

화장품 소재와 천연고분자를 이용한 도로분진 제어에 대한 연구

이한섭[†] · 최성부

용인대학교 자연과학대학 환경과
(2018년 3월 1일 접수: 2018년 3월 23일 수정: 2018년 3월 27일 채택)

Study on control of road dust using Cosmetic Material and Natural Polymer

Lee Han Seob[†] · Choi Sung Boo

*Department of Environmental Science, University of YongIn
(Received March 1, 2018; Revised March 23, 2018; Accepted March 27, 2018)*

요 약 : 본 연구에서는 식품 및 화장품 원료로 널리 사용되는 천연 다당류의 분자 구조, 분자량, 점도, 친수성, 팽창, 흡윤 및 보습 특성을 이용하여 도로 분진 방지제를 제조하였다. 다양한 분진 제어 효과가 확인되었으며 단순한 물 분사 및 시험 대조군인 합성PVA보다 우수한 결과를 얻었다. 또한 수분 증발 비교, 비산 저감율, 공사현장 테스트 및 물벼룩 급성 독성 시험 등의 영향을 연구하고 토양 및 수질의 안전성을 연구하여 도로 분진 방지제의 유용성을 확인하였다.

주제어 : 도로분진, 천연 다당류, 분진 억제제, 현장실험, 천연고분자

Abstract : In this study, a dust inhibitor for road dust was prepared by using molecular structure, molecular weight, viscosity, hydrophilicity, swelling, wetting and 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 for control(PVA). In addition, the comparison of water evaporation, scattering inhibition rate, Field test, and determining acute lethality of effluents to *Daphnia magna* were studied and the safety of soil and water quality was studied. The availability of the dust inhibitor was confirmed.

Keywords : Road Dust, Polysaccharides, dust inhibitor, Field Test, Natural polymer

[†]Corresponding author
(E-mail: s210@naver.com)

1. 서론

천연고분자 중 천연 다당류(Polysaccharide)는 단당류 또는 그 유도체들이 glycoside bonding으로 된 중합체로 동식물, 해양, 미생물 등 자연계에 존재하는 탄수화물의 대부분을 차지한다. 동일한 종류라도 크기가 다른 분자의 혼합물인 것이 많다. 여러 가지 방법으로 분류되며, 작은 단당류로 이루어진 것을 소당류라고 하여 구별하고, 그 이상의 중합도의 것을 다당류라 한다. 소당류와의 경계는 명확하지 않지만, 다당류는 대부분이 소당류에 비해 분자량이 매우 크고 수만에서 수천만에 이르며, 고분자 물질에 속한다. 또 분자량은 균일하지 않고 다수의 중합 동족체의 혼합물인 것이 많다. 셀룰로오스, 녹말, 글리코겐 등이 대표적인 것이다. 이들은 여러가지 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 함유 성분에 의해 펜토산, 폴리우로니드 등과 같이 구별되는 경우도 있다. 그러나 이러한 분류는 모두 불안정하여 다음과 같이 화학적 성분에 의해 분류하는 것이 합리적이다. 먼저 단지 한 종의 단당으로 되어 있는 호모글리칸(단일 다당류)과 2종 이상의 단당으로 되어 있는 헤테로글리칸(복합 다당류)로 대별된다. 전자는 그 구성 단당류의 종류 및 결합 양식에 의해 분류되고, 후자는 그 구성당의 종류가 2, 3, 4종이 있어 그 종류에 따라서 디헤테로글리칸, 트리헤테로글리칸, 테트라헤테로글리칸 등과 같이 분류할 수 있다¹⁻³⁾. 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 생물의 구성, 지지, 피막물질, 운반체로서의 역할과 생체에너지 저장 물질로서의 역할을 하며 토양 개량제로 사용되면 토양구조를 안정시키는 역할을 한다.

한편 최근 분진과 미세먼지에 대한 문제가 사회적인 관심사가 되어 있으며 분진은 대기중 발생하는 입자상 물질의 총칭으로 먼지 중에 흙, 모래, 암석, 금속, 식물 등 고형물이 파쇄되어 생긴 지름 0.1 μm ~수십 μm 의 고형 미립자를 말하며 분진은 미생물이 쉽게 착근하는 매개체이며,

여러 기계적 장비의 고장을 유발한다. 일반적으로 공조기를 가동하여 여과 또는 제거한다.

자연적으로 황사와 같이 사막의 건조지대에서 강한 바람에 의해 높은 대기로 올라간 흩먼지가 바람을 타고 이동해 지상으로 떨어지는 자연현상이 있으나 대부분은 인위적 요인으로 고농도 분진인 일상 생활과 교통, 산업활동 등에 의해 발생하며 공사장, 공장, 발전소, 광산 및 농장 등의 사업장, 포장 및 비포장 도로, 가정에서 연소, 배기가스 배출 등에 의해 생성된다⁴⁻⁶⁾. 분진의 피해는 공기 중의 농도, 입자의 크기, 형상, 경도, 비중, 용해성, 화학성분 등에 관계되며, 직업병의 원인이 되는 것 외에 폭발의 유인, 채광의 장애, 기계나 제품의 오손 등 각종 피해를 준다. 현재 PM 10 이상 크기의 발생분진의 제어는 단순 물살수를 이용하고 있으나 겨울철에는 물이 얼어 작업자의 낙상 위험이 있고 여름철에는 기온 증가에 따른 빠른 수분 증발로 물 살수 효과가 미미한 것으로 알려져 있다⁷⁾.

본 연구에서는 키토산과 알긴산나트륨 등의 천연 다당류를 화장품 소재로 이용하는 첨가제와 일정비율로 혼합하여 천연 다당류의 특성인 친수성, 분자구조, 분자량, 점성, 습윤 및 보습 등을 이용하여 도로분진 억제제를 제조하여 도로 분진 먼지 제어 효과 등을 연구한 결과를 보고한다.

2. 실험

2.1 실험 재료 및 기기

본 연구에 사용한 천연 다당류와 식품 및 화장품 재료를 조합하여 사용하였다. 키토산(분자량 500,000~1,000,000)과 알긴산나트륨(분자량 120,000~280,000) 등의 천연 유래 다당류를 사용하였으며 이들은 한국 카라젠(주)으로부터 식품 grade를 구입하여 사용하였고 보습제는 화장품회사의 보습 원료인 히알루론산, 1,3-부틸렌글리콜, 글리세린, 우레아 등을 사용하였고 미생물의 증식 억제와 함께 보습제로서 작용하여 가공식품의 건조를 막는 프로필렌글리콜(일본 Wako)을 구하여 사용하였으며 천연 계면활성제로는 비이온계 Glucoside계(Decyl glucoside, 일본 TCI)와 음이온 계면활성제로 α -올레핀 술폰산염(AOS, active matter(%): 34~36, ASCO® 1416, 한국, AK켄텍)를 구입하여 사용하였다. 또한 대조군으로서 비교실험으로 확인하기 위하여 석탄 화력발

전소에서 상용제품으로 사용되는 합성 PVA 비산 방지제(n=500, 한국, D사)를 구입하여 실험에 사용하였다. 본 실험에 사용한 분사 전후의 이미지 분석을 위하여 SEM(전자주사현미경, SU8010, 일본)을 이용하였으며 점도 측정을 위하여 Brookfield 점도계(HBDV-1, USA)를 사용하였다. 미세먼지 측정은 PM₁₀ 0 ~ 800 µg/m³ 스케닝의 ±5 % 오차범위를 가진 국산 IDT사의 ISR5000-1을 사용하였다.

2.2. 도로분진 억제제 제조

물에 희석 후 살수분사가 용이하도록 희석이 가능한 액상으로 제조하였다. 천연 다당류의 Network 분자구조를 형성하기 위하여 2종의 천연 다당류를 조합하여 제조하였다.

예로서 키토산과 알긴산나트륨 분말을 각 200g 씩 취하고 30°C 초산 수용액에 넣고 잘 분산 용해시킨 후 서서히 1시간 이상 교반하고, 후에 각 50g의 보습제와 계면활성제를 넣고 교반 후 점도가 1,000cps 이상 되면 반응을 종료하여 도로분진 억제제 원액을 완성하였다. 이들 도로분진 억제제 원액을 수용액에 50 ~ 200 배 희석 후 잘 흔들어 주고 도로 먼지에 분사하여 분사 전후 SEM 이미지를 Fig. 1에 나타내었다.

2.3. 분진 억제 효과 실험

제조한 천연 다당류 도로분진 억제제의 분진입자에 대한 제어 효과를 확인하기 위하여 모래, 토양, 철 가루 등을 각각 1.0 kg씩 준비하여 물, 대조군인 합성 PVA(100:1 희석)⁸⁾과 본 연구에서 제조한 분진 억제제(100:1 희석)를 분사하고 3, 7일 후 5 m/s의 풍속으로 송풍기로 수평방향으로 송풍하여 식(1)의 중량분석법⁹⁾으로 비산저감

효과를 측정하였고 또한 분사 후 철 가루에 대하여서는 분사 7일 후 10 m/s의 송풍으로 비산거리를 측정하였다.

$$DIR = \frac{IS-AS}{AS} \times 100(\%) \dots\dots\dots (1)$$

여기서,

DIR: 분진 억제 효율

[Dust Inhibition Rate (%)]

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

AS(After stockpile): 처리 후 야적 무게(g)

2.4. 실내 미세먼지 제어효과 실험

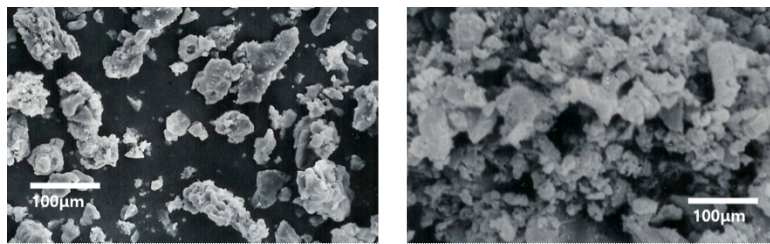
밀폐된 공간(3.5평)을 실험대상으로 송풍기로 송풍(5 m/s) 후 미세먼지 측정기로 초기 미세먼지 농도를 측정하고 대조군인 물과 500:1로 희석한 도로분진 억제제 분사 후 2시간, 24시간 후의 미세먼지 제어율에 대한 실험을 하였다.

2.5. 토양 야적물 수분유지 시험

수분 증발 비교실험으로 물, 합성고분자(100:1 희석)의 대조군과 본 연구에서 제조한 분진억제제(100:1 희석)를 분사하고 2일, 7일 후 모습을 관찰하였다.

2.6. 공사 현장 Field Test

초기 실험결과를 바탕으로 Field test로서 실제 도로 공사장에서 25 Ton 화물차로 비교군인 물과 본 연구의 분진 억제제(100:1 희석)를 좌우 경계를 기준으로 10m X 100m 정도에 골고루 분사 후 9월의 온도(±20°C) 와 자연 풍향에서



(a) (b)
Fig. 1. Images SEM for Dust before(a) and after Spraying of Dust Inhibitor(b).

수분이 완전 건조된 도로조건에서 2일 후 실험하여 먼지발생 유무를 관찰하였다.

2.7. 물벼룩 독성에 대한 수질 영향

분사 후 배수되어 하천 또는 수질에 영향을 관찰하고자 물벼룩(*Daphnia magna*)에 대한 분진 연구 분진 억제제의 영향을 관찰하여 보았다. 물벼룩을 이용한 급성 독성 시험법(환경부 수질오염 공정시험기준 ES 04704.1a)는 폐수 방류수에 생물체(물벼룩)를 넣고 생태독성 여부를 측정하여 하·폐수를 통해 배출되는 미지의 유해물질을 통합관리하기 위한 시험방법이다. 물벼룩은 시험종으로 선택한 이유는 물벼룩이 수생태계 1차 영양단계 대표 생물종으로, 크기 약 0.3 ~ 3 mm 정도로 작은 소형 갑각류이고 다산 및 짧은 생활사를 갖는 특징이 있으며 무엇보다도 독성물질에 민감하고 독성시험의 재현성이 높기 때문이다.

물벼룩은 시료내의 독성물질에 의해 영향을 받을 수 있으며 그 영향에 의해 유영성을 잃게 되는데, 시료를 여러 비율로 희석한 시험수에 물벼

룩을 넣고 24시간 동안 관찰하여 물벼룩의 50%가 유영 저해를 일으키는 시료농도(EC₅₀에서의 시험수 중 시료의 함유율)를 결정하고 단위 환산에 의해 생태 독성값(TU, toxic unit)을 계산하였다¹⁰⁻¹³.

3. 결과 및 고찰

3.1. 분진 억제제의 비산 저감효과

물, 합성 PVA(100:1 희석)의 대조군과 본 연구에서 제조한 분진 억제제(100:1 희석)를 분사하고 3, 7일 후 5 m/s의 풍속으로 송풍기로 송풍하여 Fig. 2에 나타내었다.

야적물에 각각의 대조군과 본 연구물을 분사 후 2 ~ 3일 후 비교대상 야적물은 모두 건조되었으나 본 연구물은 반 건조 상태를 유지하고 있었으며 송풍기로 3일 후 송풍 해보니 물은 건조하여 큰 변화가 있었으며 합성 PVA는 아직은 야적물의 형태를 유지하며 조금의 변화가 있었다.

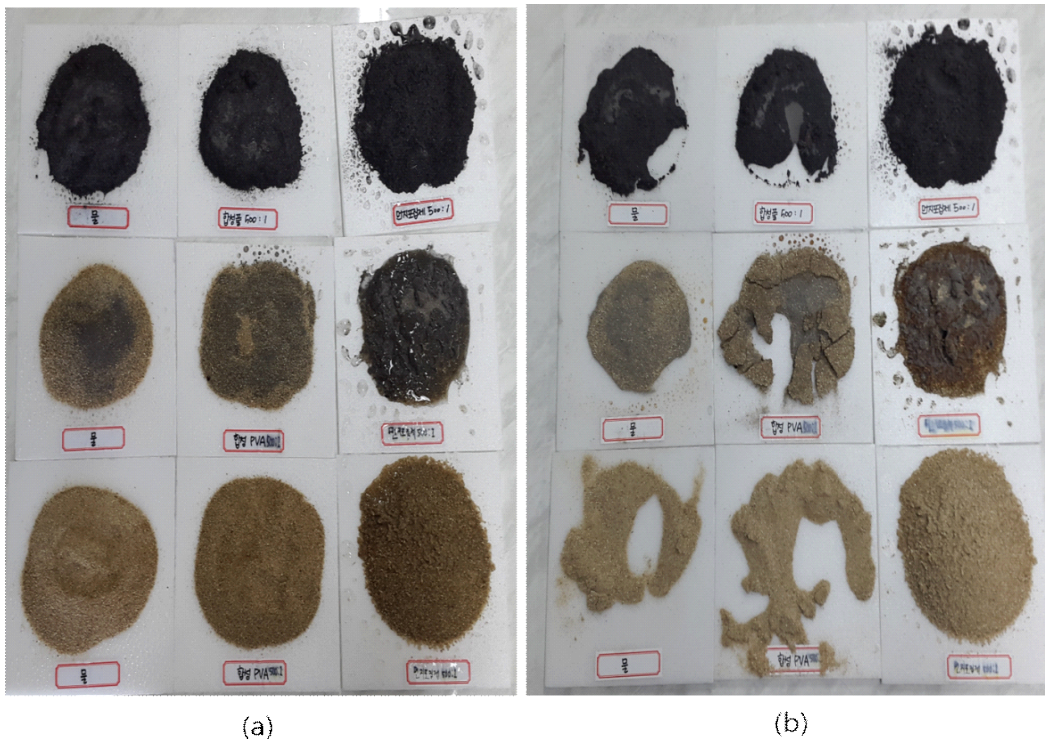


Fig. 2. Effect of Blowing against the stock-pile (Sand, Soil, Iron powder) [(a) spraying (b) 7 days].

같은 방법으로 완전 건조된 대조군과 본 연구물에 대하여 7일 후 송풍 해보니 물과 합성 PVA 야적물은 모두 심한 변화가 일어났으나 본 연구의 분진억제제 야적물은 분사 7일 후에도 그 상태를 그대로 유지하고 있었다. 이를 바탕으로 송풍 후 분사 전후 야적물들에 대한 중량분석법으로 분석한 억제율[Inhibition Rate (%)] 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 또한 Fig. 4에는 토양에 대하여 분사 60일 후까지의 5 m/s의 풍속으로 송풍 한 결과를 나타내었다.

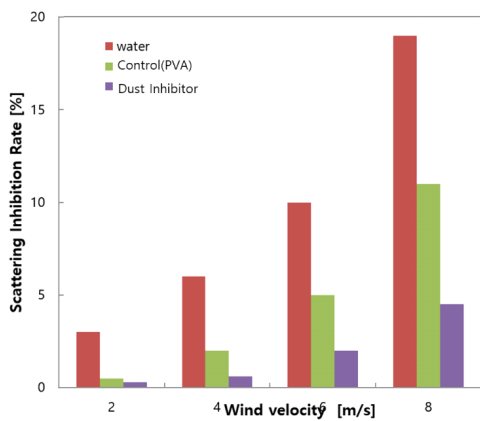


Fig. 3. Scattering inhibition rate(%) by gravimetric analysis for wind velocity.

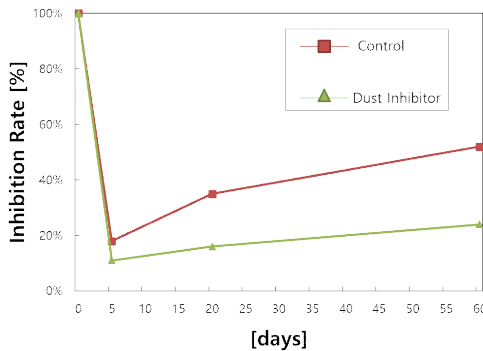


Fig. 4. Inhibition Rate(%) by Gravimetric analysis of before and after Air Blowing at Soil.

이상과 같이 다양한 미세 분진 입자(모래, 토양, 철 가루)에 대한 분사 전후 세기에 따른 송풍 실험에서 물 ≪ 합성고분자 ≪ 본 연구의 분진억제제 순으로 우수한 분진억제 효과를 나타내었고

특히, 분진억제제의 우수한 포집 능력으로 큰 비중(7.8)을 지닌 철 가루도 바람의 세기를 증가하여도 다른 대조군에 비하여 확연한 차이의 효과를 확인할 수 있었다.

3.2. 실내 분진 제어효과 실험

국내외에서는 실외에서의 경우 온도, 습도, 기후, 풍속 등의 여러 환경변수에 의하여 정확한 억제율을 측정하기 어려워 실내 공기질 측정법만을 인정하고 있다. 실내의 밀폐된 공간에서 대조군인 물 분사와 희석한 분진억제제 분사 전후에 대한 미세먼지 측정기를 이용한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 물, 분진억제제 모두 분사 직후 높은 실내공간 대기 중 먼지 제어율을 보였으나 물은 시간이 지나며 억제율이 떨어졌으며 24시간 후에는 물의 증발에 따라 다시 분진이 증가하는 경향을 나타냈으나 분진억제제는 24시간 후에도 비산먼지 제어율이 유지되었다. 이에 분진억제제는 단순 물 분사에 비하여 경과시간에 따른 비산먼지 제어율이 우수함을 확인할 수 있었다.

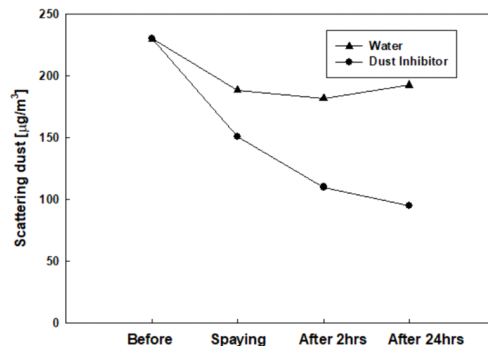


Fig. 5. Dust scattering experiments in a confined space.

3.3. 분진 억제제의 토양 야적물 수분유지 효과

토양 야적물에 대조군인 물과 PVA, 분진억제제를 동일한 희석비율로 분사 후, 2~3일 후부터 대조군들은 완전 건조되기 시작하였으나 분진억제제는 반 건조 상태를 유지하고 있었으며 대조군과 분진억제제에 대하여 7일 후 송풍 속도를 변화시켜가며 송풍 해보니 대조군인 물과 합성고분자 야적물은 재 비산으로 모두 심한 변화가 일어났으나 분진억제제의 야적물은 그 상태를 비교적 그대로 유지하고 있었다. 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다.

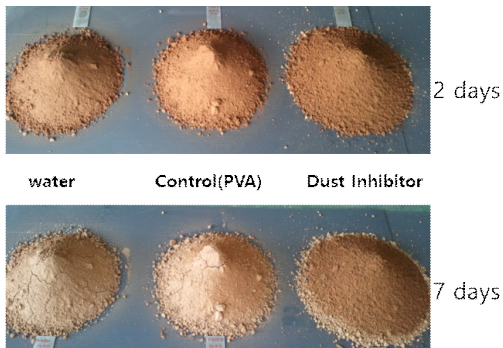


Fig. 6. Comparison experiment of moisture evaporation.

3.4. 공사현장 TEST

경기도 도로 공사장에서 25 Ton 화물차로 대조군인 물과 본 연구의 분진 억제제(100:1 희석)를 좌우 경계를 기준으로 10m X 100 m 정도 공사장 비포장 도로에 골고루 분사 후 완전 건조된 2일 후 실험하여 먼지발생 유무를 관찰하여 Fig. 7에 나타내었으며 사진에서 보듯이 2일 후에도 본 연구의 분진 억제제는 분진이 발생하지 않음을 확인할 수 있었다.

3.5. 물벼룩 독성에 대한 수질 영향 결과

제조한 분진억제제의 물벼룩(*Daphnia magna*) 급성독성시험을 48시간동안 지수식으로 실시하였다. 시험농도당 노출 물벼룩 20마리에 대한 유영저해 개체수, 일반중독증상을 관찰, 조사한 결과는 다음과 같다. 본 시험은 KS I ISO 6341-2008 수질-물벼룩 운동성 억제특성 측정방법(급성독성 시험방법)에 따라 수행되었다. 시험농도(nominal concentration)는 6.25, 12.5, 25, 50 및 100 %로 하여 시험을 실시하였다. 시험기간 중 유영저해가 일어나지 않는 최대 농도는 25 %이었다. 시험기간 중 약제처리군에서 일반중독증상 및 특이증상이 관찰되지 않았다. 이를 근거로 생태 독성값(TU)을 구해야 하며, TU1이 하수종말처리장 기준이며, TU2는 청정지역 제조업체 폐수처리 기준이다. 생태독성값(TU) 계산은 단위시험기간 동안 물벼룩의 50 %가 유영저해를 일으키는 농도(시험수 중 시료 함유율 %)인 EC50을 100/EC50으로 환산한 값을 말하며, 100 % 시료에서 물벼룩의 0~10 %에 영향이 있을 경우에는 TU를 0으로 하고, 물벼룩의 10~49 %에 영향이 있을 경우에는 0.02×영향 받은 퍼센트로 TU를 계산한다. 50 % 이상 영향이 있을 경



Fig. 7. Comparison of dust generation by 25ton vans after 2 days of spraying[(a) Dust suppressant spray area, (b)simple watering, (c) various field tests].

Table 1. Results of method for determining acute lethality of effluents to *Daphnia magna*

Observation Time	EC50(%) ¹⁾	95 % Confidence interval	NOEC(%) ²⁾
24h	> 50.0	-	50
48h	89.1	73.2 ~ 122	25

1) Median effect concentration, based on nominal concentration of active ingredient

2) No observed effect concentration

우에는 통계프로그램을 이용하여 EC50을 구한 후 생태 독성값(TU = 100/EC50)을 계산하였다¹⁴⁻¹⁵⁾. 그러므로 100/89.1 = 1.122이므로 TU 1에 해당하는 기준이었다.

4. 결론

1. Chitosan과 Sodium alginate 같은 천연고분자의 특성인 분자구조, 분자량, 점성, 친수성 및 보습 등의 성질을 이용하고 화장품 소재인 보습제와 계면활성제를 혼합하여 도로분진 억제제를 제조하였다.
2. 다양한 송풍 실험 및 먼지제어 효과, 공사장 현장테스트 및 물벼룩 독성에 대한 영향 등을 통하여 도로분진 억제 및 수질에서의 안전성 등을 연구 하여 분진 억제제로서의 가능성을 확인하였다.

이를 토대로 최근 심각한 사회문제인 미세먼지 발생원인 공사장, 도로, 야적장, 공장 및 광산 등에서 안전하고 효율적인 미세한 입자상 분진에 대한 관리 가능성을 확인할 수 있었다.

References

1. J. W. Anderson, P. D. Baird, "Health benefits of dietary fiber", *Nutr. Rev.*, Vol.67, No.4 pp. 188-205, (2009).
2. H. Guo, Y. H. Song, P. G. Wang, "Current understanding on biosynthesis of microbial polysaccharides", *Curr. Top Med. Chem.* Vol.8, No.2 pp. 141-151, (2008).
3. S. K. Hwang, "Biodegradation and Preparation of Biodegradable Film by using Natural Gums", *Journal of the Korean Oil Chemists' Society*, Vol.15, No.4 pp. 1225-9098, (1998).
4. T. Guangjin, "Characteristics of particulate matter(PM10) and its relationship with meteorological factors during 2001-2012 in Beijing", *Environmental Pollution*, Vol.192 pp. 266-274, (2014).
5. H. B. Song, E. K. Kim, J. D. Kwon, S. K. Park, "The Effect of Construction on Ambient PM-10 in the Surrounding Area", *J. Environ Health Sci.*, Vol.41, No.3 pp. 163-170, (2015).
6. H. S. Do, S. J. Choi, M. S. Park M. S., "Distribution Characteristics of the Concentration of Ambient PM10 and PM2.5 in Daegu Area", *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, Vol.36, No.1 pp. 20-28, (2014).
7. B. I. Jeon, "Characteristics of Spacio-Temporal variation for PM10 and PM2.5 concentration in Busan", *J. Environ. Sci.*, Vol.19, No.8 pp. 1013-1023, (2010).
8. H. S. Kang, J. S. Hwang, W. Y. Yoo, "A Decrease of Fugitive Dust on Coal Storage Pile by Treating Polyvinyl Alcohol-surfactant", *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, Vol. 29, No.12 pp. 1400-1403, (2007).
9. C. Robert, A. M. Robert, "Effect of a fucose-rich polysaccharide preparation on the age-dependent evolution of the skin surface micro-relief", *L Pathologie. biologie.*, Vol.51, No.10 pp. 586-590, (2003).
10. H. T. Kim, "A Study on the Characteristics of Water Pollution in Rural Areas", *K. J. of Envir. Agr.*, Vol.12, No.2

- pp. 129-143, (1993).
11. J. T. Lee, "Urban Runoff and Water Quality Models", *J. of Kor. Water Res. A.*, Vol.31, No.6 pp. 709-725, (1998).
 12. M. J. Um, Y. H. Moon, "Assessment of Water Quality and Pollutant Loads on Agricultural Watershed in Jeonbuk Province", *Kor. J. of envir. Agr.*, Vol.27, No.2 pp. 111-119, (2008).
 13. UK. EA, The Direct Toxicity Assessment of Aqueous Environmental Samples Using the Juvenile *Daphnia magna* Immobilisation Test, US EPA.(2007).
 14. S. H. Lee, Y. Y. Kang, "Comparison between Ecotoxicity using *Daphnia magna* and Physiochemical Analyses of Industrial Effluent", *J. of enviro. Sci. international*, Vol.23, No.7 pp. 1269-1275, (2014).
 15. US EPA, Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms, EPA-821-R-02-012, (2002).