성인 분자구조, 분자량, 점성, 친수성, 팽윤 및 습윤/보습 등을 이용하여 PM_{10}에 대한 먼지 억제제

† Corresponding author E-mail: hslee@yongin.ac.kr Tel: 031-8020-2749 Fax: 031-8020-2886

를 제조하여 먼지 제어 효과, 수분 증발 비교 및 토양과 수질에서의 안전성 등을 연구하여 보았다.

2. 실험방법

2.1. PM_{10} 먼지 억제제 제어 원리

천연다당류는 천연에서 중합한 고분자화합물이다. 직선의 사슬모양 또는 가지 달린 구조를 가지며 분자량은 종류에 따라 다르며, 수용성인 것과 유용성인 것으로 구분되며 물에 희석하면 gelling되는 것과 점성을 가진 것으로 구분된다. 자연계에 천연으로 존재하며, 생체를 구성하는 천연유래의 고분자화합물이다. 또한 생물체의 구성, 지지, 피막물질, 윤활제로서의 역할과 생체에너지 저장물질로서의 역할을 하며 토양개량제로 사용되면 토양구조를 안정화시키는 역할을 한다.[6]

이와 같은 천연고분자의 일종인 다당류의 특성을 고려하고 분자구조, 분자량, 점성, 친수성, 팽윤 및 습윤/보습 등을 이용하여 Fig. 1과 같은 원리로 PM_{10} 먼지억제제의 가능성을 확인하여 보았다.

본 연구의 PM_{10} 먼지억제제는 다양한 수용성의 천연 다당류들, 보습제 등의 조합으로 점성을 지닌 형태를 가지게 하고 단일구조체가 아닌 다중 구조의 Net Work 구조를 형성하여 이들 분자구조 및 점성을 이용하여 분사하여 먼지를 포집하여 가두는 원리이며 기존의 합성고분자 먼지억제제의 문제점인 토양과 수질에 대한 환경오염문제 등을 최소화한 장점이 있다.

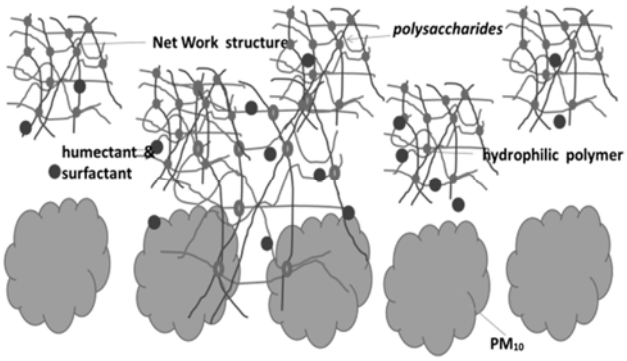


Fig. 1. Principle of dust suppression.

2.2. 실험 재료 및 기기

본 연구에 사용한 천연다당류는 다양한 종류를 조합하여 사용하였다. 해양유래(Algin, Carrageenan, Agar gum), 미생물(Gellan gum, Xanthan gum)유래와 식물유래[Guar Gum, karaya Gum, Locust bean Gum (LBG), Tamarind Gum] 등의 천연 유래 천연다당류를 사용하였으며 Algin, Guar Gum, Locust bean Gum, Tamarind Gum, Gellan gum 등은 한국 카라겐(주)으로부터 식품 grade를 구입하여 사용하였고 karaya Gum, Carrageenan, Agar gum과 Xanthan gum은 Sigma-Aldrich사의 시약급 약품을 구입하여 사용하였다. 보습제는 화장품회사의 보습 원료를 구하여 사용하였으며 천연계면활성제는 일본 KaO chemical의 비이온계 Glucoside계 계면활성제를 구입하여 사용하였다. 또한 대조군으로서 비교실험으로 확인하기 위하여 석탄 화력발전소에서 상용제품으로 사용되는 합성 PVA 비산방지제를 구입하여 실험에 사용하였다.

본 실험에 사용한 분석기기로는 PM_{10} 먼지와 먼지 억제제를 이미지 분석을 위하여 SEM(전자주사현미경, SU8010, 일본)과 3D 광학현미경(Olympus, 일본)을 이용하였으며 점도 측정을 위하여 Brookfield 점도계(HBDV-1, 미국)를 사용하였다.

2.3. PM_{10} 먼지 억제제 제조

물에 희석 후 살수분사가 용이하도록 주성분으로 수용성 천연다당류를 사용하였으며 Net Work 분자구조를 형성하기 위하여 2종 이상의 천연다당류를 조합하여 제조하였다.

예로서 Tamarind gum, Agar gum과 LBG 분말을 일정량 취하고 30℃ 수용액에 넣고 잘 분산 용해시킨 후 서서히 교반하고 30분 후에 화장품 보습제와 천연 계면활성제를 넣

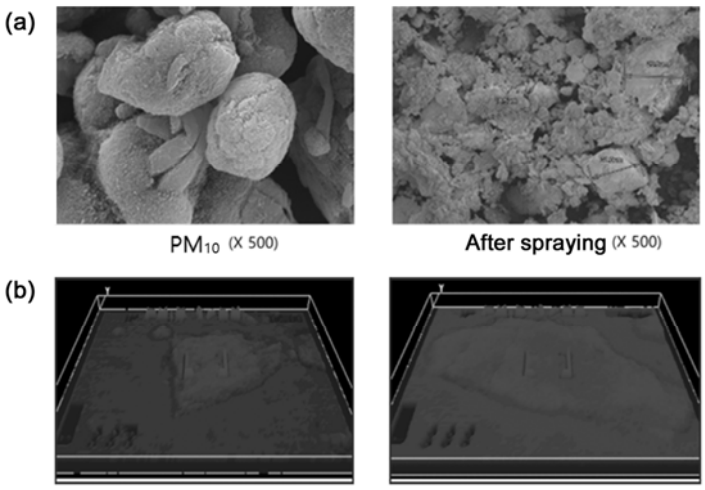


Fig. 2. Images SEM(a) and 3D microscope (b) for dust and after spray.

고 교반 후 점도가 1,000cps가 되면 반응을 종료하여 먼지 억제제 원액을 완성하였다. 점도를 고정한 이유로는 희석용액을 제조할 때 일정한 분산성을 유지하기 위함이었다.

이들 먼지 억제제 원액을 수용액에 50~1,000배 희석 후 잘 흔들어 주고 PM_{10} 먼지에 분사하여 분사 전후 SEM과 3D 현미경 이미지를 Fig. 2에 나타내었다.

2.4. PM_{10} 먼지 억제 효과 실험

앞서 제조한 천연다당류 먼지억제제의 PM_{10} 입자에 대한 먼지 제어 효과를 확인하기 위하여 모래, 토양, 철 가루[일정한 비중(7.8)을 가지므로 비산 양과 거리 측정이 용이하여 실험에 이용] 등을 각각 1,000 g씩 준비하여 물, 합성 PVA (100 : 1 희석)의 대조군[7]과 본 연구에서 제조한 먼지 억제제(100 : 1 희석)를 분사하고 3, 7일 후 5 m/s의 풍속으로 송풍기로 수평방향으로 송풍하여 식 (1)의 중량분석법[8]으로 비산저감효과를 측정하였고 또한 분사 후 철 가루에 대하여서는 분사 7일 후 10 m/s의 송풍으로 비산거리를 측정하였다.

$$SIR = \frac{IS - AS}{AS} \times 100\ (\%) \qquad (1)$$

여기서,

SIR: 비산 억제 효율[Scattering Inhibition Rate (%)]

IS (initial stockpile): 초기 분사 전 야적의 총 무게(g)

AS (After stockpile): 처리 후 야적 무게(g)

2.5. 수분 증발 효과와 Soil Pot Test

대조군인 물과 먼지 억제제(100 : 1 희석)의 수분 증발 비교실험으로 30℃ 이상(습도 70% 이상)의 실내에서 화분에 수분측정기(HMM-200)를 꽂은 후 각각을 화분 토양 표면에 일정량 분사 후 4일(96시간)간의 수분 증발비교실험을 하였다.

또한, 제조한 먼지 억제제의 식물성장에 대한 효과 및 지속성에 대해 평가하기 위해 배추 씨앗을 한정된 공간의 토양 Box에 심고서 물과 합성 PVA (100 : 1 희석)의 대조군과 본 연구에서 제조한 먼지 억제제(100 : 1 희석)를 토양표면에 분사하고 토양이 건조되면 재 분사하는 방식으로 하고 성장속도 및 발아 개체를 관찰하였다.

후에 같은 방식으로 실제 배추밭에서 물과 먼지 억제제 분사에 따른 배추씨 발아생육의 관계를 관찰하였다.

2.6. 공사 현장 Field Test

여러 Lab의 실험결과를 바탕으로 Field test로서 실제 도로 공사장에서 25 ton 화물차로 비교군인 물과 본 연구의 먼지 억제제(100 : 1 희석)를 좌우 경계를 기준으로 100 m × 10 m 정도에 골고루 분사 후 완전 건조된 2일 후 실험하여 먼지발생 유무를 관찰하였다.

2.7. 물고기와 수생 식물에 대한 수질 영향

분사 후 배수되어 하천 또는 수질에 영향을 관찰하고자 물고기(guppy)에 대한 본 연구 먼지억제제의 영향을 관찰하여 보았다. 즉 어항의 물 1.0리터당에 먼지억제제(100 : 1 희석) 1.0 mL를 넣고 시간에 다른 물고기의 폐사 또는 활동성 유무를 관찰하였으며 수생 생물에 미치는 영향력을 확인하기 위해 부레 옥잠(water hyacinth)을 넣고 floc 생성유무를 관찰하였다.[9~11]

2.8. 식물 성장 Field Test

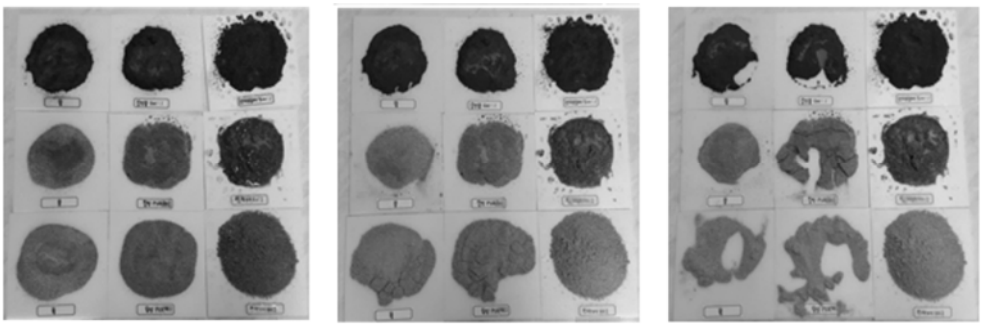
화분과 같이 제한된 환경 혹은 배추밭과 같이 인위적인 생장조건이 아니라 실제 토양환경에서 성장하는 식물에 미치는 영향을 확인하고자 서울 강동구의 생태 허브(herb) 농원에서 실험을 하였다.

허브 밭을 절반씩 나누고 각각 물과 100 : 1로 희석한 본 연구의 먼지억제제를 매일 아침, 저녁 2회 분사하고 7일간의 식물 성장을 관찰하여 보았다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 먼지 억제제의 비산먼지 저감효과

물, 합성 PVA (100 : 1 희석)의 비교군과 본 연구에서 제조한 먼지 억제제(100 : 1 희석)를 분사하고 3, 7일 후 5 m/s의 풍속으로 송풍기로 송풍하여 Fig. 3에 나타내었다.



(a) (b) (c)

Fig. 3. Effect of blowing against the stock-pile (Sand, Soil, Iron powder) [(a) spraying (b) 3days (c) 7 days].

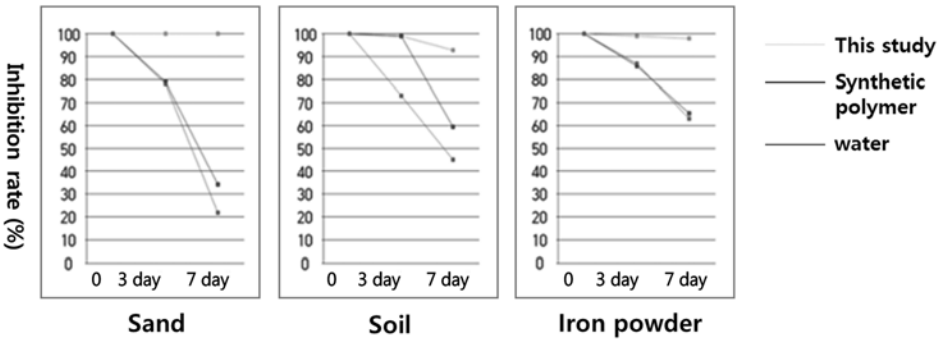
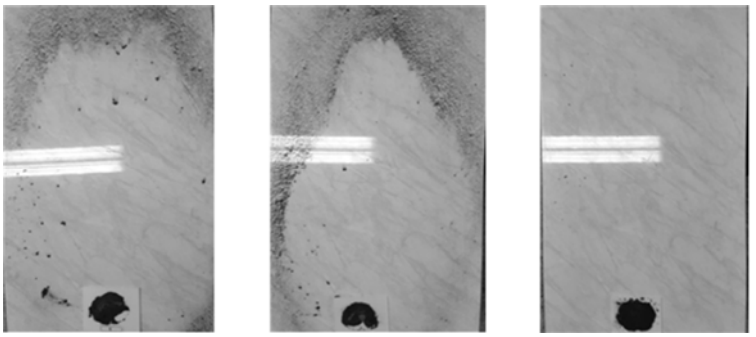


Fig. 4. Scattering inhibition rate (%) by gravimetric analysis of before and after air blowing.



(a) Water (b) Synthetic polymer (c) This study

Fig. 5. Comparative photograph of iron powder scattered in air blow after 7 days of spraying.

철 가루, 토양, 모래 등의 야적물에 각각의 비교대상과 본 연구물을 분사 후 2~3일 후 비교대상 야적물은 모두 건조되었으나 본 연구물은 반 건조 상태를 유지하고 있었으며 송풍기로 3일 후 송풍해보니 물은 변화가 있었으며 합성 PVA는 조금의 변화가 있었다. 같은 방법으로 완전 건조된 비교대상과 본 연구물에 대하여 7일 후 송풍해보니 물과 합성 PVA 야적물은 모두 심한 변화가 일어났으나 본 연구의 야적물은 분사 7일 후에도 그 상태를 그대로 유지하고 있었다.

이를 바탕으로 3, 7일 송풍 후 잔존 야적물들에 대한 중량분석법으로 분석한 비산 억제율[Scattering Inhibition Rate (%)] 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

또한 Fig. 5에는 비중이 가장 큰 철(7.86) 가루에 대하여 분사 7일 후 10 m/s의 풍속으로 송풍한 결과를 나타내었다.

다양한 PM_{10}입자(모래, 토양, 철 가루)에 대한 분사 후 송풍 실험에서 물 ≪ 합성고분자 ≪ 본 연구의 먼지 억제제 순으로 우수한 먼지억제 효과를 나타내었으며 특히, 비중이 큰 철 가루 실험에서 확연한 차이의 효과를 확인할 수 있었다.

3.2. 먼지 억제제의 수분 증발 효과

PM_{10} 먼지억제제의 물과 수분 증발량 비교 실험을 실내에서 수분측정기를 이용하여 94시간(4일) 동안 실시하였으며 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다.

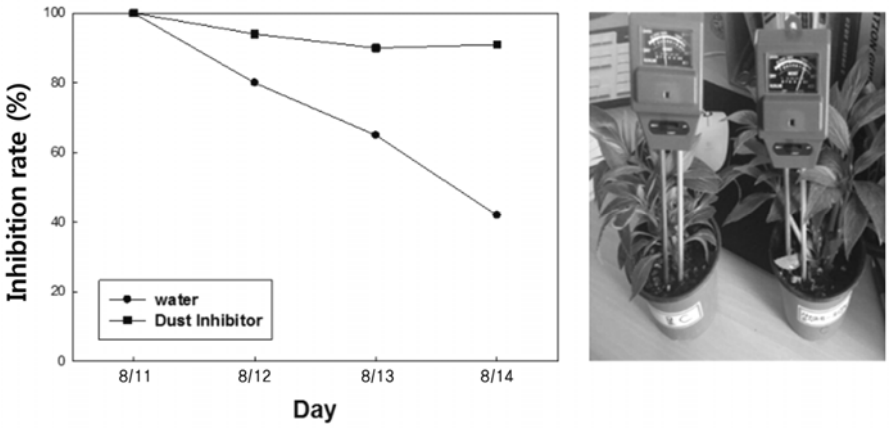


Fig. 6. Comparison experiment of indoor moisture evaporation.

비교군인 물에 비하여 본 연구의 먼지억제제가 우수한 수분 증발억제 효과를 나타내었으며 특이하게도 오히려 순수 물보다도 화분식물의 생장효과가 우수하였다.

3.3. Soil Pot Test

제조한 PM_{10} 먼지 억제제의 실제 식물성장에 대한 효과 및 지속성에 대해 평가하고자 Soil Pot Test 실험을 하였으며 배추를 선택한 이유로는 배추는 대부분 수분으로 되어 있고 짧은 기간에 발육을 하고 산성토양에서는 석회 결핍증과 사마귀 병이 많이 발생하는 것으로 알려져 있어서 결과에 대한 우수한 비교 실험의 대상이 되리라 판단하였다.[12,13)]

비교군인 물과 합성 PVA 그리고 본 연구에서의 먼지 억제제를 배추 씨앗을 심은 토양표면에 주기적으로 분사하면서 관찰하였으며 그 결과의 사진을 Fig. 7에 나타내었다.

18일간의 배추 발아 생육 비교에서 대조군인 합성 PVA는 발아율이 좋지 않았고 개체수도 많지 않았으며 물만 분사한 배추 발아율은 적당하였으나 일부 시든 것도 있었다. 그러나 본 연구의 먼지 억제제는 발아율도 우수하였고 풍성한 개체를 지니고 있었다.

합성 PVA는 합성 화학제품이며 분사건조 후 토양 표면에 건조 피막을 형성하고 토양과 수질에 좋지 않은 영향을 미치는 것으로 판단되었으며 본 연구의 먼지 억제제는 천연다당류와 보습제 등으로 구성되어 수분을 많이 필요로 하는 배추의 성장에 천연다당류의 유기질 공급과 수분 보습 효과로 좋은 영향을 주었을 것이라 판단되었다.

결과를 바탕으로 실제 배추를 심어놓은 토양에서 생육과정(70일간)의 Field Test도 실시하여 그 결과를 Fig. 8과 Table 1에 나타내었다.

Table 1. The growth of Cabbage according to treatment method.

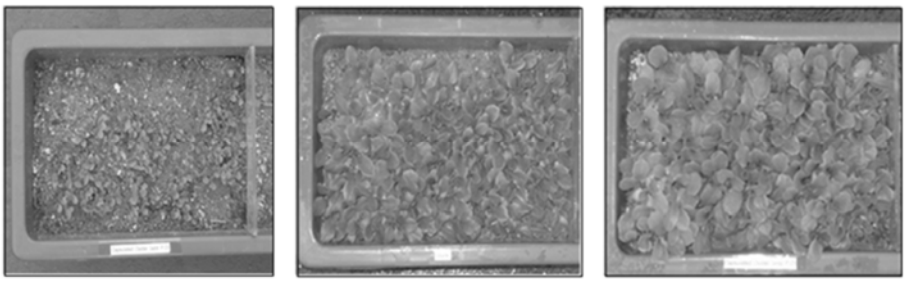
Component / Treatment	Leaf length (cm)			Leaf width (cm)		
	Primary (10 days)	Secondary (40 days)	Tertiary (70 days)	Primary	Secondary	Tertiary
Control (Water)	11.2	12.3	22.0	5.7	8.3	14.7
This Study	10.9	15.2	25.1	5.6	8.5	15.7

시험 전 대상 배추밭 토양은 pH 5.62로 실험 대상의 토양은 연작과 산성비에 의하여 산성화 되고 있는 밭 토양이었다. 배추 생육의 조건은 일반 경작방법(비료 공급)을 그대로 하였고 차이이라면 물과 먼지 억제제의 조건이었으나 오히려 물보다 먼지 억제제의 공급이 오히려 횟수가 적었음에도 불구하고 고른 생육을 나타내었고 수확 후 배추 잎의 엽색도가 우수한 결과를 나타내었으며 Table 1의 결과에서 보듯이 같이 엽장과 엽폭이 대조군보다 우수하였다.

이는 앞선 실험에서와 같이 먼지 억제제의 성분 중 유기질 공급의 효과와 천연고분자 등의 보습/팽윤 등에 의한 효과라 판단되었다.

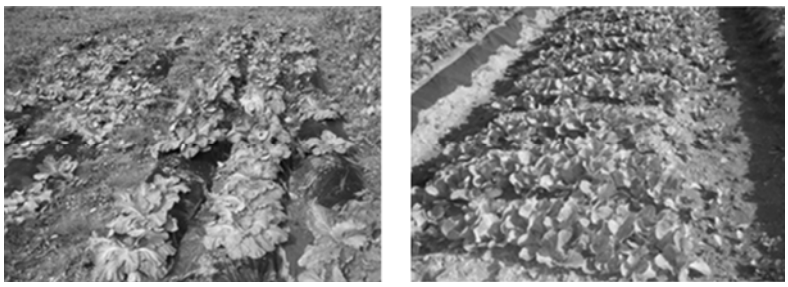
3.4. 공사현장 TEST

경기도 도로 공사장에서 25 ton 화물차로 대조군인 물과 본 연구의 먼지 억제제(100 : 1 희석)를 좌우 경계를 기준으로 $10 \times 100\ m^2$ 정도 공사장 비포장 도로에 골고루 분사 후 완전 건조된 2일 후 실험하여 먼지발생 유무를 관찰하여 Fig. 9에 나타내었으며 사진에서 보듯이 2일 후에도 본 연구의 먼지억제제는 먼지가 발생하지 않음을 확인할 수 있었다.



(a) Synthetic polymer (b) Water (c) This study

Fig. 7. Comparison of growth of cabbage seeds in the Soil-Box (18 days).



(a) Water (b) This study

Fig. 8. Comparison of growth of Cabbage field.

Fig. 9. Comparison of dust generation by 25 ton vans after 2 days of spraying [(a) Dust suppressant spray area (b)simple watering].

3.5. 물고기와 수생 식물에 대한 수질 영향 결과

수생 생물에 미치는 영향력을 확인하기 위해 물고기(5일 간)와 부레 옥잠(4일 간)에 대한 영향을 관찰하여 이미지로서의 결과를 Fig. 10에 나타내었다.

실험기간 동안 물고기는 안전하게 생존하고 있었으며 수생식물인 부레 옥잠에서도 Floc이 발생하지 않았다.

이를 토대로 희석용액의 공인시험기관 토양오염공정시험과 수질오염공정시험 의뢰 결과도 문제가 없었다.

3.5. 식물 성장 Field Test 결과

허브 밭을 절반씩 나누고 각각 물과 100 : 1로 희석한 본 연구의 먼지억제제를 매일 아침, 저녁 2회 분사하고 7일간의 식물 성장을 관찰하여 그 결과를 Fig. 11에 나타내었다.

Fig. 11에 나타낸 것과 같이 일주일간의 비교에서 물만 분사한 곳은 고사하지는 않았으나 꽃과 잎이 많이 시든 것을 관찰할 수 있었으나 본 연구의 먼지억제제를 분사한 곳은 싱싱하게 잘 자라고 일부 곤충들도 관찰되었다. 이는 천연 다당류 고유의 보습과 팽윤 성질로 인하여 충분한 수분 공급과 이들 성분인 유기질의 적당한 공급의 결과로 생각된다.

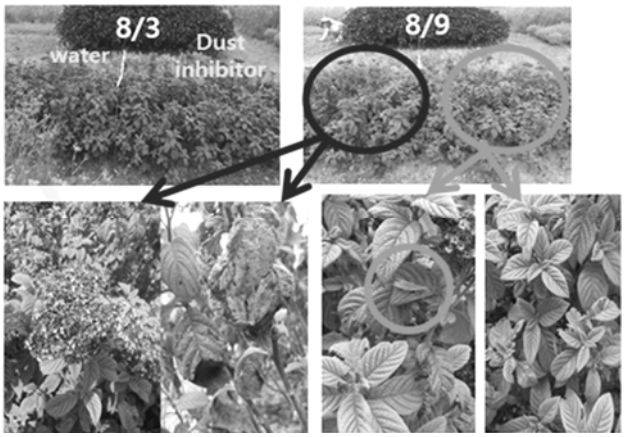


Fig. 11. Comparison of plant growth in herb fields.

4. 결 론

Polysaccharide의 특성인 분자구조, 분자량, 점성, 친수성, 팽윤 및 보습 등의 성질을 이용하고 보습제와 천연계면활성제를 혼합하여 PM_{10} 먼지 억제제를 제조하였다.

다양한 먼지제어 효과, 수분 증발 비교, 배추씨 발아, 배

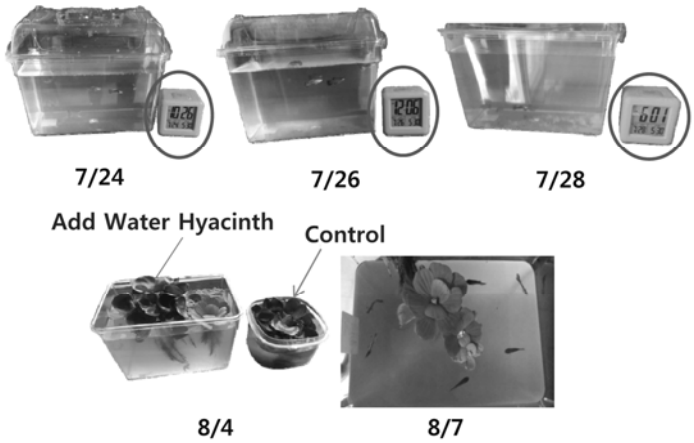


Fig. 10. Safety tests for fish and water hyacinth.

추밭 생육 등의 Pot Test 및 물고기와 수생식물에 대한 영향 및 허브 식물 성장에 대한 영향 등의 토양 및 수질 시험 등을 통하여 토양과 수질에서의 안전성 등을 연구 하여 PM_{10} 먼지억제제로서의 가능성을 확인하였다.

이를 토대로 최근 심각한 사회문제인 미세먼지 발생원인 공사장, 도로, 야적장, 공장 및 광산 등에서 안전하고 효율적인 비산 미세먼지(PM_{10})에 대한 관리 가능성을 확인할 수 있었다.

KSEE

References

1. Anderson, J. W. and Baird, P. D., "Health benefits of dietary fiber," *Nutr. Rev.*, **67**(4), 188~205(2009).
2. Guo, H., Song, Y. H. and Wang, P. G., "Current understanding on biosynthesis of microbial polysaccharides," *Curr. Top Med. Chem.*, **8**(2), 141~151(2008).
3. Guangjin, T., "Characteristics of particulate matter (PM_{10}) and its relationship with meteorological factors during 2001-2012 in Beijing," *Environ. Pollut.*, **192**, 266~274(2014).
4. Song, H. B., Kim, E. K., Kwon, J. D. and Park, S. K., "The Effect of Construction on Ambient PM-10 in the Surrounding Area," *J. Environ. Health Sci.*, **41**(3), 163~170(2015).
5. Do, H. S., Choi, S. J. and Park, M. S., "Distribution Characteristics of the Concentration of Ambient PM-10 and PM-2.5 in Daegu Area," *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **36**(1), 20~28(2014).
6. Jeon, B. I., "Characteristics of Spacio-Temporal variation for PM_{10} and $PM_{2.5}$ concentration in Busan," *J. Environ. Sci.*, **19**(8), 1013~1023(2010).
7. Kang, H. S., Hwang, J. S. and Yoo, W. Y., "A Decrease of Fugitive Dust on Coal Storage Pile by Treating Polyvinyl Alcohol-surfactant," *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **29**(12), 1400~1403(2007).
8. Robert, C. and Robert, A. M., "Effect of a fucose-rich polysaccharide preparation on the age-dependent evolution of the skin surface micro-relief," *L. Pathol. biol.*, **51**(10), 586~590 (2003).
9. Kim, H. T., "A Study on the Characteristics of Water Pollution in Rural Areas," *Korean J. Environ. Agric.*, **12**(2), 129~143(1993).
10. Lee, J. T., "Urban Runoff and Water Quality Models," *J. Korean Water Res. A.*, **31**(6), 709~725(1998).
11. Um, M. J. and Moon, Y. H., Assessment of Water Quality and Pollutant Loads on Agricultural Watershed in Jeonbuk Province, *Korean J. Environ. Agric.*, **27**(2), 111~119(2008).
12. Lee, K. C. and Hwang, S. K., "Pot Test and Preparation of PVA/Chitosan Blending Film According to Molecular Weight of Chitosan," *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **24**(3), 48~53 (1998).
13. Jung, J. Y. and Lee, Y. S., "Optimizing a Method for Measuring Firmness of Chinese Cabbage (Brassica rapa) and Comparing Textural Characteristics among Cultivars," *Korean J. Hortic. Sci. Technol.*, **30**(6), 700~708(2012).
14. Lee, S. H., Lee, H. S. and Kang, Y. Y., "Comparison between Ecotoxicity using Daphnia magna and Physiochemical Analyses of Industrial Effluent," *J. Environ. Sci. Int.*, **23**(7), 1269~1275(2014).