

## A Study on Efficient Management Strategy for Soil Erosion

Joung-Bae Hwang\*, Nam-Chan Kim<sup>1</sup>, Chang-In Lim<sup>1</sup>, and Yoon-Min Kang<sup>1</sup>

Hyundai Engineering Co., Ltd, Seoul 03058, Korea

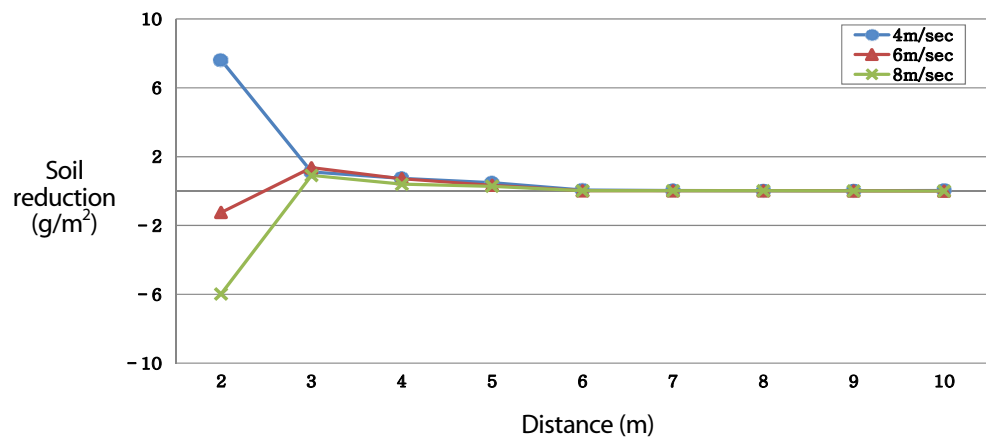
<sup>1</sup>Department of Environmental Engineering, Kwangwoon University, Seoul 01897, Korea

\*Corresponding author: jbhenv@naver.com

### ABSTRACT

**Received:** November 28, 2018**Revised:** December 5, 2018**Accepted:** December 5, 2018

Soil value was estimated 26 trillion Korean won and recent climate change due to global warming is highly affecting soil erosion. Especially, about 10% of surface soil was annually eroded because of massive construction in Korea. Main purpose of this research was i) to investigate occurrence, mechanism, affecting parameters of soil erosion especially focused on wind erosion and ii) to conduct wind tunnel experiment for evaluating feasibility of dry fog system in stabilizing wind erosion. Result of wind tunnel experiment showed that wind erosion could be reduced about 22-38% after applying dry fog system. Two parameters, soil particle size and spreaded water drop size, are main parameters to affect efficiency of wind erosion stabilization and smaller water drop size is more effective to prevent wind erosion than soil particle size. In terms of wind erosion management, evaluation of soil erosion should be conducted for environmental impact assessment (EIA) when land usage is changed or massive construction was conducted. Since there is no evaluation form of soil erosion in EIA, not only soil erosion but also wind erosion evaluation should be included in the EIA. In addition, transaction of soil and rock open portal recycle system (TOCYCLE) could be utilized to recycle surface soil and consequently, prevent wind erosion and conserve value of soil. Overall, dry fog system is an effective technique for wind erosion preventing system and it could be combined with natural and/or artificial soil conservation system to enhance wind erosion prevention. Furthermore, policy and management system for preventing soil erosion should be thoroughly reviewed to make better soil conservation.

**Keywords:** Weathering, Top Soil, Soil Erosion, Conservation of Surface Soil

Soil Reduction by Wind Speed and Distance.



## Introduction

토양침식은 표토가 물이나 바람에 의해 원래의 위치에서 분리되어 다른 곳으로 이동하여 유실되는 현상을 말하며 삼림 벌채, 과다 경작, 과다 방목 등이 가장 주요한 원인이다. 이는 인간 활동에 의해 교란받지 않은 자연조건에서 주로 일어나는 현상이지만 최근 들어 인위적으로 삼림을 포함한 지표 식생의 벌목을 통해 대규모 개발사업을 시행하는 과정에서 표토가 유실되는 현상이 점차 증가하고 있다.

토양침식은 각종 농경 및 산림 활동에 의한 자연적인 침식과 관개용수 및 생활용수, 공업용수 등의 취수와 하천 주변의 도시화 및 공업화 등 인류의 산업활동에 따른 인위적인 침식으로 구분된다. 또한, 침식작용 인자에 따라 수식(Water Erosion), 풍식(Wind Erosion), 빙식(Ice Erosion), 설식(Snow Erosion), 생물적 침식(Biological Erosion) 등으로 구분할 수 있으며, 대부분의 토양침식은 수식과 풍식에 의해 발생하는 것으로 조사되었다.

전 세계적으로 자연적인 침식과 인위적인 침식과의 관계는 명확히 밝혀진 것은 없지만, 지형이 손상되지 않은 자연적으로 안정적이거나 인간 활동에 의해 안정화된 지역(사용되지 않은 불모지 포함)에 비해 인간에 의해 개발되어 토양유실의 영향을 받는 지역이 차지하는 비율이 3배 정도 많으며, 사람에 의해 인위적으로 훼손되는 유실은 물 55.6%, 바람 27.9%, 화학작용 12.2%, 물리적 작용 4.2% 순으로 조사되어 물에 의한 토양유실 면적이 가장 큰 것으로 조사되었다(Oldman, 1991). 우리나라 경우 토양침식으로 인한 연평균 표토 유실량은 50톤/ha 이상으로 전국토의 20% 수준인 것으로 조사되었으며, 권역별로는 강원, 경남, 전남지역에서 수계별로는 한강권역에서 높은 수준의 토양유실이 파악되었으며 인위적 침식량 평가 결과 표토를 직접적으로 개발하는 면적의 연간 개발 면적의 10%가 유실되고 있다고 추정하였다(MOE, 2013).

토양침식에 따른 국내·외의 표토 관리방안은 국내의 경우 관계부처 협동으로 수립한 제2차 비점오염원관리 종합대책(2012-2020)에 준하여 표토를 관리하고 있는데 먼저 환경부에서는 비점오염원 저감 관점에서 흙탕물 저감사업 등 하천으로의 토사유입 방지대책을 실시하고 있으며, 농림부는 농업 생산성 유지 관점에서 밭기반 정비사업, 토양유실 및 토양양분 유출을 연구 수행하고, 산림청은 산림자원 보전을 위해 임도 관리를 강화하고 토석 채취를 제한하는 등 각 기관별로 비점오염원 관리의 보조적 측면에 머물러 있어 표토 보전을 목적으로 하는 체계적 관리가 필요한 것으로 조사되었다. 또한, 해외의 경우 독일 행정부는 표토의 보호 위반시 형사처벌 대상과 벌과금을 부여하고 있으며, 미국은 토양보전법에 의거 사전 예방적 토양자원 보전정책을, 캐나다는 토지소유자에게 토양침식 복구 의무 규정 등 국가별로 표토 보전을 위한 제도 확립 및 관리 주체를 선정하여 표토 유실을 적극적으로 방지하는 등 표토관리를 하고 있다(MOE, 2013).

따라서, 표토는 사람들의 활동으로 인한 무분별한 개발과 과도한 토지이용, 이상기후에 가까운 집중호우 등의 영향으로 토양침식에 취약한 상태이기 때문에, 침식으로 인한 생태계의 훼손, 수질오염 등의 문제점이 야기되고 있으며 특히, 훼손된 토양의 경우 재생속도가 상당히 느려 재생이 불가능하기 때문에 효율적이고 체계적인 표토 보전 및 관리가 요구된다.

국내 토양환경 정책의 패러다임이 오염 토양의 정화 및 복원에서 토양 그 자체가 하나의 자원으로써 “표토”를 적극적으로 보전하는 방안으로 정책계획이 변화되고 있다. 이에 국내·외 토양침식으로 인한 환경문제를 면밀히 조사하여 토양침식을 저감할 수 있는 방안에 대하여 제도적·기술적인 측면으로 구분하여 적용할 수 있는 토양침식의 효율적인 관리방안에 대하여 제시하였다.

## Materials and Methods

**실내 토질시험** 실내 토질시험은 토사층의 물리적 특성을 파악하여 흙을 분류하고자 하는데 그 목적이 있으며 실내 토질시험을 위한 시험종류는 함수비, 비중, 액성한계, 소성한계, 입도분석 등이 있다.

함수량은 온도  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ 의 건조로에 의해 젖은 흙에서 제거된 수분의 양을 말하며, 흙의 함수량과 건조된 흙의 무게의 비를 흙의 함수비, 흙의 비중은  $4^\circ\text{C}$ 에서 증류수의 단위중량에 대한 흙 입자의 단위중량의 비를 말한다. 또한, 흙의 액성한계는 소성상태에서 액성상태로 변하는 순간의 함수비로 액상을 나타내는 최초의 함수비를 말하며, 흙의 소성상태와 반고체 상태의 한계를 나타낼 때의 함수비를 말한다. 흙의 입도분석 시험은 입자의 크기 및 분포를 알기 위한 흙의 가장 기본적인 시험이며, 흙 입자의 크기는 침하, 전단강도, 투수, 동상 등 흙의 공학적 성질에 큰 영향을 미치며 이 시험결과에 의해 흙의 세밀한 분류를 할 수 있다.

흙의 물리적 특성을 파악하기 위한 흙의 분류는 일반적으로 통일분류법 (USCS)을 이용하는데 이는 공학이나 지질학 분야에서 흙을 입자의 크기와 입도분포, 소성성 등의 기준으로 분류하는 체계이다.

금회 연구에서는 풍동실험을 위한 토양시료는 현재 공사중인 토목공사 건설현장에서 토양시료 3종 (S-1, 2, 3)을 채취하여 실내 토질시험을 실시하였다 (Fig. 1).

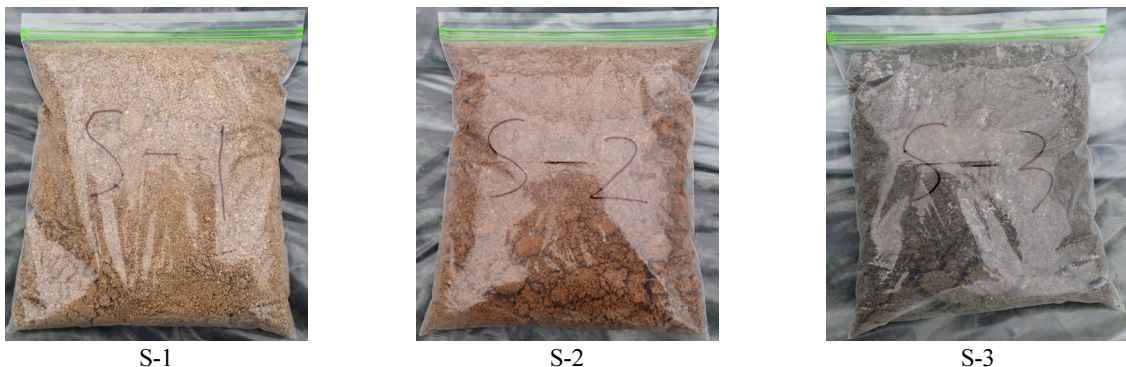


Fig. 1. Soil sample used in the experiment.

**Test House** 풍동실험은 가급적 현장과 동일조건하에서 실험을 하여야 하나 현장조건이 너무 광범위하고 주변 지역의 환경변화가 많아 이러한 조건을 모두 고려하기에는 다소 어려움이 있어 외부의 변화여건을 최소화하기 위하여 폭 5 m, 높이 3 m, 길이 12 m의 Test House를 설치하여 기상조건 변화를 최소화 하였으며 건설현장에서 일어날 수 있는 풍속조건을 만들어 풍동실험을 하였다. 또한, Test House 측면에 개폐가 가능한 시스템을 두어 실험이 끝날 때 마다 환기를 시켜 실험의 정확도를 향상시켰다.

건설현장에서 발생하는 토양풍식 현상을 Test House내에서 재현하기 위하여 토양시료를 지속적으로 공급할 수 있는 토사공급 장치, 토사를 지속적으로 흘날리도록 하기 위해 지속적인 바람을 만들 수 있는 송풍기, 풍속을 조절할 수 있는 자동제어기기, 토사의 확산에 따른 침적량을 확인하기 위한 계측기기 등을 준비하였다 (Fig. 2). 또한, Dry Fog System (이하 “DFS”)의 침적효과를 알아보기 위하여 Fogging시 실험에서 사용할 2류체 원추형 노즐은 평균 입자 직경이  $100 \mu\text{m}$  이하에서 미세하게 분무할 수 있는 노즐이다.

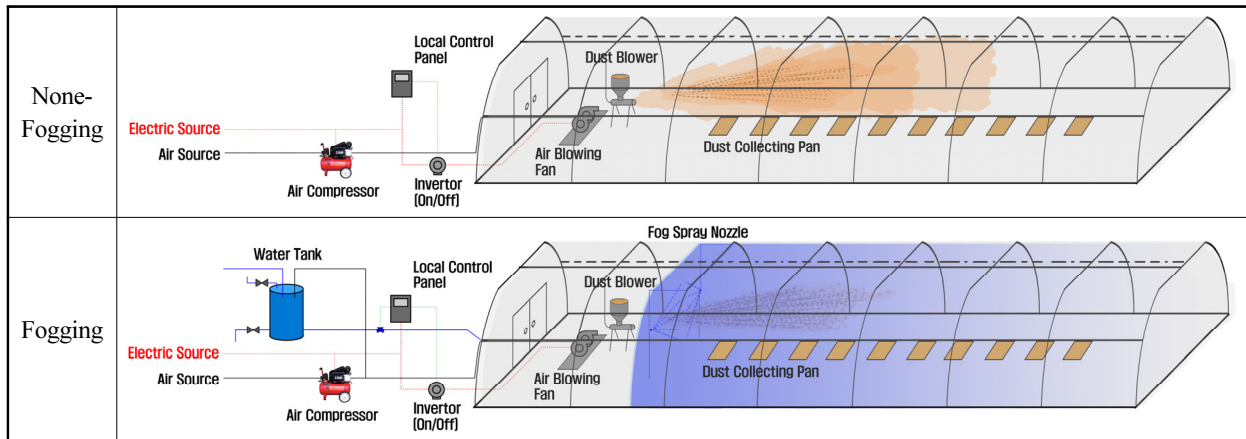


Fig. 2. Wind tunnel experiment (None-Fogging, Fogging).

**풍동실험 방법** 본 실험을 위해 채취된 시료는 토사풍식이 용이하도록 Wire Mesh 채를 이용하여 풍동실험용 입자를 확보하였으며, 실내 토질시험결과 함수율이 14.6-18.8%로 시료가 수분을 포함하고 있어 실험에 바로 사용하기에 어려움이 있을 것으로 판단되어 함수율을 줄이기 위한 전처리가 필요하였다. 따라서, 채취한 토양시료를 Test House에서 약 10일 동안 건조시킨 후 토양수분 측정기를 이용하여 수분함량이 최소화 될 때까지 전처리를 하였다. 이는 풍동실험에서 수분 함유에 따른 입자간의 점착력을 최소화하기 위함이었으며, 저감효과 및 정확도를 극대화하기 위함이었다.

토사공급 장치에서 토사 확산지점으로부터 2 m를 시작으로 1 m 간격으로 10 m까지 시료채취 판을 설치한다. 특히 시료채취 판 내에는 잔량 측정을 위한 GF/C Filter 일정 크기 (21.0×29.7 cm)로 잘라 사용한다.

풍속조건은 토사 흠날림 정도가 건설현장의 토양유실과 최대한 가깝도록 재현하기 위하여 보버트의 풍속등급을 고려하여 산들바람 (4 m/s), 건들바람 (6 m/s), 흔들바람 (8 m/s) 등 3가지의 인위적인 풍속조건을 만들어 실험을 하였다.

토사공급장치에서 나오는 토사는 송풍기를 이용하여 각 풍속별로 약 5분 동안 지속적으로 토사시료 확산시킨 후, 시료판에 충분히 침적될 수 있도록 한 후 시료판을 수거하여 시료판 내 GF/C Filter 무게를 측정하고 후 여지무게를 제외하여 침적량을 측정하였다.

또한, 동일한 방법으로 토사공급장치 후단에 토양풍식의 저감기술의 하나인 DFS를 설치하여 Fogging으로 인한 침적량을 조사하여 Fogging 전·후의 풍속 및 이격거리별로 토사침적량 변화를 조사하였다.

## Results and Discussion

**토사의 물리적 특성과 분류 결과** 풍동실험을 위하여 건설현장에서 채취한 토사시료 3종(S-1, 2, 3)에 대하여 한국산업규격 (KSF)에 따른 실내 토질시험 결과 함수율 14.6-18.8%, 비중 2.665-2.673 g/cm<sup>3</sup>, Atterberg 한계시험 결과 비소성 및 소성지수가 작은 것으로 조사되었다. 체 분석결과 No.200 (0.075 mm)체 기준으로 15.2-40.0%까지 통과된 것으로 나타났으며, 모든 시료의 균등계수 (C<sub>u</sub>)는 44.9-59.0, 곡률계수 (C<sub>e</sub>)는 0.3-6.1로 조사되었다.

또한, 통일분류법 (USCS)에 의한 분류결과 시료모두 실트질 모래 (SM, silty sand)인 것으로 조사되었다 (Table 1).



**Table 1.** Results of Sieve Analysis.

Sample No.	Sieve No. Sieve Size (mm)			Grain Size Distribution (%), Finer than							Uniformity Coefficient, Coefficient of Gradation						USCS Remark		
	No.			No.	No.	No.	No.	No.	No.										
	4	10	20	40	60	140	200	0.005	0.002	D85	D60	D30	D15	D10	Cu	Cg			
	19.0	9.5	4.75	2.0	0.85	0.425	0.250	0.106	0.075	0.005	0.002								
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm								
S-1	-	100.0	98.7	79.5	43.6	28.0	22.4	17.4	15.2	-	-	2.557	1.256	0.465	0.072	0.028	44.9	6.1	SM
S-2	-	100.0	99.6	93.3	73.2	57.6	50.0	42.7	40.0	7.3	3.8	1.405	0.472	0.035	0.013	0.008	59.0	0.3	SM
S-3	100.0	97.3	94.5	81.2	54.5	38.6	31.5	23.8	20.8	-	-	2.562	1.013	0.212	0.035	0.018	56.3	2.5	SM

**토양침식 관리방안 (제도적인 방안)** 토양침식은 한번 발생하면 재생하기에 어려움이 있기 때문에 반드시 사전예방이 필요하다. 이에 사전 예방적 정책수단의 하나인 환경영향평가제도는 개발사업 단계에서 표토의 보전 및 침식예방을 위한 유일한 수단이나 “환경영향평가서 작성 등에 관한 규정”에 의하면 수질항목에서 토사유출량, 토양항목에서 토양오염 등 각 항목에 대한 영향예측 및 저감대책을 수립 제시하는 것으로 되어 있어 환경영향평가서에는 토양침식 (유실)과 관련된 내용을 다루지 않고 있는 실정이다. 따라서, 제도적으로 보완하기 위하여 환경영향평가서 “토양” 항목에 표토에 대한 현황조사 및 표토유실에 대한 영향예측, 저감대책 등을 환경영향평가서에 포함시켜 작성할 수 있도록 “환경영향평가서 작성 등에 관한 규정 (안)”을 개정하여 각종 개발사업 시행에 따른 표토유실에 대한 영향을 최소화 하여야 할 것으로 사료된다.

국토해양부에서 우리나라 건설공사 현장에서 발생하는 사토, 순성토의 정보를 체계적으로 종합 관리하여 토석자원을 재활용하고 불필요한 국토환경 훼손을 방지하기 위하여 “토석정보공유시스템 (TOCYCLE, Transaction of soil&rock Open portal reCYCLE system)”을 운영하고 있는데, 이는 토석자원의 재활용을 통해 신규 토취장 개발을 줄여 표토와 자연환경을 간접적으로 보호할 수 있는 시스템이다. 특히, 대규모 개발사업 초기에 현장에서 발생하는 사토 (비옥토 포함)의 경우 건설폐기물의 관점에서 재활용되기 때문에 표토의 가치가 상실된 채 재활용되고 있는 실정이다. 따라서, 토석정보공개 전에 사토와 비옥토를 구분하여 활용가치가 높은 비옥토는 각 현장별로 재활용계획을 수립하여 활용한다면 표토의 보전 측면으로는 최선의 방법이라 사료된다.

**토양침식 관리방안 (기술적인 방안)** 완충식생대, 식생밭두렁, 수로형 시설, 낙차공, 침사지, 경사면 보호공 등은 고랭지 밭에서 강우시 유출되는 흙탕물을 저감하기 위한 자연적인 침식방지공법으로 이 저감시설은 국내 건설현장에서 일반적으로 많이 사용하고 있는 공법이기도 하다. 그러나, 공사현장에서 저감시설의 설치 위치 및 운영방법, 유지관리 등이 원활하게 운영되지 않고 있어 이를 보완하기 위하여 「환경영향평가법」에 의한 “사후환경영향조사”시 환경부와 협의된 협의 내용의 관리 즉, 저감시설 설치 및 관리에 대한 모니터링을 지속적으로 관리하여야 한다.

일반적인 건설현장에서 토양유실이 일어날 수 있는 주요 공종은 토공 공종으로 토공 굴착작업과 운반 작업시 발생할 수 있으며, 공사장비의 이동 및 토사 상·하적시, 토사 적치장에서 바람과 강우에 의해 토양침식이 발생한다.

특히, 발전소, 제철소 등과 같은 대규모 건설현장 적치장에서 침식 (풍식)에 의한 영향을 최소화 하기 위한 인위적인 침식방지공법으로 지속적인 살수, 방진망 덮개, Dry Fog System (이하 “DFS”) 과, 화학적 먼지역제제(계면활성제, 폴리머, 역청 등) 등이 활용되고 있다.

Dry Fog System (이하 “DFS”)은 U.S. EPA에서 석탄 운반 장비들의 먼지 저감기술로 입증된 최고의 저감기술

(BDT, Best Demonstrated Technology)이라고 하였으며 (EPA, 2009), DFS의 먼지 제거원리는 (Fig. 3)에 제시한 바와 같이 먼지 입자와 미세수분 입자의 충돌을 나타낸 것으로 먼지보다 미세 수분입자의 크기가 큰 경우 먼지 입자가 미세 수분 입자의 주변 공기흐름 라인을 따라 흘러가 버리는 것으로 알 수 있으며, 미세 수분입자가 먼지 입자의 크기가 비슷하거나 작은 경우에는 미세 수분입자가 공기흐름 라인 주변에서 충돌을 일으키면서 미세 수분입자 속으로 먼지 입자가 포집되는 원리이다 (HHS.gov, 2012).

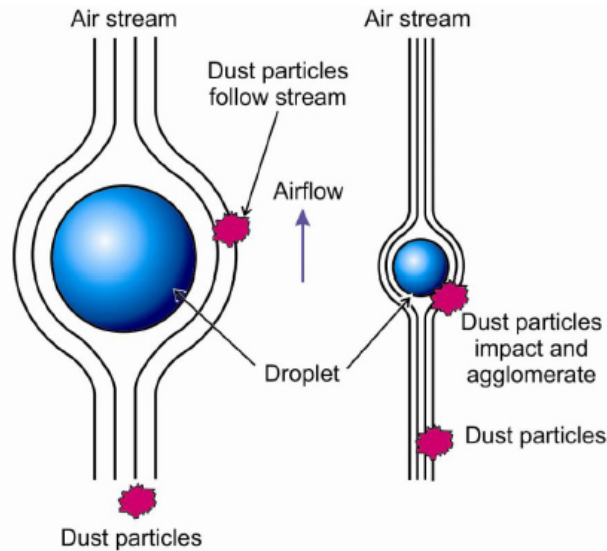


Fig. 3. Effect of Droplet Size on Dust Particle Impingement.

**Fogging 전·후의 토사침적량 변화** 풍동실험을 통한 풍속 및 이격거리별 토사침적량을 조사한 결과 토양 발생지점으로부터 가장 가까운 2m 지점에서 대부분의 토사가 침적된 것으로 나타났는데, 이는 토사의 비중 때문인 것으로 생각된다. 또한, 토사침적량은 풍속이 커질수록 침적량은 점차 증가하고, 이격거리가 멀어질수록 침적량은 감소하는 것으로 조사되어 토사침적량은 풍속과는 비례하고 거리와는 반비례하는 것으로 조사되었다.

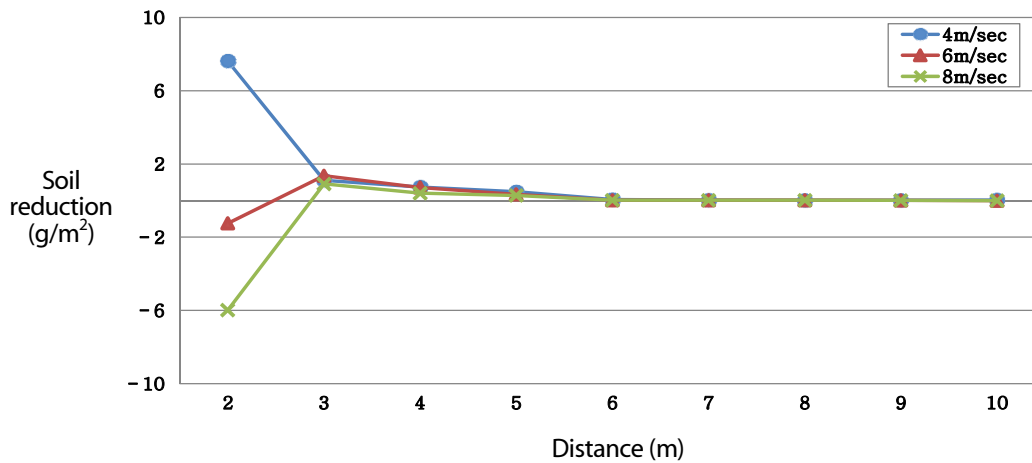
Fogging으로 인한 토사 저감량은 약풍 (4 m/sec)일 때  $0.02-7.61 \text{ g/m}^2$ , 미풍 (6 m/sec)일 때 (-)  $1.24-1.36 \text{ g/m}^2$ , 강풍 (8 m/sec)일 때 (-)  $5.98-0.91 \text{ g/m}^2$ 로 조사되었는데 이격거리 2 m 지점, 미풍 (6 m/sec) 이상에서 먼지 저감량이 (-) 값으로 나타났는데 이는 바람 발생지점으로부터 가장 가깝고 풍속에 의한 밀림현상으로 이동되었기 때문인 것으로 생각된다. 또한, 이격거리별 토사 저감량은 2 m, 4 m, 5 m 지점에서 약풍 (4 m/sec)일 때 최대가 되며, 3 m 지점에서 미풍 (6 m/sec)일 때가 최대이며, 6 m 지점 이후부터는 약풍 (4 m/sec)에서 토사 저감량이 가장 큰 것으로 조사되었으며, 저감효율은 약 22-38% 정도의 효과가 있는 것으로 나타났다 (Table 2) (Fig. 4).

DFS의 토사제거 효과는 풍속이 커질수록 효과는 증가하지만 일정 속도가 이상이 되면 효과는 점차 감소 될 것으로 예상되었는데 이는 토사 입자와 물입자의 크기 및 풍속과의 관계가 DFS 효율에 영향을 미치고 있기 때문일 것으로 사료된다.

**Table 2.** Dust reduction and efficiency by wind speed before and after fogging (g/m<sup>2</sup>).

Distance (m)	Dust reduction by wind speed											
	Wind speed (4.0 m/sec)				Wind speed (6.0 m/sec)				Wind speed (8.0 m/sec)			
	None-Fogging	Fogging	Soil <sup>1)</sup> reduction	Efficiency (%)	None-Fogging	Fogging	Soil <sup>1)</sup> reduction	Efficiency (%)	None-Fogging	Fogging	Soil <sup>1)</sup> reduction	Efficiency (%)
2	12.20	19.81	7.61	38.4	34.35	33.11	-1.24	-3.70	52.23	46.25	-5.98	-12.9
3	1.80	2.91	1.11	38.1	2.34	3.70	1.36	36.8	4.68	5.59	0.91	16.3
4	1.31	2.05	0.74	36.1	1.53	2.25	0.72	32.0	2.19	2.59	0.40	15.4
5	1.18	1.66	0.48	28.9	1.31	1.65	0.34	20.6	1.68	1.96	0.28	14.3
6	0.14	0.20	0.06	30.0	0.20	0.22	0.02	9.1	0.24	0.26	0.02	7.7
7	0.09	0.12	0.03	25.0	0.17	0.19	0.02	10.5	0.19	0.21	0.02	9.5
8	0.07	0.09	0.02	22.2	0.10	0.12	0.02	16.7	0.11	0.13	0.02	15.4
9	0.04	0.06	0.02	33.3	0.05	0.06	0.01	16.7	0.07	0.08	0.01	12.5
10	ND	0.04	0.04	100.0	0.02	0.02	0	0.0	0.03	0.03	0	0.0

<sup>1)</sup>Soil reduction = Fogging - (None-Fogging)



**Fig. 4.** Soil Reduction by Wind Speed and Distance.

## Conclusions

본 연구는 전 세계적으로 지구 온난화에 따른 기온상승과 기상변화 등 이상기후로 인하여 강수량이 줄고 자연생태계가 붕괴 되면서 토지의 사막화가 급격히 가속화되어 이로 인한 지표면이 지속적으로 건조화되고, 토양침식으로 인한 환경 영향이 대두되어 이에 따른 토양침식의 효율적인 관리방안에 대하여 연구하였다.

토양침식의 관리방안으로 제도적인 방법은 표토의 보전 및 침식예방을 위한 사전 예방적 정책수단의 하나인 “환경영향평가제도”는 개발사업시 표토유실에 대한 현황조사 및 영향예측, 저감대책 등을 다룰 수 있도록 “환경영향평가서 작성 등에 관한 규정 (안)”을 개정하여 환경영향평가서를 작성한다면 표토유실에 대한 예방 및 보전 효과가 클 것으로 예상된다. 또한, 그 동안 “사토”의 개념만 적용하여 재활용하기 보다는 토사처리개념의 시스템을 운용하였던 TOCYCLE은 공사 초기에 사토와 비옥토를 먼저 구분하여 TOCYCLE을 통해 활용가치를 높여 재활용하는 것이 표

토의 보전측면으로는 최선의 제도적인 방법이라 할 수 있다.

기술적인 방안으로는 국내 건설현장에서 일반적으로 많이 사용하고 있는 자연적인 침식방지공법은 「환경영향평가법」에 의한 “사후환경영향조사”시 환경부와 협의된 저감시설의 설치 및 운영여부에 대한 모니터링을 지속적으로 관리하여 토양침식에 대한 영향을 최소화 한다. 특히, 기술적인 저감시설의 하나인 Dry Fog System은 풍동실험을 통해 제거 효과는 토사먼지 입자와 물입자의 크기, 풍속과의 관계가 저감효율에 영향을 미친다는 것으로 알 수 있었으며, 최고의 효과를 얻기 위하여 제거하고자 하는 토사의 입자크기와 풍속조건 등에 대한 정보를 사전에 면밀히 조사하여 분석한 후 토사 입자보다 작은 미세한 물 입자를 만들어 제어한다면 충분한 효과를 얻을 수 있으며, 건설현장에서 크래셔(crusher) 등의 장비운영 및 적치장, 비포장 노면 등에 점차 확대하여 활용하면 큰 효과를 거둘 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구결과 토양(표토)의 유실방지를 위한 제도적·기술적인 방안을 제시하였으며, Dry Fog System과 같은 기술적인 방법들은 지속적으로 추가연구가 필요할 것으로 사료된다.

## References

- ASTM. 1985. Standard Test Method for Classification of Soils for Engineering Purposes. American Society for Testing and Materials. ASTM Designation D 2487-83. Annual Book of ASTM Standards, Section 4, 395-408.
- Casagrande, A. 1932. Research on the Atterberg Limits of Soils. Public Roads. 13(8):121-136.
- EU. 2013. Hard surfaces. Hidden costs.
- Francis Beaufort. Beaufort Wind Scale. U.K. Royal Navy (<http://www.spc.noaa.gov/faq/tornado/beaufort.html>).
- Korean Agency for Technology and Standards (KATS). 2006, Standard method of classification of soils for engineering purposes (KS F 2324).
- Korean Agency for Technology and Standards (KATS). 2012. Standard test method for particle size distribution of soils (KS F 2302).
- Korean Agency for Technology and Standards (KATS). 2015. Standard test method for liquid limit and plastic limit of soils (KS F 2303).
- Korean Agency for Technology and Standards (KATS). 2015. Standard test method for water content of soils(KS F 2306).
- Korean Agency for Technology and Standards (KATS). 2016. Standard test method for density of soil particles(KS F 2308).
- MOE. 2001. A Study on the Conservation of Surface Soil and Erosion Control
- MOE. 2007. Standard Design Guidelines for Muddy Water Reduction Facility.
- MOE. 2010. Research on Value Evaluation and Examples for Soil and Groundwater.
- MOE. 2013. Comprehensive Topsoil Conservation Plan ('13-'17). p.50-103.
- MOE. 2016. Guidelines for the Notification of Post-Environmental Impact Survey Results.
- MOE. 2017. Regulations on the Preparation of Environmental Impact Assessment, Ministry of Environment Notice 2017-215.
- Oldeman, L.R., R.T.A. Hakkeling, W.G. Sombroek, 1991, World Map of the Status of Humaninduced Soil Degradation (GLASOD): An Explanatory Note. International Soil Reference and Information Centre. Wageningen. 27-34.
- U.S. Department of Agriculture (USDA). Soil Survey Staff. 1951. Soil Survey Manual, USDA handbook no.18. U.S.



Government Printing Office, Washington, DC.

U.S. Department of Health and Human Services. 2012. Dust Control Handbook for Industrial Materials Mining & Processing, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 2012-112 (RI 9689), Jan;1-284

U.S. Environmental Protection Agency(EPA). 2009. in 40 CFR Part 60 Standards of Performance for Coal Preparation and Processing Plants; Final Rule, October 8.