어젠다코드	1 - 1 - 1		구 분	완결	
기술분야코드	V2	기술유형코드	E02	작목구분코드	SF-01-SF15
과제종류	기관고유		세세부사업	-	
연구과제 및 세부과제			수행기간	과제책임자 및 세부책임자	
경사전 토사유실 저감기술 실용화 연구			'13	환경농업연구과	임수정
고랭지 밭 토양유실 방지를 위한 PAM함유 기능성 석회질비료 개발			'13	환경농업연구과	임수정
색인용어	고랭지, 경사밭, PAM, 입상석회, 라이시미터, 여름무, 토양유실				

ABSTRACT

Soil erosion in alpine cultivation areas reduces soil fertility and productivity. It is also recognized as a major factor disturbing ecosystem. The soil of this area is mostly sand containing, thereby accelerate soil erosion and non-point source pollution. So the objectives of this study was to make functional calcareous fertilizer for reducing the soil erosion firstly and this fertilizer is applied to alpine area to alleviate soil erosion. To make functional calcareous granular fertilizer, lime 96kg + PAM 4kg mixing with a stirring action and added bonding material continuously. Empirical tests was conducted at bongpyeong, bongpyeong's rainfall was 921mm, two times higher than common year. The effects of functional calcareous fertilizer was to reduce soil erosion about 60% in alpine radish (*Raphanus satibus*) cultivation area. There was no difference in growth and yield of radish between functional calcareous fertilizer plot and farmers practices plot. As a result that the use of polymeric soil amendments with lime fertilizer can be beneficial to reduce soil erosion.

1. 연구목표

국내 해발 600m 이상 고랭지 밭면적은 17,044ha이고 그 중 강원도는 전국의 90% 면적을 차지하고 있다. 이들 지역은 여름철 우기의 집중강우로 매년 밭토양의 약 20톤/ha이 유실되며 (Yang and Jung, 2004), 이들 토양은 표층의 유용 영양분을 포함하고 있으므로 지력손실 외에도 하천유역의 비점오염원으로 작용하는 것으로 알려져 있다(Joo et al., 2004). 강원도 고랭지의 주요 밭작물은 여름채소가 16,651ha로 가장 많고, 감자(4,656), 약초(1,790), 화훼류(203) 순이다(Joo et al., 2004). 특히 무, 배추 면적이 많아 재배 전이나 수확 이후 나지로 노출되어 우기에 토양유실로 탁수에 지대한 영향을 미치므로 대책이 시급한 실정이다. 2006년 7월에 집중호우로 소양강댐의 탁도가 최고 328NTU 수준의 흙탕물이 장기간 지속된 바 있어 심각한 사회적 관심사로 대두되었다. 강원도내 양구, 홍천, 인제 등 소양강 상류에 위치한 고랭지 밭에서 토양유실이 집중 발생하여 2007년 환경부는 고랭지 밭을 비점오염관리지역으로 지정

하였고 정부에서는 고랭지 경작지 관리대책으로 2013년까지 3,895억원을 투입하여 토지매입 산림녹지 조성, 경작방법 개선, 재배작물 전환, 저감시설 설치 등 비점오염 저감사업을 추진하고 있다.

비점오염원을 유발하는 토양유실 문제의 해결을 위한 정책은 크게 농공학적 방법으로 승수로, 우회수로, 배수로 정비, 돌망태, 계단전 조성 등이 있는데 많은 비용이 소요되고, 경종적 방법인 등고선 경작, 식생대 조성, 초생재배, 피복작물 입식, 녹비재배, 다년생 소득작목 식재, 무경운 재배 등은 바람직한 방법이지만 농업생산 소득을 추구해야 하는 농가로서는 자발적인 실천의지를 유도 하기에는 현실적으로 한계가 있다. 미국을 비롯한 일부 선진국은 토사유실 억제와 수자원 보호를 위해 탁월한 효과와 실용성이 입증된 음이온성 고분자응집제 PAM (Polyacrylamide)을 상용화 하는 단계이다. 국내에서는 고랭지 토양유실 방지를 위한 PAM의 이용에 관한 연구를 진행하고 있지만 실용적으로 활용되고 있지 못한 실정이다.

천연가스로부터 합성되는 PAM은 분자량이 1,000 이상인 고분자 물질로 강력한 흡착 관능기를 함유하여 토양내 양이온과 치환되고 토양을 응집시켜 토양의 결합능력을 증대시키고 유출을 억제하는 효과를 나타낸다. 고분자 토양응집제인 PAM은 다양한 용도로 활용되는 물질로 하수처리시 부유물질의 응집 침강제로 이용되기도 한다. PAM은 토양에 처리된 후 매년 약 10%가 자연분해 된다고 보고되었고, 음이온성 PAM은 장기연용을 하여도 환경영향에 대한 위해성이 확인되지 않았고, 생물에도 안전하다고 하였다. 토양유실 저감효과와 관련한 국내외 연구현황을 살펴보면 윤 등(2003)은 경사도 13% 지역에서 40kg/ha적용시 토양유실량이 67% 저감되었다고 하였고, 최 등(2010)은 PAM과 합성 Biopolymer를 이용한 작물재배 시험결과 경사도 20% 수준 농경지에서 23~42%의 토사유실 저감효과를 나타낸 것으로 보고하였다. 김 등(2012)은 PAM 2kg을 물 1톤에 용해, 정지작업 전에 살포할 경우 여름무의 수량은 관행 농법과 대등하였고, 토양유실량은 60% 저감할 수 있다고 하였다. 또한 PAM 4kg과 석회 133kg을 골고루 섞어 정지전 살포 한 후 무를 재배할 경우 액상관주와 같은 결과를 보고하였다. 그러나 액상살포의 경우 추가되는 노동력과 번거로움 때문에 사용을 권장하기에는 한계가 있다.

현재 정부에서는 3년 주기로 입상석회를 농가에 무상공급 하고 있다. 입상석회 제조시에 PAM 물질을 혼합·제조하여 고랭지 지역에 공급할 경우 추가되는 노동력 없이 토양유실 효과를 볼 수 있을 것으로 예상된다.

본 연구는 고랭지 지역의 실용적인 토양유실 경감 방법을 찾고자 PAM 물질을 함유한 기능성 석회질비료 제조공정을 설정하고, 제조된 물질의 토양유실 방지효과를 검토하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

(시험 1) 기능성 석회질비료 제조공정 설정 및 시제품 제작

시험에 사용된 석회물질은 입상석회의 원료로 쓰이는 백운석 분말이였고, PAM은 중이온성으로 1.0% 용액의 점도는 4,500 ~ 8,000cps, pH는 5.5 ~ 7.5, 분자량은 12×10^6 Dalton의 것을 사용하였다. 비료의 입상화를 위한 접합제로는 일반 업체에서 많이 사용하는 CMS를 사용하였다. PAM의 유기물과 질소는 CN분석기(Elementar, vario-Max), 농도별 점도는 점도계(Rion, VT-03)를 사용하였다.

(시험 2) 기능성 석회질비료 시제품의 토양유실 저감효과 비교시험

(시험 1)에서 제조된 기능성 석회질비료의 작물에 미치는 영향과 토양유실량 저감효과를 검토 하기위해 평창군 봉평면에 위치한 농가포장 중에서 경사도가 15%인 여름무 포장을 선정하였다. 경종개요는 재식거리 70×25cm, 파종은 6월 10일, 수확은 9월 9일 이루어 졌다. 기능성 석회질비료는 골과 골 사이에 6월 25일, 100kg/10a(PAM 4%) 시용하였다.

여름무의 생육 및 수량은 농업과학기술 연구조사분석기준(농촌진흥청, 2012)에 따라 조사하였고, 토양의 양분등도 농촌진흥청 표준분석법에 의해 분석하였다. 토양유실량은 길이 30cm, 지름0.6mm의 막대기를 처리구에 꽂아 유실된 토양의 양을 10a로 환산하여 측정 하였다. 또한 (시험 1)에서 제조된 기능성 석회질비료 외에 벤토나이트, 등겨, PAM을 혼합한 펠렛형 토양유실 경감제 등을 처리하여 생육과 토양유실 경감효과를 검토하기 위한 시험도 수행하였다. 이 시험은 간이 라이시미터에서 수행하였는데, 사용된 라이시미터는 1 × 1 × 0.2m 였고, 시험처리는 액상(PAM 4kg), 입상100kg/10a(PAM 4%), 펠렛형 100kg/10a(PAM 4%), 무처리로 하여 8월 27일 대동무를 파종하고, 10월 10일 생육조사와 토양유실량, 유거수량, 침투수량을 조사하였다. 토양유실량 측정을 위해 인위살수 하였는데, 살수량은 20L/6분/1m^2(시우량 200mm 정도)로 하였다. 유거수량은 인위살수 후 경사면 밑에 설치한 버켓에 유출된 수량을 측정 하였고, 침투수량은 부피 100cc의 Core can을 경사면에 올려 물을 채운 후 물이 전부 침투되는 시간을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

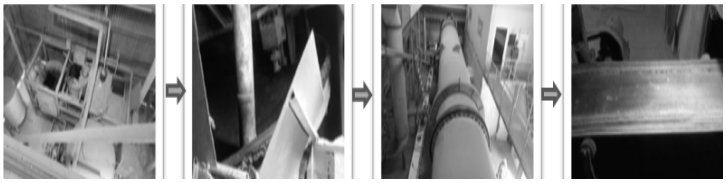
(시험 1) 기능성 석회질비료 제조공정 설정 및 시제품 제작

시험에 사용된 PAM의 이화학적 특성은 표 1과 같다. 0.5% 용액의 pH는 6.5, 총 탄소는 42%, 총 질소는 16%, 점도는 농도에 따라 5 ~ 80cps 수준으로 김 등(2012)의 결과와 비슷하였다.

표 1. 시험에 사용된 PAM 제품의 이화학적 성질

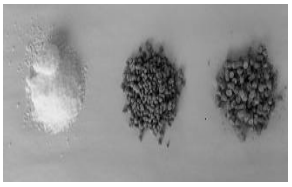
pH (0.5% 용액)	T-C (%)	T-N (%)	점도(Viscosity, cps)			
			0.02(%)	0.05(%)	0.1(%)	0.2(%)
6.5	42	16	5	18	40	80

입상석회를 제조할 때 일반적인 방법은 백운석 분말을 원료 입고장에 넣고, 대형 교반기로 교반하며 접착물질인 CMS를 분사하여 입상화를 만든 후, 건조관을 통과시켜 규격입상을 포장하는 순으로 이루어 진다. 이 공정을 참고하여 백운석 분말에 PAM이 4%가 되도록 조절, 연구용 당의기를 가동하여 입상화 하였다. 석회물질이 포함되지 않은 토양유실 경감용 물질은 벤토나이트 60%, 등겨 36%, PAM 4%를 혼합, 펠렛 성형기로 제조 하였다. 제조공정과 제조된 물질은 그림 1, 2와 같다.



원료입고장 대형교반기 건조관 출고

그림 1. 입상석회 제조공정



원제 입상형 펠렛형

그림 2. 형태별 PAM함유 물질

(시험 2) 기능성 석회질비료 시제품의 토양유실 저감효과 비교시험

평창군 봉평면 농가포장의 시험전 토양 이화학성은 표 2와 같다. 토성은 양질사토였으며, 화학성은 인산을 제외하고는 적정범위 이하였다. 고랭지에서 대부분 석비례 성토가 이루어지며, 이로 인해 밭토양은 척박하고 양분이 없다고 하는 박 등(2004)의 결과와 같았다.

표 2. 시험전 토양의 이화학성

토성	pH (1:5)	EC (dS/m)	유기물 (g/kg)	P_2O_5 (㎎/㎏)	Ca	Mg	K	NO_3-N (㎎/㎏)
					(cmol(+)/kg)			
양질사토	5.7	0.19	19.2	439	2.8	0.8	0.3	2.00

봉평지역의 강우현황은 표 3과 같다. 6월 하순을 제외하고, 전체적으로 평년 강우량 보다 시험 본년의 강우량이 많았으며, 강우량이 집중된 6월 하순부터 7월 하순 까지의 전체 강우량은 921mm로 평년의 422mm 보다 2배 이상 많았다. 일 최고 강우량은 7월 15일로 252mm였다.

표 3. 봉평지역의 순별 강우량 현황 (단위 : mm)

순 별	6. 하	7. 상	7. 중	7. 하	계
본 년	45	157	**564**	155	921
평 년	93	93	109	127	422

현지 포장에서 수행한 처리별 토양유실량은 그림 3과 같다. 4% PAM(석회 96kg + PAM 4kg)을 함유한 기능성 석회질비료를 처리 할 경우 토양유실량은 2,400kg 으로 무처리구 6,000kg/10a 보다 60% 저감 할 수 있었다. 이러한 결과는 김 등(2012)이 보고한 석회분상, PAM 분상을 혼용하여 처리 했을때의 결과와 비슷했으며, 입상으로 제조 하였을 때 PAM이 가지고 있는 토양유실 방지효과가 유지 되었음을 알 수 있었다.

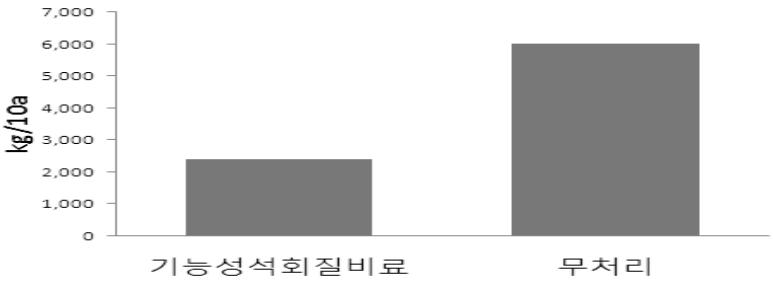


그림 3. 처리별 토양유실량 비교

처리별 여름무의 생육 및 수량성은 표 4와 같다. 기능성 석회질비료를 100kg/10a(PAM 4%) 시용한 처리구의 상품수량, 근중, 상품율 등은 관행재배한 경우와 차이가 없었다. 김 등(2012)은 석회분말과 PAM을 혼용해서 사용할 때 PAM의 양이 8kg/10a 일때 수량의 저하는 없었지만, 16kg/10a 일 때 무의 수량이 14% 감소 한다고 보고 하였다. 수량의 측면에서만 고찰 한다면 1년 재배시에 안정적인 PAM의 양은 8kg/10a 이하로 생각되지만, PAM 연 용에 따른 안정적인 수량 확보를 위해 좀 더 면밀한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

표 4. 여름무 지하부 생육 및 수량성

처리	근경 (㎝)	근장 (㎝)	근중 (kg/주)	상품율 (%)	상품수량 (kg/10a)
기능성 석회질비료	9.1	34.9	1.32	82	6,185 a[z]
농가관행	9.1	35.1	1.33	82	6,232 a

z : DMRT 0.05

시험전·후 토양의 화학적 성질 변화는 표 5와 같다. 기능성 석회질비료 처리구의 pH와 칼슘은 석회물질 투입에 의해 개선되었고, 유기물 인산 등은 변화가 없었다. 질산태질소 함량은 약간 증가하였는데, PAM 자체에 함유되어 있는 질소에서 유래된 것으로 생각된다.

표 5. 시험전·후 토양의 화학성 변동상황

구분		pH (1:5)	EC (dS/m)	유기물 (g/kg)	P_2O_5 (㎎/㎏)	Ca	Mg	K	NO_3-N (㎎/㎏)
						(cmol(+)/kg)			
시험전		5.7	0.19	19.2	439	2.8	0.8	0.3	2.00
시험후	농가관행	5.6	0.18	19.1	472	2.7	0.9	0.2	4.5
	기능성 석회질비료	6.1	0.19	19.0	485	3.1	1.1	0.3	11.2

라이시미터에서 수행한 PAM 제형별 토양유실량은 표 6과 같다. 토양유실량은 무처리 233g/m^2 > 펠렛 205 > 액상 43 > 입상 32 순이였다. 펠렛형은 PAM 외에 벤토나이트와 등겨를 혼합한 것으로 벤토나이트와 등겨에 있는 화학물질과 PAM의 작용기작에 의해 토양유실 경감에 관여하는 작용을 하지 못한 것으로 추정되며, 이후 면밀한 검토가 필요 할 것으로 생각된다. 같은 양의 PAM을 처리 하더라도 액상보다 입상이 효과가 좋았는데 이는 액상은 토양 상층부에만 살포 하는 것이고, 입상은 살포 후 토양경운에 의해 지하 10cm 이하까지 섞여 토양의 입단화와 통기성 향상에 의한 것으로 생각되며, Orts(2001)의 연구결과와 같았다. 입상의 토양유실 저감효과는 무처리 대비 86%로 농가 현지포장에서의 효과(60%) 보다 훨씬 높았다.

표 6. PAM제형 처리별 토사유실량

구 분	액 상	입 상	펠 렛	무처리
토사유실량(g/m^2)	43 ab[z]	32 a	205 c	233 cd
저 감 효 과(%)	81	86	12	0

z : DMRT 0.05

처리별 투수성과 유거수량 비교는 표 7과 같다. 투수성은 위의 토양유실량과 반대로 입상이 62초로 가장 빨랐고, 무처리가 201초로 가장 느린 결과를 나타내었다. 이에 따른 유거수량은 입상이 12L로 가장 적었고, 무처리가 17L로 가장 많았는데, 토양유실을 방지하는 인자로 PAM자체의 응집효과 외에 입단화에 의해 통기성이 향상되고 투수성이 개선된 것으로 생각된다.

표 7. 제형 처리별 투수성과 유거수량

구 분	액 상	입 상	펠 렛	무처리
투수성(초)	120 b[z]	62 a	113 b	201 c
유거수량(L)	13	12	15	17

z : DMRT 0.05

4. 적 요

(시험 1) 기능성 석회질비료 제조공정 설정 및 시제품 제작

가. 석회 96kg + PAM 4kg을 혼합, 교반하며 비료 접합물질(CMS)을 수시로 분사, 입상 기능성 석회질비료를 제조함

나. 벤토나이트 60% + 등겨 36% + PAM 4%를 혼합하여 펠렛 성형기로 펠렛형 토양유실 경감물질을 제조함

(시험 2) 기능성 석회질비료 시제품의 토양유실 저감효과 비교시험

가. 실증시험포가 위치한 봉평지역의 강우량은 921mm로 평년보다 2배 이상 많았음.

나. 고랭지 여름무 재배지에 기능성 석회질비료를 100kg/10a 시용할 경우 토양유실을 60% 저감할 수 있었음

다. 기능성 석회질비료 시용 재배구의 여름무 생육 및 수량은 농가관행 재배구와 차이 없었음.

라. 라이시미터에서 기능성 석회질비료를 100kg/10a(PAM 4%) 시용할 경우 토양유실을 86% 저감할 수 있었음

5. 인용문헌

국무조정실. 2007. 정부합동 소양강댐 탁수저감대책(안).

김세원 등. 2012. 고랭지농업 안정생산기술 개발. 강원도농업기술원 보고서. pp. 284~303.

농촌진흥청. 2010. 토양화학분석법.

농촌진흥청. 2012. 농업과학기술 연구조사분석기준.

박철수 등. 2004. 강원도 고랭지의 석비례 성토지 토양특성. 한국토양비료학회지 37(2). pp. 66~73.

Barvenik, F. W. 1994. Polyacrylamide characteristics related to soil application. Soil Sci. 25. pp. 125-243.

Joo, J. H., et al. 2004. Evaluation of the dressed soil applied in mountainous agricultural land. Korea J. Soil Science and Fertilizer. 37:245-250.

Orts, W. J., et al. 2007. Use of Synthetic Polymers and Biopolymers for Soil Stabilization in Agricultural, Construction and Millitary Applications. Journal of Materials in Civil Engineering. 19(1). pp. 58-66.

Yang, J. E., et al. 2004. Evolving sustainable production system in sloping upland areas-land clssification and option. Asian Productivity Organizrtion, Tokyo, Japan. pp. 136~155.

Yoon, J. H., et al. 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. pp. 55-58.

6. 연구결과 활용

연도(연차)	활용구분	제 목
2014(1년)	영농활용	토양유실 경감제 처리에 의한 토양유실 저감효과
	시책건의	경사밭 석회질비료 공급시 PAM함유 입상석회 공급
	산업출원	토양유실 경감용 입상석회 개발

7. 연구원 편성

구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도 '13
과제책임자	환경농업연구과	농업연구사	임수정	과제 총괄	○
세부책임자	〃	〃	임수정	주관수행	○
공동연구자	〃	〃	김세원	공동수행	○
〃	〃	농업연구관	최준근	〃	○
〃	〃	공무직	김장수	〃	○
〃	〃	농업연구사	허수정	〃	○
〃	〃	농업연구관	김재록	〃	○