

## 경사지 토양유실 방지를 위한 PAM(Polyacrylamide) 시제품의 효율성 비교평가: 실내 인공강우 실험

최봉수<sup>†</sup> · 임정은<sup>†</sup> · 최용범 · 임경재<sup>1)</sup> · 최중대<sup>1)</sup> · 주진호 · 양재의 · 옥용식\*

강원대학교 자원생물환경학과, <sup>1)</sup>강원대학교 지역건설공학  
(2009년 9월 14일 접수, 2009년 9월 26일 수리)

### Applicability of PAM(Polyacrylamide) in Soil Erosion Prevention: Rainfall Simulation Experiments

Bongsu Choi<sup>†</sup>, Jung-Eun Lim<sup>†</sup>, Yong Beum Choi, Kyoung Jae Lim<sup>1)</sup>, Joongdae Choi<sup>1)</sup>, Jinho Joo, Jae E Yang, and Yong Sik Ok\*(Department of Biological Environment, Kangwon National University, Chuncheon, Korea, <sup>1)</sup>Department of Regional Infrastructure Engineering, Kangwon National University, Chuncheon, Korea)

**ABSTRACT:** Surface runoff and erosion are responsible for extensive losses of top soil and agricultural productivity. In this study, a laboratory experiment was conducted to investigate the effects of different polyacrylamides (PAM) on the protection of soil from erosion and turbidity in loamy sand soil. To accomplish this, 10 and 40 kg ha<sup>-1</sup> of PAM were applied to the soil surface. The effects of rainfall on 10 and 20% slopes were then evaluated in the laboratory using a rainfall simulator. After air drying, the surface was subjected to rain at 30 mm hr<sup>-1</sup>. The silt+clay of the runoff from samples treated with 10 kg PAM ha<sup>-1</sup> reduced by 43% and 13% when the 10% and 20% slopes were evaluated, respectively, when compared with the tap water without PAM treatment as control. The mean contents of silt+clay were reduced as the amount of PAMs applied increased at both slopes. Specifically, samples treated with 40 kg PAM ha<sup>-1</sup> showed reductions in the silt+clay of the runoff to 88% and 85% when the 10% and 20% slopes were evaluated, respectively, when compared to control. Furthermore, the mean turbidity of runoff in the 40 kg PAM ha<sup>-1</sup> treatment was reduced to 94.7% and 84.8% when the samples were subjected to 10% and 20% slopes, respectively, when compared to the control. Taken together, these findings indicate that PAM treatment will improve water pollution and agricultural productivity on sloped land via a reduction in soil erosion.

**Key Words:** Aggregate, Polyacrylamide, Soil erosion, Turbidity, Suspended solid

### 서 론

경사지에서 강우에 의한 토양유실은 작물의 생산성과 함께 수계의 부영양화 등에도 영향을 미치므로 적절한 관리가 요구된다<sup>1,2)</sup>. 토양유실에 직접적인 영향을 미치는 요인으로는 토성, 경사도, 강우강도, 식생피복 등이 있으며 강우에 대한 토양의 침식 저항성은 토양이 지닌 내수성 입단(water-stable

aggregates)의 안정성에 의존한다.

특히 토양의 입단형성은 토양의 통기성, 배수성, 침식성과 깊은 관련이 있어 토양 유실방지에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있는데<sup>3)</sup>, 강원도의 고랭지 밭은 점착력이 약한 화강암 풍화토가 많고 대부분 사질 계열의 경사지 토양에서 영농 활동이 이루어져 강우 시 토양유실과 더불어 질소, 인 등 비점오염물질의 유출이 심각하다<sup>4)</sup>. 또한 토양유실로부터 발생한 탁수는 다양한 오염원을 함유하고 있기 때문에 심각한 수준의 환경문제를 야기할 수 있다<sup>5)</sup>. 특히 우리나라 고랭지 밭 면적의 63%인 강원도 채소재배 지역의 경우 토양유실로 인한 지력손실이 심각한 실정이며 이로 인해 작물생산성이 감소하고 있어 적절한 대책 마련이 시급하다<sup>6,7)</sup>.

\*연락처:

Tel: +82-33-250-6443 Fax: +82-33-241-6640

E-mail: soilok@kangwon.ac.kr

<sup>†</sup>공동 제1저자

기존의 고전적인 토양유실 저감 방법으로는 완충식생대, 등고선 경작, 식생 배수로 설치, 작물 잔류물에 의한 피복, 멀칭, 녹비작물 재배, 계단식 논, 식생사면 조성, 다년생 작물재배 등이 있으나 최근에는 이외에도 미국 등의 일부 선진국을 중심으로 고분자 응집제인 polyacrylamide(PAM)을 이용한 토양유실방지 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>8-10)</sup>. PAM은 분자량이 1,000 이상인 수용성 고분자물질로써 강력한 흡착관능기를 가지는 화합물이며 이를 통해 토양 입자간의 결합력을 증가시켜 유출을 억제하는 것으로 알려져 있다<sup>8,11,12)</sup>. PAM은 양이온성, 중성, 음이온성의 형태로 존재하지만 이중 음이온성 PAM이 토양 표면의 seal 형성을 막고 토양유실을 방지하는데 효과적인 것으로 알려져 있다<sup>13,14)</sup>. 일반적으로 물속에 포함된 칼슘 이온은 토양입자를 둘러싸고 있는 확산 이중층(diffuse double layer)을 감소시키고, 토양입자들과 PAM 분자(음이온)의 응집을 가능하게 한다<sup>15-18)</sup>. 일례로 McElhiney and Osterli<sup>19)</sup>는 세립질 토양을 대상으로한 실험에서 PAM 처리에 의해 토양의 침투율이 10-40% 증가되어 유실이 감소하였고 토양입단을 더욱 안정화 시킴을 보고하였다.

이외에도 PAM을 포함한 토양 개량제 처리는 토양의 물리성을 개선하여 침전물의 유출과 탁도를 감소시키는 것으로 알려져 있다<sup>14,20-24)</sup>. 또한 PAM은 투입 시 잔재물이 없어 영농작업에 영향을 미치지 않는 것으로 알려져 있다<sup>25)</sup>. 국내에서는 윤 등<sup>26)</sup>이 PAM 처리를 통해 토양유실을 67%까지 감소할 수 있음을 보고한 바 있으며, 권 등<sup>27)</sup>은 인공강우 실험을 통해 PAM 처리시 유사량이 38-97%까지 감소함으로 보고하였다.

전술한 바와 같이 PAM의 이용은 토양유실을 저감시켜 인과 질소 같은 양분의 손실을 방지시키는 탁월한 능력을 가지고 있지만<sup>28)</sup>, PAM의 국내 이용에 관한 연구는 현재까지도 미비한 실정이다. 이에 본 연구에서는 고랭지 지역과 같은 경사지에서의 토양유실 저감을 위한 관리방안을 마련하기 위하여 현재 국내외에서 시판되고 있는 PAM 7종을 수집하여 실내 인공강우 실험을 통한 토양유실 방지 및 탁수발생 저감 효과를 알아보았으며, 최종적으로는 PAM의 현장 적용가능성을 평가하였다.

## 재료 및 방법

### 실내 시험포 조성 및 인공강우장치

PAM 처리에 따른 경사지의 토양유실 저감 효과를 알아보기 위한 인공강우실험은 강원대학교 농업과학생명대학 부속농장의 실내 인공강우 실험실에서 실시하였다. 시험포의 조성은 가로, 세로, 높이가 각각 1 m인 상자에 인근 고랭지밭 토양(사양토, pH 5.2 및 EC 0.05 dS/m)을 충전하였다. 장치하단에는 채수통을 설치하여 유거수를 수집하였다. 인공강우의 살포는 지상 1.5 m 상공에서 일정한 양의 강우를 분사할 수 있도록 제작된 장치를 이용하였으며 강우조건은 수돗물을 이용하여 30 mm hr<sup>-1</sup>로 설정한 뒤 시험을 실시하였다.

### PAM의 제품별 특성 및 살포

본 실험에서는 시중에서 유통되고 있는 PAM 7종을 각각 A사(PAM 1), B사(PAM 2, PAM 3 및 PAM 4) 및 C사(PAM 5, PAM 6 및 PAM 7)로부터 구입하여 실험에 사용하였으며 그 특성은 Table 1과 같다. PAM은 모두 흰색 분말 형태로 구성되어 있으며 물에 용해되지만 강한 점성을 지니는 특성을 가지고 있다.

7종의 PAM에 대하여 처리 농도 별 토양유실량의 저감 효율을 평가하기 위하여 PAM을 10 kg ha<sup>-1</sup>과 40 kg ha<sup>-1</sup> 수준으로 처리하였으며, 경사도에 따른 효율을 평가하기 위하여 실제 고랭지 밭의 경사도를 모사한 10%와 20%로 조성하였다. PAM의 특성 상 점성이 강하여 충분히 용해되도록 교반기로 24시간 이상 용해시켰으며, 이 후 시험구 각각의 토양에 유효수분을 고려하여 균일하게 살포하였다. PAM 살포 일주일 후 토양표면이 완전하게 건조된 것을 확인하고 인공강우 실험을 실시하였다.

### 탁도분석 및 토양유실량

인공강우가 종료된 후 유거수를 채취하여 탁도(2100P Turbidimeter, HACH®, USA)를 측정하였다. 한편 채취한 유거수는 체거름을 통해 물을 제거한 뒤 모래(sand)와 미사(silt)+점토(clay)로 분리하였다. 분리한 토양은 건조기를 이용하여 70°C에서 2일간 건조시킨 후 각각의 무게를 측정하

Table 1. Selected properties of PAM used in the experiment

Contents	PAM 1	PAM 2	PAM 3	PAM 4	PAM 5	PAM 6	PAM 7
Form	-----			Granular powder	-----		
Color	-----			White	-----		
Odor	-----			Little or no	-----		
Water solubility	-----			Soluble	-----		
Specific gravity	0.6-0.8	0.75	-	0.80	0.80	0.80	-
pH (0.5% solution)	6-8	6-9	6-9	4-9	4-9	4-9	5.5-7.5

여 유실토사의 성분 함량과 토양유실량을 조사하였다.

### 결과 및 고찰

#### PAM 처리량과 경사도에 따른 유실량 발생

7종의 PAM 처리에 따른 각각의 경사도 별 토양유실량 저감효율을 Fig. 1에 나타내었다. PAM을  $10 \text{ kg ha}^{-1}$  수준으로 처리한 경우 PAM을 처리하지 않은 대조구와 비교하여 10% 경사도의 시험구에서 평균 40%의 토양유실량 저감효과를 나타냈으며, 20% 경사도의 시험구에서도 평균 21%의 저감효과를 나타냈다(Fig. 1a).  $10 \text{ kg ha}^{-1}$  수준으로 처리한 PAM은 종류에 따라 토양유실량 저감효율에서 차이가 나타났으며 경사도 증가에 따라 PAM 4를 제외한 모든 PAM 처리구에서 토양유실량 저감효율이 감소하였다. 10% 경사도의 시험구에서는 PAM 2가 60%의 저감효율을 보여 가장 효과적 이었으며, 20% 경사도의 시험구에서는 PAM 4에서 72%의 저감효율로 가장 큰 효과가 있는 것으로 나타났다(Fig. 1).

PAM을  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  수준으로 처리한 경우의 토양유실량 저감효율은 10% 경사도의 시험구에서 평균 88%까지 나타났

으며, 20% 경사도의 시험구에서도 평균 85%의 저감효과를 나타내어 PAM 종류에 관계없이 처리량이 증가함에 따라 토양유실량 저감효과가 현저히 높아졌다(Fig. 1).  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  수준의 PAM 처리에 따른 토양유실량 저감효율은 PAM 1이 10% 경사도의 시험구에서 90%를 나타냈으며, 20% 경사도의 시험구에서는 PAM 7이 93%의 토양유실 저감효과를 보여 PAM 처리가 토양유실 방지에 큰 효과가 있음을 확인할 수 있었다. 이는 국내의 윤 등<sup>25)</sup>이  $40 \text{ kg PAM ha}^{-1}$ 을 23% 경사도에 처리하여 토양유실량을 67%까지 저감시킨 것보다 현저히 높은 효율을 나타냈으며, 권 등<sup>26)</sup>이 30% 경사도에 PAM 처리 후 인공강우를 살포하여 토양유실량과 유거수량을 최대 97%까지 감소시켰다고 보고한 것과 유사한 결과이다. 한편 Zang and Miller<sup>29)</sup>는 경사도가 19–36%인 토양에 PAM을 처리한 결과 대조구에 비해 토양유실 방지효과가 지속적으로 나타나는 것을 확인한 바 있으며, Kiran<sup>30)</sup>의 연구에서는 PAM( $20 \text{ kg ha}^{-1}$ )과 석고(gypsum)( $5 \text{ Mg ha}^{-1}$ )를 혼합 처리한 경우 자연강우조건에서 대조구에 비해 토양의 수분 침투능력이 증가되고 강우의 유거수량을 감소시켜 토양유실이 34–40% 저감되었다. 또한 인공강우조건에서 유거수



Fig. 1. Reduction ratio of soil loss at  $10 \text{ kg PAM ha}^{-1}$  (a) and  $40 \text{ kg PAM ha}^{-1}$  (b) treatments.

량은 85%, 토양유실량은 94%까지 저감시킨 것으로 보고하였으며 이는 본 연구와 유사한 결과이다. Sepaskhah and Bazrafshan-Jahromi<sup>31)</sup>는 5-7.5% 경사도에서 토양유실을 방지하는데 가장 효율적인 PAM 처리량이 4 kg ha<sup>-1</sup>이었다고 보고하였는데 국내에서 경작지에 PAM을 적용할 경우 고랭지 경작지와 같이 경사도가 큰 지역에서 가장 효율적인 처리량 구명과 같은 적절한 관리방안에 관한 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

한편 토양유실에 직접적인 영향을 미치는 입단 안정성은 점토의 함유량과 밀접한 관계를 가지고 있어 점토함유량이 증가할수록 토양 구조의 안정성을 증가시키고 강우의 토양 침투를 증가시킨다<sup>32)</sup>. 이러한 점토질 토양의 입단은 강우에 의한 wetting rate 및 충돌에너지에 의해 영향을 받으며<sup>33)</sup>, 토양표면 seal formation은 강우의 토양 내 침투율을 저하시키고 결과적으로 유거수와 토양침식을 증가시킨다<sup>34)</sup>. 토양 내 나트륨이 집적되면 토양의 생산성 및 침투율, 유거수, 침식 등에 대한 토양 질 저하를 가져오지만<sup>35)</sup>, Ca 첨가는 입단 형성의 증가와 용액의 점성을 줄여 침투율을 증가시킨다<sup>36)</sup>. Ca를 함유하고 있는 PAM 또는 석고 등의 토양개량제는 빗물에서 전해질을 방출하기 때문에 seal formation, 유거수, 침식 등을 막는데 이용되고 있다<sup>24,30)</sup>. 특히 인산석고 (phosphogypsum)는 일반 석고보다 강우상태에서 높은 용해율과 높은 전해질농도 때문에 점토의 분산 및 seal formation 감소에 효과가 좋은 것으로 보고하였다<sup>37)</sup>.

PAM 처리량과 경사도에 따른 유실된 토양의 입자 분포

Table 2는 PAM을 10 kg ha<sup>-1</sup> 수준으로 처리한 뒤 경사도 별 유실된 토양입자를 모래와 미사+점토로 분류하여 나타낸 것으로 10% 경사도의 시험구에 PAM을 처리하지 않은 대조구에서 유실된 토양입자가 대부분 미사와 점토로 구성되어 있었으나 모래함량은 전체 유실된 토양입자의 6%(6.21 g)로 나타났다. PAM 처리구에서는 유실된 토양입자 중 모래

함량이 평균 6.64 g으로 대조구보다 조금 높았으나 미사와 점토함량은 평균 56.55 g으로 대조구와 비교하여 약 43% 저감 효과가 나타났다.

한편 20% 경사도의 시험구에서는 10% 경사도의 시험구에서와 다른 경향이 나타났다. 10% 경사도의 시험구에서는 대조구의 토양입자 중 모래 유실량이 6% 이었던 것과 비교하여 20% 경사도의 시험구에서는 총 토양유실량에는 큰 차이가 없었지만 모래함량이 28%로 증가하였다. PAM 처리에 의하여 10% 경사도의 시험구에서는 미사+점토 함량을 현저히 줄였고, 20% 경사도의 시험구에서는 모래의 유실량도 함께 줄었다. 이러한 경향은 낮은 경사도에서 입자의 무게가 가벼운 미사 및 점토는 유실이 촉진된 반면 높은 경사도에서는 시험에 사용된 고랭지 토양의 특성상 상대적으로 입단 안정도가 낮기 때문에 유거수에 의한 저항성을 떨어뜨려 토양유실을 촉진시키는 것으로 판단된다.

일반적으로 PAM을 토양에 처리하면 입단형성을 촉진하여 토양유실 방지에 큰 효과가 있는 것으로 알려져 있으며<sup>11,12,19,33)</sup>, 토양 내 수분의 침투율을 증가시켜 유거수와 침식이 감소되고 이러한 효과는 강우의 운동에너지 증가에 따라 높아진다<sup>38,39)</sup>. 본 연구에서 경사도가 10%에서 20%로 증가하면서 PAM 처리구에서의 모래 유실량과 총 토양유실량은 각각 평균 2.7배, 1.3배 증가하였는데 강우 강도는 일정하지만 경사도가 증가함에 따라 유거수의 유속이 빨라지면서 침식력 또한 증가하여 유거수가 토양 속으로 침투하는 시간이 짧기 때문에 결과적으로 토양유실량이 증가되었다고 판단된다.

Table 3은 40 kg ha<sup>-1</sup> 수준으로 PAM을 처리한 후 인공 강우에 의해 유실된 토양입자를 분류한 것으로 경사도에 따른 토양입자 별 유실 특성은 10 kg ha<sup>-1</sup> 수준의 PAM 처리에서와 같이 모래의 유실량에 비하여 미사 및 점토의 유실량이 상대적으로 많은 것을 확인할 수 있었다.

PAM 처리량의 증가는 토양유실량 감소와 밀접한 관계가 있었으며 모래, 미사+점토의 함량 등 10 kg ha<sup>-1</sup> 처리구

Table 2. Amount of soil loss at 10 kg PAM ha<sup>-1</sup> treatments

	Slope 10%			Slope 20%		
	Sand (g)	Silt+clay (g)	Total (g)	Sand(g)	Silt+clay (g)	Total (g)
Control	6.21	99.45	105.70	28.03	74.02	102.05
PAM 1	4.48	50.21	54.69	21.82	93.32	115.14
PAM 2	6.67	34.97	41.64	28.28	48.01	76.29
PAM 3	10.58	51.86	62.44	15.05	63.36	78.41
PAM 4	5.90	72.67	78.57	5.04	23.55	28.59
PAM 5	5.64	68.91	74.55	19.86	70.76	90.62
PAM 6	4.86	76.33	81.19	15.16	63.62	78.78
PAM 7	8.35	40.85	49.20	22.31	71.74	94.05
Mean*	6.64	56.55	63.19	18.22	62.06	80.27

\*, calculated from seven PAM treatments.

**Table 3. Amount of soil loss at 40 kg PAM ha<sup>-1</sup> treatments**

	Slope 10%			Slope 20%		
	Sand (g)	Silt+clay (g)	Total (g)	Sand(g)	Silt+clay (g)	Total (g)
Control	2.34	41.49	43.83	8.67	65.37	74.04
PAM 1	0.13	4.01	4.14	0.52	6.81	7.33
PAM 2	0.88	4.02	4.90	1.28	4.15	5.43
PAM 3	0.13	4.42	4.55	5.18	5.10	10.28
PAM 4	1.36	4.89	6.25	1.30	20.22	21.52
PAM 5	0.84	3.87	4.71	1.08	17.64	18.72
PAM 6	0.20	4.01	4.21	0.61	4.86	5.47
PAM 7	0.40	6.91	7.31	1.37	3.60	4.97
Mean*	0.56	4.59	5.16	1.62	8.92	14.2

\*, calculated from seven PAM treatments.

(Table 2)와 비교하여 40 kg ha<sup>-1</sup> 처리구에서 토양유실량을 현저하게 감소시키는 것으로 나타났다. 특히, 10% 경사도의 시험포에서는 20% 경사도의 시험포보다 높은 효율이 나타났다. 한편 Aase 등<sup>40)</sup>은 2.4%의 경사지에 PAM(2 kg ha<sup>-1</sup>)을 처리하여 유거수를 77%, 토양유실량을 75% 저감시켰는데 이는 경사도가 낮은 지역인 경우에 적은 양의 PAM 처리도 효과적일 수 있음을 알려주는 결과이다<sup>41-44)</sup>.

**PAM 처리에 따른 유거수의 탁도 저감효과**

Table 4는 40 kg ha<sup>-1</sup> 수준으로 PAM을 처리한 뒤 발생한 유거수의 탁도를 측정된 결과이다. 10% 경사도의 시험포에서 발생한 유거수의 탁도는 대조구의 경우 2310 NTU로 나타났으며, 20% 경사도의 시험포에서는 4000 NTU까지 높아져 경사도가 증가함에 따라 탁도가 높아지는 것을 확인하였다.

PAM 처리구의 탁도는 10% 경사도의 시험포 중 92 NTU와 91 NTU를 나타낸 PAM 1과 PAM 2에서, 그리고 20% 경사도의 시험포에서는 108 NTU와 111 NTU를 나타낸 PAM 2와 PAM 7이 탁도 저감에 가장 효과적인 것으로 나타났다. 한편 PAM 처리에 의한 유거수의 탁도는 10% 경사지의 시험포에서 평균 123 NTU, 20% 경사지의 시험포에서 평균 610 NTU로 각각 95%와 85%의 저감효과를 나타냈다. 일반적으로 PAM은 토양의 seal formation과 유거수의 발생, 침식 등을 방지하기 위해 사용되며<sup>21,22,45)</sup>, 본 연구결과에서도 이와 같이 경사지에서 PAM 처리가 미사와 점토 같은 작은 입자들을 응집시켜 토양유실을 저감시키기 때문에 탁도가 저감된 것으로 판단된다.

전술한 결과를 토대로 각각의 경사도에 대한 7종의 PAM 처리 후의 탁도 저감효율을 Fig. 2에 나타내었다. 앞서 설명한 바와 같이 PAM 처리는 토양유실과 탁수의 발생을 현저히 감소시켰는데 10% 경사도의 시험포에서는 PAM 처리에 따라 탁도가 PAM을 처리하지 않은 대조구와 비교하여

**Table 4. Turbidity in runoff at 40 kg PAM ha<sup>-1</sup> treatments**

	Turbidity (NTU)	
	Slope 10%	Slope 20%
Control	2310	4000
PAM 1	92	306
PAM 2	91	108
PAM 3	121	177
PAM 4	176	1665
PAM 5	95	1755
PAM 6	110	145
PAM 7	177	111
Mean*	123	610

\*, calculated from seven PAM treatments.

92-96%까지 저감되는 것으로 나타났다. 20% 경사도의 시험포에서는 PAM 4와 PAM 5 처리에 따른 탁도 저감효율이 56%와 58%로 다른 종류의 PAM보다 상대적으로 낮았으나 나머지 5종의 PAM 처리구에서는 탁도를 92-97%까지 저감시키는 효과가 나타났다.

PAM 처리는 유거수와 토양유실량을 감소시키고<sup>14,46)</sup>, 강우에 의한 토양유실 과정에서 토양 입자들끼리 응집력을 형성시켜 토양의 안정성에 기여하기 때문에 탁수 발생을 저감시킨다<sup>8)</sup>. 그러나 Al-Abed 등<sup>9)</sup>의 연구에서는 PAM 처리가 72%까지 탁도를 저감시켰으나 지속적으로 관수된 물에 대해서는 47%까지 그 효과가 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 토양에 처리된 PAM이 지속적인 강우로 인하여 일부 유실되면서 그 효과가 감소될 수 있음을 보여주는 것으로서 지속적인 강우 시에는 PAM 처리 횟수의 증가와 같은 관리 방안이 강구되어야 할 것으로 판단된다.

한편 탁도에 영향을 미치는 인자들을 조사하기 위해 경사

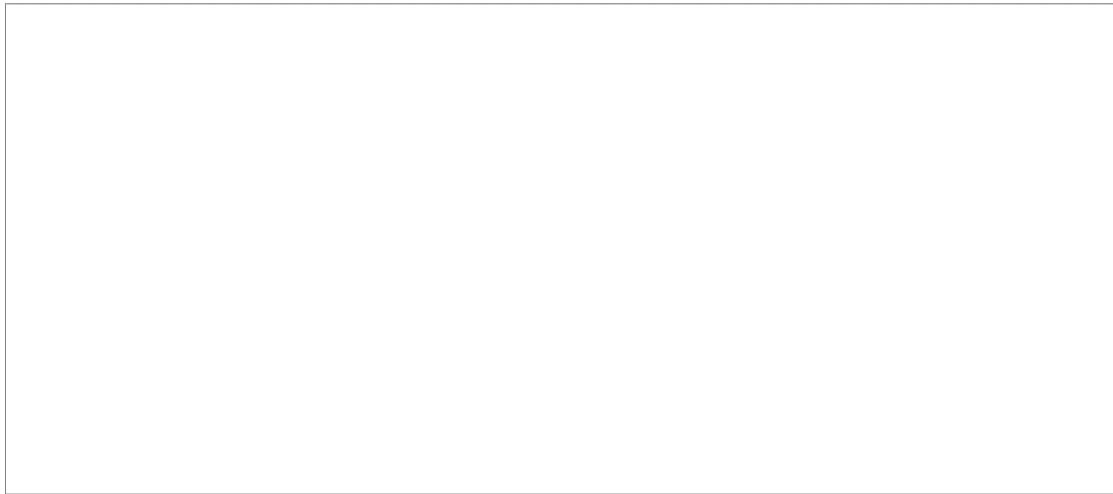


Fig. 2. Reduction ratio of soil loss at 40 kg PAM ha<sup>-1</sup> treatments.

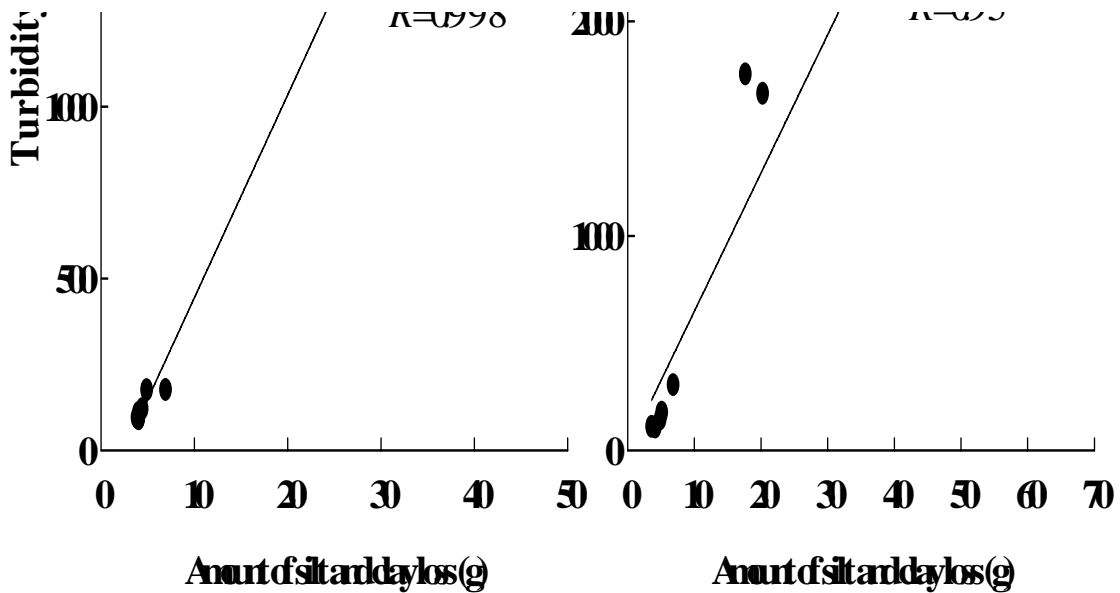


Fig. 3. Correlation between turbidity in runoff and silt+clay contents at 10% slope (A) and 20% slope (B). \*\*\* Significant at the 0.001 probability level.

도 별로 PAM(40 kg ha<sup>-1</sup>) 처리에 따른 탁도와 미사+점토 함량과의 관계를 Fig. 3에 나타냈다. 각각의 경사도(10%, 20%)에 대하여 PAM(40 kg ha<sup>-1</sup>) 처리에 의한 탁도발생은 미사+점토 함량과 고도의 유의성을 갖는 것으로 나타났다. Deery 등<sup>24)</sup>의 연구에서는 벼 재배지에서 PAM(5 kg ha<sup>-1</sup>) 과 석고(gypsum)(25 kg ha<sup>-1</sup>)의 혼합처리가 침출율의 증가 없이 탁도를 저감시킬 수 있다고 보고하였다. 탁수발생은 앞서 언급한 바와 같이 토양입자 별 유실량 저감효과와 같은 경향이 나타났는데 이는 탁수발생의 주 원인이 점토, 미사, 유기물과 같은 다양한 종류의 부유물질에 의한 것으로 본 연구에서는 미립질의 점토와 미사의 발생을 현저히 줄였기 때문으로 사료된다. 또한 Sivapalan<sup>47)</sup>은 논에서 탁수발생에 의

한 피해를 줄이기 위한 방법으로 PAM과 석고를 혼합처리 함으로서 탁도를 현저히 낮출 수 있었으며 PAM이용이 콩의 발아는 물론 생육을 촉진시키는 효과가 있음을 보고하였는데 이러한 결과들은 PAM 이용이 수질오염 방지 및 작물 재배 지에서의 이용 가능성을 간접적으로 시사해준다.

요 약

본 연구는 경사지의 토양유실 방지를 위한 관리방안의 하나로 실내 인공강우 장치를 이용하여 PAM에 의한 토양유실 저감 정도와 PAM의 적용가능성을 평가하였다. 인공 시험포의 경사도를 10%와 20%로 설정하고 국내외에서 시판되고

있는 7종류의 PAM을 10 kg ha<sup>-1</sup>과 40 kg ha<sup>-1</sup> 수준으로 처리한 뒤 PAM을 처리하지 않은 대조구와 비교 평가하였다. PAM(10 kg ha<sup>-1</sup>) 처리는 10%와 20% 경사도의 시험구에서 각각 평균 40%와 21%의 토양유실량 저감효과를 나타냈으며, PAM을 40 kg ha<sup>-1</sup> 처리한 경우 10%와 20% 경사도의 시험구에서 각각 평균 88%와 85%의 토양유실량 저감효율을 나타냈다. PAM(10 kg ha<sup>-1</sup>) 처리시 10%와 20% 경사지에서 미사와 점토의 유실량은 각각 43% 및 13%로 저감되었고 PAM 처리량의 증가(40 kg ha<sup>-1</sup>)는 경사도 변화에 따라 미사와 점토의 유실을 각각 89 및 86% 저감하였다. PAM 처리에 따른 토양유실량 저감효과는 결과적으로 탁수 발생도 상당히 감소하였는데 주 요인은 미사나 점토와 같은 미립광물과 관련된 것으로 조사되었다. 이상의 결과로부터 PAM 처리는 경사지에서의 토양유실 및 탁도 저감에 우수한 효과가 있는 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 환경부 수생태복원사업단 환경기술개발사업 Eco-STAR Project “효율적 비점오염원 관리기술” 중 “농촌 비점오염원 제어를 위한 효율적인 관리기술 개발”의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- Ok, Y. S., Lim, S. and Kim, J. G. (2002) Electrochemical properties of soils: principles and applications, *Life Science and Natural Resources Research*, 10, 69–84.
- Ok, Y. S., Yang, J. E., Park, Y. H., Jung, Y. S., Yoo, K. Y. and Park, C. S. (2005) Framework on soil quality indicator selection and assessment for the sustainable soil management, *J. Environ. Policy*, 4, 69–87.
- Kim, L. Y., Cho, H. J. and Han, K. H. (2004) Changes of physical properties of soils by organic material application in farm land, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37, 304–314.
- Jung, Y. S., Yang, J. E., Park, C. S., Kwon, Y. G. and Joo, Y. K. (1998) Changes of stream water quality and loads of N and P from the agricultural watershed of the Yulmunchon tributary of the Buk-Han river basin, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 41, 83–93.
- Lee, S. J., Lee, B. S., Choi, H. and Kwak, Y. J. (2007) Optimum scale evaluation of sediment basin design by soil erosion estimation at small basin, *Journal of Korean Society for Geospatial Information System*. 15, 25–31.
- Shin, Y. K. (2006) Policy direction for environmentally friendly reorganization of highland agriculture, *Korean J. Agric. Manage. Policy*, 33, 519–536.
- Choi, J. D., Park, J. S., Kim, J. J., Yang, J. E., Jung, Y. S. and Yun, S. Y. (2000) Soil quality assessment for environmentally sound agriculture in the mountainous soils— Analysis of sediment data and suggestion of best management practices, *Kor. J. Environ. Agric.* 19, 201–205.
- Entry, J. A., Sojka, R. E., Watwood, M. and Ross, C. (2002) Polyacrylamide preparations for protection of water quality threatened by agricultural runoff contaminants, *Environ. Poll.* 120, 191–200.
- Al-Abed, N., Amayreh, J., Shudifat, E., Qaqish, L. and El-Mehaisin, G. (2003) Polyacrylamide (PAM) effect on irrigation induced soil erosion and infiltration, *Arch. Agron. Soil Sci.* 49, 301–308.
- Heo, S., Jun, M. S., Park, S., Kim, K. S., Kang, S. K., Ok, Y. S. and Lim, K. J. (2008) Analysis of soil erosion reduction ratio with changes in soil reconditioning amount for highland agricultural crops, *J. Korean Soc. Water Qual.* 24, 185–194.
- Theng, B. K. G. (1982) Clay-polymer interactions: Summary and perspectives, *Clays Clay Miner.* 30, 1–10.
- Barvenik, F. W. (1994) Polyacrylamide characteristics related to soil application, *Soil Sci.* 25, 125–243.
- Shainerg, I. and Levy, G. J. (1994) Organic polymers and soil sealing in cultivated soils, *Soil Sci.* 15, 267–272.
- Flanagan, D. C., Norton, L. D. and Shainberg, I. (1997) Effect of water chemistry and soil amendments on a silt loam soil— Part I. Infiltration and Runoff, *Trans. ASAE*. 40, 1549–1554.
- Wallace, A. and Wallace, G. A. 1996. Need for solution or exchangeable calcium and/or critical EC level for flocculation of clay by polyacrylamides. p. 59–63. In R.E. Sojka and R.D. Lentz (ed.) Proceedings: Managing irrigation-induced erosion and infiltration with polyacrylamide May 6, 7, and 8, 1996, College of Southern Idaho, Twin Falls, ID. University of Idaho Misc. Pub. 101–96. University of Idaho, Twin Falls, ID.
- Orts, W. J., Sojka, R. E., Glenn, G. M. and Gross, R. A. (2000) Biopolymer additives for the reduction

- of soil erosion losses during irrigation, *Ind. crops prod.* 11, 19–29.
17. Ok, Y. S., Lim, S. and Kim, J. G. (2003) The role of carbon capture and sequestration in agricultural soils mitigating the greenhouse gas(GHG) emission, *Life Science and Natural Resources Research*, 11, 1–14.
  18. Ok, Y. S., Chang, S. X. and Feng, Y. (2008) The role of atmospheric N deposition in soil acidification in forest ecosystems. In *Ecological Research Progress*. Nova Science Publishers. New York. USA. ISBN 1–60021–807–5.
  19. McElhiney, M. and Osterli, P. (1996) An integrated approach for water quality: The PAM connection—West Stanislaus HUA, CA. p. 27–30. In R.E. Sojka and R.D. Lentz (ed.) *Proc.: Managing irrigation induced erosion and infiltration with polyacrylamide*. College of Southern Idaho, Twin Falls, ID. 6–8 May 1996. University of Idaho Misc. Publ. No. 101–96. University of Idaho, Twin Falls, ID.
  20. Shainberg, I., Warrington, D. N. and Rengasamy, P. (1990). Water quality and PAM interactions in reducing surface sealing, *Soil Sci.* 149, 301–307.
  21. Agassi, M. and Ben-Hur, M. (1992) Stabilizing steep slopes with soil conditioners and plants, *Soil Technol.* 5, 249–256.
  22. Shainberg, I. and Levy, G. J. (1994) Organic polymers and soil sealing in cultivated soil, *Soil Sci.* 149, 301–307.
  23. Cay, E., Sivapalan, S. and Chan, K. Y. (2001) Effect of polyacrylamides on reducing the dispersive properties of sodic soils when flood irrigated. In *Proceedings of the Irrigation Association of Australia Conference*, Toowoomba, Queensland, Australia, 11–12 July 2001, pp. 28–32.
  24. Deery, D., Sivapalan, S. and Chan, K. Y. (2002) Effect of polyacrylamides and gypsum on turbidity of water. In *Proceedings of the ASSSI Future Soils Conference*, Perth, Western Australia, Australia, 2–6 December 2002, pp. 52–53.
  25. Seybold, C. A. (1994) Polyacrylamide review: Soil conditioning and environmental fate, *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 25, 2171–2185.
  26. Yoon, J. H., Kang, D. K., Cho, S. S. and Kim, H. S. 2003. Soil erosion of tillage and the plan for reducing of turbid-water occurrence, *Proceedings of the 2003 fall Conference of Korean Society on Water Quality and Korean Society of Water and Wastewater*, 55–58.
  27. Kwon, K. S., Lee, K. J., Koo, B. J. and Choi, J. D. (2000) Effect of PAM on soil erosion from alpine agricultural fields, *J. Agr. Sci.* 11, 91–99.
  28. Lentz, R. D., Sojka, R. E. and Makey, B. E. (2002) Fate and efficacy of polyacrylamide applied in furrow irrigation: Full-advance and continuous treatments, *J. Environ. Qual.* 31, 661–670.
  29. Zhang, X. C. and Miller, W. P. (1996) Polyacrylamide effect on infiltration and erosion in furrows. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:866–872.
  30. Kiran, C. 1999. Polyacrylamide soil amendment effects on soil erosion from steep slopes. A Purdue University MS Thesis. Purdue University. West Lafayette, Indiana, USA.
  31. Sepaskhah, A. R. and Bazrafshan-Jahromi, A. R. (2006) Controlling runoff and erosion in sloping land with polyacrylamide under a rainfall simulator, *Biosyst. Eng.* 93, 469–474.
  32. Ben-Hur, M., Shainberg, I., Bakker, D. and Keren, R. (1985) Effect of soil texture and CaCO<sub>3</sub> content on water infiltration in crusted soil as released to water salinity, *Irrig. Sci.* 6, 281–294.
  33. Shainberg, I., Mamedov, A. I. and Levy, G. J. (2003) Role of wetting rate and rain energy in seal formation and erosion, *Soil Sci.* 168, 54–62.
  34. Agassi, M., Shainberg, I. and Morin, J. (1981) Effect of electrolyte concentration and soil sodicity on the infiltration rate and crust formation, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45, 848–851.
  35. Shainberg, I. and Letey, J. (1984) Response of soils to sodic and saline conditions, *Hilgardia* 52, 1–57.
  36. Ajwa, H. A. and Trout, T. J. (2006) Polyacrylamide and water quality effects on infiltration in sandy loam soils, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70, 643–650.
  37. Keren, R. and Shainberg, I. (1981) Effect of dissolution rate on the efficiency of industrial and mined gypsum in improving infiltration of a sodic soil, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45, 103–107.
  38. Smith, H. J. C., Levy, G. J. and Shainberg, I. (1990) Water-droplet energy and soil amendments: Effect on infiltration and erosion, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54, 1084–1087.
  39. Levin, J. M., Ben-Hur, M., Gal, M. and Levy, G. J. (1991) Rain energy and soil amendments effects on infiltration and erosion of three different soil



- types, *Aust. J. Soil Res.* 29, 455–465.
40. Aase, J. K., Bjorneberg, D. L. and Sojka, R. E. (1998) Sprinkler irrigation runoff and erosion control with polyacrylamide— Laboratory tests, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62, 1681–1687.
  41. Levy, G. J, Ben-Hur, M. and Agassi, M. (1991) The effect of polyacrylamide on runoff erosion and cotton yield from fields irrigated with moving sprinkler systems, *Irrig. Sci.* 35, 55–60.
  42. Lentz, R. D., Shainberg, I., Sojka, R. E. and Carter, D. L. (1992) Preventing irrigation furrow erosion with small applications of polymers, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56, 1926–1932.
  43. Lentz, R. D. and Sojka, R. E. (1994) Field results using polyacrylamide to manage furrow erosion and infiltration, *Soil Sci.* 158, 274–282.
  44. Sojka, R. E. and Entry, J. A. (2000) Influence of polyacrylamide application to soil on movement of microorganisms in runoff water, *Environ. Pollut.* 108, 405–412.
  45. Yu, J., Lei, T., Shainberg, I., Mamedov, A. I. and Levy, G. J. (2003) Infiltration and erosion in soils treated with dry PAM and gypsum, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67, 630–636.
  46. Zhang, X. C., Miller, W. P., Nearing, M. A. and Norton, L. D. (1998) Effects of surface treatment on surface sealing, runoff and interrill erosion, *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 41, 989–994.
  47. Sivapalan, S. (2002) Potential use of polyacrylamides (PAM) in Australian irrigated agriculture. In Sutton, Bruce G, Eds. *Proceedings Irrigation Australia 2002 Conference*, pp. 339–346, Sydney, New South Wales, Australia.
-