

고흡수성 고분자의 토양에의 응용

안 정 속 · 윤 기 종

1. 개 요

토양은 식량의 근원이 되는 식물에 자양분을 공급한다. 금세기 초부터의 폭발적인 인구증가로 인하여 식량, 사료의 증산이 요구되어져 왔으며, 이러한 문제를 해결하기 위하여 품종 개량, 농업의 기계화, 관개, 농약, 비료의 사용 등 다각적인 노력이 진행되었다. 그러나 토양의 생산력 저하와 과잉벌목에 의한 임벌 면적의 감소, 가축의 과잉방목에 의한 황폐화, 질소비료에 의한 토양의 산성화 등의 여러 가지 문제가 수반되고 있다. 이에 따라 토양에 처리하여 농업의 생산량을 향상시키고, 환경에 부하가 적은 합성 고분자물에 대한 필요성이 대두되어 왔다.¹ 농원에 분야에서의 고분자의 사용은 1930년대 이후부터이며, 초기에는 고분자 필름을 온실지붕, 훈증 및 이식할 식물의 뿌리덮개 등으로 사용하였으나 그 활용범위가 확대되고 있다. 근래에는 토양보수제, 종자 coating, gel planting, 식물 보호, 비료포대 등의 다양한 목적으로도 고분자 재질이 사용된다. 본고에서는 이중 토양보수제에 대해 정리하고자 한다.

농작물의 생산성이 높은 토양은 단위구조가 발달하여 마치 스펀지와 같은 구조를 갖고 있어 보수력이 좋고, 배수성 및 통기성이 높아 식물뿌리의 성장에 적합해야 한다. 생산성이 낮은 토양에 고흡수성 고분자를 토양보수제로 활용할 때의 효과는 아래와 같이 다양하다.²

- 1) 토양의 보수력 향상
- 2) 토양내의 공극의 수와 크기 증가
- 3) 토양의 compaction 방지

4) 토양 온도의 일교차의 감소

5) 비료성분의 일부를 흡수하는 보비 효과

그러므로 토양보수제의 사용은 농작물의 증산을 위한 보다 적극적인 방법이라 할 수 있을 것이다.

고흡수제가 개발되기 이전인 1950년대에도 고분자를 이용한 토양의 개질에 대한 연구가 있었다. Peters는³ 1953년 고분자 전해질인 calcium carboxylate 고분자 및 가수분해된 PAN의 토양보수제로서의 효과에 대해, 1956년 Allison과 Moor는⁴ vinyl acetate와 maleic acid의 공중합체 및 가수분해된 PAN의 crusting 방지제 및 보수제로서의 효



안정속

1997 단국대 섬유공학과(B.S.)
1999 단국대 섬유공학과 석사과정



윤기종

1978 서울대 섬유공학과(B.S.)
1981 서울대 섬유공학과(M.S.)
1989 North Carolina State Univ.,
College of Textiles Fiber &
Polymers Science(Ph.D.)
1989~ 미국 USDA Northern Re-
1990 gional Research Center
1990~ 단국대학교 제3공학부 섬유공
현재 학전공 부교수

Application of Superabsorbent Polymers to Soil

단국대학교 제3공학부 섬유공학전공(Jung Sook An and Kee Jong Yoon, Dankook Univ., School of Engineering III, Textile Engineering, San 8, Hannam-dong, Yongsan-gu, Seoul 140-714, Korea)

과에 대해 발표한 바 있다.

1970년대 중반 고흡수제가 개발됨에 따라 농원에
의 고흡수제의 응용 가능성에 대한 연구가 활발히
전개되었다. 1975년에는 사질 토양에 전분계 고흡
수제를 처리시의 귀리의 생장에 대한 보고가⁵ 있었
으며, Miller는⁶ 토양에 고흡수제를 처리하면 토양
내에서 팽윤하여 보수성이 향상되었다고 하였다.
Johnson은⁷ 고흡수제가 다공성 토양의 보수력을 향상
시키고 물의 증발이 심한 지역에서 식물의 시드는 현
상을 저하시킨다고 보고하였다. 또한 Taylor 등은⁸
전분계 고흡수제를 토양에 처리하여 wax tree의 생
장을 촉진시켰다고 보고하였다. Pryor 등은⁹ 토마토
재배시 토양에 polyacrylamide를 처리하였을 때 물
의 사용량이 약 30~50% 정도 감소하였으며, 비료
의 사용량과 발육기간이 감소하였으며, 생산량이 약
30% 증가하였음을 보고하였다. 또한 1991년 세계
적인 가뭄이후 연구가 가속화되어 California,
Arizona, New Mexico 등에서 실험적으로 실제 토양
에 적용하기도 하였다. 그러나 Conover와 Poole¹⁰
등의 몇몇 연구에서는 고흡수제가 식물 생장에 거의
영향을 미치지 못함을 보고하기도 하였다. 일본에서
도 北村,¹¹ 杉村,¹² 三島,¹³ 本橋¹⁴ 및 遠山^{15,16} 등에 의
한 보고가 있었으나, 실제 고흡수제의 농업용 사용
량은 전체 고흡수성 수지의 생산량(1984년 기준)의
약 1.7% 정도라고 한다.¹⁷ 이외에도 고흡수제의 토
질개질 이용에 대한 다양한 연구가¹⁸⁻²⁵ 있었으나 토
질의 변화를 일으킬 수도 있고 경제적으로 실용성이
없어 실제 사용은 극히 제한되어 왔다.

그러나 환경에 대한 영향이 적고 토질을 크게 변

화시키지 않는 고흡수제를 저렴하게 생산할 수 있는
기술이 개발된다면 토양보수제로서의 이용이 확장되
어 많은 물량이 요구되어질 것이다. 예를 들어 기저귀
는 한 개당 5-8 g의 고흡수제가 사용되고 있으나 토
양보수제로 사용할 경우 표면 깊이의 토양에 0.5%
정도 첨가하더라도 평방 미터당 1 kg 정도는 소요될
것이다. 그러므로 고흡수성 고분자와 고흡수성 고분
자의 토양에의 효과 및 농원에의 이용 사례에 관하
여 살펴보고자 하였다.

2. 고흡수성 고분자

고흡수제(superabsorbent)는 이온성기를 가진 불
용성 고분자로 자체중량의 수백배이상의 물을 흡수
하며, 특히 외압 하에서의 보수력이 뛰어난 고분자
이다. 고흡수제에 대한 연구는 원료면에서 전분계,
cellulose계 및 합성수지계의 세 가지 방면으로 진행
되었으며 합성수지계가 기저귀 등 광범위하게 이용
되고 있으며 전분계 고흡수성 수지의 경우에는 대부
분 농원에 분야에 이용되고 있다. 고흡수제의 흡수
원리는 다음과 같다. 고흡수제 내에 존재하는 친수
성기들은 흡수됨에 따라서 음전하를 띠게 된다. 이
들 동족이온 상호간의 반발력에 의해 고분자는 팽윤
되어 더욱 많은 양의 물을 흡수하게 된다. 카르복실
산의 나트륨염을 함유하는 고흡수제의 흡수과정을
그림 1에 나타내었다. Flory는²⁶ 고흡수제의 이러한
흡수현상을 이온망상이론으로 설명하였다. 흡수도를
부여하는 요인으로는 고분자 전해질과 물과의 친화

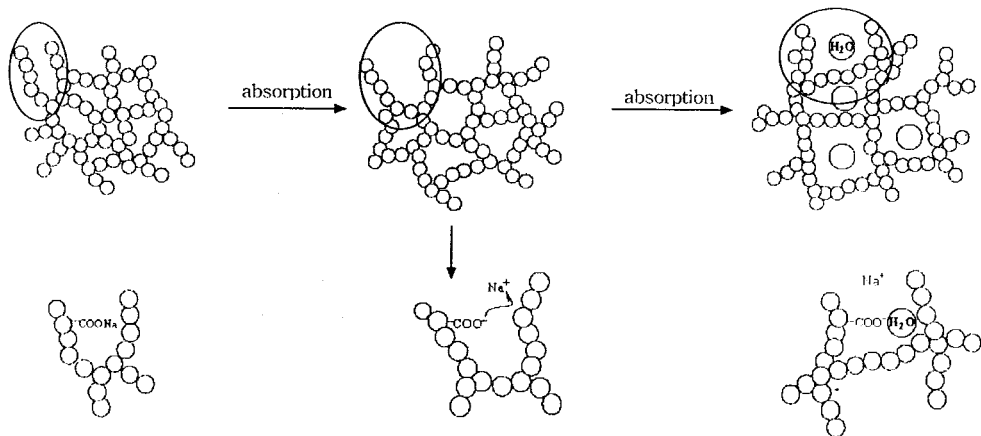


그림 1. Absorption mechanism of superabsorbent polymer.

력 및 겔내부의 가동이온의 농도가 높아서 발생하는 침투압 등이 있다. 이러한 요인들에 의해 흡수도가 결정되며, 이는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q^{2/3} = [(1/2 \times i/V_u \times 1/S^{1/2})^2 + (1/2 - x_1)/V_1] / (v/v_0)$$

Q : 흡수도

i/V_u : 망상에 고정된 전하 밀도

$1/S^{1/2}$: 외부용액의 전해질 이온 농도

$(1/2 - x_1)/V_1$: 망상과 물의 친화력

(v/v_0) : 가교의 밀도

즉,

$$\text{흡수도} = \frac{\text{이온의 침투압} + \text{고분자 전해질의 물과의 친화력}}{\text{가교 밀도}}$$

따라서 이온의 침투압이 낮을수록, 즉 외부용액의 전해 이온의 농도가 높을수록 흡수도가 낮음을 알 수 있다. 실제 토양내에는 많은 이온들이 (Ca^{+2} , Mg^{+2} 등) 존재하고, 작물 재배시 살포되는 비료로 인하여 토양내의 염의 농도는 높아지게 된다. 그러므로 고흡수성 고분자의 흡수력은 급격한 감소현상을 보인다. 표 1은 여러 가지 고흡수성 고분자의 염 용액에서의 흡수도를 나타내었다.²⁷ 또한 고흡수제가 물에 닿으면 일단 모세관 현상에 의해 물이 침투되므로, 흡수속도는 고흡수제의 입자의 크기, 구성고분자의 극성, 가교정도 및 분포, 밀도, 표면에너지 및

입자의 기공도 등에 의해 좌우된다. 입자내부로의 모세관 현상이 없다면 확산이 주 흡수기구가 되고, 이때는 물을 흡수한 표면층이 팽윤된 겔 상이 되어 물의 침투속도가 낮아질 수 있다. 이와 같은 현상을 gel blocking이라 하며 고흡수제의 흡수력을 저하시킬 수 있다. 이론적으로는 입자의 크기가 작을수록 표면적이 넓어 흡수성이 뛰어나야 하나, 실제로는 입자크기가 너무 작아도 gel blocking 현상이 나타난다. 즉 분말 덩어리의 표면이 액체를 흡수하여 분말 덩어리를 덮어 쌓는 겔 층을 형성하여 액체의 이동이 용이치 않아 흡수속도가 극히 느려진다. 입자크기는 흡수도 뿐만 아니라 실제 농업현장에서 중요한 요인으로 작용한다. 농업현장은 바람의 영향을 받기 쉽기 때문에 입자의 크기가 너무 작다면, 살포시의 어려움이 있고, 토양과의 균일하게 혼합하는 데도 어려움이 있을 것이다. 그러므로 토양보수제는 flake나 bead 상의 제품형태가 적절할 것으로 생각된다.

3. 고흡수제의 토양에의 효과

3.1 보수력 증가

1979년 Miller는⁶ 전분계 고흡수제인 hydrolyzed starch-g-polyacrylonitrile(HSPAN)을 토양에 혼합하여 관개후의 토양 보수효과에 대해 살펴보았다. Ritzville loam(coarse-silty, mixed, mesic Calciorthidic Haploxerolls, 41% sand, 11% clay),

표 1. Effect of Water Source and Common Potting Medium Amendment on the Water Retention of Several Hydrophilic Polymers (Hydrogels). Hydrogels were Soaked in Each Solution for 4 hr, Drained for 5 min, and then Weighed

Hydrogel	Distilled water	Tap water ^a	Micromax (1.2 g·liter ⁻¹)	FeSO ₄ (2.0 g·liter ⁻¹)	Dolomite (7 g·liter ⁻¹)	Sequestrene 138 (0.2 g·liter ⁻¹)	Fertilizer (0.84 g·liter ⁻¹) ^b	HDS 0.05
Water retention (g water/g dry hydrogel) ^c								
Water-Lock	401	56	34	18	208	261	118	12
Aqua-Lox	291	70	50	49	190	213	113	12
Liqua-gel	232	27	2	4	165	180	122	37
Sta-Wet	133	28	8	7	115	109	75	7
Viterra	544	79	52	47	339	322	163	16
Broadleaf P4	435	89	74	64	299	280	144	16
Terra-Sorb	395	83	76	69	283	257	69	7
Supersorb C	332	88	70	70	252	232	135	12
Agrosoke	57	20	23	19	33	38	25	3
HDS 0.05	35	10	7	6	19	11	7	

^a Water had electrical conductance of 1.45 ds·m⁻¹, ^b From a 24N-3.5P-13.3K water-soluble fertilizer (W. R. Grace and Co.), ^c Means are average of three replicates.

표 2. Time Required for 20 cm of Water to Infiltrate Three Soils Treated with HSPAN at Various Rates, and for 10 cm of Water to Infiltrate Sagehill Sand during Four Subsequent Irrigations

H-SPAN treatment (% by wt.)	First irrigation(h)			Subsequent irrigations, Sagehill sand(h)			
	Ritzville loam	Shano silt loam	Sagehill sand	2nd	3rd	4th	5th
	0	16.5	7.2	0.8	0.7	0.7	0.8
0.1	15.5	7.5	1.0	1.2	1.2	2.0	1.2
0.3	18.0	8.0	1.7	8.3	6.0	9.0	9.0
0.5	22.0	10.0	3.4	38.7	63.0	85.0	88.0

표 3. Effect of HSPAN Treatment on Water Retention of Three Soils as a Function of Time after the First Irrigation and of Sagehill Sand after the Second and Fifth Irrigation

Time after irrigation days	HSPAN, % weight			
	1	0.1	0.3	0.5
- cm water in upper 60 cm of soil - First irrigation				
Sagehill sand				
1	10.0	12.2	16.4	19.7
3	8.3	10.6	13.9	17.1
10	6.16	8.39	11.6	14.6
20	6.1	8.3	10.9	13.4
Ritzville loam				
1	24.2	24.1	23.6	23.6
3	22.2	22.2	21.5	21.1
10	20.2	20.2	19.4	18.7
17.520	19.1	19.1	18.3	17.5
Shano silt loam				
1	22.3	23.0	24.0	23.8
3	20.3	21.1	21.4	21.0
10	18.3	19.1	18.9	18.4
20	17.2	18.1	17.6	17.0
Second irrigation				
Sagehill sand				
1	11.0	15.8	20.3	21.0
3	8.8	12.3	17.7	19.7
10	6.9	9.4	15.3	18.3
Fifth irrigation				
Sagehill sand				
1	10.7	14.2	18.0	20.7
3	8.7	11.8	16.0	20.2
10	7.0	9.8	14.0	20.0

Shano silt loam(coarse-silty, mixed, mesic Xerollic Camborthids, 34% sand, 6% clay) 및

Sagehill sand(coarse-silty, mixed, mesic Xerollic Camborthids, 90% sand, 2% clay)의 세가지 토양에 전분계 고흡수제를 0.5%까지 가함에 따라 관개시 토양내부로의 물의 침투속도가 저하되었다. 특히, 0.5% HSPAN이 첨가된 Sagehill sand의 경우 3개월에 걸쳐 총 다섯 번 관개하였을 때 첫 관개이후의 침투속도는 현저히 감소하였다(표 2).

관개시 토양의 팽윤도가 증가하였으나 물이 침투됨에 따라 팽윤되었던 상부층은 관개전의 상태로 되 돌아갔다. HSPAN은 Shano silt loam과 Ritzville loam의 보수력에는 큰 효과가 없었으나 Sagehill sand의 보수력은 향상시켰고 이 효과는 관개를 거듭함에 따라 더욱 현저히 나타나, 두 번째 관개이후에는 사토인 Sagehill sand가 Shano silt loam이나 Ritzville loam과 유사한 보수력을 나타내었다(표 3).

토양의 보수력이 향상되는 효과는 식물의 경작시 사용되는 물의 양을 줄일 수 있을 뿐아니라 관개회수를 줄일 수 있다. Taylor 등은⁸ 토양에 HSPAN을 처리하여 wax tree(Compactum)의 생장에 필요한 물의 양을 조사하였다. HSPAN 처리 토양과 대조 토양(0% HSPAN)을 비교하면, 식물생장에 필요한 물의 양이 각각 13,599 mL와 22,263 mL이다. 고흡수성 고분자 사용시 필요한 물의 양이 감소함을 알 수 있었으며, 관개회수도 크게 감소하였다.

3.2 공극의 증대

토양은 고상(흙), 액상(물) 및 기상(공기)의 3상 분포를 가진다. 이들의 분포상황은 배수성과 뿌리생장에 영향을 주어 작물의 생육에 큰 영향을 미친다. 가교밀도가 높은 농업용 고흡수성 고분자를 첨가하면 토양의 보수성뿐만 아니라 통기성도 향상된다는 보고가 있다. 관개시 토양의 용적이 10-60%정도 증가하고 건조시에도 고흡수성 고분자가 수축되더라도 토양은 처음 용적까지는 되돌아가지 않기 때문에 토양입자의 간격을 넓혀 통기성을 향상시키는 작용이 있다. Seigo Ouchi 등은²⁸ 사토, 화산회토, 층적토에 vinyl alcohol-acrylic산계 공중합체(상품명: 이겟타겔[®] 이하 SIG)를 각각 0~0.5% 처리하여 SIG 혼합 토양과 대조 토양의 함수비로 3상분포와 전체용적 변화의 관계를 살펴보았다. 그림 2에서와 같이 SIG혼합시 3종의 토양 모두 전체용적이 증가하였으며, 토양시료간에는 사토>화산회토>층적토의 순으로 증가하였다. 또한 SIG 혼합 토양중에 보유되어 있는 물을 건조시켰을 때 용적은 0.2%와 0.5%의 SIG 혼합물에서 각각 9%와 17% 감소한

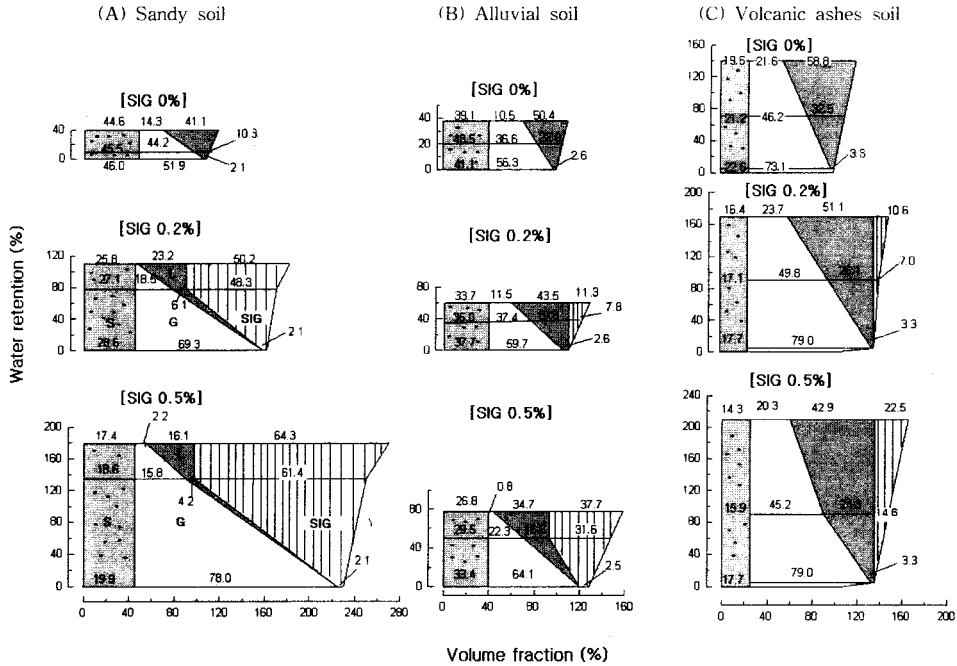


그림 2. Changes in the three distribution of different soil with soil water retention agent.

다. SIG가 흡수하여 팽윤되었던 면적이 대부분 기상(공기)으로 변화된 것을 알 수 있다. 이러한 용적 변화는 층적토와 화산회토에서는 상대적으로 작게 나타난다. 그러나 3종의 토양의 상이한 흡수비와 용적변화에도 불구하고 3종의 토양모두 건조 시에는 기상이 증가하는 현상이 나타난다. 이는 고흡수제가 토양에서의 결점을 개량시켜 3상분포를 양호하게 할 수 있음을 의미할 것이다.

3.3 Crust 강도저하

Hemyari와 Nofziger는²⁹ Teller sandy loam(12% clay, 24% silt, 64% sand), Tillman-Hollister clay loam(33% clay, 42% silt, 25% sand), Cobb loamy sand(8% clay, 6% silt, 86% sand) 3종의 토양에 전분계 고흡수제인 HSPAN을 0~4% 혼합하여 crust strength를 비교하였다.

각각의 토양에서 HSPAN의 함량이 증가할수록 modulus of rupture는 크게 감소하는 경향을 보였다(표 4). 0.4% HSPAN을 첨가하였을 때, Teller sandy loam, Tillman-Hollister clay loam, Cobb loamy sand에서 각각 84, 85 및 54%의 감소가 나타났다.

3.4 토양 온도에서의 영향

보수제를 토양에 혼합하였을 때 토양내의 함수량

이 증가하며, 그 결과 토양수분이 완충작용 역할을 하여 토양온도의 일교차를 작게 한다. 온실에서 봄에 6일 동안의 최고, 최저 토양온도 측정된 자료인 그림 3에서³⁰ 볼 수 있듯이 보수제의 혼합에 따라 최고온도는 첨가하지 않았을 때보다 최대 3℃ 낮으며, 최저온도는 첨가하지 않았을 때보다 약 1.5℃ 높은 경향을 보였다. 또한 하루동안의 온도차이도 혼합하지 않았을 때보다 약 5℃ 작았다.

3.5 보비 효과

고흡수제를 토양에 섞게 되면 물을 흡수하는 동시에 물에 녹아있는 비료성분들도 흡수하여 보유하게 된다. 즉, 고흡수제를 토양에 섞음에 따라 비료 성분인 암모니아 상태의 질소 및 염기류(MgO, K₂O, CaO 등)의 탈용량(토양을 통과한 물에 녹아있는 비료성분량)을 감소시켜 결과적으로 비료를 보유하는 효과가 있다.³³

Taylor 등은⁸ 토양에 고흡수제를 처리하여 식물의 영양분 이용에 대한 효과를 살펴보았다. 고흡수제 처리 토양(이하 HP)과 대조 토양(이하 NP)의 초기 pH는 5.9였으나, 6주후의 pH는 HP의 경우는 변화가 없었으나 NP의 경우에는 5.5로 감소하였다. 또한 HP에서의 가용성 염의 함량을 조사한 결과 대조 토양과 비교하여 20~37% 줄어들었다. 이러한

표 4. Modulus of Rupture for Different Treatments of Teller Sandy Loam, Tillman-Hollister Clay Loam, and Cobb Loam Sand

Treatment (% super slurper)	Modulus of rupture(bars)		
	Teller sandy loam	Tillman-Hollister clay loam	Cobb loam sand
0.0	0.875a*	0.766a	0.441a
0.025	0.817a	0.614b	0.389b
0.05	0.461b	0.601b	0.374b
0.1	0.343c	0.548b	0.280c
0.2	0.191d	0.495b	0.176d
0.4	0.142d	0.341c	0.112e

* Values followed by same letter for each soil are not significantly different at 0.05 level according to Duncan's multiple range test.

현상은 고흡수성 고분자의 buffer 능력과 chelation 특성에 기인한다. 고흡수제의 카르복시기(-COOK) 부분은 마치 염처럼 작용할 수 있어 물과 닿으면 -COO⁻ 이온이 되고 이들은 물과 결합할 것이다. 이때 K⁺ 이온은 토양중 하이드록실기와 결합하고, 해리되어 수소 이온뿐만 아니라 다른 다가의 양이온의 활성을 감소시킨다. 표 5는 HP와 NP에서 배양한 식물의 양분 함량을 나타낸 것이다. HP의 경우 다가의 금속 양이온의 함량이 감소하는 경향이 나타난다. 그러나 N과 K의 함량은 NP에 비해 월등 높은 함량을 가진다. K의 함량이 늘어난 원인에 대해 a) 토양내의 양분의 상태가 오래 지속될 수 있었다, b) 고분자 구조에서 양이온의 구조를 바꿨다, c) 고분자가 K source(그림 4)로서 작용했다는 가정을 들어 설명하였다. Ca⁺²과 Mg⁺²의 함량은 HP의 경우 감소하는 경향을 보였고, 이는 다가의 양이온이 고분자 구조의 카르복실, 아마이드, 카보닐기와 킬레이트를 형성하기 때문이다.

4. 고흡수제의 농원에의 이용사례

실제 농산물 재배시 고흡수제를 사용한 실험결과들이 발표된 바 있다. 담배 묘판에서의 입목이 저조한 주요 요인중의 하나는 토양 표면이 말라붙는데 있다. 씨가 발아할 즈음에 발표면의 흙이 말라 있으면 뿌리를 내리지 못하여 묘목이 시들게 된다. 그러므로 묘판이 마르지 않도록 자주 물을 주어야 하는데 고흡수제를 사용할 경우 물주는 빈도를 줄이면서 묘판의 표면층이 말라붙는 것을 방지할 수 있다. 또

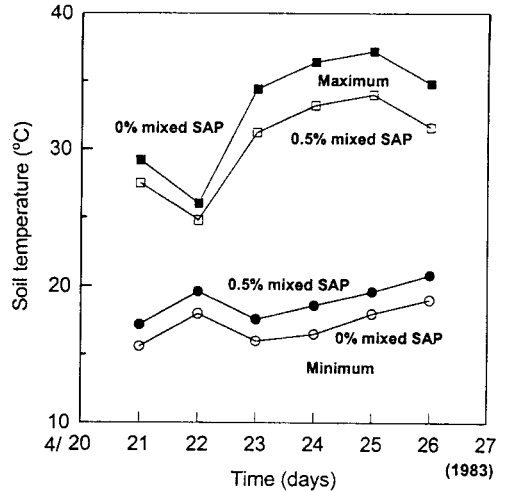


그림 3. Changes in the soil temperature with addition of SAP (SAP : soil water retention agent, maximum ; maximum temperature in day, minimum ; minimum temperature in day).

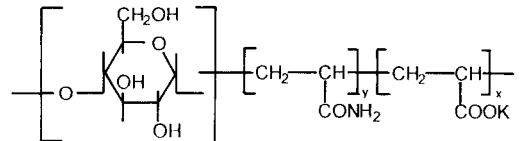


그림 4. Hydrolyzed (Saponified) hydrolyzed starch-g-polyacrylonitrile (HSPAN).

한 이식시키기 위해 묘판에서 뽑은 묘목은 종종 수 시간-수일 방치될 수 있다. 이때 뿌리가 건조되면 묘목의 생존율이 저하될 수 있으며 이식후 회복시간은 마른 뿌리에서 새로운 뿌리가 나오는데 필요한 시간만큼 지연된다. 묘목의 뿌리를 고흡수제로 처리함으로써 뿌리가 건조되는 것을 방지할 수도 있다.

Hamilton은³¹ 씨를 묘판에 뿌릴 때 첨가되는 고흡수제 및 흙의 양에 따른 발아율에 대해 보고하였다. 온실에서 1-2 g의 HSPAN 첨가로 담배씨의 발아율이 증가하였으나 그 이상에서는 오히려 감소하였고, 파종시 고흡수제와 함께 흙도 혼합하여 뿌렸을 때 발아율이 가장 좋았다(표 6). 그러나 발에 파종하였을 때는 발아율의 증가가 없었다. 원인을 규명하기 위해 그들은 토양, 비료 및 염이 고흡수제의 보수력에 미치는 효과를 살핀 결과, 원래의 토양과 물로 씻긴 토양중의 고흡수제의 보수력에는 현저한 차이가 있었고 비료나 염이 존재하여도 보수력에는 현저한 감소가 있음을 밝혔다(표 7). 이상으로부터 이들

표 5. Mean Nutrient Contents of Upper (UL) and Lower Leaf (LL) Tissue and Root Tissue in Polymer-Amended (HP) and Nonamended (NP) Treatments Across All Fertility Levels (3 Levels of Osmocote 18N-6P-12K)

Element (SE)	Nutrient content					
	HP			NP		
	UL	LL	Root	UL	LL	Root
	percent					
N(0.25)	3.64a	3.21b	2.89c	3.08bc	2.87cd	2.64d
P(0.33)	0.59a	0.61a	0.47a	0.58	0.55a	0.43a
K(0.28)	4.24a	3.58b	3.00c	2.66d	2.37e	2.62de
Ca(0.03)	0.43d	0.63c	0.21e	0.66b	0.85a	0.21e
Mg(0.01)	0.11b	0.11b	0.07c	0.16a	0.16a	0.08c
	ppm					
Zn(3.8)	44.7d	47.3d	57.2c	47.0d	60.6b	85.0a
Mn(54.0)	1200.0b	1333.0a	277.7c	1333.0a	1320.0a	22.7c
Fe(17.0)	88.0d	112.0d	382.3b	134.0c	103.0d	419.0a
Cu(0.3)	2.0c	2.7b	6.0a	2.7b	2.7b	6.3a

* Means within rows separated by LSD(P>0.05). Comparisons were made among different plant parts within polymer treatments and between similar plant parts among polymer treatments.

표 6. Effect of Water Absorbent Polymer (WAP) and Method of Application on Percent Germination

WAP (g/900 cm ²)	Method of application			
	WAP on surface	WAP + 25 g soil	WAP + 500 g soil	Avg.
0	34	41	36	37
0.5	71	24*	86	78*
1	79	96	98	91
2	92	97	100	96
5	72	80	94	82
10	34	33	88	52
20	19	20	39	26

은 고흡수제 사용시에는 파종 전에 토양을 leach해 야하며 비료는 발아 후에 가해야 한다고 귀결되었 다.

또한 담배묘목을 이식하는 과정에서 고흡수제 겔 (중류수 1L당 고흡수제 4g)에 담금(root dipping)으로서 생존율을 증가시켰다. 특히 덩고 건조한 기후에는 뽑은 지 4시간 후에 묘목을 이식하였을 경우, 처리된 묘목의 생존율이 95%인데 비해 미처 리 묘목의 생존율은 65%에 불과하였다. 이식한지 2주 후에는 고흡수제로 처리되었던 묘목들이 미처리 묘목들보다 컸고 뿌리도 더욱 발달되어 있었다. 기 후가 양호할 때 묘목을 뽑은 후 1시간 경과 후 이식

표 7. Effect of Soil, Fertilizer and Salts on Waterholding Capacity of WAP

Basic treatment	Added component	water retention (g/g WAP)
	0 g soil	925
	20 g soil	110
	20 g leached soil	600
	20 g leached soil + 1 g Fertilizer(6-12-8)	75
200 mL water plus 0.2 g WAP	1 g Ca(NO ₃) ₂	15
	1 g Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ·H ₂ O ₂	20
	1 g KNO ₃	95
	1 g KH ₂ PO ₄	100

표 8. The Effects of WAP and Water on Tobacco Transplant Survival one Week after Transplanting

Time (hr)	With water		Without water	
	No WAP	with WAP	No WAP	with WAP
	percent survival			
1	98	98	94	98
6	86	93	69	89
24	90*	89	67*	70
	percent severely wilted			
1	2	0	11	4
6	16	8	27	21
24	20*	12	53*	40
	percent dead and severely wilted			
1	4	2	17	7
6	30	14	58	32
24	30*	23	87*	70

한 경우에는 큰 차이가 없었으나, 6시간 이상 방치하 고 이식할 때는 고흡수제의 효과를 볼 수 있었다. 6시 간 방치 후 이식했을 때 1주일 후에 죽거나 몹시 시든 묘목은 미처리 묘목의 경우 30%였으나 고흡수제로 처리된 묘목의 경우 14%에 불과하였다(표 8). 그들 은 처리된 묘목의 성장이 균일하고 이식 후 성장이 빨리 시작되기 때문에 수확량이 증가될 것이라 제 의 하였다.

1991년 California에서 총 2,000 acre의 토양에 고흡수제를 처리하여 여러 가지 작물을 경작한 결 과, 고흡수제의 보수력은 토양의 종류와 토양내의 유기물의 양에 의해 결정된다는 보고가 있었다. 이 러한 시도는 Texas나 Florida에서도 소규모로 실험 되었으며 식물이 가뭄에 의해 성장을 멈추는 현상을 저하시키고, 영양분의 보유력이 증가되어 작물의 생

장에 도움을 주었다고 보고하였다. Van Hoozer와³² Valch은³³ 토양에 고흡수제를 처리하여 잔디의 생장에 대한 효과를 살펴보고 있으며, Baker는³⁴ 골프 코스, 축구장, 교회 묘지 등에 고흡수제를 처리하여 그 효과를 보았다. 축구장에 처리한 고흡수성 고분자는 토양의 보수력을 증가시키고, 건조 기후로 인한 토양의 경화를 감소시켜 경기 후에도 잔디가 상하는 것을 방지했다고 하였다. 일본에서도 토양에 PVA-아크릴산계 고흡수제를 0.2% 혼합하여 메론 등의 10종의 식물을 재배한 결과 식물의 지상부의 무게가 20~76% 증가하였으며, 관개회수가 1/3으로 감소하였다는 보고가 있다.³⁵ 중국은 국토면적의 52.5%가 건조지 또는 반건조지이다. 강우의 유효성을 높이기 위해 종자와 고흡수제를 혼합하여 파종하는 방법이 보급되기 시작하였다(종자구토법, 種子구토法).³⁶ 뭇에³⁶ 의하면, 6.7 acre당 25~125 g의 고흡수제를 혼합하여 파종시 8종의 식물의 발아율이 평균 15% 향상하였고, 파종 72일 후 식물의 지상부의 무게는 45~118% 증가하였다는 보고도 있다.

4. 결 론

토양보수제로서의 응용은 현재 토양에 따른 상이한 효과, 경제성, 내구성 등의 문제로 다른 분야에 비해 수요가 적으나 보다 효율적인 생산을 위하여 그의 사용이 급증할 가능성이 있다. 대부분의 농원에 분야에서는 고가의 식물을 재배하는 것이 아니기 때문에 무엇보다도 경제적인 요인이 가장 중요하다. 현재 생산되는 고흡수제중 풍부한 천연자원을 사용하는 전분계 고흡수제가 가장 저렴하게 생산될 가능성이 있다. 석유화학제품인 합성수지계의 경우에는 생산원가의 제약이 있고 cellulose계의 경우에는 우선 흡수력이 떨어지고 천연물질이긴 하나 전분보다 비싸다. 한편 농원에용으로 고흡수제를 사용할 때 그 최종용도의 특이성을 고려해야 한다. 즉 식물의 성장을 증진시키기 위해 수분의 지속적인 공급원으로 작용해야 하며, 그 목적을 달성한 후에는 토양의 특성에 변화를 가져와서는 안된다. 또한 작업현장에서는 바람의 영향을 받기 쉽고, 토양에의 균일한 혼합을 위해 고흡수제의 최적 입자 크기도 고려해야 한다.

환경에의 부하를 줄이기 위해서, 농원에에 사용되는 고흡수제는 가능하면 그 기능을 다한 후에 생분

해되는 것이 바람직하다. 합성수지계를 사용할 경우 흡수능을 잃은 후에도 분해되지 않은 고분자가 잔류하여 토질을 변화시킬 수 있다. Cellulose계 고흡수제도 starch계보다는 분해속도가 느리며 흡수력도 떨어지므로 생분해가 가장 용이한 전분계 고흡수제의 사용이 바람직할 것으로 생각된다. 전분계 고흡수제의 경우에도 그래프트된 비닐사슬이 잔존하게 되므로 가급적 비닐 그래프트 사슬의 함량이 낮은 전분계 고흡수제의 사용이 바람직할 것으로 생각된다. 그러므로 전분 함량이 높으면서 흡수성이 적절한 전분계 고흡수제를 경제적으로 생산할 수 있어야 하며, 토양중의 염의 존재로 인한 흡수력 저하 방지 및 겔강도의 향상 등에 대한 연구가 요구된다.

참 고 문 헌

1. 大内誠語, 日本土壤肥科學雜誌, **47**(12), 880 (1998).
2. M. D. Orzolek, *HortTechnology*, **3**(1), 44 (1993).
3. D. B. Peters, R. M. Hagan, and G. B. Bodman, *Soil Sci.*, **75**, 467 (1953).
4. L. E. Allison and D. C. Moor, *Soil Sci. Am. Proc.*, **20**, 143 (1956).
5. R. P. Kaniuka(Ed.), "Super Sluper: Compound with a Super Thirst", vol. 23(12), p. 7~9, *Agric. Res.*, 1975.
6. D. E. Miller, *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, **43**, 628 (1979).
7. M. S. Johnson, *J. Sci. Food. Agr.*, **35**, 1196 (1984).
8. K. C. Taylor and R. G. Halfacre, *HortScience*, **21**(5), 1159 (1986).
9. A. Pryor, *California Farmer. Oct.*, **10**, 12 (1988).
10. R. T. Poole and C. A. Conover, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **107**, 793 (1982).
11. 北村周治, 藤田文男, 田村俊文, 大西敏傳, 高吸水性ポリマー—スミカゲル, "住友化學", 1980-I, p. 1, 1980.
12. 杉村順未, 山寺善成, 緑化工技術, **9**(2), 11 (1983).
13. 川島和未, "農業用土壤改良劑-親規保水劑", vol. 59, p. 665, 農及園, 1984.
14. 本橋忠一, 小倉貝人, "高吸水性樹脂 スミカゲル", 住友化學 1985-I, p. 35, 1985.
15. 園山柁雄, "緑化と保水劑, 道路と自然", p. 665, (株)道路緑化保全協會, 東京, 1986.
16. 園山柁雄, "保水劑の農業分野への利用(1)", vol. 51, p. 973, 農及園, 1986.
17. 高吸水性ポリマー, (株)大阪ケミカルサー チシリーズ, **3**, 93, (株)大阪ケミカルマーケティングセンター, 1985.
18. K. J. Yao and W. J. Zhou, *J. Appl. Polym. Sci.*, **11**, 1533 (1994).
19. Sumlya, Takasashi, Sanyokasel, and Minamihyoshi-

- ryo, EP 0496067 A2 (1992).
20. Yano, Kazutaka, EP 0547847 A1(1992).
 21. 高橋, 山田, JP 05237377 A2 (1993).
 22. 高橋, 山田, JP 05230383 A2 (1993).
 23. 島田, 大西, JP 63110226 A2 (1988).
 24. 官田, 坂田, JP 6397612 (1988).
 25. Y. T. Wang, *HortScience*, **24**, 941 (1989).
 26. P. J. Flory, "Principles of Polymer Chemistry", p. 585, Cornell Univ. Press, Ithaca, 1953.
 27. Y. T. Wang and L. L. Gregg, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **115**(6), 943 (1990).
 28. 大内誠語, 西川 晶, 梶田悦夫, *日本土壤肥科學雜誌*, **60** (1), 15 (1989).
 29. P. Hemyari and D. C. Nofziger, *Soil Sci. Soc. Am. J.* **45**, 797 (1981).
 30. 장태환, 김영중, *럭키 고분자 기술*, **15**, 49 (1990).
 31. J. L. Hamilton and R. H. Lowe, *Tabacco Sci.*, **26**, 17 (1982).
 32. G. Van Hoozer, *Turf South Apr.*, **4**, 36 (1991).
 33. T. R. Vlack, "Creeping Bentgrass Rspponses to Water Absorbing Polymers in Simulated Golf Greens", p. 3, The Grass Roots Wisc., GCSA Publ., July/Aug., 1990.
 34. S. W. Baker, *J. Sports Turf Res. Inst.*, **67**, 66 (1991).
 35. 大内誠語, *高分子*, **47**(12), 880 (1998).
 36. 吳德, *作物雜誌*(中國農業科學院), **1**, 22 (1990).