

93-05-12

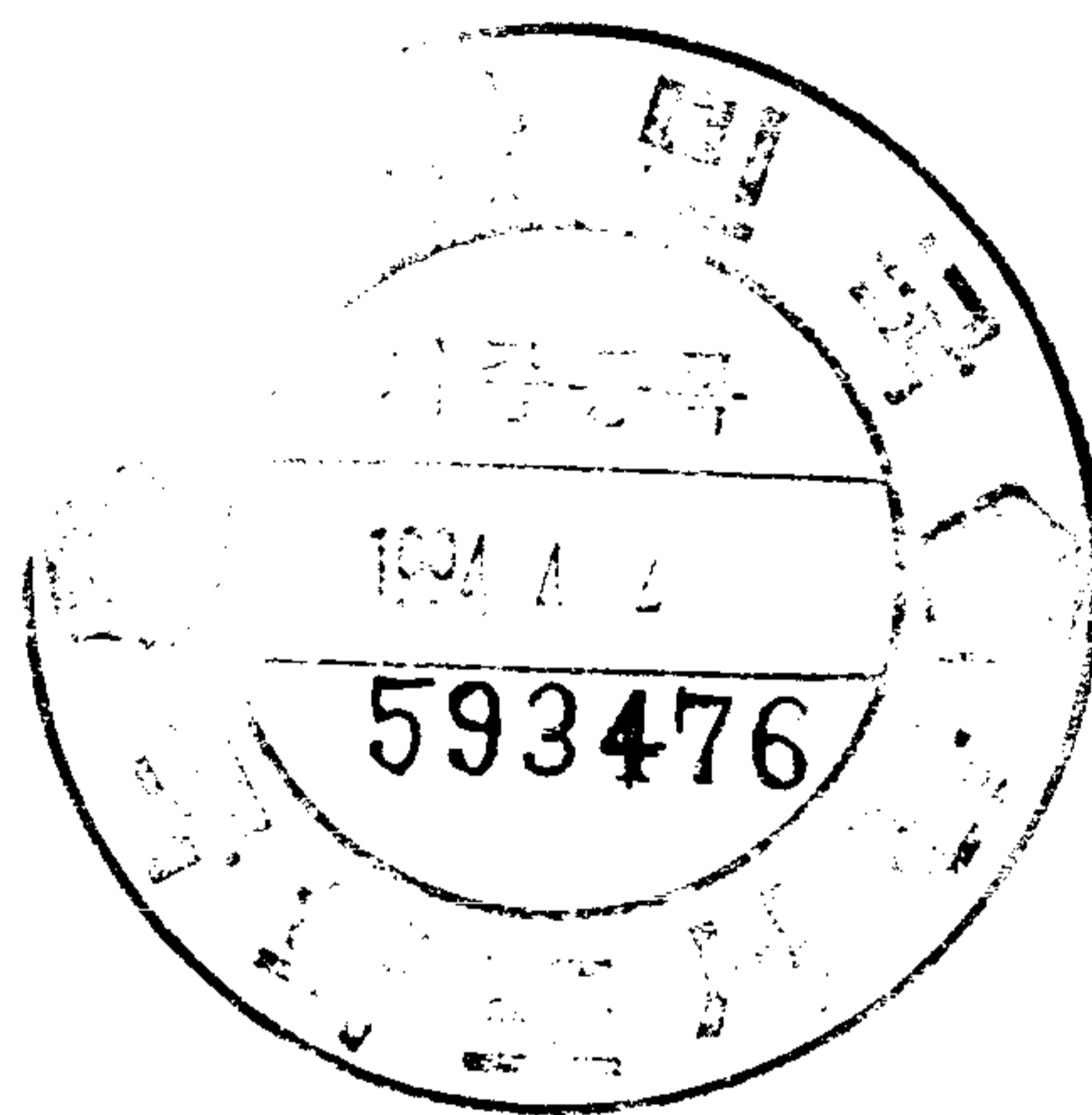
잠재성 특이산성토양의
개량에 관한 연구

**IMPROVEMENT AND MANAGEMENT OF
POTENTIAL ACID SULFATE SOIL**

1993. 11.

전북대학교부설
농업개발연구소

농림수산부
농어촌진흥공사



제 출 문

농어촌진흥공사 사장 귀하

본 보고서를 "잠재성 특이산성토양의 개량에 관한 연구"의 최종 보고서로 제출합니다.

1993. 11. 30.

연구기관: 전 북 대 학 교 부 설
농 업 개 발 연 구 소

책임연구원 : 한 강 완

연 구 원: 전 재 철

농어촌진흥공사 : 안 열

요 약 문

1. 연구과제명

잠재성 특이산성토양의 개량에 관한 연구

2. 연구기간

1991년 5월 29일 - 1993년 11월 30일 (총 30월)

3. 연구의 필요성 및 목적

최근 농지이용의 효율성 증대와 구조 개선 차원에서 실시되는 배수로 확장공사나 경지정리 사업 수행 과정에서 2 - 3 m 하부 기층의 토양 이동이 다양화되면서 환원상태의 물질이 산화되어 독성 물질이 발생함으로써 준공 후 추가 공사비 소요 및 민원이 전북 함열, 충남 논산, 전남 영산강 등지에서 발생되었다. 이러한 토양을 외국에서는 잠재성 특이산성토양 (Potential acid sulfate soil) 이라고 분류하고 있으나, 우리나라에서는 지금까지 토양 생성학적으로나 이용면에서도 농지로서의 가치가 없었기 때문에 토양 조사에서도 제외되어 왔다. 이에 대한 연구도 따라서 극히 부족한 상황이었어서 효율적인 개량법이 제시되지 않았으며, 다만 이러한 문제 토양이 발생하면 사토처리하는 공법을 사용하여 사토처리를 위한 부지 확보 및 공사비 증가가 문제점으로 대두되어왔다. 따라서 잠재성 특이산성토양으로 사토처리된 토양에서 수도를 재배함으로써 발생하는 수도 생육 피해 원인 규명과 문제 토양의 조기 발견 방법과 처리 대책 강구는 공사비 절감뿐만 아니라 파낸 토양의 최적 처리 방법을 모색함에 있어서도 이에 따른 연구가 선행되어야 할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 1) 잠재성 특이산성답 경작지

의 수도 생육 피해 원인 규명과 문제 토양의 조기발견 처리 대책 수립, 2) 잠재성 특이산성토양의 토양화학적 특성 규명 및 3) 잠재성 특이산성토양의 최적 이용 방법 강구로 공사비 절감모색을 목적으로 일련의 연구를 실시하였다.

4. 연구내용결론

잠재성 특이산성토양으로 성토된 경작지의 수도 생육 피해 원인 규명과 문제 토양의 조기 발견 및 처리 대책을 수립하고, 이 토양의 화학적 특성 규명과 잠재성 특이산성토양의 최적 처리 방법을 강구하고자 일련의 시험을 수행한 결과는 다음과 같다.

4.1 잠재성 특이산성토양에 의한 피해 및 원인 규명

1) 잠재성 특이산성토양에서의 수도 피해는 기층에서 파낸 후 공기 접촉으로 산화에 따른 산도 강하가 원인으로써, 처음에는 담수 등의 환원 조건으로 완전 산화가 이루어지지 않다가 배수, 건조 및 시일의 경과와 함께 산화가 진행되기 때문에 대체적으로 파낸 후 2 - 3년에 수도 피해가 심하게 나타나는 특징을 보인다.

2) 잠재성 특이산성토양은 파낸 후 건조 조건하에서 초기 3 주동안에 급격한 산화가 이루어지고 그 이후에는 매우 완만하게 산화가 진행되지만, 담수 조건에서의 산화 진행은 극히 완만하여 산화에 있어 수분 조건은 매우 중요한 요인이었다.

3) 잠재성 특이산성토양내의 sulfide-S의 함량은 포화 및 건조 두 조건 모두에서 시일의 경과와 함께 초기에 급격하게, 그리고 점차 완만하게 감소하는 경향을 보였지만, 감소폭은 건조 조건에서 보다는 포화 수분 조건에서 적었다.

4) 잠재성 특이산성토양내의 sulfate-S의 함량은 담수 조건에서는 계속

감소하였으나 건조 조건에서는 꾸준히 증가되는 경향이였다.

5) Fe^{2+} 과 Al^{3+} 의 함량은 대체적으로 시간의 경과와 함께 꾸준히 증가되는 경향으로 담수 조건에서의 증가가 건조조건에서 보다 컸다.

6) 산화된 잠재성 특이산성토양에 이양된 수도의 피해 증상은 이양 직후에 엽신의 선단이 갈변되기 시작하여 시간의 경과와 함께 엽신 하부로 진전되며, 점차 갈변 부위가 고사된다. 생육 피해는 주로 새로 전개되는 잎에서 시작되며, 점차 오래된 잎으로 확대되지만, 뿌리에서는 외관상 뚜렷한 피해 증상은 나타나지 않는다.

7) 잠재성 특이산성토양내의 유황이 산화되어 토양내 약 500 ppm 이하로 존재 할 경우 수도 생육에 피해를 주지 않았다.

4.2 잠재성 특이산성토양의 개량 및 효과적 처리

1) 산화된 잠재성 특이산성토양의 개량에 환수, 배수의 효과는 크게 기대할 수 없었으나, 숙답토와의 동비율 혼합구 및 숙답토 30 cm 복토구에서는 수도 생육 피해가 없어 물리적 개량법으로 이용 할 수 있다.

2) 잠재성 특이산성토양의 물리적 개량 방법에 있어 환수 효과는 기대할 수 없었으며, 배수 효과는 1일 간격 배수 처리가 효과적이므로 암거 배수 시설에 의한 방법이 추천된다. 화학적 개량법으로써 암모니아 처리는 속효적이지만 암모니아해의 유발 가능성이 있으므로 단기적 효과를 위하여 암모니아수 60 L/10a 처리가 추천되며, 석회 시용은 지효적이지만 300 - 900 kg/10a 처리로 개량 효과를 얻을 수 있다.

3) 잠재성 특이산성토양을 파낸 후 효과적인 처리 방안으로는 숙답토로 30 cm 이상 복토한 구 및 숙답토 50% 이상 혼합토양구에서 수도 피해가 없었으므로, 숙답에 성토하는 경우 30 cm 이상의 복토가 요구된다.

4.3 조기판정법 개발

1) 잠재성 특이산성토양의 현장에서의 육안에 의한 판정 기준으로써, 하해혼성층적토와 내륙의 하성층적토가 접하는 유기물이 많고, 점토 함량이 높으며, 배수가 불량한 지역으로 지표하 2 - 4 m의 기층에서 출현되며, 토색은 회색 및 암회색을 띄고, 담황색의 Jarosite 반문을 보이는 특색을 기준으로 한다.

2) 현장에서 육안 판정 후, 35% 과산화 수소로 처리하여 잠재성 특이산성토양에서 볼수 있는 격렬한 반응 여부를 확인하고, 산화 전후의 pH 차이로 부터 가능성을 판단한다.

3) Sulfide-S 검출 키트 개발을 위하여 토양으로 부터 Sulfide-S를 유화수소 가스로 추출하는 효과적인 조건을 확립하고, 추출된 유화수소 가스를 포집하는 포집제의 양과 시간을 확정하였다.

4) 포집된 Sulfide-S는 methylene blue법으로 발색시키고, 여기에 이용되는 발색제와 발색보조제의 양을 조절하여 측정 범위를 확대하였다.

5) 이상의 조건에 의하여 개발된 Sulfide-S 검출 키트를 이용하여 현지 실증실험을 실시한 결과 포장에서 2000 ppm 정도까지를 표준비색표로 비교하여 측정할 수 있었다.

5. 연구결과 실용화방안

현재 진행 중이거나 차후 계획되어 있는 농경지 정리 지구, 배수로 확장 공사 지역 등의 공사 현장 요원을 위한 개조식 잠재성 특이산성토양 육안 판정 기준 및 적용 방법을 작성하여 현장에서 이용토록 함. 즉시판정용 간이 키트 제작 및 현장 사용 지침서를 작성하여 실무 요원이 이용 할 수 있도록 함. 현재 잠재성 특이산성토양을 파낸 후 숙답에 성토 한 후 문제가 발생되고 있는 지역의 경우는

현장의 조건을 파악하여 본 연구 결과를 적용함으로써 문제를 해결토록 함.

6. 건의사항

실용화를 위한 즉시판정용 간이 키트의 다량 제작 및 현장 사용 지침서, 육안 판정 기준 등의 유인물을 제작하여 현장에 배포하고, 본 연구진으로 하여금 실무 요원을 교육시킬 수 있도록 건의 함.

S U M M A R Y

1. Title

Improvement and management of potential acid sulfate soil

2. Periods of Study

May 29, 1991 - November 30, 1993 (Total 30 months)

3. Object and Necessity of the Study

Potential acid sulfate soil is not a low productivity soil in rice culture as far as the soil is located at deep soil layers or is not completely oxidized. After exposing to soil surface the soil starts to receive an oxidation process, resulting in development of strong soil-acidity. Under the acidic soil condition growth of rice is severely impaired. This situation has occurred in various rice growing areas where the potential acid sulfate soil was spread over common paddy fields. To investigate problems occurred by the potential acid sulfate soil and to find ways of improvement and management of the soil, the study was initiated to 1) determine soil characteristics of the potential acid sulfate soil areas, 2) investigate the oxidation processes, 3) to find the suitable improvement ways of the soil for rice cultivation, and 4) to develop on-the-spot quick-test method for the potential acid sulfate soil.

4. Scope of the Study and Conclusions

Scope of this study was as follows:

- 1) Investigation of oxidation processes in potential acid sulfate soil
- 2) Development of on-the-spot determination method on the soil
- 3) Determination of effective treatments of the soil after exposing to the soil surface

Based on the results obtained from this study, we reached the following conclusions:

- 1) Injury of rice grown in paddy fields spread with potential acid sulfate soil was due to strong soil-acidity developed by the soil after oxidation.
- 2) To avoid incidence of rice injury in the potential acid sulfate soil, burial of the soil deeper than 30 cm is recommended.
- 3) To judge the soil, criteria of the visual estimate and a simplified on-the-spot test kit are recommended to use.

5. Results of the Study and Suggestion for Application

5.1 Injury of rice in potential acid sulfate soil and the cause

Injury of rice plants grown in paddy field covered by potential acid sulfate soil was due to strong soil-acidity occurred for 2 to 3 years after spreading the soil over common rice paddy. The oxidation proceeded slowly when the soil was in submerged condition. However, the soil was oxidized quickly with 3 weeks and then slowed down in dried condition. Content of

sulfide sulfur in potential acid sulfate soil sharply decreased after exposing to the air. The decrease was greater in dried than in submerged condition. On the other hand, the content of sulfate sulfur decreased continuously in submerged condition, but increased in dried condition. Contents of Fe^{2+} and Al^{3+} were generally increased with time. The increase was greater in submerged than in dried condition. In acid sulfate soil injury symptom of rice found in the tip of younger leaf, and then the damage was developed toward base of the leaf and the old leaves. There was no rice injury when grown in less than about 500 ppm of sulfate sulfur.

5.2 Reclamation and effective treatment of potential acid sulfate soil

In reclamation of oxidized potential acid sulfate soil practices of water exchange and drainage were not effective, but mixing of the soil with common paddy soil with same ratio and covering with common paddy soil in 30 cm deep were effective for rice cultivation without growth injury. Daily drainage practice was the most effective for physical reclamation of potential acid sulfate soil. Treatments of lime and ammonia water were alternative reclamation practices. Liming was slow acting and required at the rates of 300 to 900 kg/10a. However, 60 l/10a of ammonia water was used to obtain fast effect within a short period of time. Effective treatments of the soil after moving out from the deeper layer were burial deeper than 30 cm under common paddy soil and/or mixing with common paddy soil with the same rate.

5.3 Development of quick-test method

Visual estimate is based on the following points: 1) found in the place where sea water was met with fresh water, 2) generally high organic matter and clay contents, 3) occurs from 2 - 4 m deep, 4) grey to dark grey, and 5) have yellowish jarosite spots. To do on-the-spot determination, vigorous response of potential acid sulfate soil with 35% H_2O_2 will be first confirmed and then pH difference between before and after oxidation will be measured. Detection kit for sulfide sulfur was made on the bases of methylene blue method. Up to 2000 ppm of sulfide sulfur was determined on-the-spot using the kit.

6. Recommendation

The most useful way of on-the-spot determination of potential acid sulfate soil is visual estimate first and test with 35% H_2O_2 followed by determination of sulfide-sulfur. To be practical criteria for visual estimate should be made and spread to the persons in charge. The simplified on-the-spot analyzing kit should be duplicated several sets and released with leaflet of the using method.

목 차

제 1 장 서 언	12
제 2 장 연구 개요	15
2.1 잠재성 특이산성토양의 정의	15
2.2 잠재성 특이산성토양의 특성과 분포	15
2.3 년차별 연구 추진 내용 및 방향	17
제 3 장 잠재성 특이산성토양에 의한 피해 및 원인 규명	20
3.1 토양 특성에 따른 육안 판정 기준	20
3.2 잠재성 특이산성토양의 산화과정	21
3.2.1 산화 추이	21
3.2.2 산화과정 중 성분의 변화	23
3.2.3 요인별 토양 특성 변화	30
3.3 수도 생육에 미치는 영향	37
3.3.1 수도 피해 증상	37
3.3.2 잠재성 특이산성토양 혼입 비율에 따른 산화기간별 토양 특성 변화	38
3.3.3 유황함량과 수도 생장	43
제 4 장 잠재성 특이산성토양 개량 및 효과적 이용	45
4.1 산화된 잠재성 특이산성토양의 개량	45
4.1.1. 환수	46
4.1.2. 배수	49
4.1.3. 숙답토양과의 혼용	51
4.1.4. 매몰	57
4.2 산화된 잠재성 특이산성토양에 대한 개량제 시용 효과	63
4.2.1. 개량제 시용	63
4.2.2. Ammonia 처리	65
1. 유황의 용출	65
2. 숙답토양과의 혼용에 대한 Ammonia 처리 효과	67
3. 매몰구에 대한 Ammonia 처리 효과	74
4.2.3 모델 실험에서의 개량에 따른 토양 특성 변화	79

1. 암모니아수 처리	79
2. 석회 처리	85
4.3 잠재성 특이산성토양에 대한 개량제 포장 적용 효과	92
4.3.1 개량방법 효과 비교	92
4.3.2 잠재성 특이산성토양에 대한 선발개량제 적용 효과	103
4.4 파넬 잠재성 특이산성토양의 효과적 처리	108
제 5 장 조기판정법 개발	114
5.1 잠재성 특이산성토양의 분석법 확립	114
5.1.1 과산화수소에 의한 방법	115
1. 가열에 의한 효과	115
2. 산화제의 농도 및 가열시간에 따른 토양 pH의 변화	115
3. Catalase를 이용한 과잉 과산화수소수의 제거	117
5.1.2 과산화수소수에 의한 산화 후 알카리 적정법	117
5.1.3 염산 및 초산연에 의한 방법	117
5.1.4 교질성 BaSO ₄ 에 의한 정성검사	118
5.1.5 KCl 침출액의 산도 변화 측정법	118
5.1.6 Methylene blue법에 의한 Sulfide sulfur의 측정	119
1. 원리	119
2. 시약 및 실험기구	119
3. 실험방법	120
5.2 즉시판정법 최적조건 확립실험	120
5.2.1 추출단계	121
5.2.2 포집단계	123
5.2.3 발색단계	124
5.3 즉시판정법 키트 개발 및 실증실험	126
5.3.1 토양 중 Sulfide sulfur 검출 키트	126
5.3.2 토양 중 Sulfide sulfur 검출 키트 실증시험	130
참고문헌	132

제 1 장 서 언

최근에 농지의 변형은 농지 이용의 효율성 증대, 영농의 기계화, 관배수 시설의 개선 등을 목적으로 하는 배수로 확장 공사 또는 경지 정리를 위한 공사 때문에 빈번히 이루어지고 있다. 이러한 공사들은 토양 상태를 근본적으로 반전시키는 굴착 공사가 필연적으로 수반되어 지금까지의 경작토 또는 토양 조사 기준 심토 보다도 훨씬 심토에 있는 토양을 표면으로 이동시키는 결과를 가져온다. 뿐만 아니라 공사 과정 중에는 파낸 토양의 사토 처리 방법으로서 기존의 논 경작지 표면에 살포 하는 등 논 토양의 교란이 심하게 일어나고 있다. 이러한 과정 중에 지금까지 문제시 되지 않았던 잠재성 특이산성토양이 출현하게 되고 이로 인한 수도 재배 피해의 사례가 빈번하게 일어나게 되었다.

잠재성 특이산성토양은 하해혼성층적토를 모재로 하여 주로 지표하 심층에서 발견되어 왔기 때문에 파내기 이전에는 영농과 관련된 현실적인 측면에서 볼 때 크게 중요시 되지 않는다. 그러나 1980년도에 들어서 부터 토목 공사인 경지 정리, 배수 개선, 굴착및 확장, 전신주 매설, 지하수 개발, 골프장 건설 등의 현장에서 기층의 환원 토층이 표면으로 이행된 후 산화와 함께 토양 산도가 강산성을 나타내게 되고 이러한 조건하에서 작물 재배가 사실상 불가능하게 됨에 따라 많은 문제가 야기케 되었다. 더우기 우리나라에서의 특이산성토양에 대한 연구는 김해 지역의 것을 중심으로 이루어져 왔고, 또한 개량 방법의 연구도 이를 대상으로 이루어져 왔기 때문에 이로 부터 얻어진 결과를 잠재성 특이산성토양의 개량에 직접 적용하기에는 어려움이 많다.

우리나라의 답토양을 유형별로 구분하여 보면 보통답, 미숙답, 습답, 염해답 및 특이산성답으로 구분 할 수 있으며, 이 중 저위생산답으로 분류된 특이산성답은 경남 김해 지역에 약 3천 ha가 분포되어 있는데, 대표적인 특이산성토양

으로 알려진 김해통 표토1의 pH는 3.9로서 심한 산성을 나타내고 있다. 그러나 이러한 특이산성토양과는 달리 과거 10여년에 걸쳐 우리나라 여러 지역에서 배수로 확장 공사나 경지 정리를 위한 공사 과정에서 지표하 2 - 3 m의 기층토를 파낸 뒤 이들 파낸 토양을 기존의 답토양에 성토하고, 이 성토된 답토양에서 수도를 재배하여 심한 피해가 발생된 지역에서의 토양 조건이 또한 전형적인 특이산성토양 특성을 보여 주고 있음이 주목되었다. 실례로서 1982년 충남 논산의 화정 단지, 1984년 전남 무안 일로 영화 단지, 1985년 및 1986년에 걸쳐서 경남 사천과 1986년 및 1987년의 경남 밀양 지역, 그리고 1989년에는 전북 익산군 성당면과 함열읍 일대에서 극심한 수도 재배 피해를 보여 주었고, 최근인 1990년에는 전남 나주의 동강 지역에서도 똑같은 현상이 발견되었다.

잠재성 특이산성토양에 의한 문제의 야기는 이 토양을 파낸 후 사토 처리방안의 일환으로 기존 보통 답토양의 표면에 산포하는데 있다. 성토 당해 년도에 있어서는 아직 산화가 이루어지지 않은 상태이므로 토양의 산도가 강산성을 나타내지 않아 토양 산도에 의한 수도 재배상 큰 문제가 발생되지 않을 수도 있으나, 시간의 경과와 함께 산화가 진행된다면 이에 따라 토양은 수도 생육이 불가능한 수준까지 된다. 지표하에서 파낸 잠재성 특이산성 토양은 하해혼성층적토로서 표토로 이행되면 공기 중에 노출 됨으로써 산화 등의 작용을 받게 되고, 이로 인하여 수도 생육이 크게 저해 되는 문제 토양 환경이 나타나게 된다. 이는 기존의 답토양의 표면에 살포된 잠재성 특이산성토 중에 함유 되어 있는 황화철이 산화되어 토양의 pH를 급격히 하강시켜 토양 산성화를 가속시키며, 더불어 토양 산성화에 따라 토양내 무기성분들의 용해도에 영향을 미침으로써 작물 생육 과정 중 영양 결핍이나 독성 등의 불균형을 초래하게 된다. 따라서 이러한 토양조건은 본질적인 산성토로서의 저위생산답과는 달리 인위적이며 잠재적이기 때문에 현실

적인 피해 등 많은 문제점이 부각되기 전까지는 이에 대한 연구 및 대책 강구가 전무한 실정이었다. 이러한 상황에서 잠재성 특이산성토양을 파내어 성토 처리 직전에 토양 특성을 정확하고 빠르게 판단하여야 함이 필요함은 물론이려니와, 기존 답토양의 전면에 산포된 조건하에서는 적절한 개량 방법을 적용하여 수도 재배를 가능케 하도록 함이 필요하다고 하겠다.

이러한 상황에 입각하여 본 연구에서는 1) 잠재성 특이산성토양의 토양화학적 특성 규명, 2) 잠재성 특이산성토양 답에서의 수도 생육 피해 원인 규명과 개량에 의한 수량 증대 모색, 3) 잠재성 특이산성토양의 최적 이용 방법 강구로 공사비 절감 모색을 목적으로 하였다.

제 2 장 연구 개요

2.1 잠재성 특이산성토양의 정의

현재 미국의 토양 분류 체계 (USDA, 1975)에 따르면 특이산성토양의 분류 기준으로 두가지 특징이 제시되어 있다. 즉 1) sulfidic 물질의 특징으로 0.75% 이상의 유황을 유화물의 형태로 함유하고 CaCO_3 환산량으로서 탄산염이 총유황 함량의 3배 이하를 갖는 것으로, 산화되면 sulfuric 층을 생성하며, 2) sulfuric 층의 특징으로 무기 또는 유기 토양 물질로 이루어져 있고, pH 3.5 이하이며, jarosite 반문을 갖는 층위이다. 이상의 두 특징 중 전자는 잠재성 특이산성토양의 분류 기준으로, 후자는 특이산성토양의 분류 기준으로 삼고 있다.

우리나라의 특이산성토양은 김해 지역에 약 3000ha가 분포 되어 있다. 그러나 토양 분류학상 (미국의 토양 분류 체계에 따른) 우리나라의 잠재성 특이산성토양은 아직 보고된 바가 없으며, 다만 정 등(1989)이 잠재성 특이산성 토양의 분류에 있어 soil taxonomy와 같은 토양 생성학적 분류안 보다는 농업적 이용을 위한 실용적 분류가 우리나라 조건에 더욱 중요하다고 강조한 바 있다. 따라서 본 연구에서의 잠재성 특이산성토양은 토양 분류상의 학문적 체계보다는 현재 문제시되고 있는 문제점에 보다 많은 의미를 부여하였다. 즉 "잠재성"은 대상 토양이 차후에 토양 산도의 하강에 의하여 작물 생육에 문제를 일으킬 수 있는 위험성을 내포하고 있다는 단어상의 의미로써, 또 "특이산성토"는 우리나라의 저위생산답 중 하나인 특이산성답과 같이 극히 낮은 산도 때문에 수도 생육에 피해를 주고 있는 토양의 의미로 사용하였다.

2.2 잠재성 특이산성토양의 특성과 분포

우리나라에서 사용하고 있는 토양 조사 방법은 1 m 내의 토층에 대한 토

양 특성을 농경적 목적에 활용하기 위하여 주로 조사되었기 때문에 2 - 4 m 심층의 토양에 대하여서는 토양 생성학적으로나 토지 이용적 측면에서 크게 관심을 갖지 아니 하였다. 그러나 농경지 활용에 따른 토목 공사, 경지 정리 등의 과정 중에 지표 2 m 이하의 심층부에서 굴착되어 표층으로 이동된 토양의 처리 및 이용에 따라서 많은 문제점이 야기 되어 왔다.

잠재성 특이산성토양에 의한 수도 재배 피해가 처음 발생한 사례는 1982년 가을 경지 정리를 착공한 충남 논산군 논산 화정 지구로 중앙 배수로 설치 공사시 배수로의 폭과 깊이를 위하여 약 2 - 3 m의 심층토를 굴착한 뒤 인접 답 경작지에 성토를 하였던 바, 이 답 경작지에서 익년도에 수도 재배의 생육 피해를 받았던 것이 첫 사례이었다. 이와 비슷한 예는 년차적으로 발생되어 1984년 전남 무안 이로 감돈 및 영화 2단지, 1985년 경남 사천 곤양, 1986년 경남 밀양 하남, 그리고 최근에는 1989년 전북 익산 함열 및 성당, 1990년 전남 나주 동강 등지에서 발생되었다. 이외에도 우리나라 서, 남 및 동해안의 여러 지역에서 정도의 차이는 있으나 수도의 생장 피해가 발생한 곳으로는 경기 평택 포승, 전남 영암 시종, 경남 고성, 경북 울진 평해, 경남 양산 등지이었다.

이상의 굴착 토양에 의한 수도 피해 지역의 공통된 지형적 특징은 대부분 이들이 하해혼성평탄지, 천해지, 호수변 등이었는데, 이러한 지역에서는 간척지 심층부의 유화물 토층이 표층으로 이동된 곳에서 공기와 접촉됨으로서 산화 후에 발생되거나, 유기물 함량이 높은 배수로 바닥이나 이탄토 집적층에서 발생 되기도 하였다. 특히 논산 화정 지구나 익산 함열 지구 등은 하해혼성층적층을 모재로 한 미성숙 토양인데 반하여, 전남 나주 동강의 영산강 3단계 영화 지구 등은 하해혼성층적층 중에서도 하구에서 멀리 떨어진 내륙지에서 발생되고 있으며, 성숙도가 큰 것이 특징이었다.

잠재성 특이산성토양이 나타내는 토색은 전체적으로 회색 내지 암회색의 환원 상태의 퇴적된 상태이며, 담황색의 Jarosite 반문을 나타낸다. 토양의 입도 조성은 일반적으로 점토와 미사의 함량이 높은 미사식양질계에 속하고 있으며, 때로 미사사양질계 토성을 나타내기도 한다. 토양 산도는 굴착 직후 환원 상태에서는 pH 6.5 - 7.5 범위를 나타내고, 유기물 함량은 3 - 8% 범위로 일반 속담 토양 보다 높고 많은 경우 약 11%를 보이기도 한다. 총유황 함량은 전체 발생 지구에서 0.68 - 0.92% 범위를 보였고, 가용성 유황은 0.6 - 0.7% 범위로 일반 속담에 비하면 약 5배 이상의 높은 수준을 나타낸다.

2.3 년차별 연구 추진 내용 및 방향

본 연구는 연구 목적 설정에 따른 결과를 얻기 위하여 세 방향으로 연구 추진 전략을 강구하였다 (그림 1). 즉 첫번째 방향으로써 잠재성 특이산성토양이 야기하는 문제점의 파악이다. 이를 위하여 잠재성 특이산성토양 발생 분포 조사를 함으로서 지형상의 특징, 토양의 외부 형태적 특징 등을 파악 육안 판정 기준을 제시코자 하였다. 한편 잠재성 특이산성토양이 굴착된 후 산화되는 과정을 조사하여 산화에 미치는 요인 및 이에 따른 수도 생육에 미치는 영향을 밝히고자 하였다.

두번째의 연구 방향으로는 굴착된 잠재성 특이산성토양의 개량법 적용이다. 이 경우에는 두가지 방향을 따로 설정하여, 잠재성 특이산성토양이 완전히 산화된 경우에 물리, 화학적으로 개량할 수 있는 방안을 강구하고 다른 한편으로는 굴착된 잠재성 특이산성토양을 효과적으로 이용할 수 있는 방안의 모색이다. 개량법의 확립을 위하여 기초적으로 포트에서 그 효과를 확인하고 이들 결과를 바탕으로 포장에 적용하여 복합적인 요인이 관여되는 조건에서의 실증실험을 거치

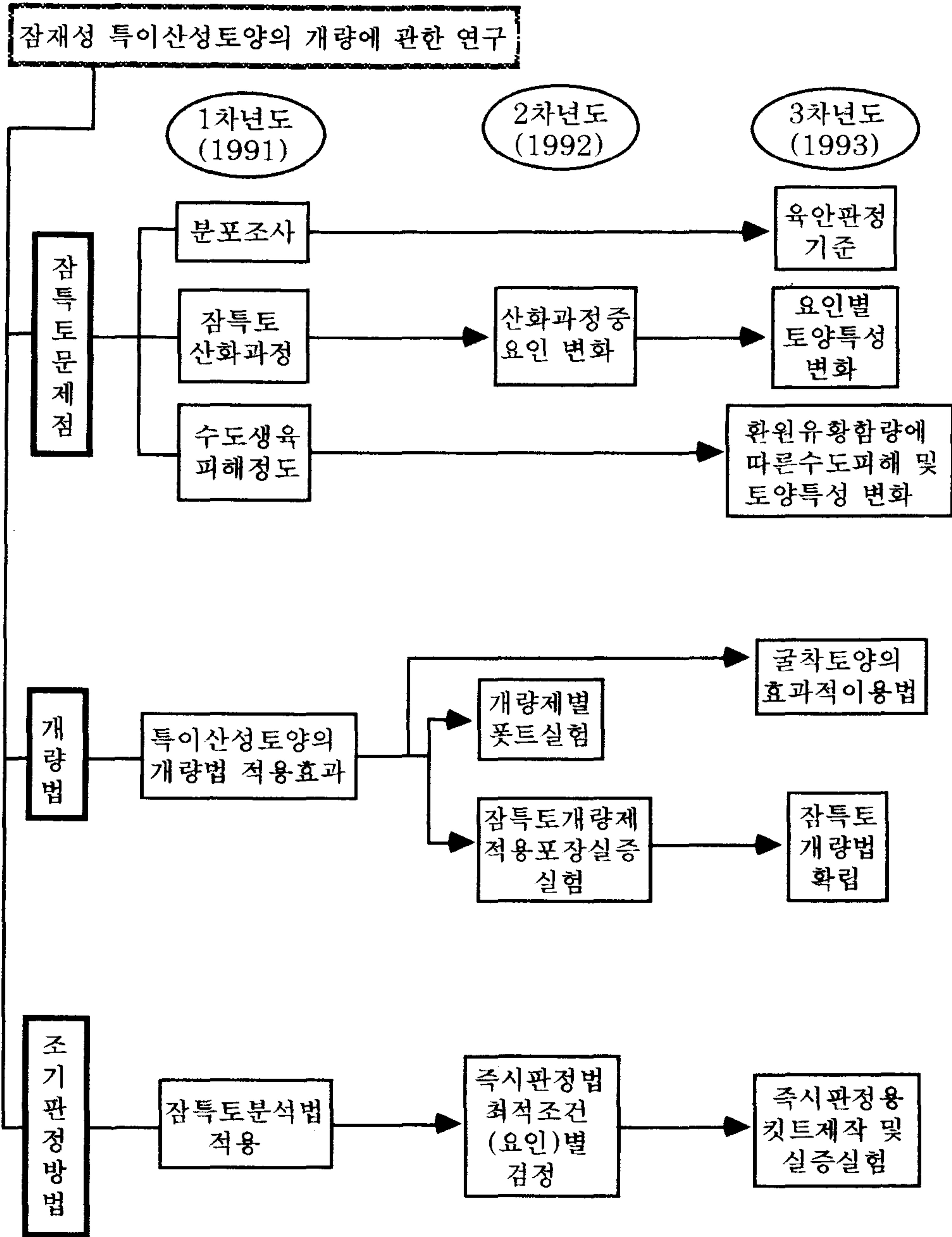


그림 1. 잠재성 특이산성토양의 개량에 관한 연구 추진도

고자 하였다.

세번째의 방향에서는 공사 현장에서의 잠재성 특이산성토양을 육안 판정과 아울러 조기에 찾아 낼 수 있는 방법의 개발이다. 이것은 공사비 절감의 가장 효과적인 접근 방법으로 즉시판정에 필요한 최적 분석 조건을 검토하고 이에 따른 즉시판정용 간이 키트를 개발하여 현장에 적용토록 하였다. 이와 함께 개발된 키트를 이용 현장 실증 실험을 거쳐 그 신뢰도를 높히도록 하였다.

제 3 장 잠재성 특이산성토양에 의한 피해 및 원인 규명

3.1 토양 특성에 따른 육안 판정 기준

최근에 들어와서 주목의 대상이 되고 있는 잠재성 특이산성토양은 앞에서도 언급된 바와 같이 토양 분류학적인 학문적 관심에서 그 중요성이 인식되고 있기 보다는 현실적이고 실용적인 차원에서 그에 대한 연구가 시급한 실정이다. 공사 현장에서의 이른바 잠재성 특이산성토양을 조기에 확인 판정하는 것은 추후에 발생할지도 모르는 작물 재배상의 문제점을 미리 해소시킨다는 점에서 매우 의의가 있다.

본 연구에서는 현장 조기 판정을 위하여 두 방향으로 연구의 방향을 설정하였다. 즉 잠재성 특이산성토양이 외형상 여타의 토양과의 다른 특징을 찾아내어 달관에 의한 현장 판정의 기준을 설정하고자 하였고, 또 다른 한편으로서는 간이 화학적 분석법을 개발하여 현장에서 보다 정확하고 손 쉽게 판정할 수 있는 방법을 찾고자 하였다. 후자의 연구 내용 및 방법에 대하여서는 제 5 장에서 기술하겠거니와 본 절에서는 육안 판정에 대한 내용을 설명한다.

현장 육안 판정의 자료는 1982년 잠재성 특이산성토양에 의한 문제가 처음 제기 되었던 충남 논산군 화정 지구의 현장을 비롯하여 최근에 이르기 까지 잠재성 특이산성토양이 나타났던 지역의 토양을 대상으로 굴착지역의 지형적 특색, 굴착 심도, 토색, 토질, 외형상 특징 등을 검토 하였다. 이에 따른 잠재성 특이산성토양의 육안 판정 기준은 다음과 같다.

- 1) 잠재성 특이산성토양이 발견되는 공통된 지형적 특징은 대부분 하해혼성평탄지, 천해지, 호수변 등이다. 때로 유기물 함량이 높은 배수로 바닥이나 이탄토 집적층에서 발생.
- 2) 대체적으로 이전에 해수가 내륙지와 맞닿았던 지역으로 그 후에 간척되

어 간척지 심층부에 유화물이 집적된 지역.

- 3) 대체적으로 굴착되는 위치는 2 - 4 m의 심층부에서 나타남.
- 4) 유기물층이 집적되어 있어 토색은 전체적으로 회색 내지 암회색을 보이고 있음.
- 5) 담황색의 Jarosite 반문이 나타나고 있음.
- 6) 토성은 대부분이 식양토 - 미사질 식양토를 보임.

3.2 잠재성 특이산성토양의 산화과정

3.2.1 산화 추이

잠재성 특이산성토양의 산화는 토양내에 존재하고 있는 환원 형태의 유황이 산화를 받게 되어 토양의 산도가 강해진다. 대부분의 잠재성 특이산성토양은 지표하 심층에서 표층으로 이동된 직후에는 토양 산도가 중성이나 약알칼리성을 띠고 있다. 이들 토양이 산화되는 정도나 진행에는 부여되는 여러가지 조건에 따라 달라지는데, 이것은 토양의 산화에 미치는 제 요인들이 환경의 영향을 받기 때문이다. 따라서 잠재성 특이산성토양이 언제 굴착되어 사토 또는 성토되었느냐에 따라, 또 굴착 후 어떠한 수분 조건 등이 부여 되었느냐에 따라 산화되는 정도는 다르다.

잠재성 특이산성토양의 산화에 가장 큰 영향을 미치는 것은 공기 중의 산소와의 접촉 정도이다. 따라서 토양이 공기와 접촉면이 많거나 시간이 길수록 산화는 커진다. 공기와의 접촉이 방해 받는 조건 즉 담수가 계속되거나 강우 등에 의한 함수율이 증대되거나 하는 조건 하에서는 산화의 속도가 지연 되게 된다. 일반적으로 굴착한 토양을 지금까지 처리하여 온 방식으로 숙답 표면에 성토를 하였을 경우 이러한 지역에서의 수도 생육 피해가 당해 년도에 나타나지 않다가, 그

다음 해에 발생하는 이유도 이러한 산화 속도와 밀접한 관계가 있다.

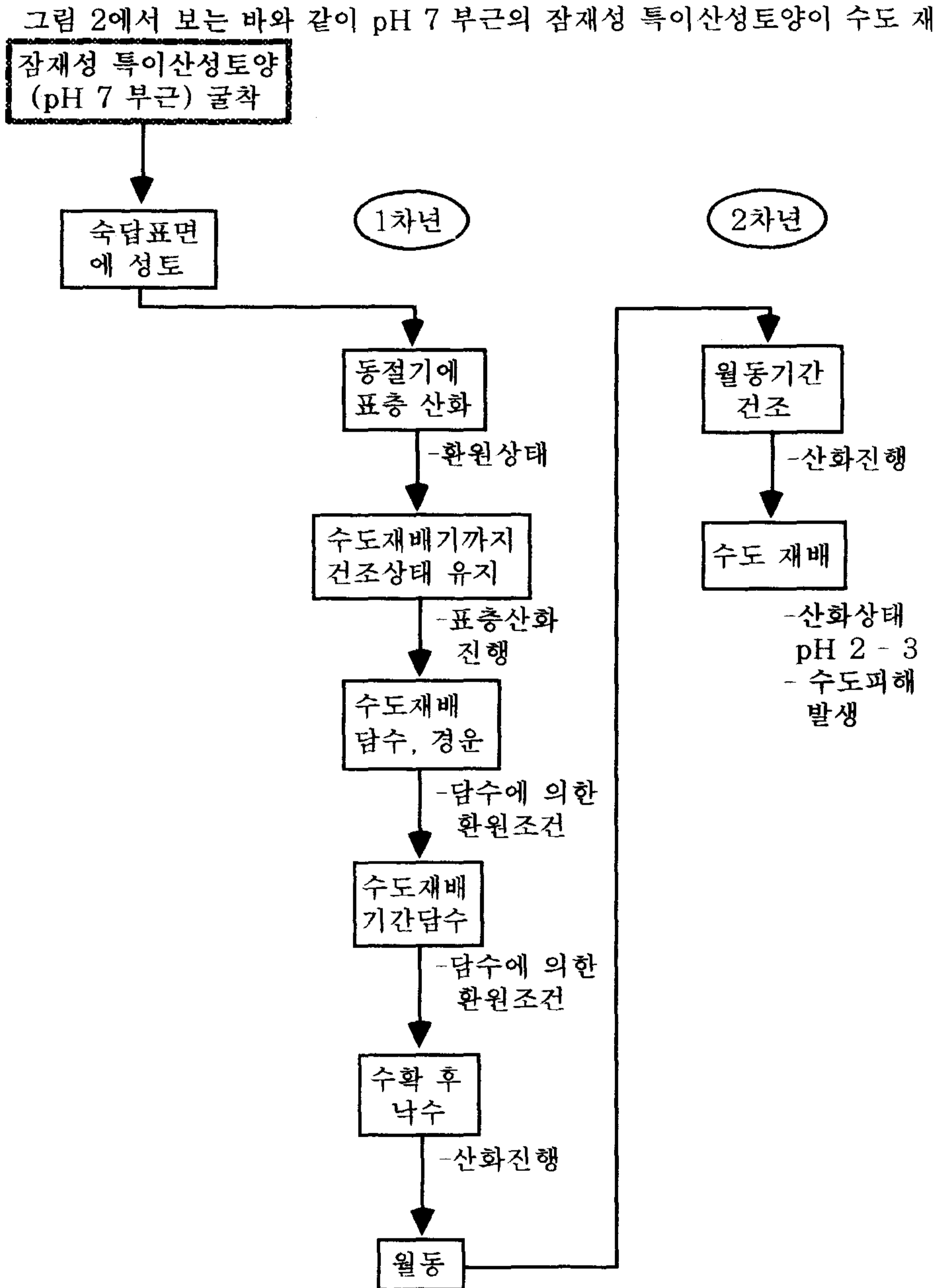


그림 2. 잠재성 특이산성토양의 굴착 후 표층 이행 후 수도 피해 발생 추이

배가 완료된 가을 - 겨울철에 굴착되어 일반 논외 표층에 성토되면, 겨울을 거치는 동안 무담수 하에서는 토양의 표층부에서 산화가 일어나게 된다. 그러나 겨울 동안에 강우나 강설에 의하여 토양의 함수율이 증가되면 이에 따라 산화 속도는 지연케 된다. 한편 수도 재배기에 들어서면 논은 담수와 함께 경운 정지 작업에 들어가는데, 담수에 의하여 토양은 산화가 지연될 뿐만 아니라 경운에 의하여 표층부의 산화된 토양과 하층부 환원상태의 토양의 반전으로 토양의 산화 조건은 약화되게 된다. 따라서 이러한 조건에서의 성토 후 1년차 수도 재배에서의 생육은 크게 저해를 받지 않는다. 수도 재배가 끝난 후 논 토양은 일반적으로 낙수를 하여 논을 말리게 되는데 이러한 상태로 겨울을 지나면서 토양은 또한 급격한 산화를 받게 되며 이로 인하여 성토 후 2차년도에는 전년에 비하여 더 큰 산화 상태로 유지됨으로 수도 재배에 따른 생육 피해는 더욱 심각한 상황에 처하게 된다.

3.2.2 산화과정 중 성분의 변화

잠재성 특이산성토양이 굴착되어 지표로 노출될 때 토양의 표층은 바로 공기와 접촉하게 되며, 이때 부터 토양은 산화를 받게 된다. 산화 정도는 표층에서 부터 점차 심층부로 진행되어 간다. 그러나 이러한 산화의 진행은 토양에게 주어지는 여러가지 환경 조건에 따라 달라지는데, 그 중 특히 담 토양으로서의 이용을 고려 할 때 수분 조건이 가장 큰 요인으로 생각된다. 따라서 산화에 미치는 담수 조건의 영향과, 각 조건하에서의 층위별 산화 차이를 조사하였다.

토양 표층에서의 산화에 수반되는 산화 상태의 유황 함량은 시일의 경과와 함께 두 수분 조건하에서 정반대의 경향을 나타내었다 (그림 3). 즉 담수 상태에서는 담수 후 15일에 약17%의 산화상태의 유황함량이 감소 되어 약 1250 ppm 수준으로 떨어졌고, 계속해서 시일의 경과와 함께 급격하게 감소되었다. 이러한 감소의 결과 담수후 60일에는 약 300 ppm 수준으로 까지 하강되었다. 그

러나 무담수 조건하에서는 오히려 산화 상태의 유황 함량이 꾸준히 증가되는 경향을 나타내었다. 따라서 60일 후에는 약 570 ppm의 산화상태의 유황 함량이 증가 되었다. 이러한 반대되는 경향은 토양 중에서의 유황의 동태를 나타내어 주는 것으로 산화상태의 유황과 환원상태의 유황과의 관계를 보여주고 있다.

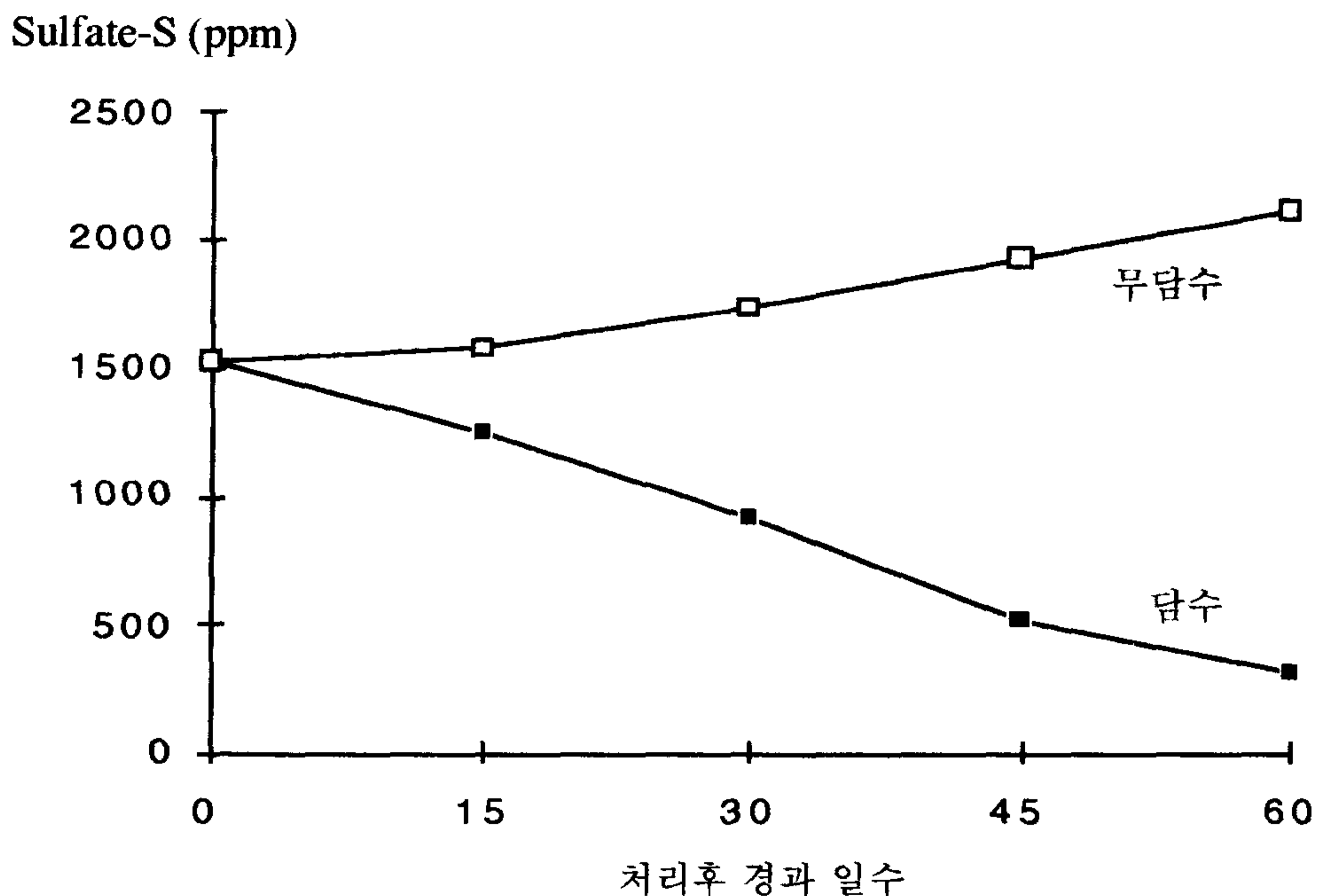


그림 3. 담수 조건에 따른 성토 표층에서의 산화 상태 유황의 변화

한편 성토층의 심층부에서의 산화상태 유황의 동태를 보면 표층부에서의 변화 경향과 유사하게 나타났다 (그림 4). 그러나 그 산화의 폭은 두 조건하에서 서로 다르게 나타났는데 담수 조건하에서의 감소가 담수후 60일에 약 200 ppm 정도로 표층부에서 보다 더 감소되었으나, 무담수 조건하에서는 표층보다는 완만하게 증가되는 경향을 보였다. 그 결과 60일 후의 산화상태 유황의 함량은 약 1800 ppm 까지 도달하여 약 300 ppm 정도가 증가되어, 약 570 ppm이 증가된 표층부의 경우보다 완만함을 나타내었다. 이와같이 산화상태 유황의 동태는

성토 층위에 따라서는 큰 변화가 없지만, 담수 조건 여부가 크게 영향을 미치는 것으로 부터 잠재성 특이산성토양의 산화 정도에 수분의 존재 여부가 중요한 요인임을 보여 주었다.

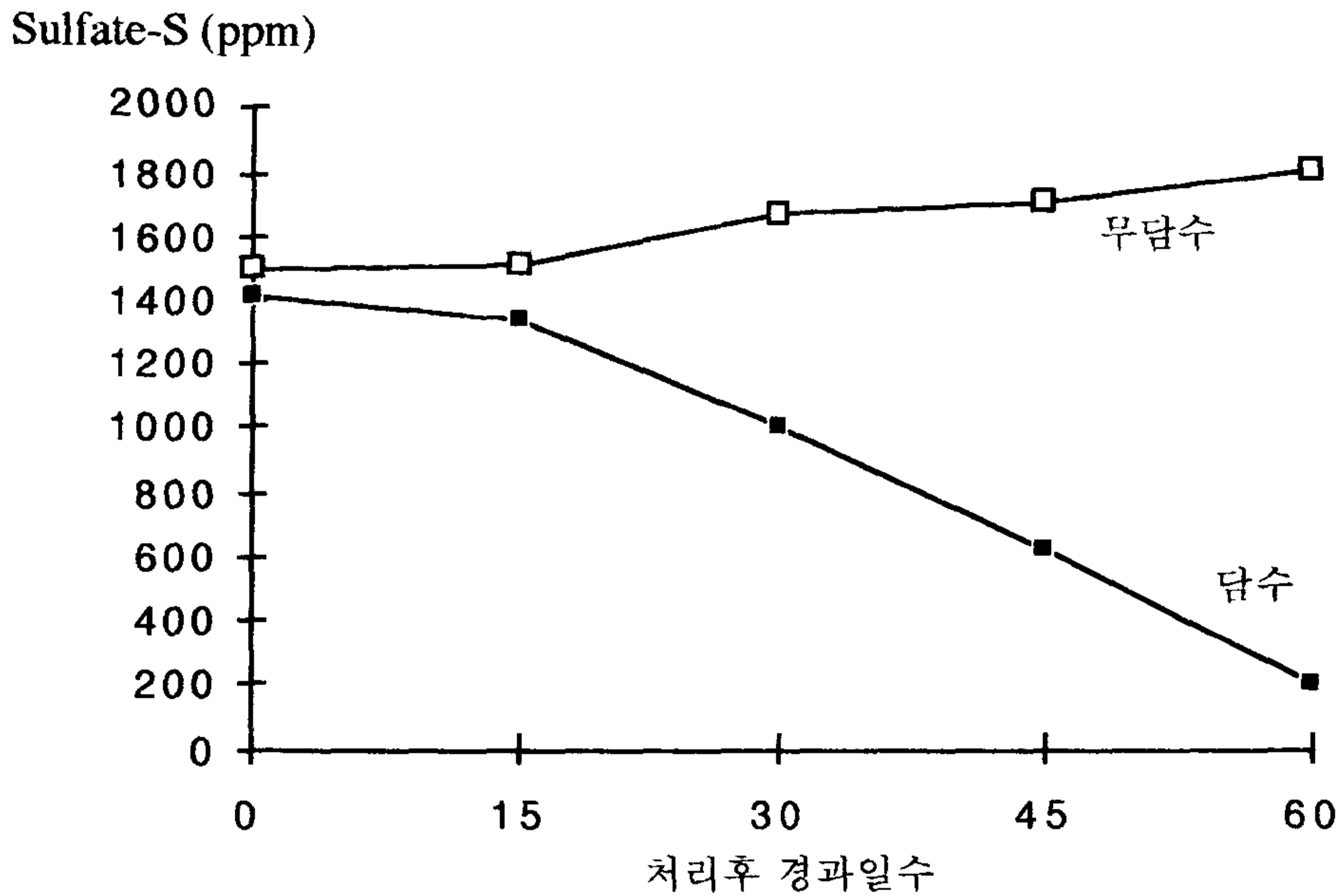


그림 4. 담수 조건에 따른 성토 심층에서의 산화상태 유향의 변화

토양 중에 존재하는 유향은 조건에 따라 그 상태가 변화되는데, 담수와 함께 산화상태의 유향이 감소되었던 것과는 반대로 환원상태의 유향은 담수 일수의 경과와 함께 급격하게 증가되었다 (그림 5). 성토 표층에서의 환원 유향은 담수 당시의 약 60 ppm에서 담수후 60일에는 약 1600 ppm으로 까지 증가하였다. 그러나 무담수 조건하에서는 거의 변화가 없이 처음의 상태가 그대로 유지되었다. 또한 환원 유향의 변화는 성토 심층에 있어서도 성토 표층과 큰 차이없이 거의 비슷한 경향을 나타내었다 (그림 6).

이상의 결과는 토양 중에서의 유향의 존재 형태가 산화 상태와 환원 상태로 상호 전환됨에 있어 담수 여부가 크게 영향을 미치고 있음을 나타내 주었다.

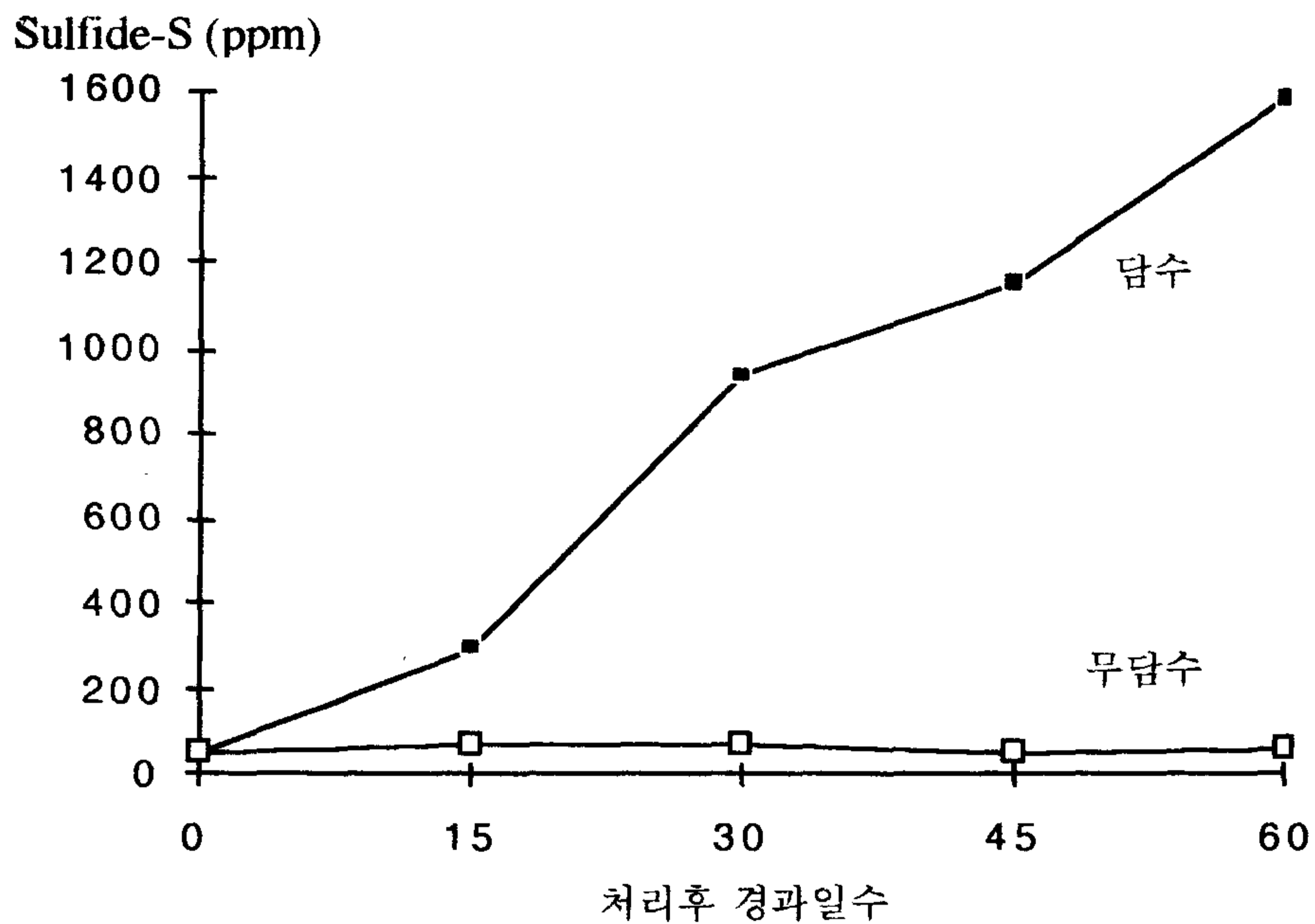


그림 5. 담수 조건에 따른 성토 표층에서의 환원 상태 유황의 변화

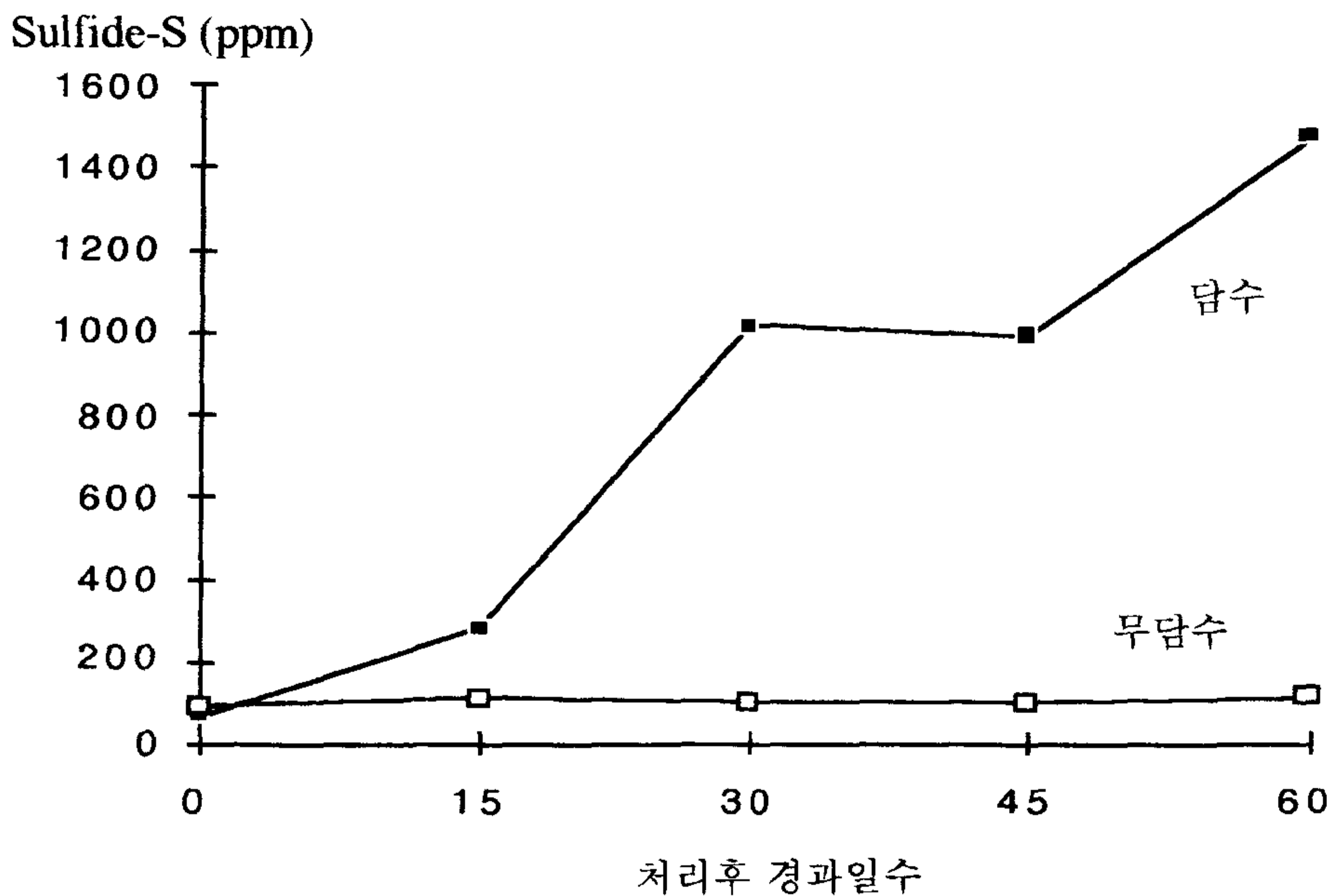


그림 6. 담수 조건에 따른 성토 심층에서의 환원 상태 유황의 변화

그러나 이러한 변환에 있어서는 표층 (0 cm)이나 심층 (20 cm)간에는 큰 차이가 없었음도 보여 주었다.

토양 중 유황의 산화와 밀접한 관련이 있는 무기원소인 철 또한 담수와 함께 증가되는 경향이었지만, 무담수 조건하에서는 완만한 감소를 나타내었다 (그림 7).

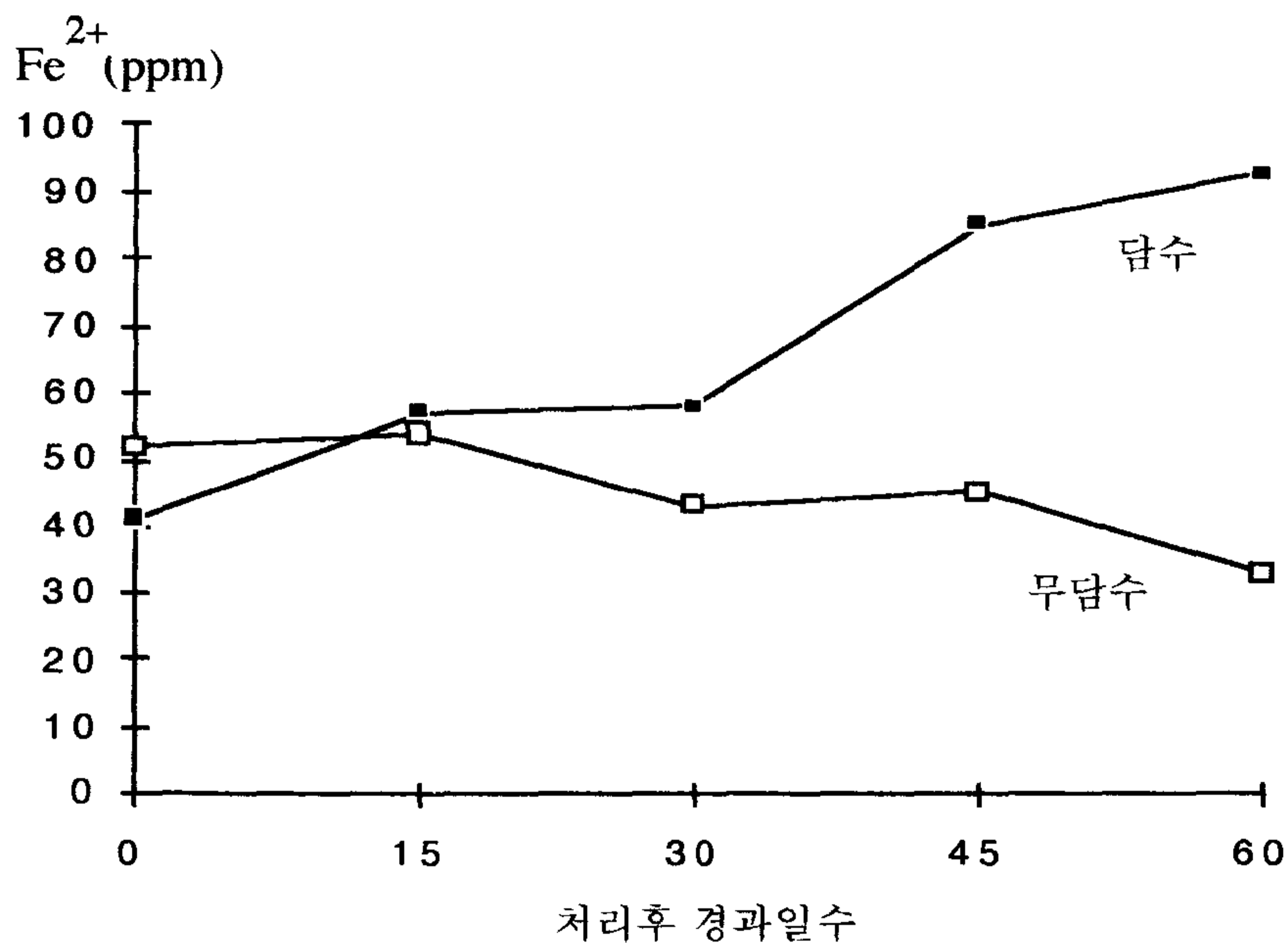


그림 7. 담수 조건에 따른 성토 표층에서의 Fe²⁺ 함량의 경시적 변화

토양 중 철은 환원 조건하에서는 Fe³⁺이 Fe²⁺로 환원되기 때문에 담수 조건하에서는 시일의 경과와 함께 Fe²⁺의 계속적인 증가를 보였으나, 반면에 무담수 조건에서는 오히려 산화의 진행과 함께 Fe²⁺의 함량이 서서히 감소되었다. 한편 성토 심층에서의 철의 동태를 보면 표층부에서와 같은 경향을 나타내었다 (그림 8). 이상의 결과를 보면 어느 층위에서든지 혐기 상태인 담수 조건에서는 환원에 좋은 조건이 되는데, 이 경우 $\text{Fe}(\text{OH})_3 + e^- + 3\text{H}^+ \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O}$ 의 반응으

로 Fe^{2+} 이 생성되면서 H^+ 이 소모됨과 함께 pH는 증가된다. 그러나 반대의 경우가 되면 Fe^{2+} 의 산화와 함께 pH는 떨어지게 된다. 이러한 반응을 본 실험에서

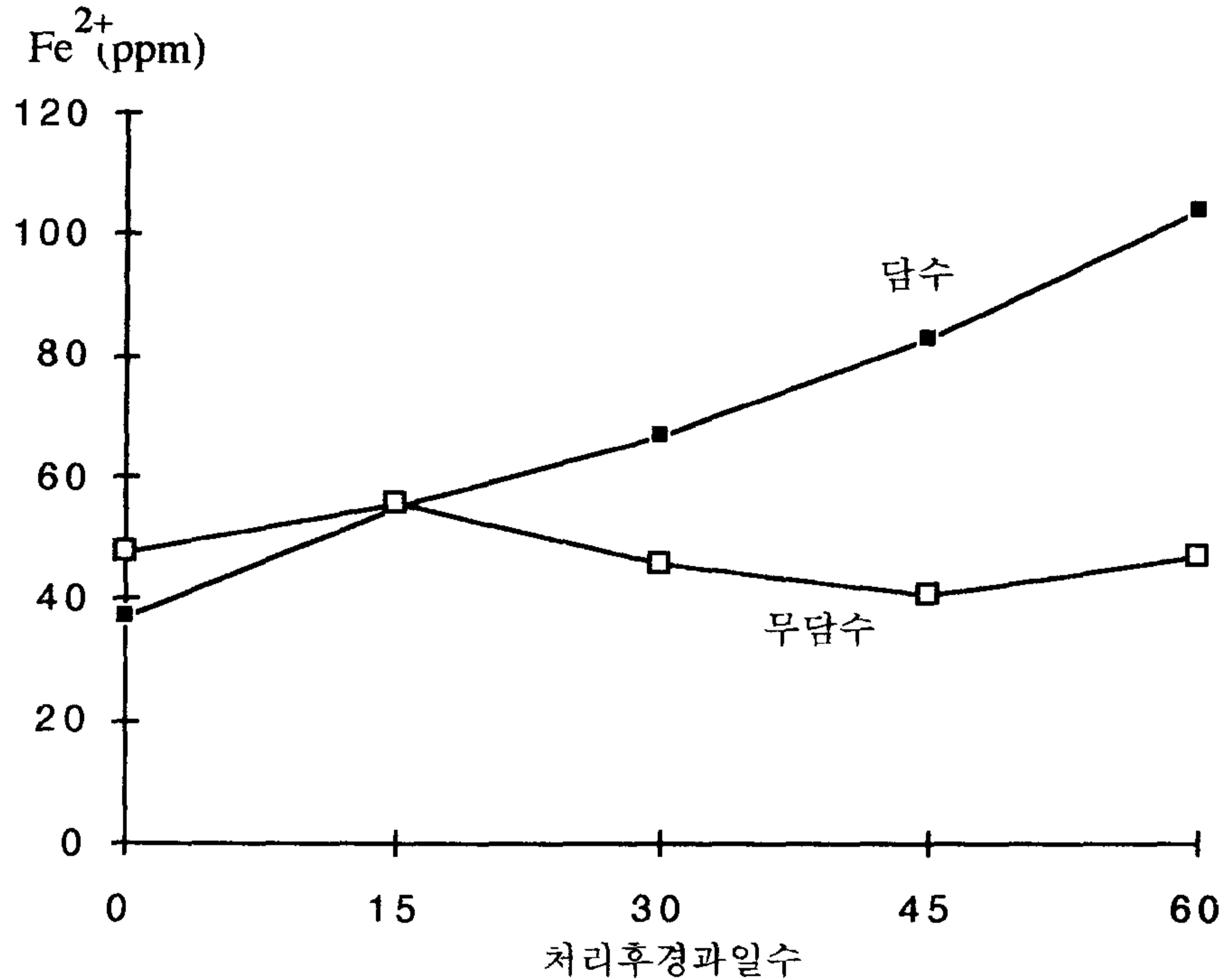


그림 8. 답수 조건에 따른 성토 심층에서의 Fe^{2+} 함량의 경시적 변화

보면 답수에 의한 철의 환원은 급격하게 이루어지지만, 무답수 조건 하에서의 환원 상태 철의 산화는 매우 완만하게 이루어지고 있음을 나타내었다.

토양의 산도 변화에 수반되는 무기원소의 용해성에 밀접한 관련성이 있는 것이 Al이다. 즉 Al의 함량 수준은 토양의 산화 및 환원에 따라 산도가 변화되면 이에 따라 크게 달라져서 pH 5.5 이하에서는 용해도가 급격하게 감소되어 양이온 치환 위치의 거의 절반이 Al에 의하여 점유된다.

잠재성 특이산성토양으로 성토된 포장에서의 Al의 함량 변화는 그림 9

에서와 같이 표층에서 담수와 함께 증가되는 경향을 보였으나, 무담수 조건하에

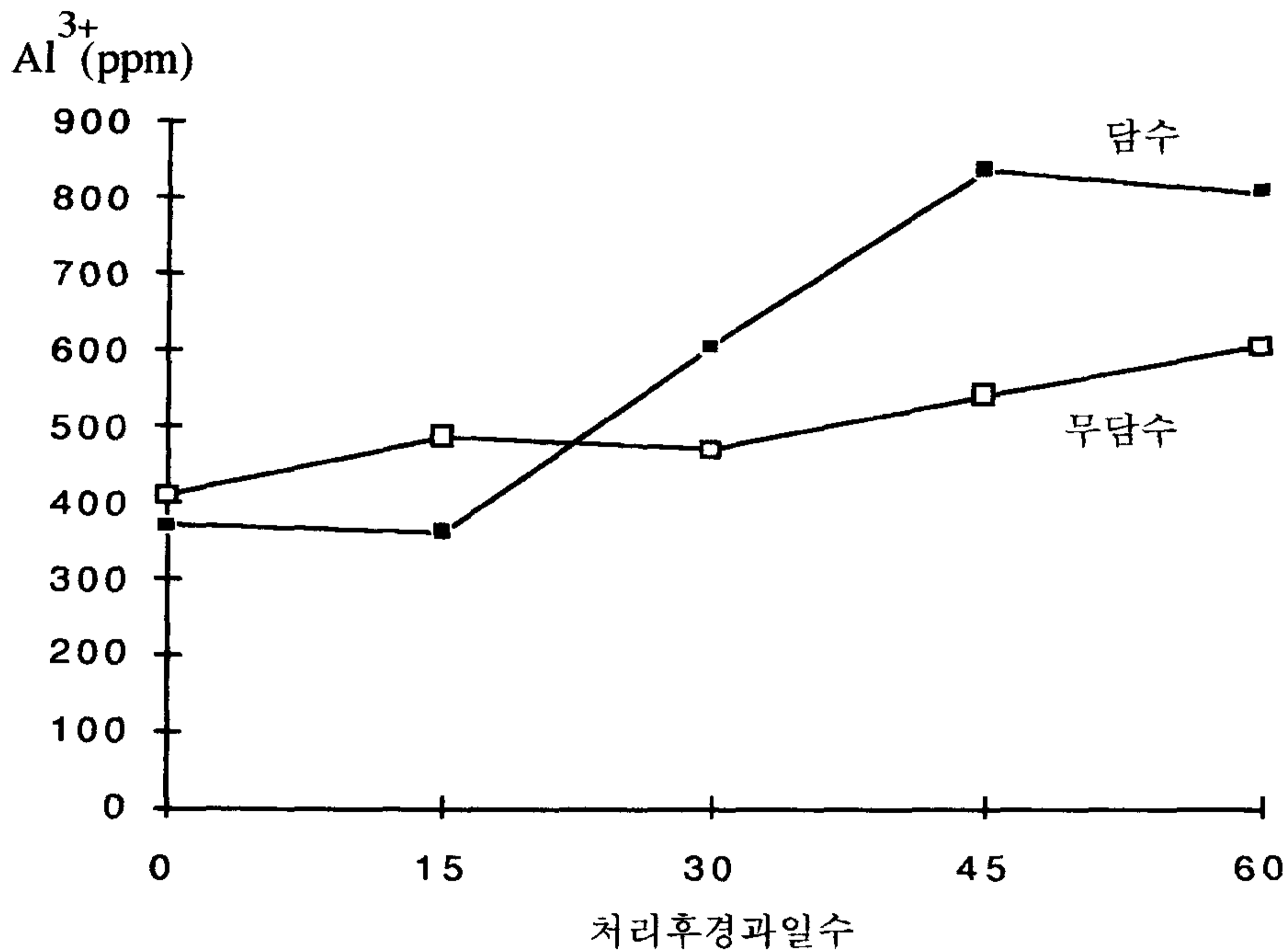


그림 9. 담수 조건에 따른 성토 표층에서의 Al³⁺ 함량의 경시적 변화

서는 담수 조건 보다는 매우 완만한 증가를 나타내었다.

한편 성토의 심층에 있어서도 Al³⁺ 함량 변화의 경향이 표층에서와 비슷하였다 (그림 10).

이상의 결과로부터 잠재성 특이산성토양의 산화 과정 중 토양 인자들의 변화에는 담수 여부에 따른 수분 조건이 크게 영향을 미치지만, 토양의 층위 간에는 큰 차이를 보이지 않고 있는 것으로 나타났다. 또한 토양 인자 중에서는 유황 함량이 경시적으로 크게 변화되는 것으로 밝혀졌다.

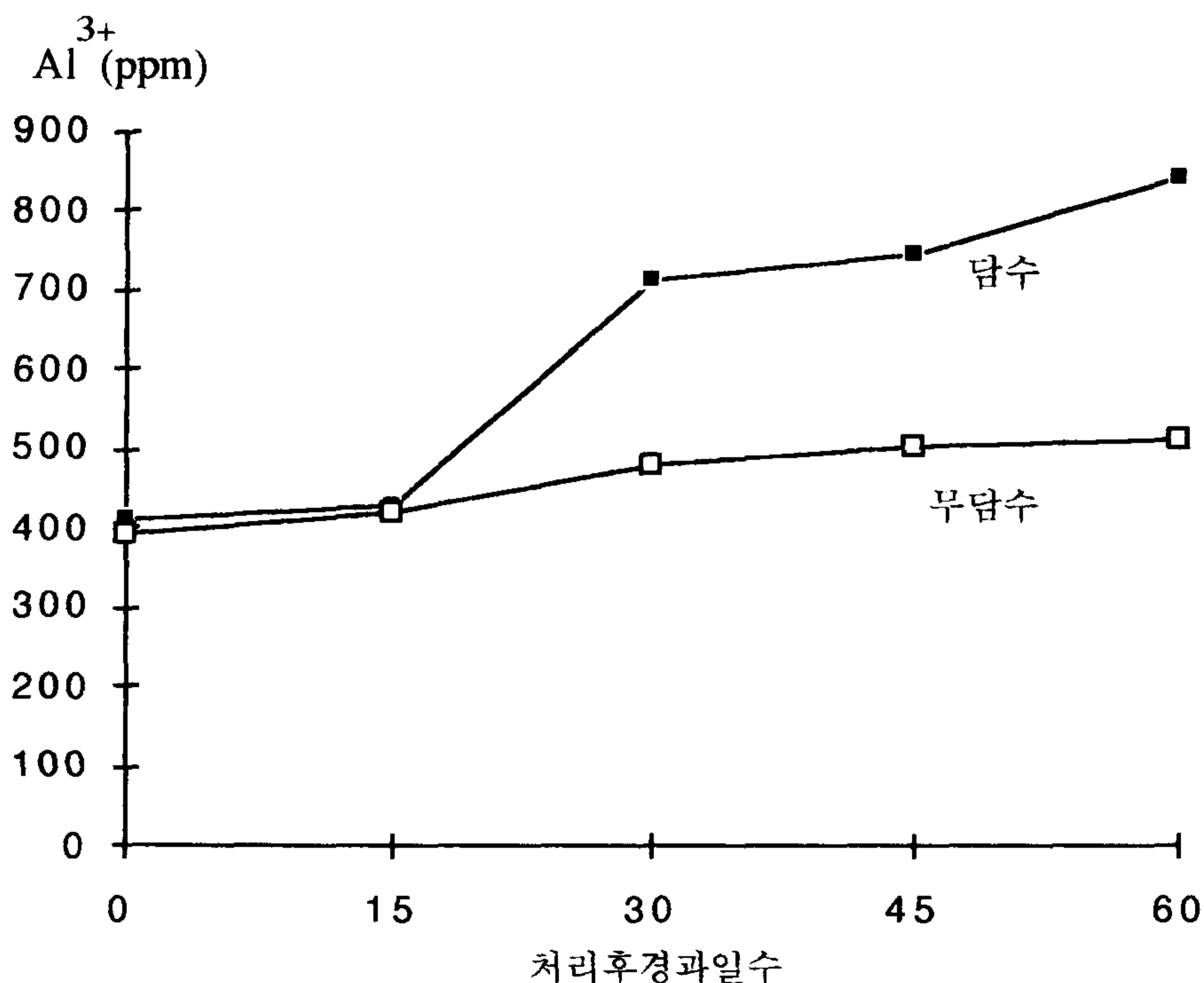


그림 10. 담수 조건에 따른 성토 심층에서의 Al^{3+} 함량의 경시적 변화

3.2.3 요인별 토양 특성 변화

잠재성 특이산성토양이 굴착되어 표층으로 이동되면 여러 형태의 환경 조건에 노출된다. 수도 재배 논 토양에 성토하거나, 또는 사토 처리하여 일정기간 동안 자연상태에 있는 동안 강우에 의해서 습윤, 건조가 반복되기도 하고, 표층부로부터 씻겨가거나 하층으로의 용탈 등 작용을 받는다. 이러한 물리적 변화는 잠재성 특이산성토양을 물리적 처리 방법으로 개량하는데 적용 할 수 있는 방법으로 이용할 수 있다. 따라서 일차적으로 잠재성 특이산성토양의 개량과 관련된 이들 요인에 따른 변화를 검토하였다.

잠재성 특이산성토양의 산화는 수분 조건에 큰 영향을 받는다. 건조 상태

하에서의 산화는 급격하게 진행되어 pH 6.5의 토양이 3주 경과 후에는 pH 3.8로 강하되었으며, 그 이후 부터는 매우 완만한 상태를 유지하였다(그림 11).그러

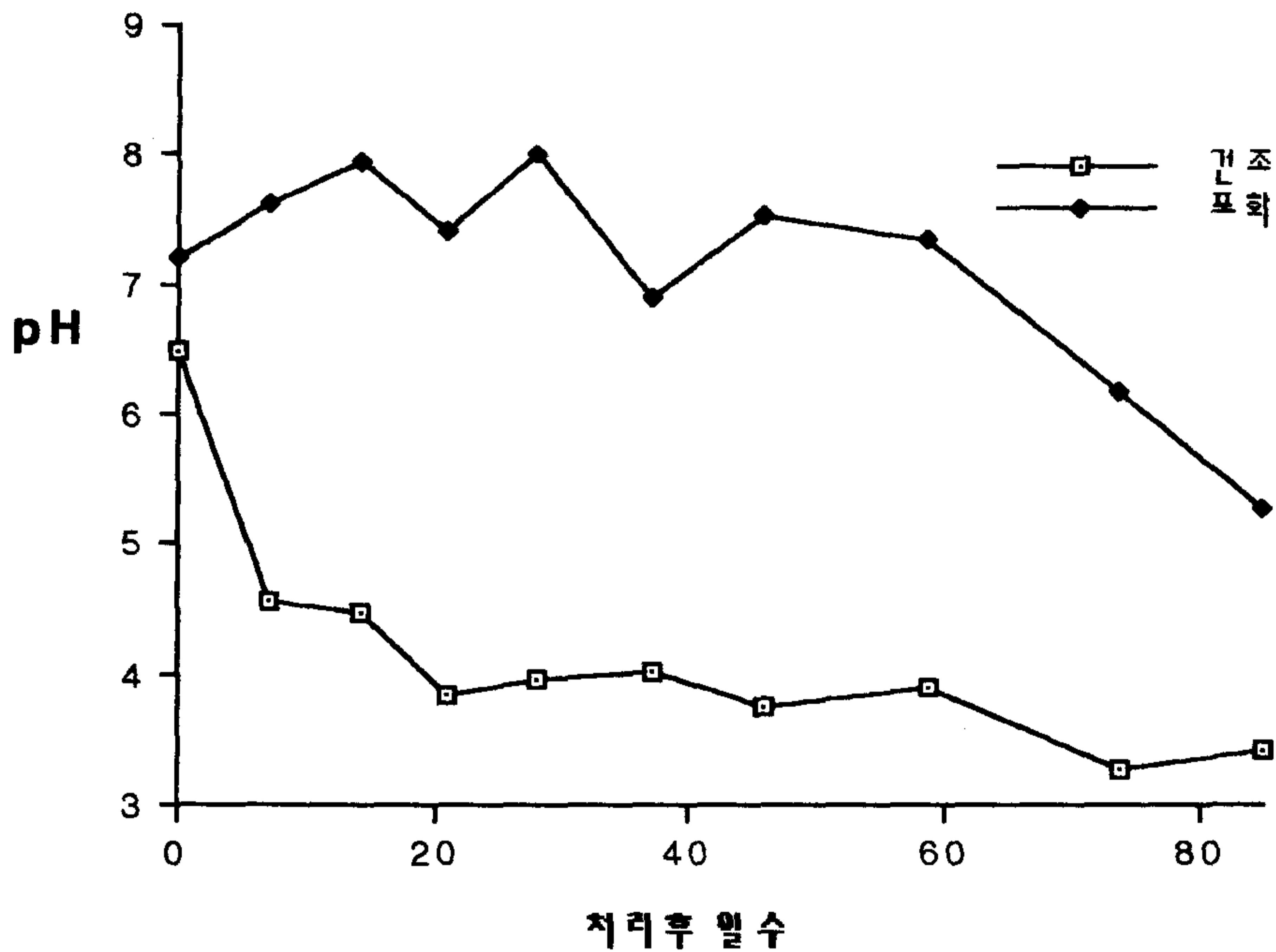


그림 11. 잠재성 특이산성토양의 수분 상태에 따른 pH의 변화

나 토양이 포화 상태를 유지할 경우에는 토양 산도의 변화는 60일 동안에 크게 일어나지 않고 그 이후에 서서히 강하되어 85일후에도 pH 5.3에 머물렀다. 잠재성 특이산성토양의 산도 변화는 토양내 존재하는 환원상태의 유황이 가장 크게 영향을 미치는 것으로 인정되고 있다. 건조 조건하에서의 잠재성 특이산성토양 중의 환원형 유황의 함량은 그림 12에서 보는 바와 같이 처음 3주동안에 급격하게 감소되어 건조 조건하에서의 pH 강하와 비슷한 양상을 보였으며, 그 이후의 완만한 감소 양상도 같은 경향을 보였다. 그러나 포화 조건에서의 환원형 유황의 함량은 건조 조건 보다는 높은 함량 수준이지만 감소되는 양상은 비슷하였다.

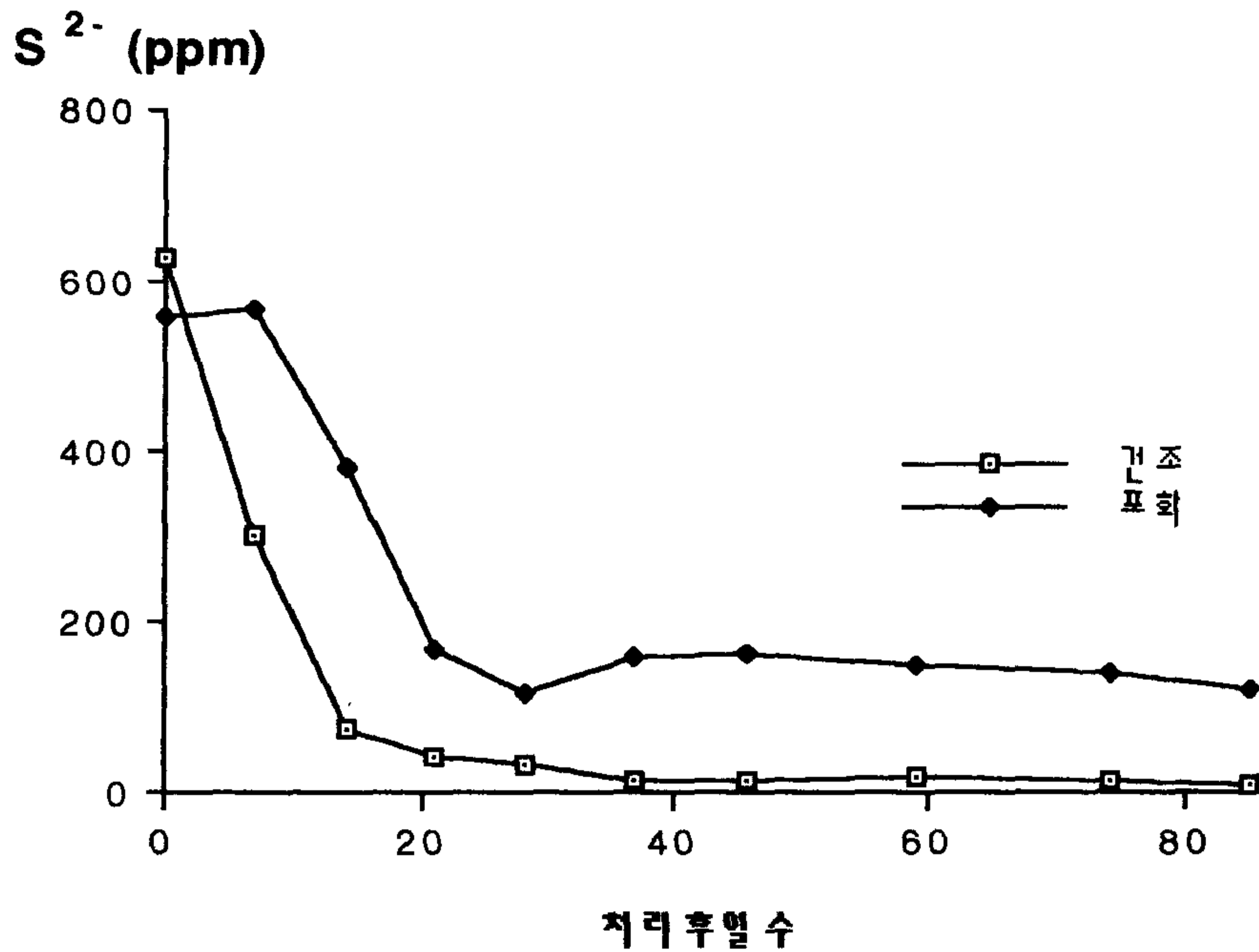


그림 12. 잠재성 특이산성토양의 수분 상태에 따른 Sulfide-S의 변화

이상의 결과는 잠재성 특이산성토양의 특성이 수분 조건에 따라 크게 영향을 받고 있음을 나타내었다.

한편 잠재성 특이산성토양이 강우 등 물관리에 의하여 영향을 받을 수 있는 조건을 고려하여 환수 및 배수 처리에 따른 잠재성 특이산성토양의 pH 및 환원형 유황 함량의 변화를 조사하였다. 환수 처리는 1, 3, 7 및 15일 간격으로 한 달 동안 환수를 실시하고, 이 때 부터 pH 및 환원형 유황 함량을 측정하는 동시에 조사 기간 중에도 계속하여 같은 간격으로 환수 처리를 하였다. 환수 처리에 따른 잠재성 특이산성토양의 pH 변화는 환수 처리 일수 간격의 차이에도 불구하고 크게 나타나지 않았다 (그림 13). 오히려 실험 기간 중의 pH는 전반적으로 약간 상승하는 경향을 나타내었는데 이것은 담수에 따른 토양의 환원 상태 유지 때문인 것으로 생각된다. 환원형 유황 함량에 있어서도 1, 3 및 7일 간격 환수처

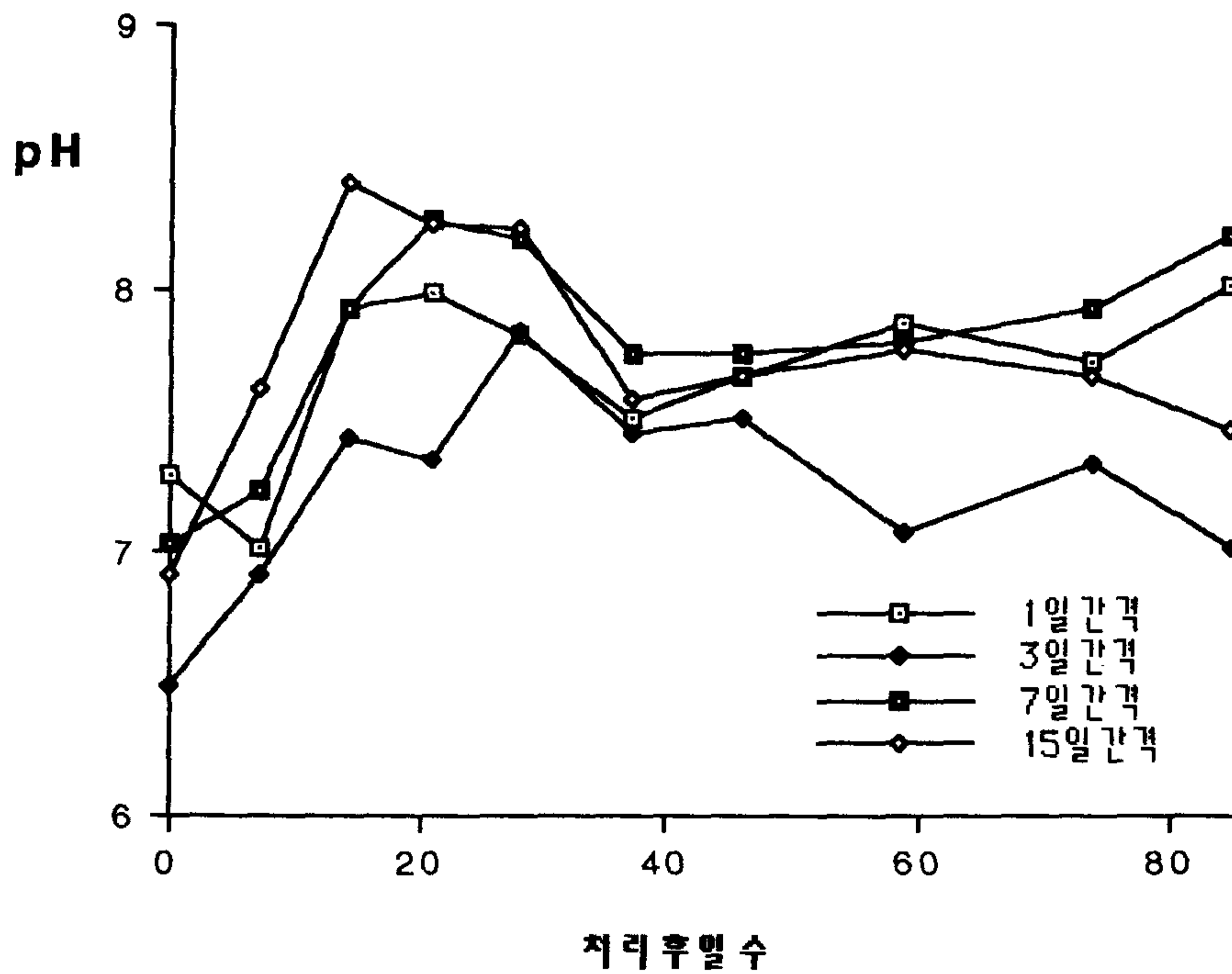


그림 13. 환수처리 일수 간격별 pH의 변화

리 결과 조사 기간 중 꾸준히 증가 되는 추세를 보여 담수에 의한 환원 상태의 영향을 보여 주었으나, 15일 간격의 환수 처리에서는 환수 4회 실시시까지 환원형 유황의 함량이 증가하다가 그 이후 환수 5회 처리 후 부터 급격한 감소를 보였다 (그림 14). 그러나 이러한 차이는 환수에 의한 효과로 보기 보다는 균일화 되어 있지 않은 토양의 특성에서 오는 차이로 생각된다.

배수는 잠재성 특이산성토양 중 산화와 관련된 성분의 하방으로의 용탈로 물리적 개량의 효과를 얻을 수 있는 방법이다. 일반적으로 설치하는 암거 배수 시설은 가장 보편적인 물리적 개량 효과를 나타내는 방법이지만, 잠재성 특이산성토양에 대한 배수 효과는 확인 된 바가 없다. 따라서 배수 간격 일수를 1, 3, 7

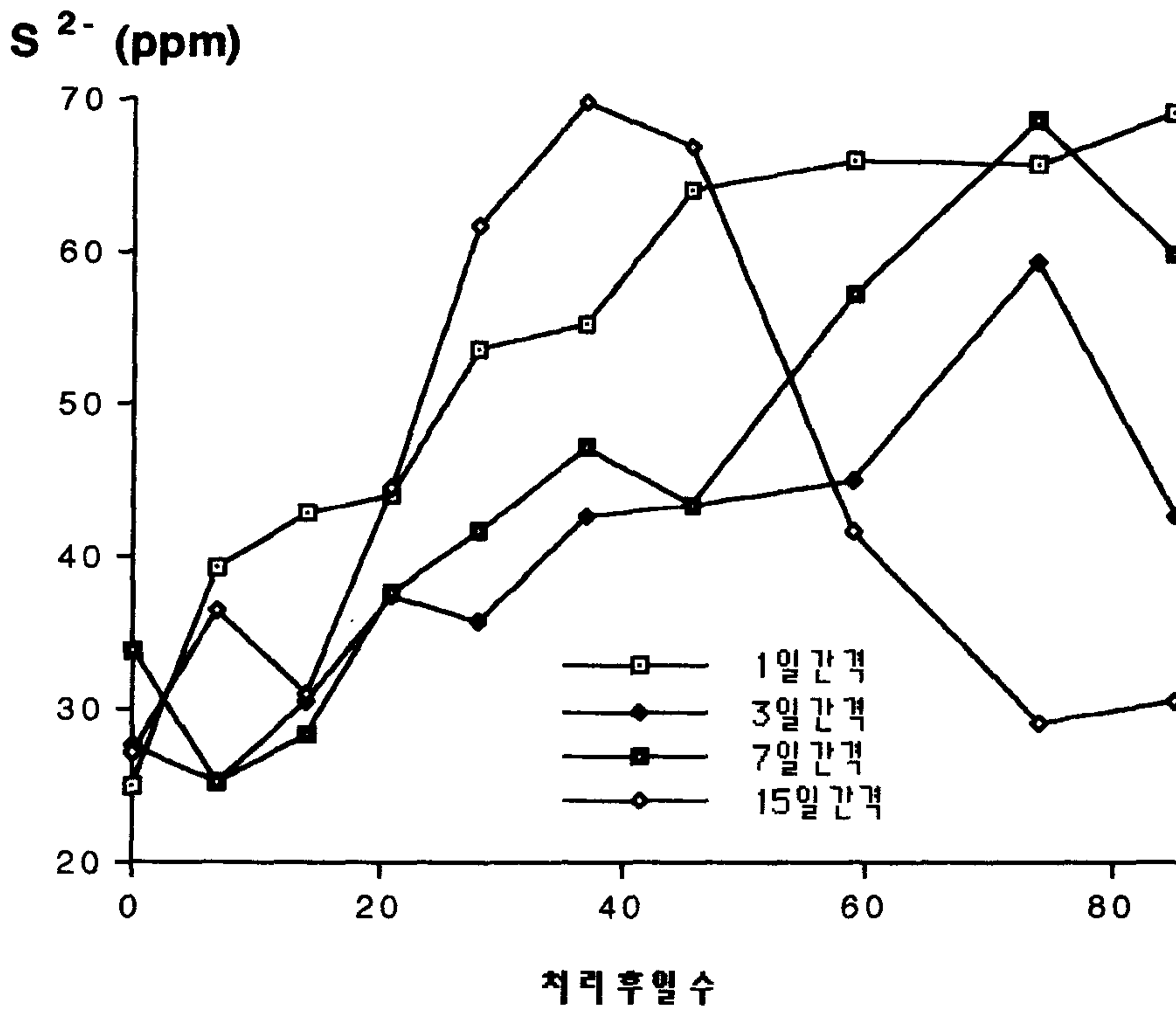


그림 14. 환수처리 일수 간격별 Sulfide-S의 변화

및 15일 간격으로 한달 동안 실시 후 pH 및 환원형 유황 함량의 변화를 조사하면서 계속하여 배수 처리를 실시 하였다. 그 결과 1일 간격 배수 처리시 pH는 처리 후 85일 까지 약간의 증감을 보이기는 하였으나 평균 6 부근을 나타내어 크게 변하지 않았다 (그림 15). 그러나 3일 및 7일 간격 배수 처리에서는 처리 후 45일까지는 큰 변화를 보이지 않다가 그 이후에 급격히 감소되어 처리 후 60일 이후에는 pH 4.2 정도까지 하강되었다. 한편 15일 간격 배수 처리에서는 비교적 서서히 토양 pH가 하강되어 처리 후 85일에 pH 4 부근으로 떨어졌다. 이러한 효과는 배수 간격이 짧은 경우에는 토양 pH가 산성으로 하강되는 것을 막을 수 있지만, 배수 간격이 길어 질 수록 그 효과가 떨어지는 것으로 실제 포장 현장에

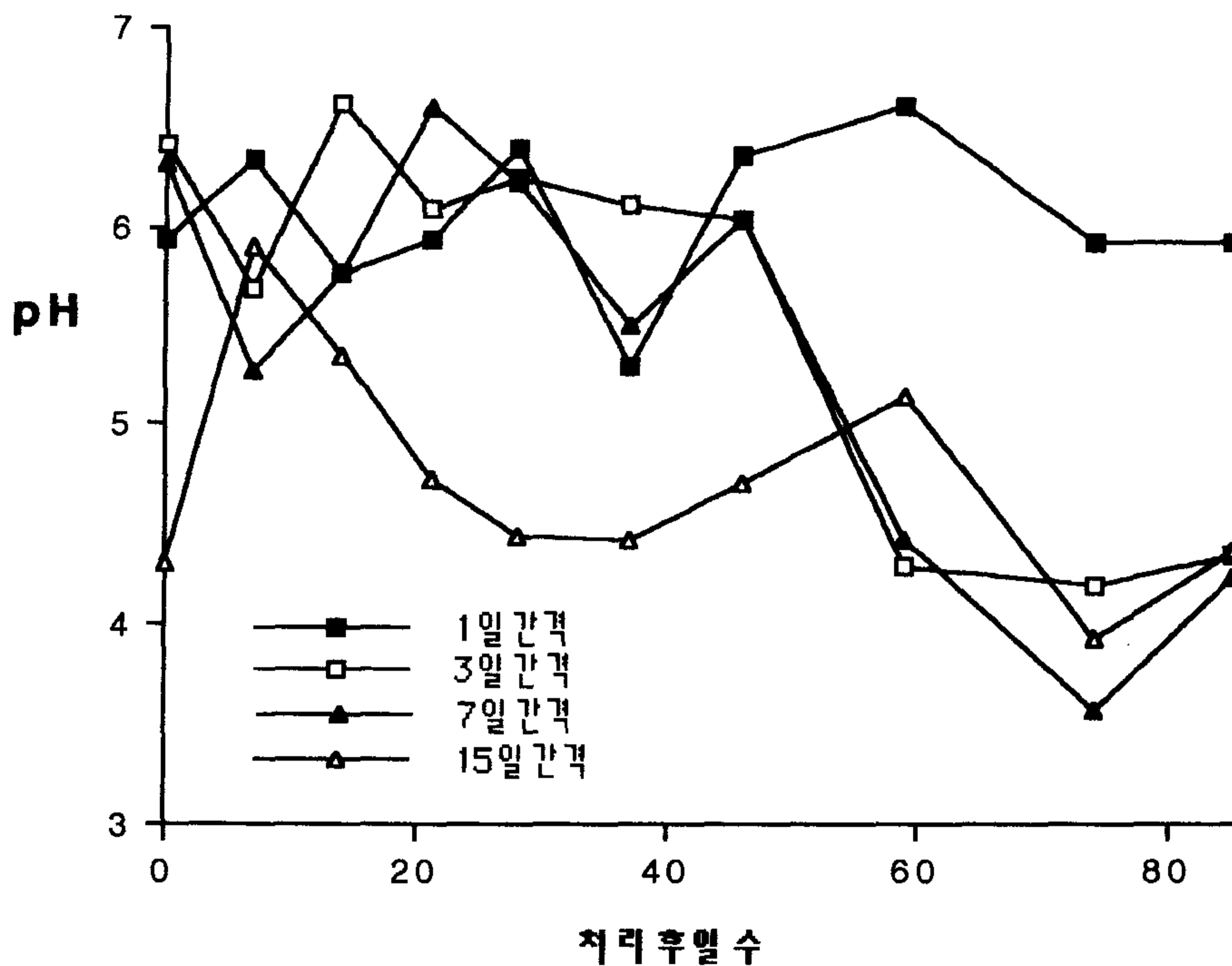


그림 15. 배수에 따른 잠재성 특이산성토양의 pH 변화

적용한다는 것은 비실용적인 처리로 생각된다. 한편 토양 pH와 변화와 밀접한 관계가 있는 환원형 유황의 함량 변화는 대체적으로 배수 처리 간격 일수에 관계없이 매우 완만하게 감소하는 경향을 나타내었다 (그림 16). 이것은 배수에 의하여 잠재성 특이산성토양내에 있는 환원형 유황성분이 용탈되어 나타난 결과로 보이지만, 배수 간격 일수 사이에서 큰 차이를 보이지 않았던 결과로부터 장기적인 암거 배수에 의한 효과를 어느 정도 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

이상의 결과들을 잠재성 특이산성토양의 물리적 방법에 의한 개량 효과를 고려하여 요약하면, 잠재성 특이산성토양의 산화는 토양 수분 상태에 따라 크게 영향을 받아 건조 조건하에서는 초기에 급격한 산화가 일어나며 그 이후로 매우 완만한 산화 양상을 보이지만, 포화 조건에서는 산화의 속도가 매우 완만하여 계

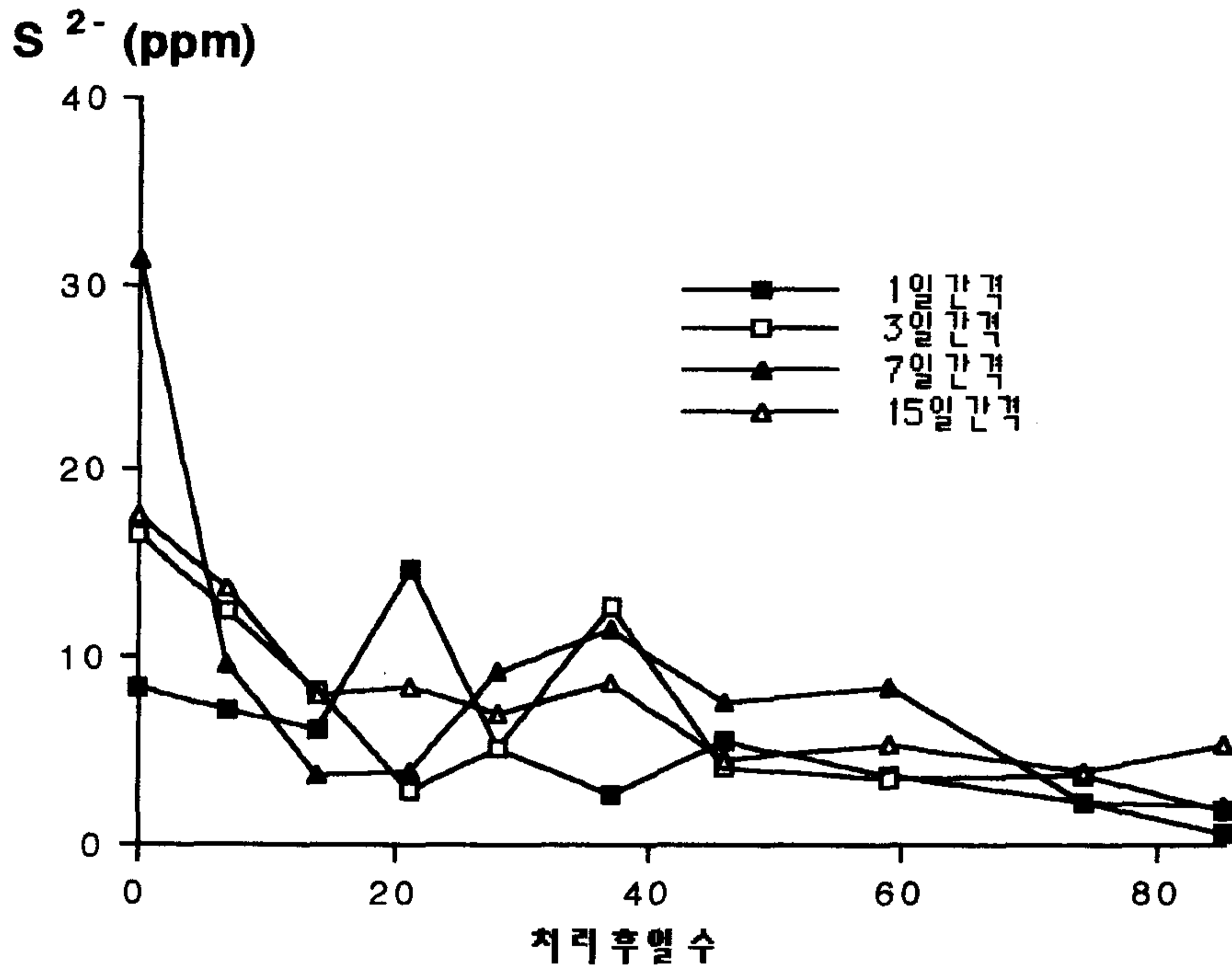


그림 16. 배수에 따른 잠재성 특이산성토양의 Sulfide-S 변화

속적인 담수 물관리가 바람직하다. 더불어 환수에 의해서는 잠재성 특이산성토양의 산도 변화 및 환원형 유황 함량의 변화에 큰 영향을 미치지 못하므로 환수에 의한 물리적 개량 효과는 기대 할 수 없다. 그러나 배수 처리는 토양 산도 변화에 대하여 비록 1일 간격 처리에서만 효과를 보였으나, 환원형 유황의 함량은 배수 처리 전체에서 계속해서 완만하게 감소되는 경향을 보여 압거에 의한 배수 처리가 장기적인 면에서 효과를 보일 것으로 생각되지만, 경제성 및 단시일내에 효과를 얻고자 할 경우에는 많은 난점이 있는 것으로 사료된다.

3.3 수도 생육에 미치는 영향

3.3.1 수도 피해 증상

잠재성 특이산성토양은 굴착 직후에 토양 산도가 중성 및 약알칼리성을 띄고 있으므로 산성에 의한 수도 생장 피해는 나타나지 않는다. 그러나 잠재성 특이산성토양이 산화되어 토양 산도가 극산성으로 강해지면 이러한 토양에서의 수도 생육은 심하게 저해를 받게 된다. 잠재성 특이산성토양이 산성화된 조건하에서 이양된 수도의 생육은 이양 직후 부터 피해가 나타나기 시작한다. 피해의 최초 증상은 엽신 선단이 갈변되기 시작하며 시간의 경과와 함께 엽신의 하부로 진행되고, 점차 갈변 부위가 고사되기 시작한다. 이어서 생장이 정지되고 완전 고사에 이른다. 엽신에 나타나는 생육 피해는 주로 새로 전개되는 잎에서 시작된 후 점차 오래된 잎으로 확대되는데, 이것은 뿌리의 흡수 장애 때문으로 결국 토양 pH가 극산성 조건으로 될 경우 삼투포텐셜의 불균형에 의한 흡수 장애 및 이온들의 흡수가 크게 영향을 받기 때문으로 생각된다. 이렇게 토양의 산도가 극산성인 조건하에서는 특히 양이온의 흡수가 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 한편 수도묘의 생육 정도에 따른 내산성 정도의 차이는 없으며, 뿌리의 외관에도 특별한 변화를 보이지는 않지만, 뿌리의 생장은 저해되는 것으로 나타났다.

산화된 잠재성 특이산성토양에서 생육된 수도의 영양 상태는 이양 후 곧바로 생장 억제를 받고 수일내에 고사에 이르기 때문에 일반 숙답 토양에서 생육된 수도의 영양 상태와 큰 차이를 나타내지 않는다 (표 1). 즉 질소를 비롯한 인산과 가리의 함량은 비슷한 수준을 보였으며, 마그네슘, 망간 및 나트륨의 함량도 거의 비슷하였다. 그러나 산성 조건에서 생육된 수도에 있어서는 칼슘과 철의 함량이 일반 숙답의 것보다 두 배 이상의 높은 함량 수준을 나타내었다.

이상의 결과는 산성 토양에서의 수도 생육 장애가 이양 후 너무 빨리 나

표 1. 산화된 잠재성 특이산성토양 및 일반 숙답 토양에서 생육된 수도의 무기성분 함량 비교

무기성분	산화된 잠재성 특이산성토양	숙답토양
N	1.32%	1.30%
P	0.11	0.09
K	2.89	2.92
Ca	0.72	0.34
Ma	0.79	0.72
Fe	0.13	0.05
Mn	0.08	0.06
Na	0.31	0.34

타나기 때문에 수도의 뿌리에 의한 수분 및 이온의 흡수가 단기간 동안에 차이를 보일 만큼 일어나지 않을 것으로 생각된다. 그럼에도 불구하고 마그네슘 등의 무기성분의 흡수량이 많았던 것은 이들 무기성분들의 흡수는 산성 조건이 될수록 높아지는 특성 때문인 것으로 생각된다.

3.3.2 잠재성 특이산성토양 혼입 비율에 따른 산화기간별 토양 특성 변화

잠재성 특이산성토양의 산화는 토양 중에 존재하는 환원형 유황의 함량 및 산화 기간의 차이에 따라 다르다. 환원형 유황의 산화에 따른 pH의 강하와 이에 따르는 산화형 유황의 증가 또는 기타 주요 성분의 소장 상태는 수도 재배를 위한 토양 조건을 확립하거나, 잠재성 특이산성토양의 굴착 후 사토 기간 동안 산화된 토양을 적절하게 이용하는데 있어서도 미리 검토되어야 할 사항이다.

굴착된 잠재성 특이산성토양 혼화 비율을 일반 숙답 토양으로 20% 간격

으로 대체하여 잘 혼화하고, 이들 토양을 일주일 간격으로 건조 조건에 노출 시킨 다음 담수시킴으로써 산화 기간을 조절하였다. 그 후 잠재성 특이산성토양 혼합 비율에 따른 산화 기간의 차이에서 오는 토양 특성의 차이를 조사하였다.

잠재성 특이산성토양 혼화 비율과 산화 기간의 차이에 따른 토양 pH의 변화는 잠재성 특이산성토양 혼화 비율이 높고 산화기간이 길수록 급격하게 강아 되는 경향을 보였으며, 그 정도는 혼화비율의 감소와 함께 완만하여지는 경향을 나타내었다 (그림 17). 그러나 잠재성 특이산성토양이 혼화되지 않은 일반 속담 토양과 잠재성 특이산성토양이 20% 혼화된 토양은 2주간의 산화 후 담수로 인한 환원 조건 때문으로 초기 pH 5.1 - 5.2에서 pH 6.2 - 6.3으로 상승 된 다음 그

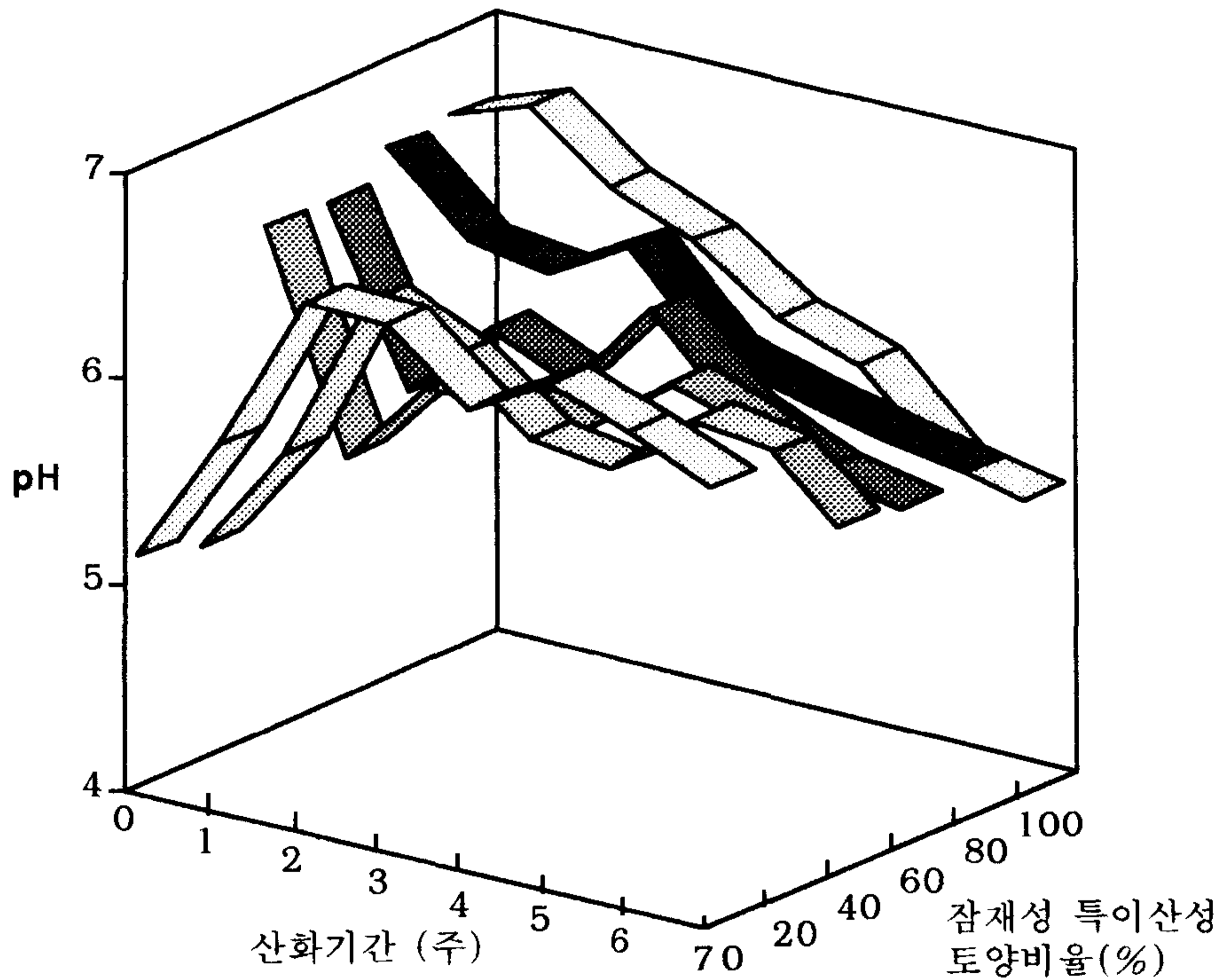


그림 17. 잠재성 특이산성토양 혼합비율에 따른 산화기간별 pH의 변화

후에는 크게 떨어지지 않고 비슷한 수준에서 머물렀다. 한편 잠재성 특이산성토양의 혼합 비율이 40 - 80%에 이르면 산화를 시키지 않았을 때 pH가 6.6 - 6.8 정도를 보이다가 산화기간의 증가와 함께 pH가 하강하여 토양 pH 변화가 잠재성 특이산성토양 혼합 비율과 산화기간에 따라 크게 영향을 받고 있음을 보여 주었다. 이러한 변화는 산화에 따른 산화형 유황의 함량 변화에서도 뚜렷하게 나타내 주었다 (그림 18). 일반 숙답 토양은 산화기간에 관계없이 약 200 ppm 이내로 산화형 유황 함량이 유지되었고, 잠재성 특이산성토양 20% 혼합 비율의

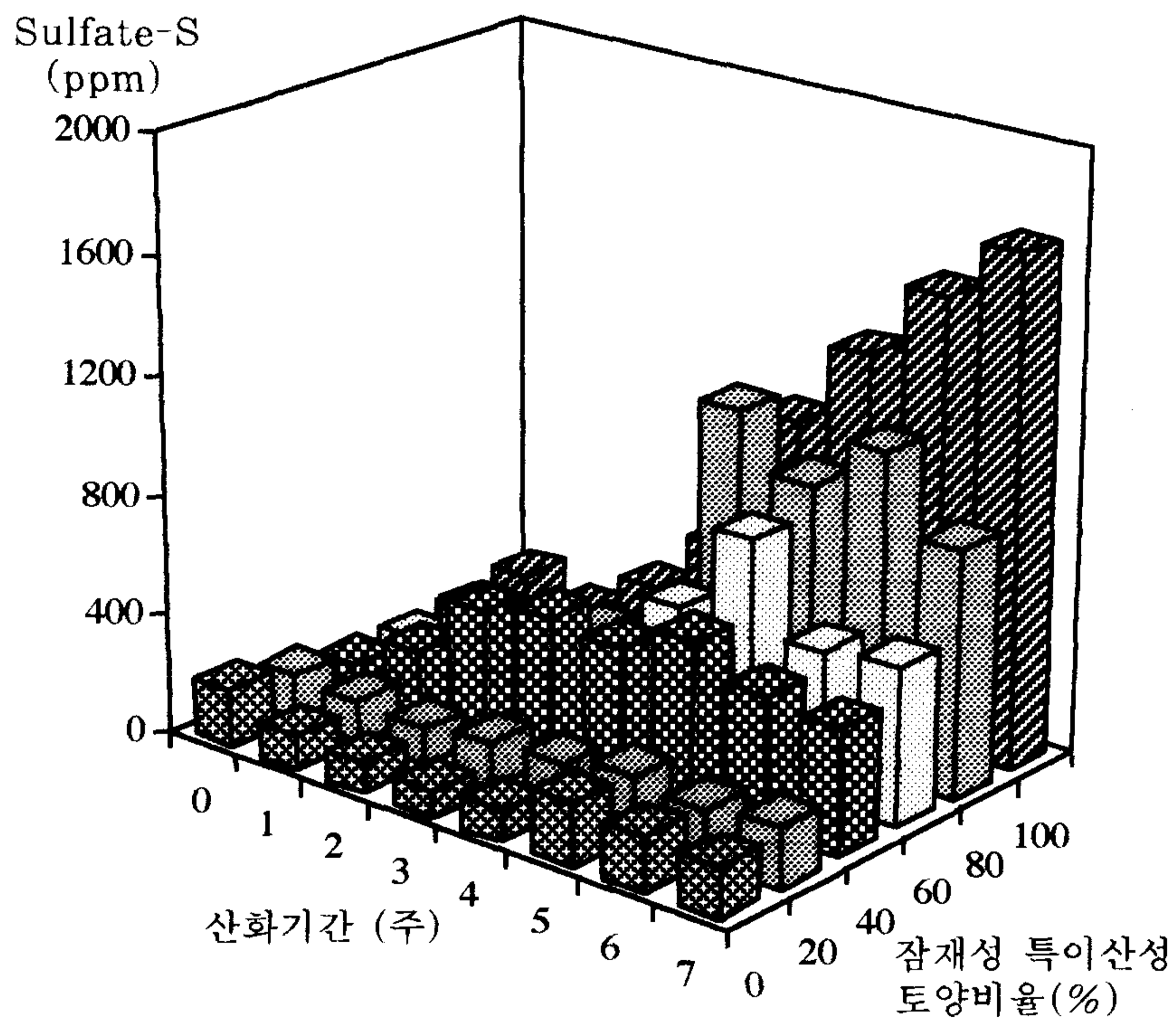


그림 18. 잠재성 특이산성토양 혼합비율에 따른 산화기간별 Sulfate-S의 변화

경우에는 이 보다 약간 증가하였다. 그러나 혼합 비율이 40%가 되고 이 토양을 2주간 산화 시킬 경우에는 산화형 유황의 함량은 급격하게 증가되어 약 500 ppm에 도달하고, 산화기간이 증가 함에 따라 또 혼합 비율이 증가 함에 따라 산화형 유황 함량도 증가되는 경향을 나타내었다. 특히 잠재성 특이산성토양만의 산화기간에 따른 산화형 유황 함량의 증가 변화는 급격하고 뚜렷함을 나타내 주었다.

산화 기간에 따른 환원형 철 함량은 일반적으로 기간이 길어 질수록 증가하는 경향을 나타내었다 (그림 19). 이러한 증가 추세는 일반 숙답 토양이나 잠재성 특이산성토양의 혼합비율이 다른 토양에서나 모두 같은 현상을 나타내었지만, 일반숙답에서의 함량이 잠재성 특이산성토양이 혼합된 토양에서 보다는 낮은

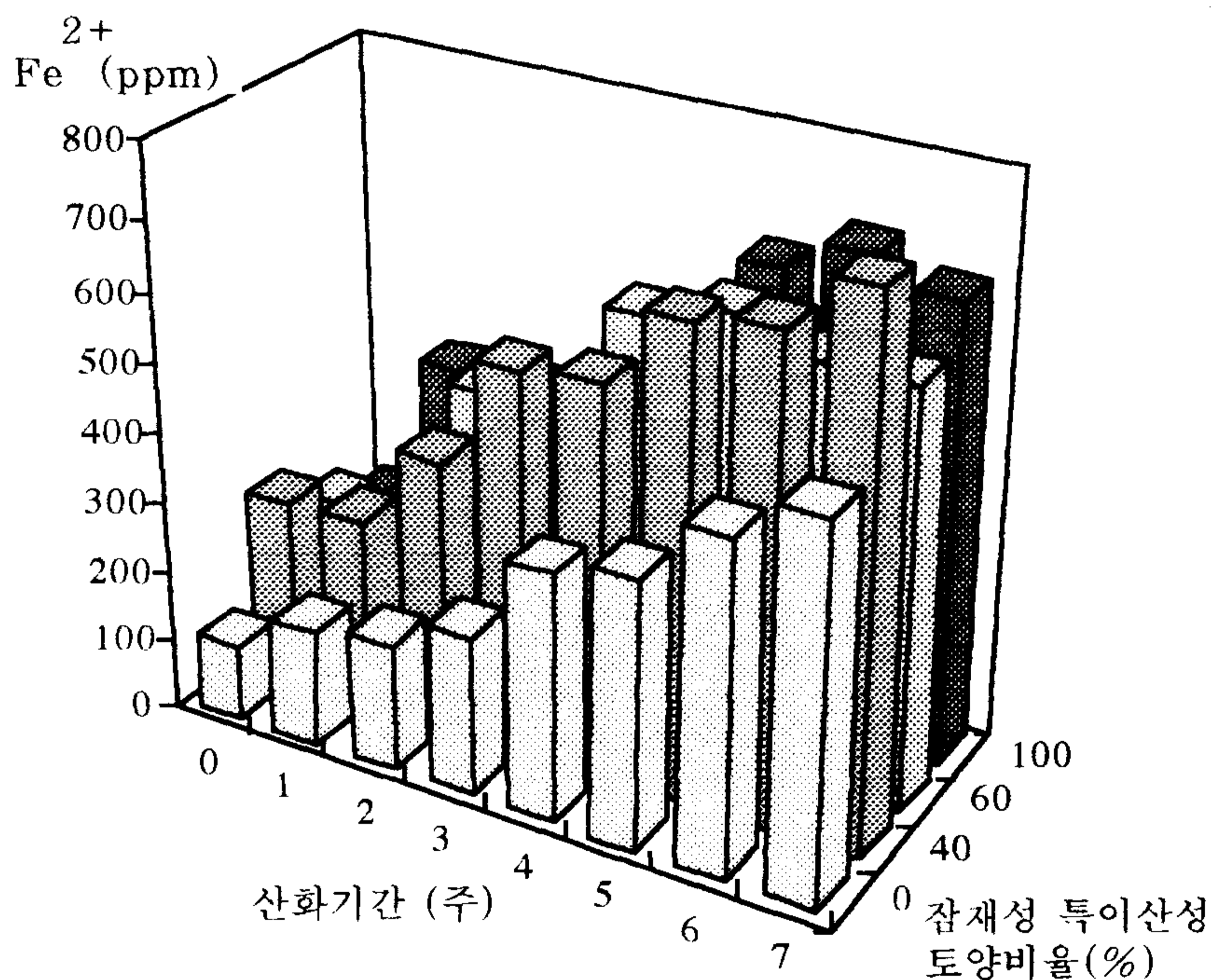


그림 19. 잠재성 특이산성토양 혼합비율에 따른 산화기간별 Fe²⁺의 변화

경향이였다. 철 함량과는 달리 알루미늄의 함량은 산화기간이나 잠재성 특이산성 토양의 혼합 비율과는 큰 관계를 나타내지 않았다 (그림 20).

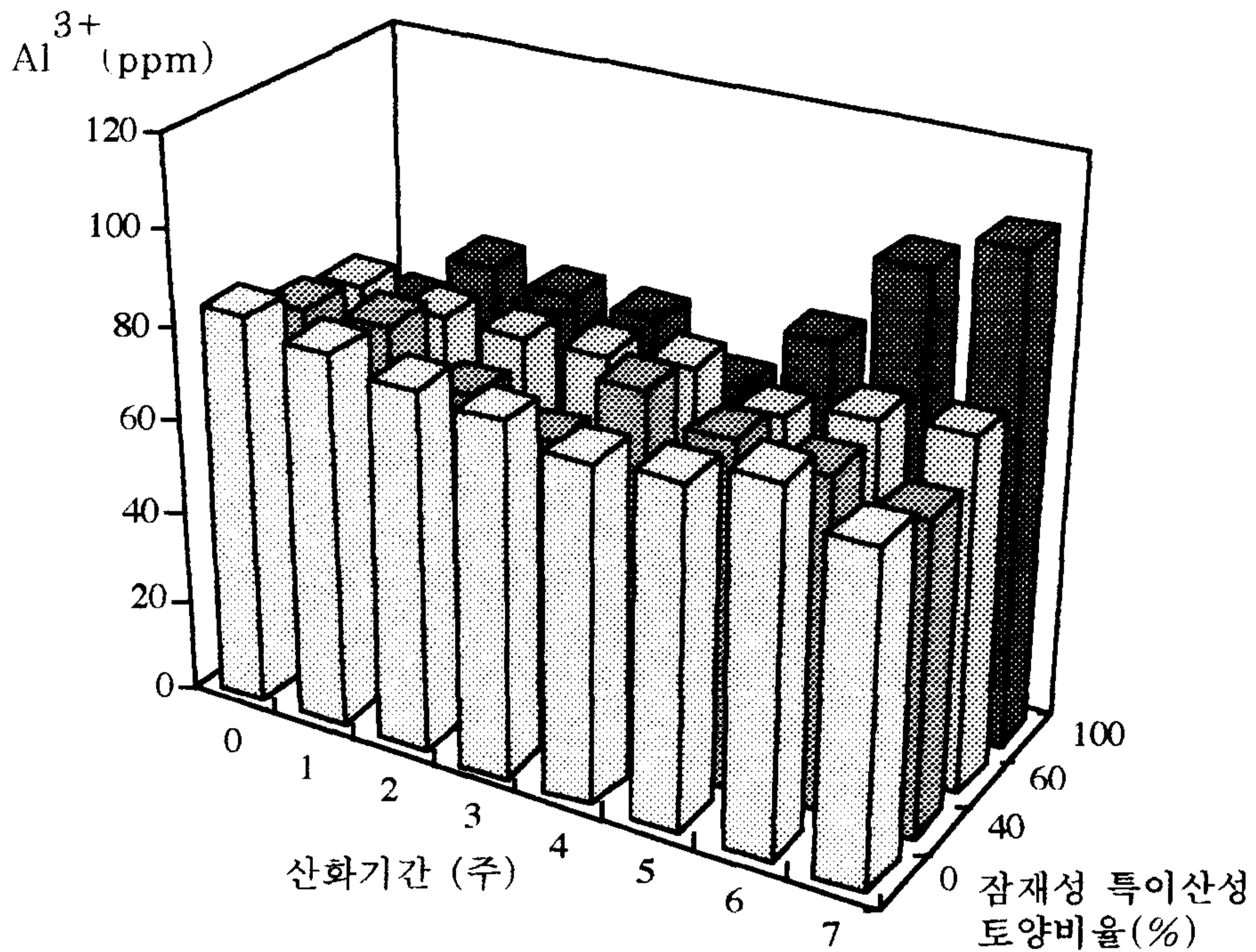


그림 20. 잠재성 특이산성토양 혼합비율에 따른 산화기간별 Al³⁺의 변화

이상의 결과를 요약하면 잠재성 특이산성토양의 함유 비율에 따라 산화에 따른 pH, 환원형 유황 및 환원형 철 함량 변화에 큰 영향을 미치지만, 알루미늄 함량에는 영향이 없었다. 토양 pH는 잠재성 특이산성토양 함유 비율이 높은 경우에는 산화 기간이 길수록 급격한 강하를 보이지만 함유 비율이 적을 수록 보다 완만한 강하를 보였고, 환원형 유황 과 환원형 철의 함량은 토양 pH 강하 양상과 반대되는 경향으로 나타나 이들의 함량이 산화에 따라 소장됨을 나타내 주었지만, 알루미늄의 경우에는 본 실험 조건하에서 잠재성 특이산성토양의 혼합 비율

과 산화기간과의 사이에 큰 관련성을 찾을 수 없었다.

3.3.3 유황함량과 수도 생장

잠재성 특이산성토양이 산화되어 산성을 나타내거나 또는 일반 토양과 혼합되어 산화될 경우 토양 내 존재하는 산화형 유황 함량 수준에 따른 수도 생육 피해를 조사하여 잠재성 특이산성토양에서의 수도 재배 가능성 여부의 기준을 정하는 것은 토양의 이용면에서도 중요하다. 잠재성 특이산성토양 혼합 비율을 달리하고 이들의 산화기간을 달리한 토양에 수도를 이양하고 이양 후 20일에 수도의 초장을 조사하였다. 그 결과 잠재성 특이산성토양의 혼합 비율이 40%인 경우에는 산화기간에 관계없이 수도 생육은 피해를 받지 않았으나 혼합 비율이 60% 이상이 되고 산화기간이 3주 이상이 되면 수도 생육은 크게 저해를 받기 시작한다 (그림 21). 이러한 수도 생육 억제는 특히 산화형 유황의 함량이 약 500 ppm 이상이 되는 잠재성 특이산성토양의 산화 조건에서 나타나는 것으로 생각된다. 따라서 일단 굴착되어 사토 처리되었거나 일반 숙답에 성토된 잠재성 특이산성토양을 수도 경작토로 활용할 경우에는 산화형 유황 함량이 약 500 ppm을 넘지 않는가를 먼저 확인하고 수도 재배에 이용하는 것이 바람직하다고 생각된다.

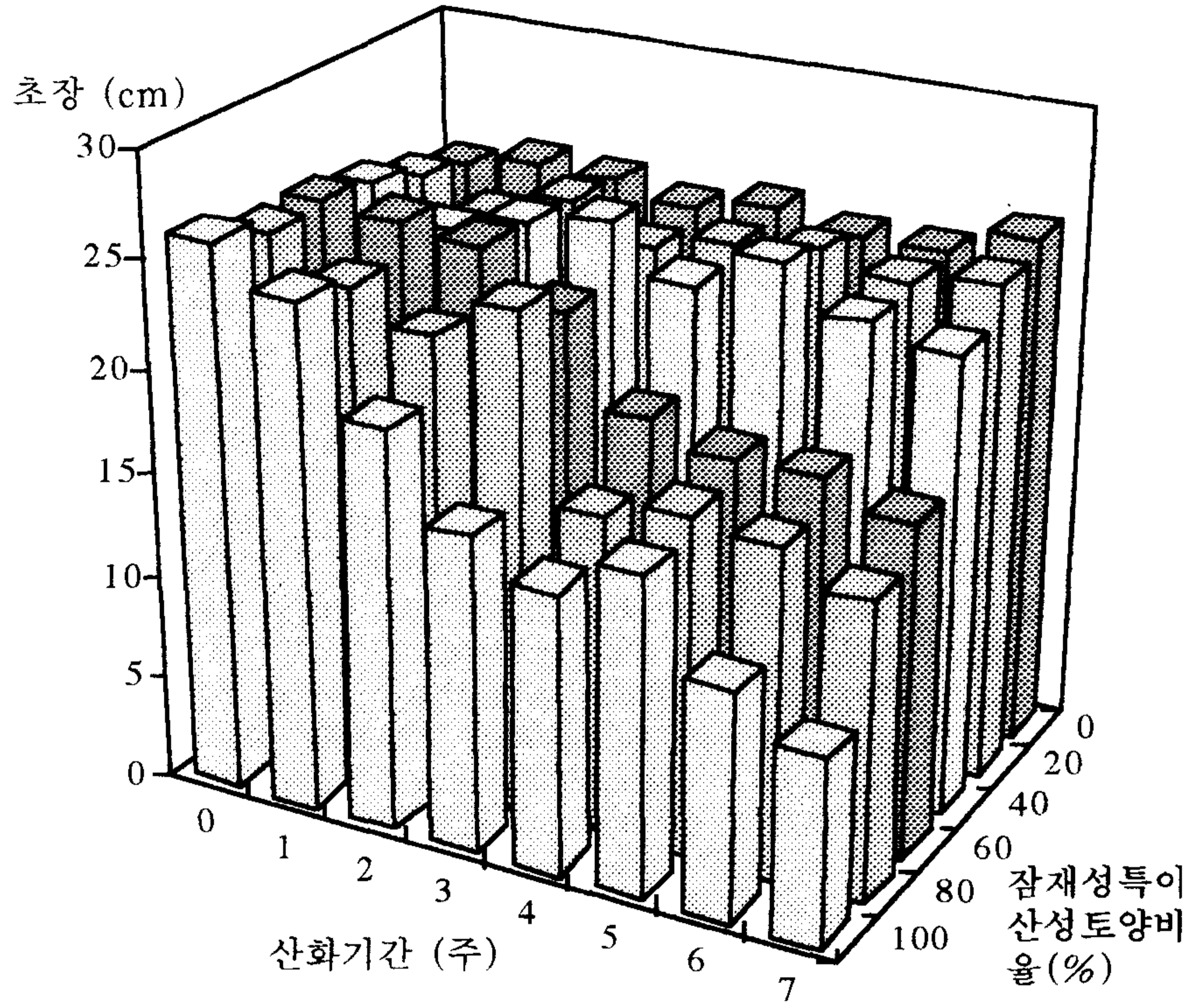


그림 21. 잠재성 특이산성토양 혼합비율에 따른 산화기간별 수도 생육 (이앙후 20일)

제 4 장 잠재성 특이산성토양 개량 및 효과적 이용

4.1 산화된 잠재성 특이산성토양의 개량

잠재성 특이산성토양은 굴착되어 표토로 이동되면서 공기와 접촉되고 이에 따라 산화를 받게 됨으로서 점차 특이산성도와 같은 특성을 띄게 된다. 따라서 토양 산도를 기준으로 생각 할 때 중성 및 알칼리성에 가까운 산화되기 이전의 잠재성 특이산성토양과 산화 후의 잠재성 특이산성토양와는 개량법 적용에 따른 효과 및 효과적 처리 방법의 결과가 같을 것으로 생각 할 수는 없다. 이에 따라 산화 전, 후의 잠재성 특이산성토양에 물리, 화학적 개량 방법을 적용한 후 이 때의 토양 특성 변화 등을 검토 하였다.

물리적 개량에 사용한 산화된 잠재성 특이산성토양 (이하 특이산성토양이라 칭함)은 전북 함열 지역에서 굴착된 뒤 기존 답토양에 성토된 후 완전히 산화된 토양으로 그 화학적 특성은 표 2와 같다.

표 2. 개량법 적용 실험에 사용한 특이산성토양의 화학적 특성

특 성	수 준
pH (1:5 H ₂ O)	2.61
Organic matter (%)	2.52
Carbon (%)	1.13
Nitrogen(%)	0.13
Total Sulfur (ppm)	4500
Aluminum (ppm) - Exch.	1825
- Water Sol.	325
Exch. Fe (ppm)	395
Exch. Mn (ppm)	185
Cation Exch. Cap (me/100g)	13.1

4.1.1. 환수

환수에 의한 특이산성 토양의 토양 pH 변화는 아주 적게 나타났다 (그림 22). 1일 간격으로 환수를 45일 동안 실시한 경우에도 특이산성 토양의 pH 변화는 0.6 정도의 증가에 머물렀으며, 환수 일수 간격별로는 1일 간격과 15일 간격 사이에 불과 pH 0.02의 차이만을 나타내었다. 또한 실험 개시 후 75일에 측정된 토양 pH에 있어서도 약간의 증가만을 나타내는데 그쳤다. 이러한 토양 pH의 변화는 환수 회수를 증가시키기에 따라 증가하는 경향을 나타내었지만 그 증가 폭이 극히 미미하기 때문에 실용적인 적용 가능성은 적은 것으로 생각된다.

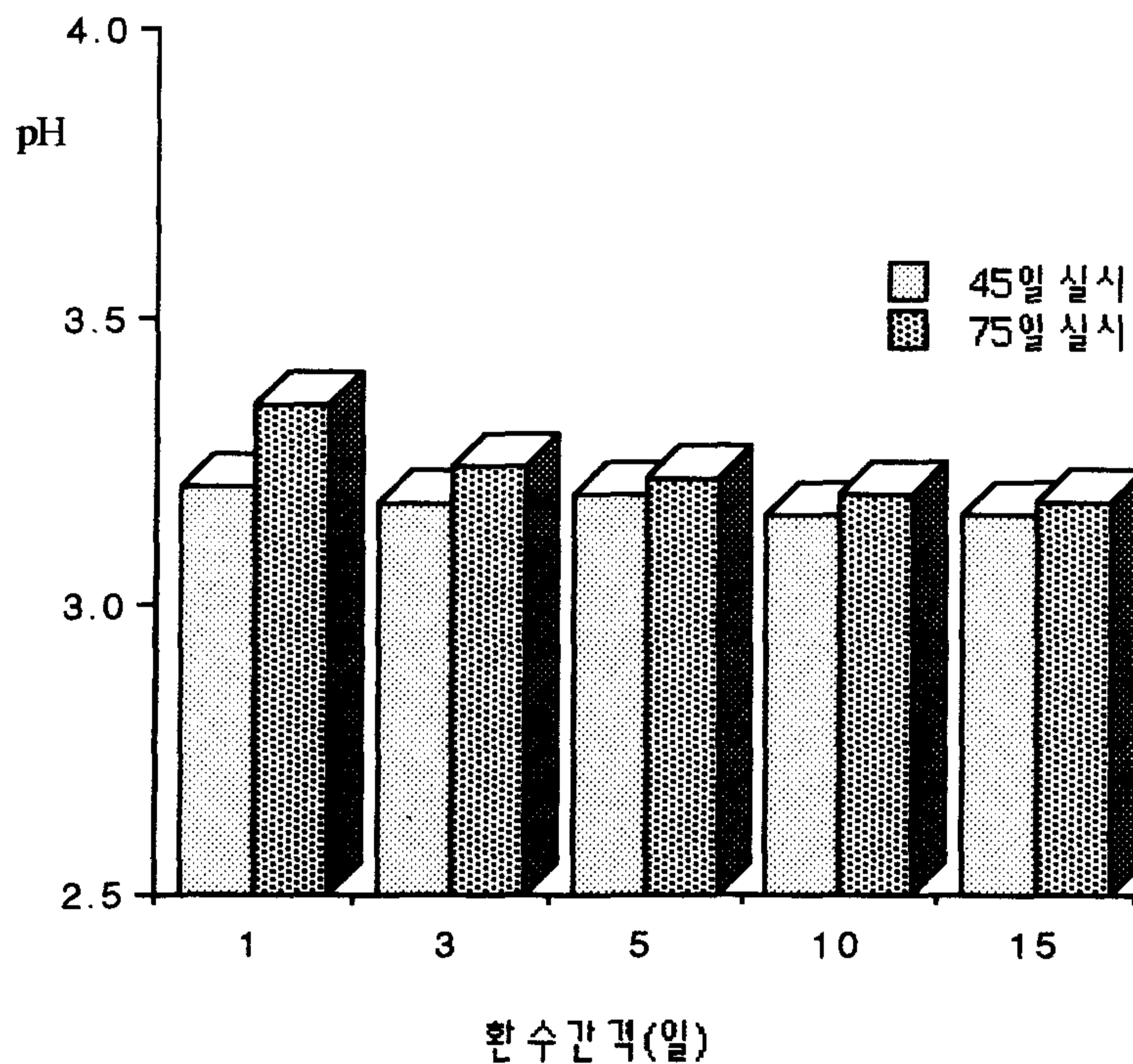


그림 22. 환수처리에 따른 특이산성토양의 pH 변화

환수 효과가 나타내는 환수기간 중의 토양수의 pH 변화 또한 환수 간격

일수에 따라 차이를 보여 1일 간격 환수의 경우가 일수 간격이 보다 긴 경우보다 약간 높은 pH 수준을 유지하고 있었다 (그림 23). 그러나 환수 간격 3일부터 15일 간격 간에는 큰 차이를 나타내지 않았고, 더우기 실험 기간 중의 온도 변화와 함께 토양수 pH도 불규칙적으로 변하였다. 토양수의 pH 변화 경향과는 달리

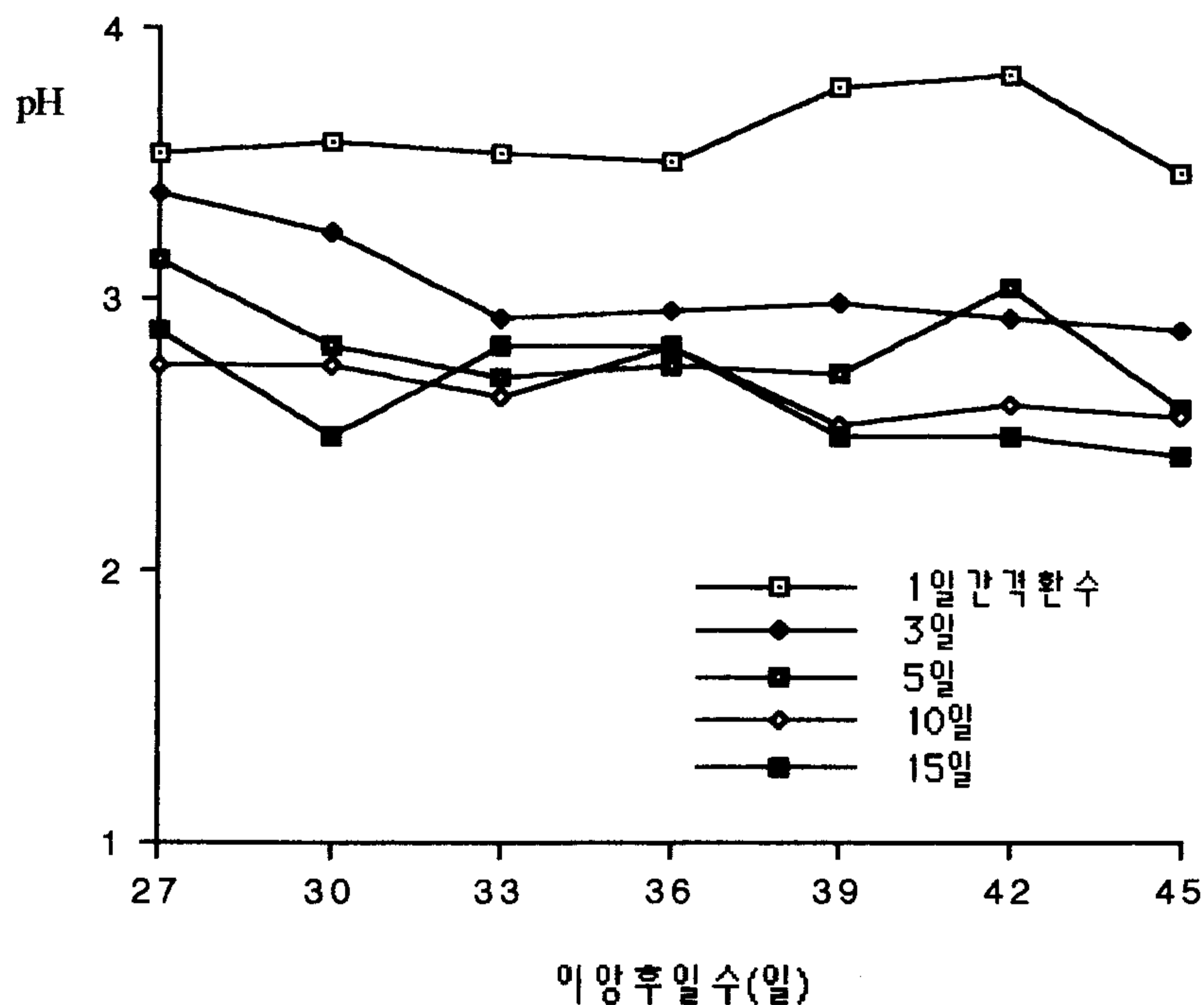


그림 23. 환수일 간격별 수도 재배 기간 중의 특이산성토양의 pH 변화

Eh의 변화는 뚜렷한 경향을 나타내었는데, 즉 이양전 및 이양후에 걸쳐서 1일 간격으로 계속적인 환수를 한 결과 Eh는 이양전 3일에 137 mV로 부터 이양후 15일에 23 mV로 감소하였다 (그림 24). 한편 15일 간격 환수에 있어서는 이양전 3일에 190 mV에서 이양후 15일에 97 mV로 감소되었으며, 환수 일수 간격이 길면 길수록 Eh 값도 높고 감소되는 폭도 적은 경향을 나타내었다. 이러한

Eh의 변화 정도는 pH의 변화에 비하면 아주 현저하여 환수 효과를 어느 정도는 인정할 수 있었다.

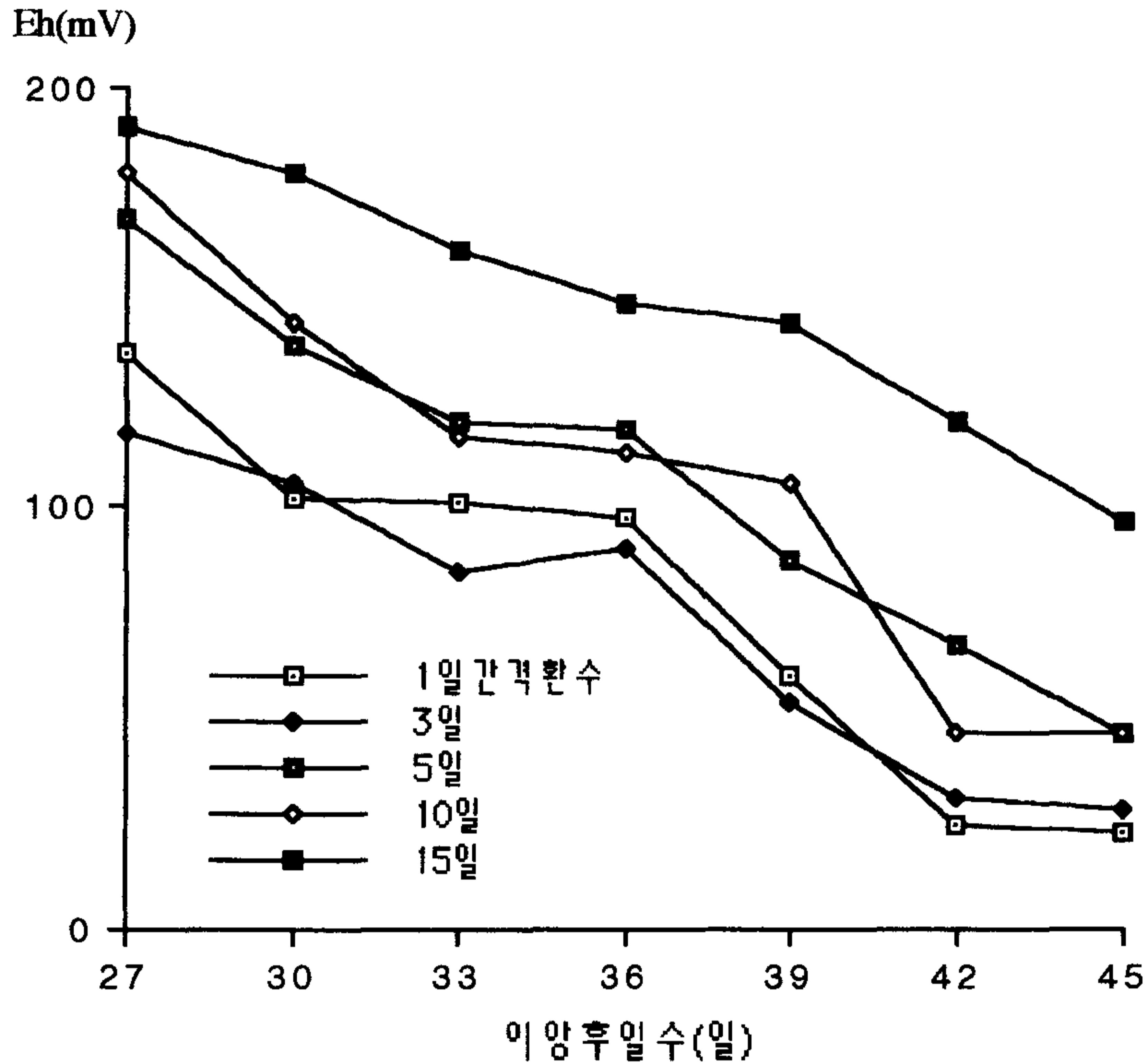


그림 24. 환수일 간격별 수도 재배 기간 중의 특이산성토양에서의 Eh의 변화

특이산성 토양의 환수에 의한 개량 효과는 거의 기대할 수 없었다 (표 3). 특이산성 토양에 수도를 이양한 직후부터 환수를 실시한 경우 50% 고사에 이르는데 요하는 일수는 1일 간격 환수의 경우에 5일이 소요 되었으며, 3일 간격이 4일 그리고 5일간격 이상에서는 3일이 소요되었다. 그러나 이양전에 환수를 실시하는 경우에는 생육 일수가 약간 증가하여 1일 간격 환수에서 11일 및 3일 간격에서 8일이 소요 되었다.

이상의 결과에 따르면 특이산성 토양 개량을 위한 환수 처리는 1일 간격

으로 계속 실시 하더라도 Eh 감소 효과를 얻는 것 이상의 pH 상승 및 수도생육을 위한 실용적인 효과를 얻을 수는 없는 것으로 생각된다.

표 3. 수도 생육 50% 고사에 요하는 이양후 일수

환수간격 (일)	이양후일수 (일)	
	이양후환수	이양전환수
1	5	11
3	4	8
5	3	6
10	3	3
15	3	3

4.1.2. 배수

배수에 의한 특이산성 토양의 pH 변화에 미치는 영향은 환수 방법의 적용보다 효과가 큰 편이었다 (그림 25). 즉 실험 실시 40일 동안 1일 간격 배수로 토양의 pH는 배수 실시전의 pH 2.61에서 3.55로 상승되었고, 3일 간격 배수에서도 pH 3.34로 상승되었다. 또한 배수 간격별 pH 상승 효과도 환수의 경우보다 높아서, 1일 간격과 15일 간격 배수 처리 사이에 0.39의 pH 차이를 나타내어 비교적 높은 pH 상승 효과를 보였다. 또한 계속하여 30일 동안 배수 처리를 실시 할 경우에 pH는 더욱 상승하는 경향이었지만, 배수 간격이 길어질수록 그 증가폭도 좁아져서 뚜렷한 배수에 의한 토양 pH 상승 효과를 기대 할 수 있었다.

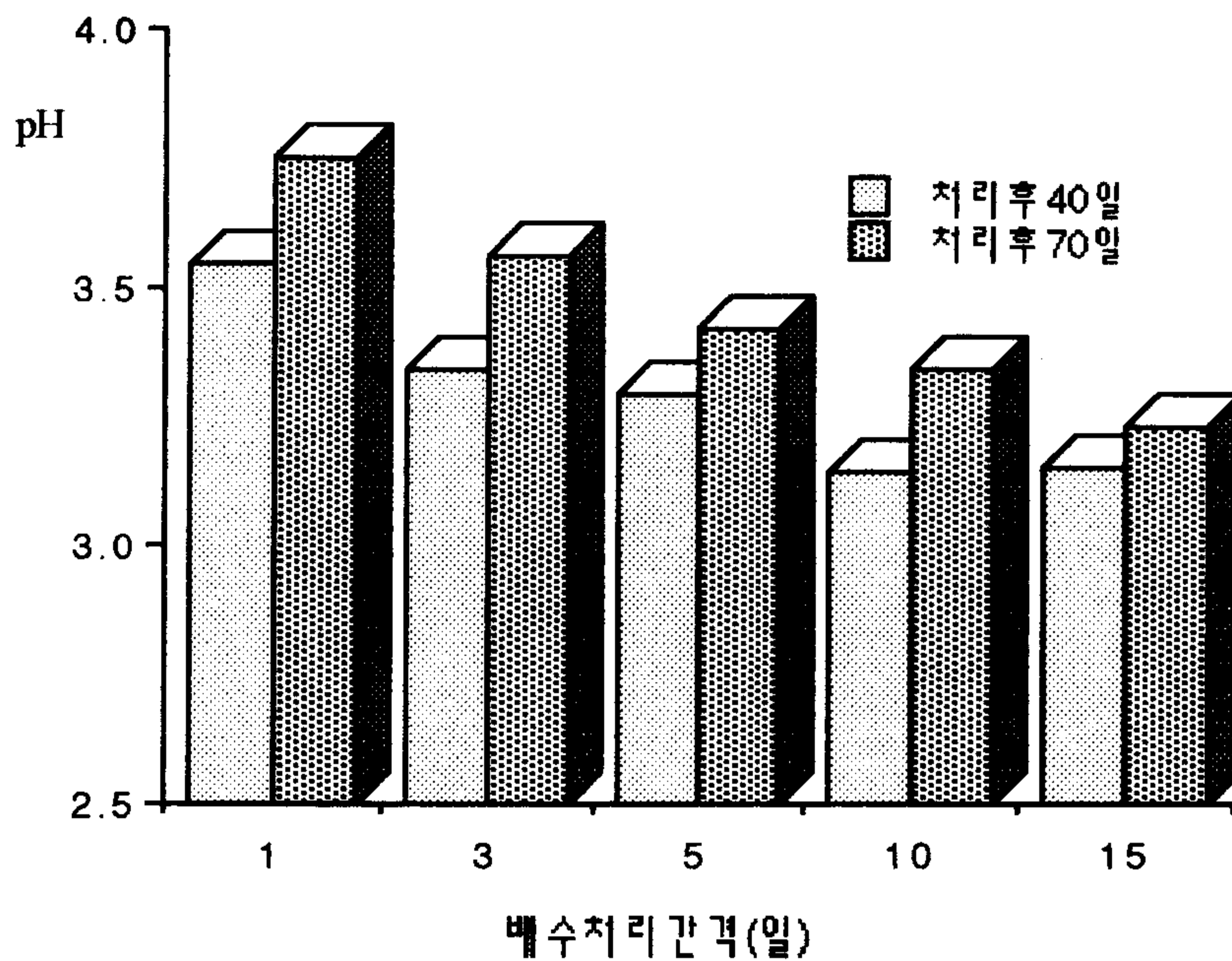


그림 25. 배수 처리 회수별 특이산성토양의 pH 변화

배수 처리에 의한 특이산성 토양에서의 수도 생육은 배수 간격이 짧을수록 좋았으며, 배수 간격 일수의 증가와 함께 생육도 현저하게 감소되었다 (표 4). 배수 간격을 1일로 한 경우에는 수도의 초장, 엽수 및 분얼수 모두에서 다른 배수 간격 처리에 비하여 월등하게 좋은 생육을 보였으며, 배수 간격의 일수가 길어지면서 초장에서의 감소가 뚜렷하게 나타났다.

비록 배수 처리가 특이산성 토양의 개량에 효과적이기는 하지만 실질적인 현장에 있어서는 적용에 큰 어려움이 많을 것으로 생각된다. 포장 현장에 있어서의 배수 처리는 굴착된 특이산성 토양을 사토 처리 하기에 앞서서 암거 배수 시설이 선행되어야 하며, 더우기 배수 처리를 위한 수량 확보 등 관개 문제 또한 고려되어야 할 주요 인자이기 때문이다.

표 4. 특이산성 토양에서의 배수 처리에 따른 수도 생육

배수간격 (일수)	수 도 생 육		
	초장(cm)	엽수	분얼수
1	28.4	4	3
3	18.3	3	1
5	13.4	3	0
10	13.6	3	0
15	14.5	3	0

4.1.3. 숙답토양과의 혼용

기존의 숙답에 특이산성 토양을 살포하고 경운하였을 경우나 또는 인위적인 개량 효과를 위하여 두 토양을 혼용한 후 기존 답의 표면에 살포할 경우 등은 적용 포장에서 만나게 되는 현실적인 상황이다. 이러한 조건하에서의 답수 후 토양 pH 및 Eh의 변화는 그림 26 및 27에서 보는 바와 같다. 그림 26에서 보는 바와 같이 두 토양의 혼용 비율에 관계없이 답수 후 토양 pH의 변화는 거의 일어나지 않았다. 그러나 혼용 비율간에는 뚜렷한 pH 차이를 나타내어, 혼용후 pH 4 이상이 유지되는 숙답토의 비율이 높은 1:2 및 1:3 혼용구와 pH 3 - 3.5가 유지된 1:1 혼용구 및 특이산성 토양의 혼용 비율이 높은 구로 구분 할 수 있었다. 이 경우에 있어서도 숙답토 및 특이산성 토양 단독구의 pH는 답수 후 계속해서 큰 변화 없이 각각 pH 5.8 및 pH 2.9 정도를 유지하였다.

pH의 변화와는 달리 Eh의 변화는 전반적으로 답수 일수의 경과와 함께 감소되는 경향을 나타내었다 (그림 27). 즉 지극히 완만한 감소 추이를 보인 특이산성 토양 단독구를 제외하고는, 숙답토 혼용 비율이 많은 구의 감소폭이 크게 나

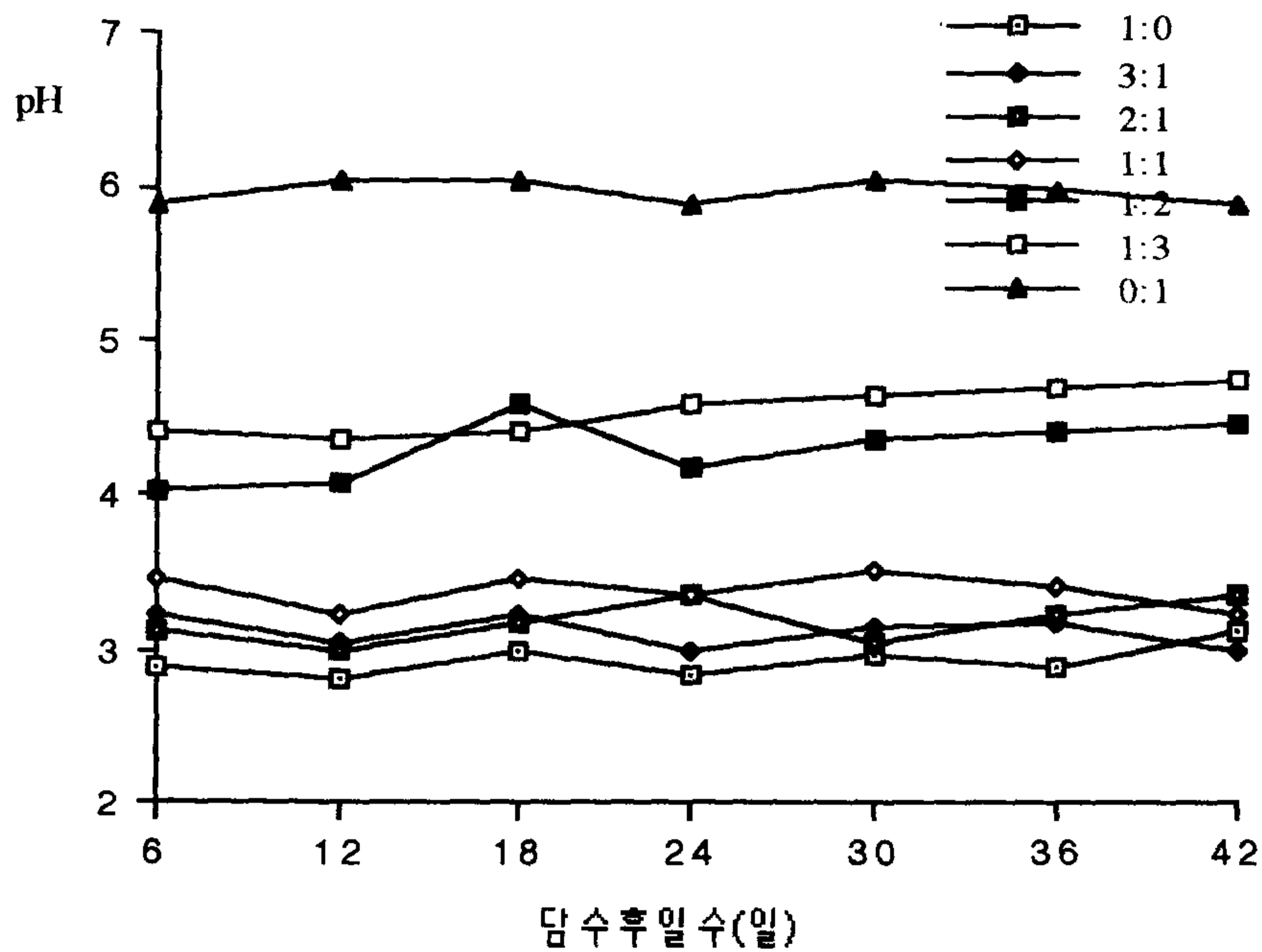


그림 26. 일반 숙답 토양과 특이산성토양과의 혼용비에 따른 담수 후 pH의 변화 (숙답토:특이산성토)

타났으며 더우기 숙답토 단독구에서는 초기에 급격한 감소가 있었고 점차 완만한 감소를 보이는 경향이였다. 따라서 두 토양의 혼용 비율에 따른 Eh의 감소 효과가 전적으로 숙답토의 함유 비율에 좌우되고 있음을 보여주었다. 이상의 결과들은 특이산성 토양의 수도 재배를 위한 개량 방법으로서 숙답 토양과의 혼용에 의한 물질적 처리 방법의 가능성을 제시하여 주었다.

두 토양간 혼용 효과를 실제 포장 조건에 적용할 경우에는 환수 처리가 가장 적합한 물리적 조합 처리로 생각 할 수 있다. 혼용 처리와 함께 배수에 의한 물 관리는 암거 배수 시설의 설치 등 어려움이 크기 때문이다 이에 따라 혼용 비율별로 환수 조건을 3, 7 및 15일 간격으로 실시하였을 때의 수도 이양시 및 30일 후의 토양 pH 변화 결과를 그림 28 및 29에 표시하였다. 이양시의 토양

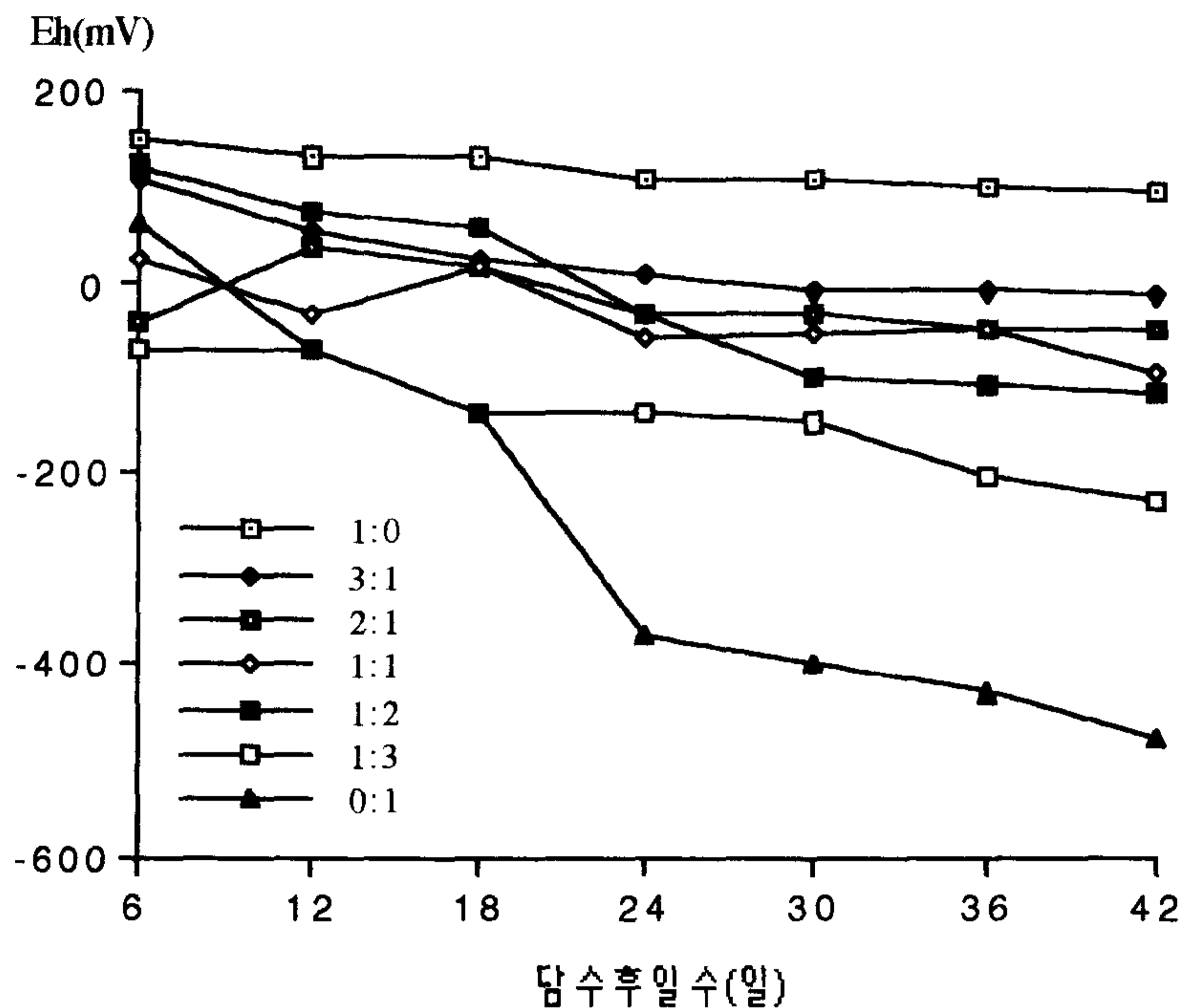


그림 27. 일반 숙답 토양과 특이산성토양과의 혼용비에 따른 답수 후 Eh의 변화 (숙답토:특이산성토)

pH는 이양에 앞서 30일간 환수 간격별로 환수를 실시 하였음에도 불구하고 큰 차이를 나타내지 않았지만 (그림 28), 반면에 혼용 비율별로는 뚜렷한 차이를 보였는데, 이러한 경향은 수도 이양후 30일에도 거의 큰 변화없이 그대로 이어지고 있었다 (그림 29). 이러한 결과는 일단 두 토양간 혼용에 의하여 일정 수준에 도달한 pH는 환수에 의하여 크게 변하지 않기 때문에 수도 생육 가능 범위내의 토양 pH로 조절하여 이를 그대로 유지할 경우에 효과가 클 것으로 생각된다.

토양 pH의 변화가 크지 않았던 것과는 달리, 토양 Eh는 토양간 혼용 비율, 환수 간격별 및 수도 이양시와 30일후에 큰 차이를 보였다 (그림 30 및 31). 수도 이양전 30일간의 1:3 혼용구의 Eh 변화는 3일 간격 환수에서 -35 mV까지 감소되었던 것 (그림 30)이 수도 재배 기간 중에는 더욱 감소되어 이

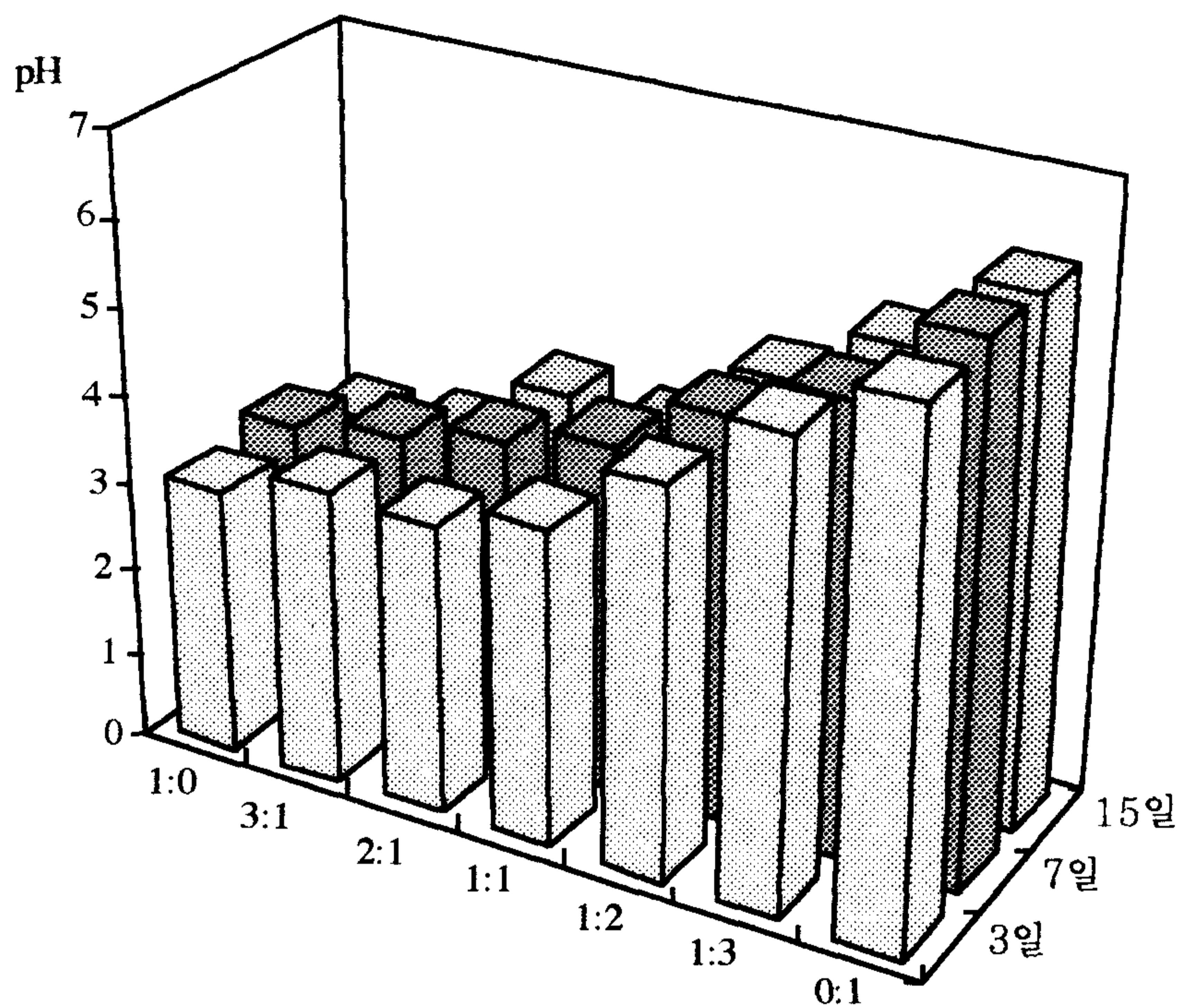


그림 28. 숙답토양과 특이산성토양과의 혼합 토양에서의 환수 처리 후 30일의 pH (숙답토:특이산성토)

양 후 30일에는 -170mV 까지로 떨어졌다 (그림 31). 이러한 경향은 숙답토양의 혼용 비율이 적기는 하지만 비슷한 경향을 보였다. 그러나 환수 간격의 일수가 7일 및 15일로 길어지게 되면 Eh의 감소 효과도 이에 따라 크게 둔화되는 경향을 나타내었으며, 두 환수 간격 간에도 큰 차이를 나타내지 않았다.

두 토양간 혼용구에서의 수도 생육은 숙답 토양의 함유 비율이 높을수록 좋았다 (그림 32). 특이산성 토양 단독구에서는 수도 이양후의 환수 일수에 관계없이 이양 직후부터 생장 억제 및 엽 선단 부위 부터의 고사 증상이 나타나고 그 후 곧 완전 고사에 이르렀다. 수도 이양 30일후의 수도 초장은 특이산성

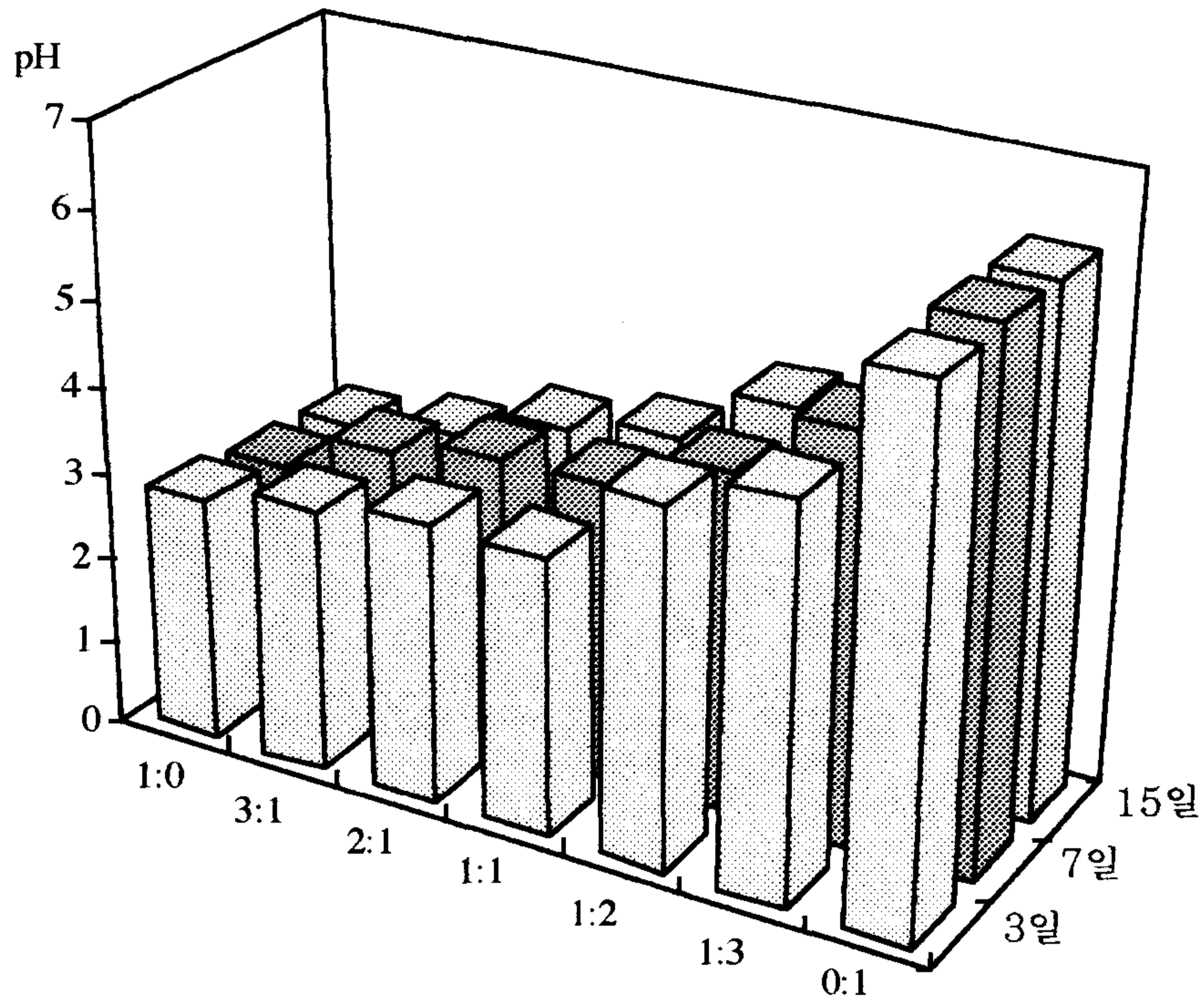


그림 29. 숙답토양과 특이산성토양과의 혼합 토양에서의 환수
처리 후 60일의 pH (숙답토:특이산성토)

토양의 혼용 비율이 가장 높은 3:1 비율구에서 가장 작았으며, 특이산성 토양의 혼용 비율이 2:1로 감소됨과 함께 수도 초장도 증가되어 숙답토 단독구의 수도 초장 대비 약 70%에 도달 하였다. 더우기 두 토성의 혼용비율이 같은 1:1구에 있어서도 수도 초장은 숙답토 수도에 비하여 약 83%까지 생육 되었으며, 숙답토의 혼용 비율이 더욱 증가하면서 수도의 생육은 숙답토 단독구의 것과 거의 비슷한 수준을 보였다. 이와 같은 경향은 환수에 의해서는 크게 변하지 않는 경향이였다.

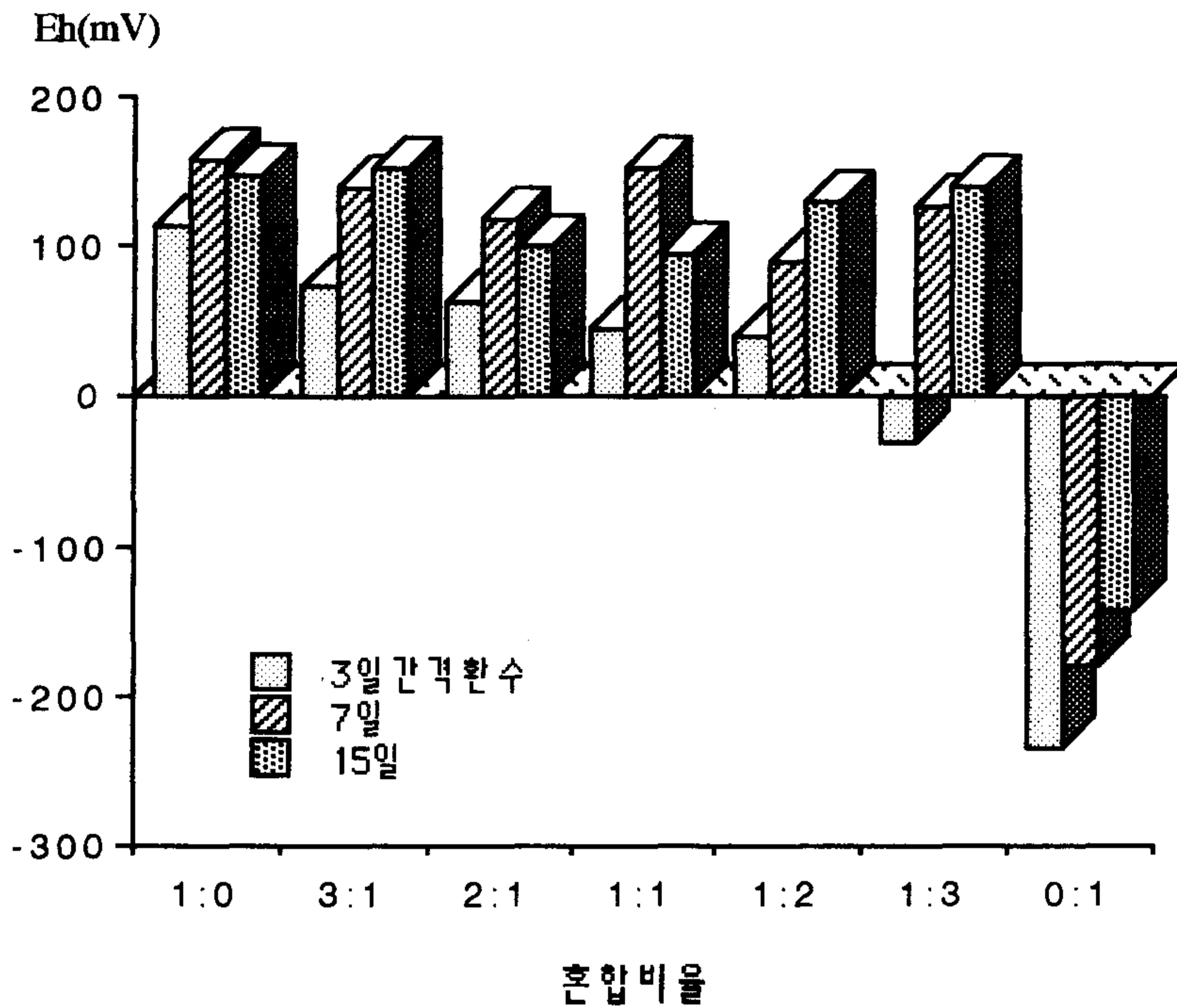


그림 30. 일반 숙답 토양과 특이산성토양과의 혼합 토양에서의 환수 처리 실시 후 30일의 Eh

이상의 결과는 특이산성 토양의 물리적 개량 효과는 이 토양을 일반 숙답 토양과 혼용함으로써 기대할 수 있는데, 이때의 혼용 비율은 최저 1:1의 수준까지 가능할 것으로 생각된다. 비록 담수 기간 중 및 수도 재배 기간중의 토양 pH 및 Eh의 변화 양상이 1:1 혼용구에서 수도 재배상 최적의 조건을 나타내지는 않았지만, 실제 포장에서의 여러가지 수도 재배 조건 및 기타의 개량 방법 등의 조합 처리를 감안한다면 충분한 결과를 얻을 수 있으리라고 생각한다.

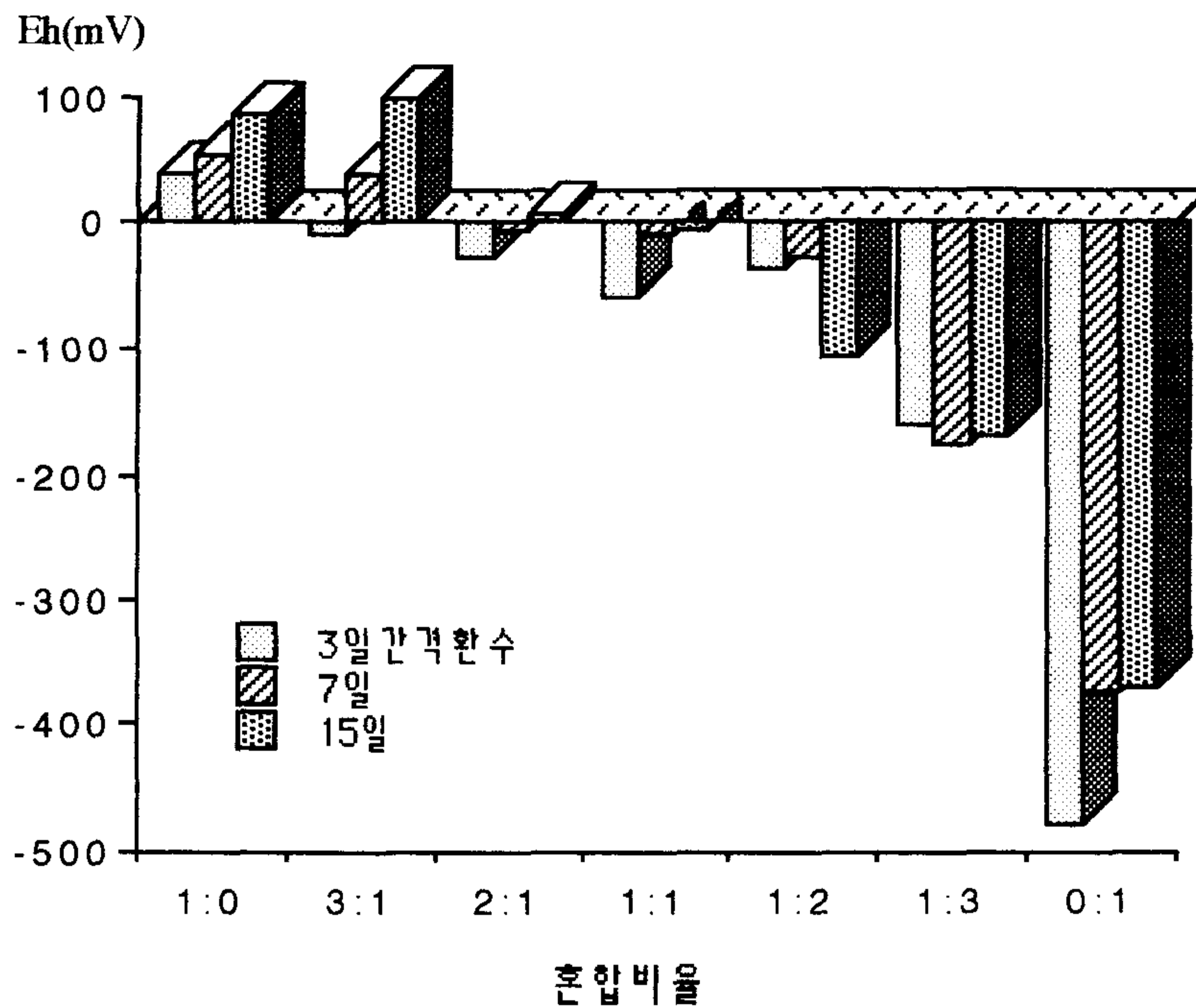


그림 31. 일반 숙답 토양과 특이산성토양과의 혼합 토양에서의 환수 처리 실시 후 60일의 Eh

4.1.4. 매물

특이산성 토양을 숙답토 밑으로 매물시킬 경우의 토양 표층부의 pH는 처음에는 숙답토의 pH를 나타내었으나, 30일이 경과된 후에는 10 cm 및 20 cm 매물구에서 pH 1 정도가 감소되어 각각 4.5와 4.75를 나타내었다 (그림 33). 그러나 30cm 매물구에서는 거의 변화를 나타내지 않았고, 특이산성 토양에서도 본래의 pH 범위에서 크게 변화되지 않았다. 얇게 매물된 구에서의 pH감소는 하층에 존재하는 특이산성 토양의 영향을 받았기 때문으로 생각된다.

특이산성 토양의 매물 처리구에서의 수도 생육은 매물 깊이가 깊어질수록

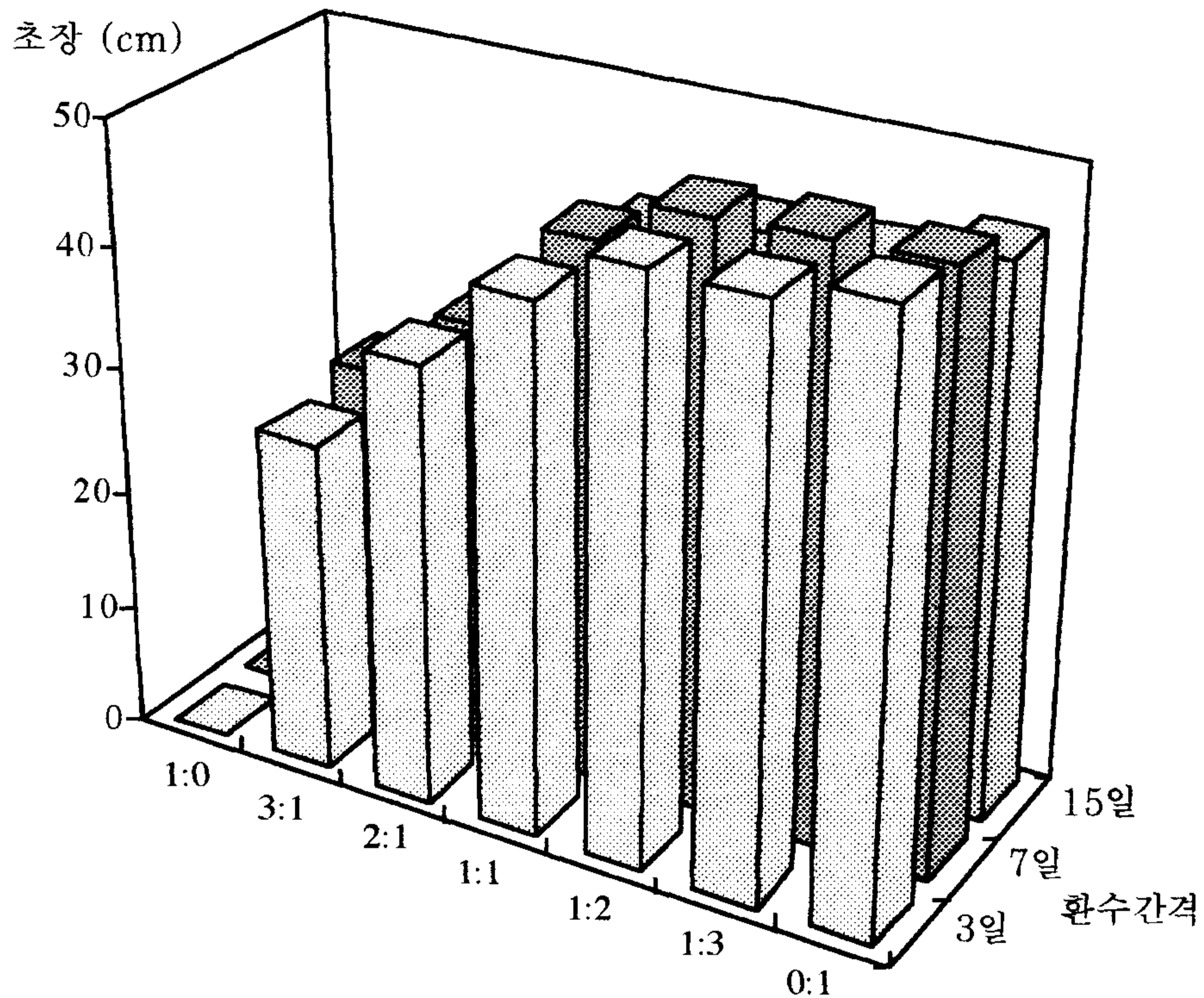


그림 32. 일반숙답 토양과 특이산성토양과의 혼합 토양에서의
환수 처리일별 수도 초장 차이

수도 생육이 좋게 나타났다 (표 5). 무매물구에서의 수도는 이양 후 4일에 완전 고사에 이르렀다. 매물 심도의 영향이 수도 생육 중 가장 크게 나타난 것은 근장으로, 대부분의 경우 근장은 매물심도 부근에서 특이산성 토양의 접촉으로 인하여 성장 억제를 받았던 것으로 나타났다. 초장에 대한 영향 또한 20cm 매물구에서 보다는 10cm 매물구에서 크게 나타났지만, 분얼수에 있어서는 큰 차이를 인정할 수는 없었다. 이러한 근장 및 초장에 대한 영향은 결국 건물중 생산

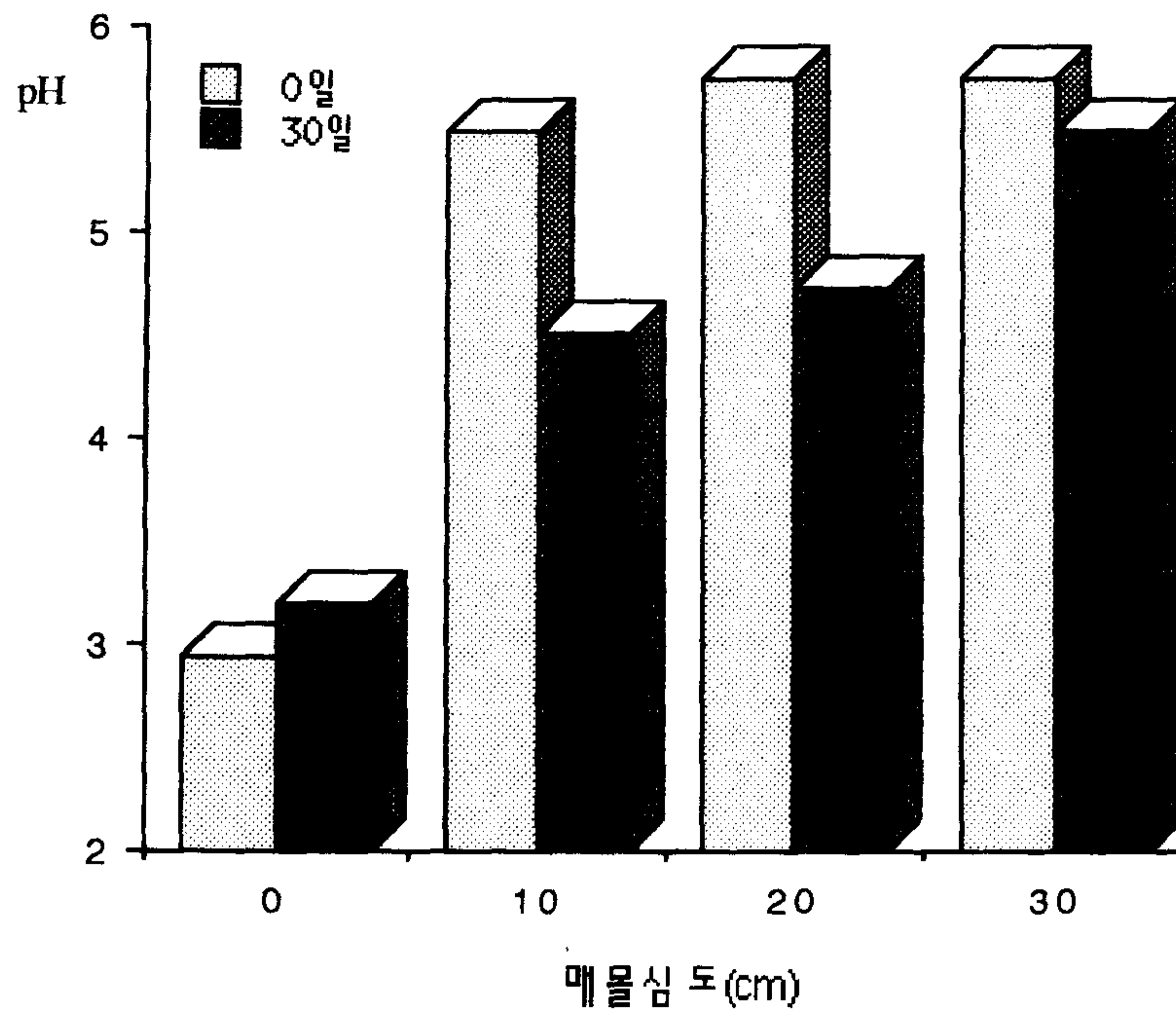


그림 33. 매물 심도별 수도 1차 재배 기간 중 pH의 변화

표5. 특이산성 토양의 매물깊이에 따른 수도 생육

매물심 (cm)	수 도 생 육			
	초장(cm)	근장 (cm)	분얼수	건물중(g/본)
0	0	0	0	0
10	44.2	22.9	3.1	9.1
20	51.1	27.0	3.4	11.7
30	56.8	34.5	3.3	13.2

에 영향을 미쳐, 10cm 및 20cm 매물구에서의 건물생산은 30cm 매물구의 것

에 비하여 각각 69% 및 87%에 머물렀다.

이상의 결과는 특이산성 토양을 숙답토양 밑에 매몰시킬 경우에는 작토층 이하로 깊이 매몰시켜야 효과적임을 보여준 결과라 하겠다. 그러나 그러한 경우라 할지라도 수도 재배후의 영운 정지 작업에 따르는 매몰층의 교반으로 말미암아 매몰되었던 특이산성 토양이 작토층으로 이행되어 후작기의 수도 생육에 영향을 미칠 수도 있을 것으로 생각된다.

이러한 상황은 실제 포장 적용시 발생 가능한 것으로, 본 실험에서도 1차 수도 재배후 25cm 깊이의 작토층을 설정하고 영운 정지한 후 2차 수도 재배를 실시하였고, 더불어 영운 정지 직후 및 수도 재배후의 토양 pH 변화를 조사하였다. 특이산성 토양의 매몰후 수도 재배 그리고 영운 정지는 매몰 깊이에 따라 pH의 변화가 뚜렷하게 나타났는데, 10cm 매몰구에서는 영운 깊이를 25cm로 하였기 때문에 pH도 더욱 감소되어 3.5 부근에 머물렀다 (그림 34). 그러나 20cm 매몰구에서는 영운에 의한 영향이 10cm 매몰구 보다는 적었던 관계로 pH 4.6 정도까지만 감소 되었고, 30cm 매몰구에서는 거의 영향을 받지 않아 pH의 변화가 없었다. 이러한 영운 정지 직후의 pH는 수도 재배 20일 동안에도 거의 변화를 나타내지 않은 채로 그대로 유지 되었다. 매몰구의 영운 정지후의 2차 수도 재배는 0cm 매몰구에서는 1차 재배시와 마찬가지로 이양 직후 완전 고사 되었지만, 그밖의 매몰구에서는 매몰 심도에 따라 차이는 있지만 비교적 좋은 생육 상태를 보였다 (표 6). 즉 10cm 및 20cm 매몰구 수도의 초장, 근장, 엽수 등은 거의 비슷한 수준을 보였는데 이는 영운에 의하여 두 토성간에 혼합된 결과 때문인 것으로 생각 할 수 있으며, 30cm 매몰구에 있어서는 실제 영운을 하였다 하더라도 밑에 매몰된 특이산성토가 표토와 혼합되지는 않았기 때문에 수도의 생육은 다른 매몰구에 비하여 좋은 상태이었다.

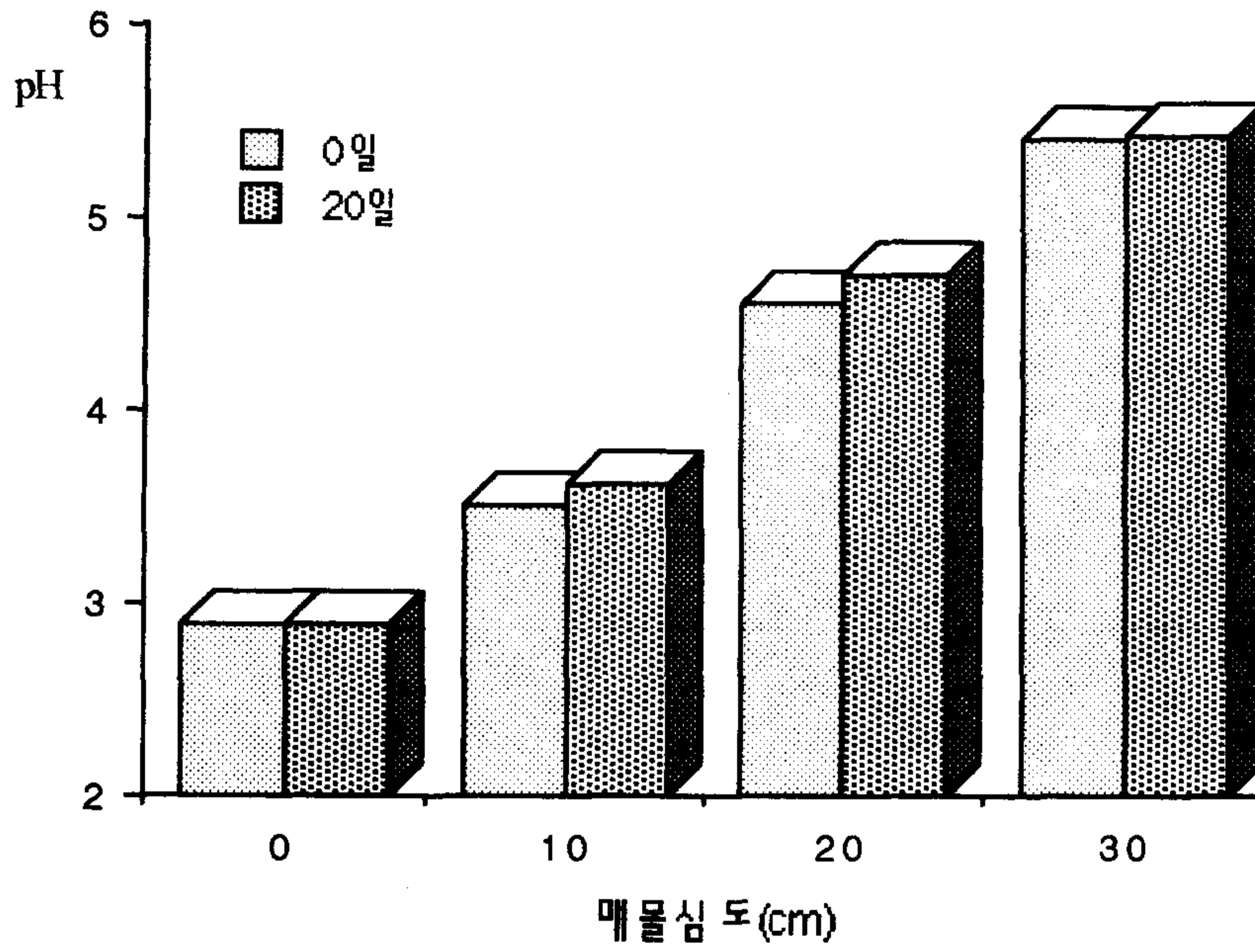


그림 34. 수도 재배된 매물구에서의 경운 정지 후 pH의 변화

표 6. 매물 처리한 특이산성 토양의 경운 정지후 재배한 수도 생육

매물심 (cm)	수 도 생 육			
	초장(cm)	근장 (cm)	엽수	건물중(g/본)
0	0	0	0	0
10	23.9	18.0	4.8	1.7
20	27.2	18.7	4.9	1.7
30	26.3	20.2	4.6	1.9

한편 각 매몰구에서 생육한 수도의 양분 흡수를 도체의 무기성분 분석 결과로부터 보면 질소를 비롯한 다량요소 대부분들이 흡수되는데 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다 (표 7). 이것은 수도 뿌리의 양분 흡수가 10cm 이하에 매몰 되어있는 특이산성토에 의하여 영향을 크게 받지 않았기 때문으로 앞서의 결과에서 나타난 바와 같이 뿌리 생장에 있어서도 크게 영향을 받지 않았던 결과와 유사한 경향이였다.

표 7. 매몰 처리한 특이산성 토양의 경운 정지후 재배한 수도 성분 분석

매몰심 (cm)	성분 함량 (%)							
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Na
10	1.35	0.17	2.04	0.67	0.64	0.11	0.08	0.29
20	1.40	0.18	1.93	0.62	0.59	0.09	0.08	0.24
30	1.42	0.17	1.78	0.66	0.71	0.12	0.06	0.26

이상의 결과는 특이산성 토양에서의 수도 재배 피해를 경감시킬 수 있는 물리적인 방법으로서, 특이산성 토양을 어느 심도 이하로 매몰 시키는 방법의 적용이 가능함을 시사하여 준 것으로 생각되는데, 1차 작기후라고 하더라도 경운 정지될 경우에는 복토되어 있는 일반 숙답 토양과의 혼합로서 특이산성 토양 단독으로 주어지는 피해보다 훨씬 줄일 수 있기 때문이다. 더우기 여타의 효과적인 특이산성 토양의 적용 가능 방법을 조합 처리할 경우에는 매몰 심도 또한 더욱 얇게 처리하여도 바람직한 효과를 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

4.2 산화된 잠재성 특이산성토양에 대한 개량제 시용 효과

4.2.1. 개량제 시용

석회를 주성분으로 하는 개량제들의 시용 7일후 토양 pH는 시용량이 증가함에 따라 상승되는 경향을 나타내었지만, 유기질 비료의 시용은 토양 pH의 상승 효과에 큰 영향을 나타내지 않았다 (표 8). 이들은 시용 후 70일에 이르러서도 시용 초기의 pH와 큰 차이를 나타내지 않아서 대부분의 경우 석회 시용후 바로 중화점에 도달하였음을 나타내 주었다. 시용량에 따른 pH 변화는 생석회 및 석회고토 시용구에서 큰 편이었으며, 패화석과 유기질 비료의 시용구에서는 시용량에 따른 변화가 크지 않았다.

개량제 시용에 의한 토양 pH 보전 효과를 수도 생육에서 보면, 유기질 비료 시용구를 제외하고는 비교적 수도 생육이 좋게 나타났다 (표 9). 유기질 비료의 시용량이 낮은 구에서는 초기의 생육 억제가 심하였었는데, 시간의 경과와 함께 그 정도가 더욱 심하여져서 이앙 15일에 완전 고사에 이르렀다. 또한 시용량이 높았던 구에 있어서도 생육 억제가 계속되어 이앙 40일후의 조사 당시에 타 시용구의 수도 생육에 비하여 현저히 떨어지는 경향을 보였다. 시용 개량제 종류간에는 수도 생육에 미치는 차이가 크지 않았으며, 각 개량제의 시용량 간에도 큰 차이를 보이지 않았다.

이상의 결과는 석회를 주성분으로 하는 개량제가 특이산성 토양의 개량에 효과가 있음을 나타내 주었으나, 실용상 적용에 있어서는 문제점도 야기 될 것으로 생각된다. 즉 본 공시 토양의 pH 2.6을 pH 5.2로 상승 시키는데 소용되는 석회소요량은 SMP Single-Buffer법으로 산출할 경우에 농용석회로서 6.4 ton/10a이 소요 되었는데, 이 수준은 김해의 특이산성토에 시용 추 되는 석회량인 하 등의 530 kg/10a, 박 등의 650 kg/10a 및 오 등의 750 - 1000

표 8. 개량제 시용에 따른 특이산성토양의 pH 변화

개량제 종류	시용량 (g/토양kg)	pH	
		시용후 7일	시용후 50일
생석회	5	4.43	4.38
	10	7.84	7.47
	20	8.78	8.59
석회고토	7	3.71	4.63
	15	6.10	6.01
	30	6.62	6.21
폐화석	20	6.98	7.03
	30	7.77	7.76
	40	7.86	7.81
유기질비료	10	3.37	3.61
	20	3.30	3.60
	30	3.67	3.97

kg/10a 보다도 월등히 많은 량으로서, 이 수준의 시용은 과량의 석회에 의한 알카리 해 등의 우려가 클 것으로 판단된다.

표 9. 개량제 시용에 따른 특이산성 토양에서의 수도 생육

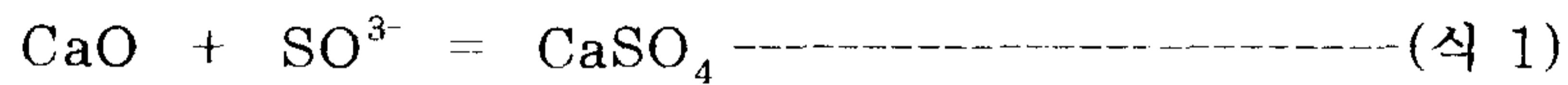
개량제 종류	시용량 (g/토양kg)	수 도 생 육		
		초장(cm)	엽수	분얼수
생석회	5	25.3	5	1
	10	27.1	5	1
	20	29.5	4	2
석회고토	7	26.4	5	1
	15	27.0	5	1
	30	28.9	5	1
폐화석	20	26.1	5	1
	30	26.5	5	1
	40	28.6	5	2
유기질비료	10	0	0	0
	20	0	0	0
	30	16.7	4	1

4.2.2. Ammonia 처리

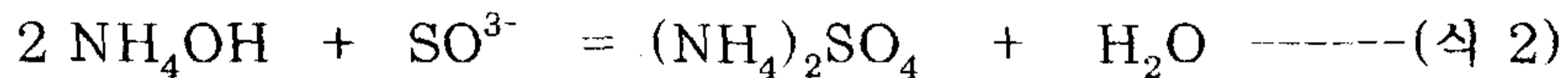
1. 유황의 용출

특이산성 토양 중에 다량으로 존재하는 유황 성분은 토양의 산화에 의하여 토양 산도 강화를 일으키는 주원인으로 알려져 있는 바, 이러한 유황 성분의 제거는 본 토양의 개량 방법에 이용할 수 있는 직접적인 화학적 처리이다.

그림 35에서 보는 바와 같이 Ammonia 처리 후의 특이산성토 중에 남아 있는 수용성 산화 유황은 담수 일수가 경과함에 따라 감소되는 경향을 나타내었다. 그러나 석회를 처리한 경우에는 Ammonia 처리에 비하여 수용성 산화 유황의 함량이 낮았으며, 시간의 경과와 함께 이러한 경향이 계속 유지 되었다. 이러한 현상은 석회 처리구에서는 석회와 함께 유황 성분의 반응으로 상당량의 불용성인 황산칼슘으로 고정되었기 때문으로 생각된다 (식 1).



반면에 Ammonia 처리는 토양 중의 Sulfate와 반응함으로써 가용성의 황산암모늄을 생성하여 토양수에 의하여 투수, 용탈되어 토양 중으로 부터 유황 성분이 쉽게 제거될 수 있을 것으로 생각된다(식 2)



Ammonia 및 석회 처리 후 토양수 중에 용출되어 나오는 총유황의 함량이 이상의 결과를 잘 뒷받침 해 주고 있다 (그림 36). 즉 석회 처리구로 부터 용출된 토양수 내의 총유황 함량은 담수 일수에 따라 감소는 되고 있으나 그 정도는 약 200 ppm 부근을 상회하였다. 그러나 Ammonia 처리구에서는 담수초기 부터 많은 량이 용출되기 시작하였고, 시간의 경과와 함께 약간 감소는 되고 있으나 계속해서 많은 용출을 보였다. 한편 무처리구의 총유황 용출량이 Ammonia 처리구 보다는 훨씬 낮은 수준을 나타낸 반면, 석회 처리구보다는 훨씬, 높은 수준을 나타내었는데, 이것은 석회에 의한 산화 유황의 고정화 때문인 것으로 생각된다.

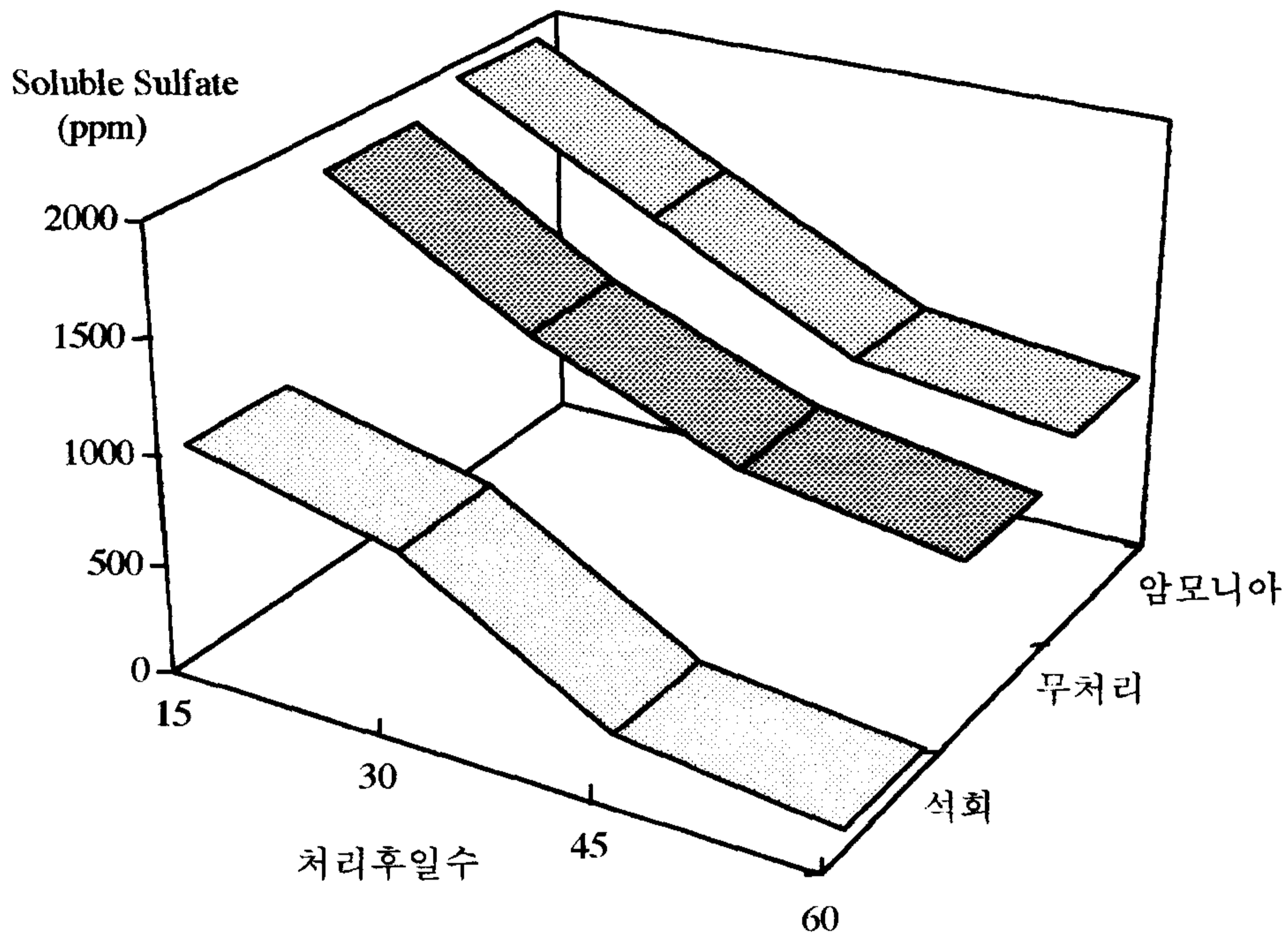


그림 35. 특이산성토에 대한 Ammonia 및 석회 처리 후의 수용성 산화유황의 함량

2. 숙답토양과의 혼용에 대한 Ammonia 처리 효과

공시 토양 중의 총유황 함량은 0.45%로서 Ammonia에 의한 중화로 pH 7까지 상승 시키는데 소요되는 28%-Ammonia 량은 11.7 ml/토양 kg이 이었다. 그러나 여타의 물리적 개량 방법과의 조합 등을 감안하고, 총유황 중 10%만을 중화시키는 것으로 고려하여 Ammonia 처리량을 최고 1ml/토양 kg으로 설정하여 실험을 실시하였다.

특이산성 토양을 숙답 토양과 동량으로 혼화하고 여기에 Ammonia를 처리할 때, 토양 pH는 Ammonia 처리량이 많아 질수록 상승하였지만 시간

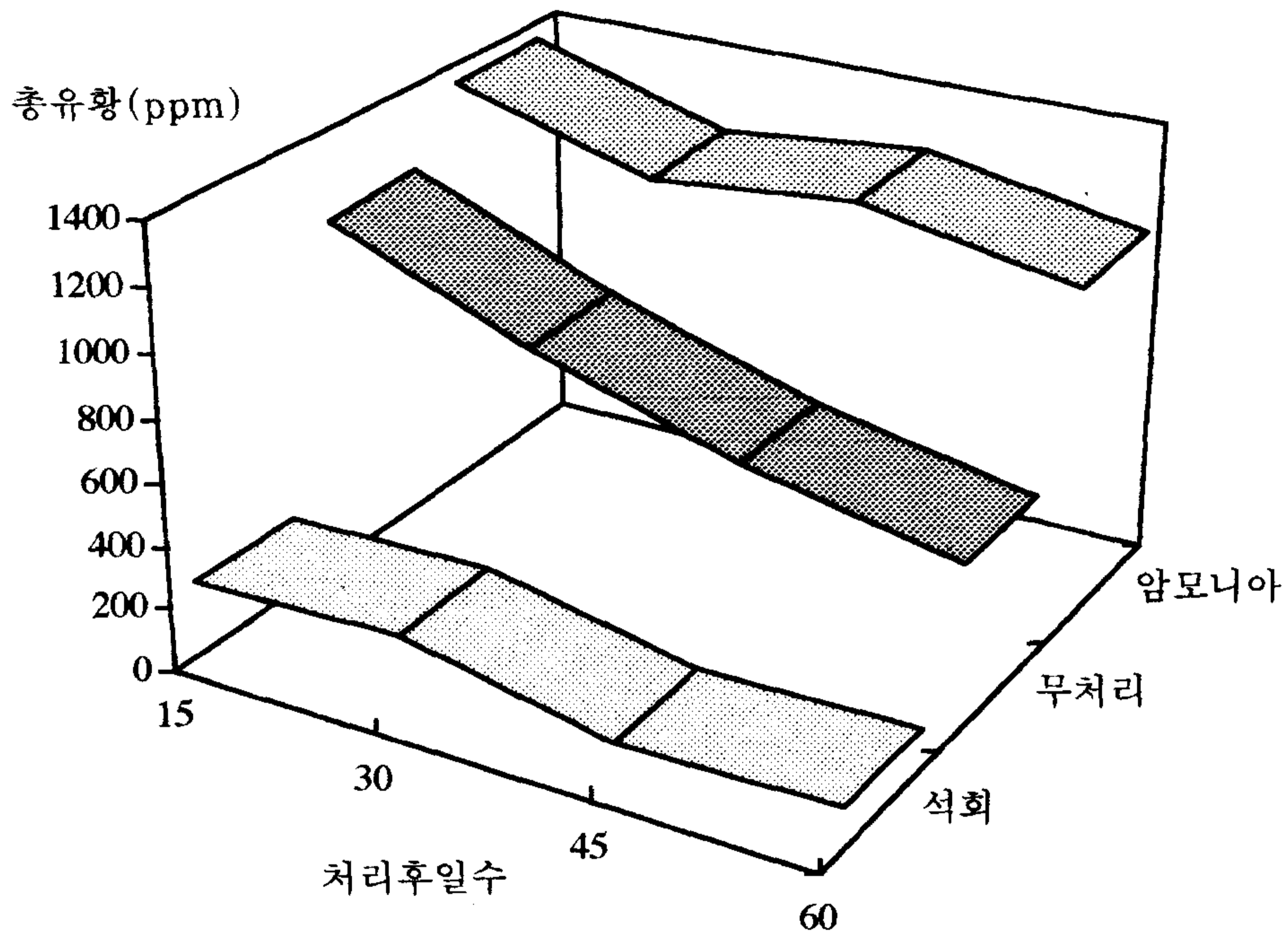


그림 36. 특이산성토양에 대한 Ammonia 및 석회 처리 후의 토양수 중의 총유황 함량

의 경과와 함께 하강되는 경향을 나타내었다 (그림 37). 토양 pH의 하강은 Ammonia 2.5 ml 및 5ml/토양 kg 처리구가 비교적 큰 편이었으며, 10ml 처리구에서는 완만한 감소 추세를 나타내었다. 더우기 무처리구에 있어서도 토양 pH가 감소되는 경향이었는데 이러한 현상은 시간의 경과와 함께 두 혼합된 토양 간의 안정화 및 중화점으로의 진행 때문으로 생각된다. 한편 두 토양간 혼용 비율이 2:1일 경우에는 토양 pH 변화 추이가 1:1의 경우와는 다르게 나타났다 (그림 38). 즉 전반적인 토양 pH 값이 1:1 혼용구에 비하여 낮았으며, Ammonia 처리 수준에 따른 pH 차이 폭이 적은 편이었다. 그러나 Ammonia 처리후 시간의 경과와 함께 토양 pH의 하강 추이는 두 토양간 혼용 비율에 관계

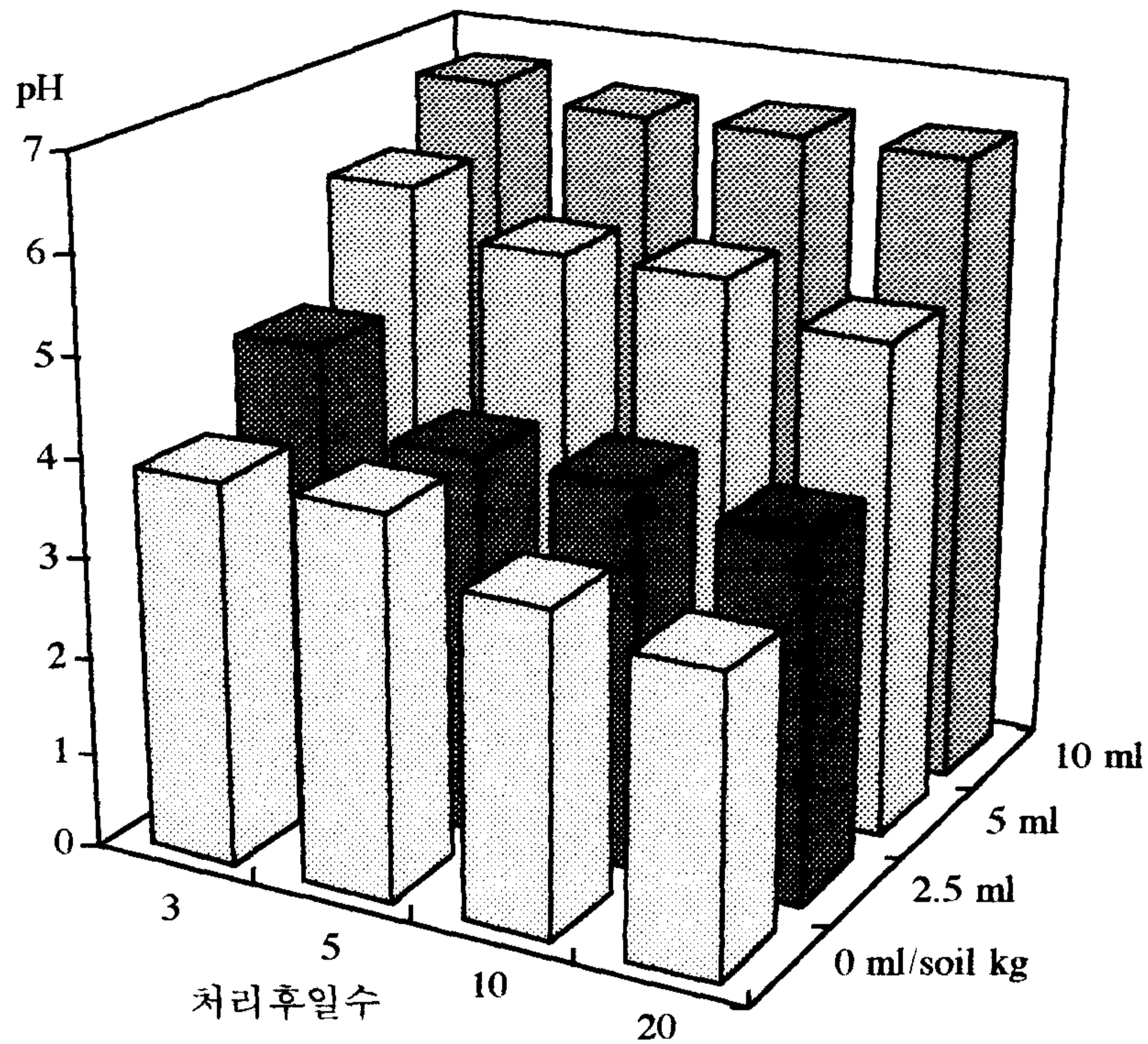


그림 37. 숙답토양과 특이산성토양과의 동비율 혼합토양에서의 Ammonia 처리 후 pH의 변화

없이 비슷하였다. 이러한 경향들은, 혼합된 특이산성 토양의 비율이 2:1구에서 높았었기 때문으로 생각된다.

두 토양의 혼합구에 Ammonia를 처리하여 수도를 재배할 경우에 초기의 수도 초장은 Ammonia 처리구가 무처리구에 비하여 큰 경향이었으나, 혼용 비율간에는 차이를 나타내지 않았다 (그림 39). 이양 10일 후의 Ammonia 무처리구에서의 수도 초장은 처리구의 약 70 - 80% 정도에 머물렀으며, 두 혼용 비율구 모두에서 Ammonia 처리 수준간에는 큰 차이를 보이지 않았다. 이러한 경향은 생육의 진전과 함께 변화되어 이양 후 25일에 조사한 수도 초장은 2:1 혼

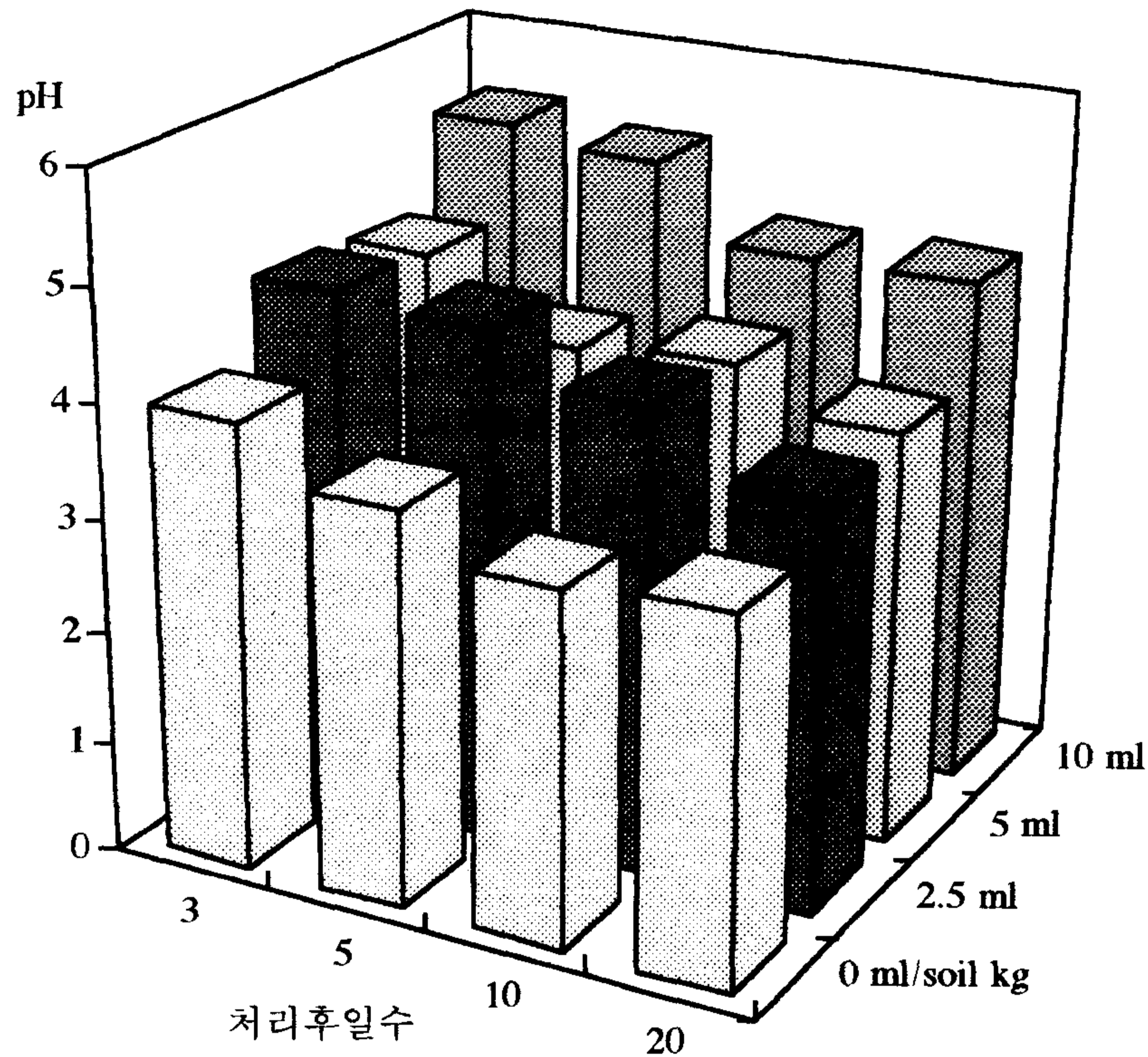


그림 38. 숙답토양과 특이산성토양과의 2:1 혼합토양에서의 Ammonia 처리 후 pH의 변화

용구의 Ammonia 2.5 ml 처리구에서 가장 컸으며, 그 다음이 5 ml 처리구로 나타났다 (그림 40). 한편 Ammonia 10 ml 처리구에 있어서는 2:1 혼용구에서 수도 초장이 감소된 반면, 1:1 혼용구에서는 큰 감소를 보이지 않았다.

두 토양간 혼용구의 Ammonia 처리구에서 생육된 수도의 뿌리에 미치는 영향은 Ammonia 무처리구에서의 수도 근장이 처리구에 비하여 약간 감소되는 경향이었으나, Ammonia 처리 수준 간에는 큰 차이를 인정할 수 없었으며, 혼용비율구 간에도 거의 차이가 없었다 (표 10). 이러한 경향은 엽수 및 건물중에

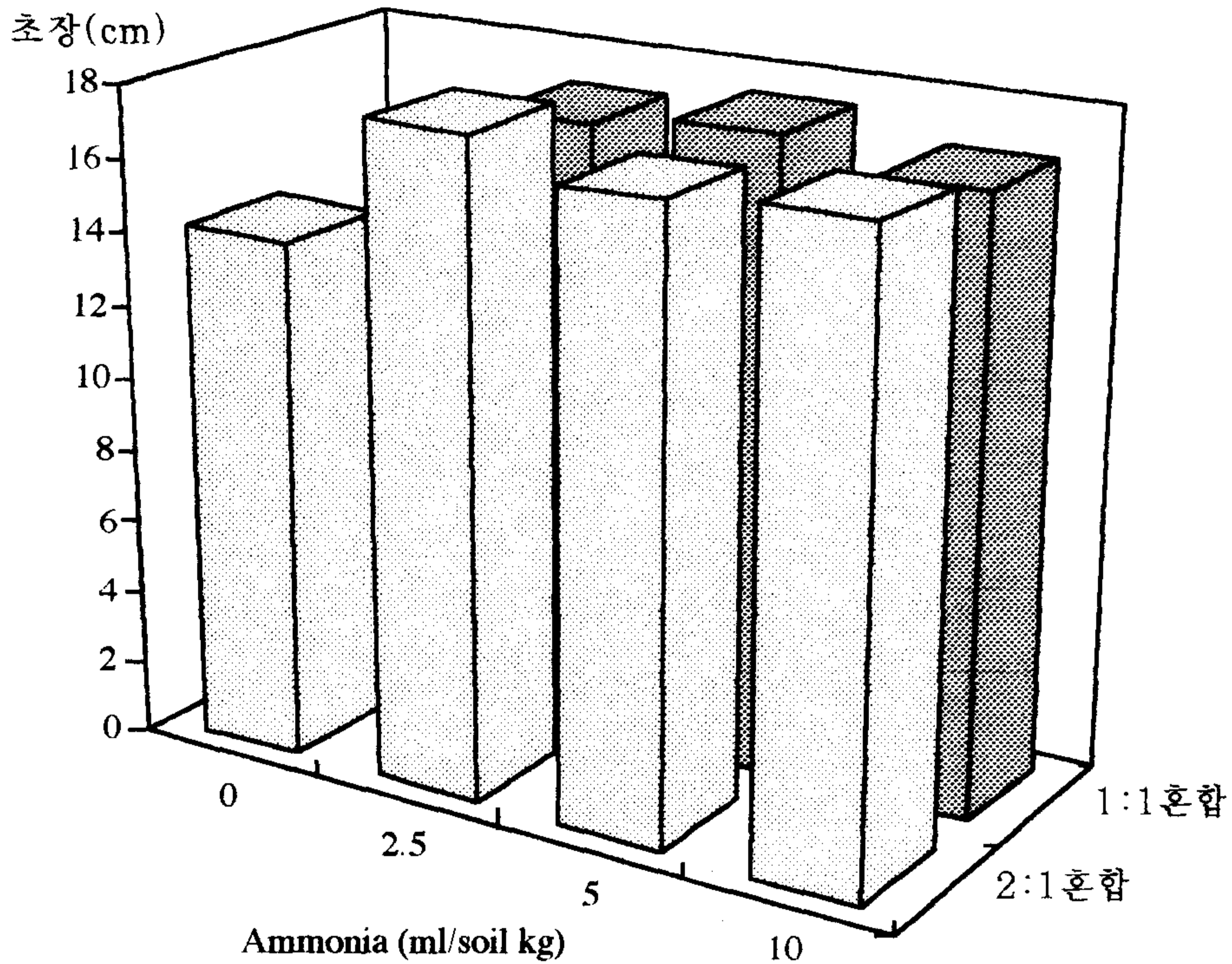


그림 39. 숙답토양과 특이산성토양과의 혼합토양에 대한 Ammonia 처리구에서의 수도 생육(이양 후 10일)

있어서도 유사하게 나타났다.

Ammonia 무처리구에서의 수도 근생장에 미치는 영향은 수도체의 양분 흡수에도 영향을 미쳐 Ammonia 처리구에 비하여 질소 함량이 낮았다 (표 11). 이러한 경향은 두 혼용 비율구 모두에서 같이 나타났지만, Ammonia 처리 농도간에는 큰 차이를 보이지 않았다 또한 인산과 가리의 흡수에는 혼용 비율 및 Ammonia 처리량 간에 큰 차이를 찾을 수 없었다. 이러한 결과는 Ammonia 처리가 특이산성토양의 개량을 위한 중화 물질로서의 이용에 질소질 비료로서

의 비효도 있음을 나타내 준 결과이었다.

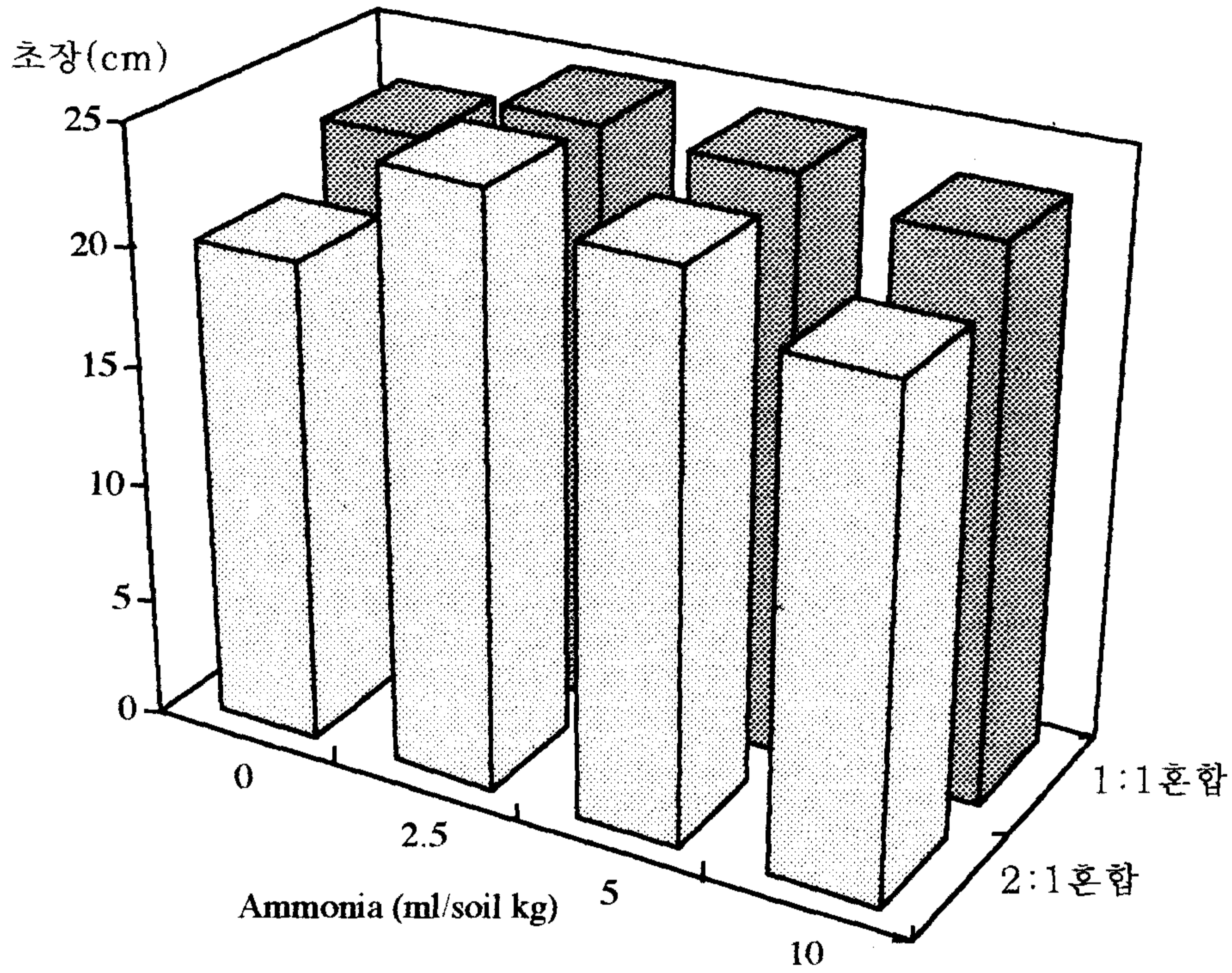


그림 40. 숙답토양과 특이산성토양과의 혼합토양에 대한 Ammonia 처리구에서의 수도 생육(이앙 후 25일)

이상의 결과는 두 토양이 혼합될 때 특이산성 토양의 혼합 비율이 높아 서 수도 재배가 어려운 경우에도 Ammonia 처리에 의한 개량 효과의 가능성을 보여준 결과로서, 추후 보다 다양한 조건하에서의 실증 실험 및 단일 특이산성 토양에 대한 적용 효과 등의 자세한 검토가 요망된다.

표 10. 숙답토양과의 혼용구에 대한 Ammonia 처리가 수도 생육에 미치는 영향

Ammonia (ml/토양kg)	1:1 혼용구			2:1 혼용구		
	근장(cm)	엽수	건물중(g)	근장(cm)	엽수	건물중(g)
0	8.8	4.5	0.81	9.1	4.7	0.87
2.5	10.4	4.8	1.09	9.6	4.9	0.93
5	10.2	4.9	0.99	9.8	4.5	0.97
10	10.7	4.9	0.87	10.2	4.5	0.90

표 11. 숙답토양과의 혼용구에 대한 Ammonia 처리가 수도 양분 흡수에 미치는 영향

Ammonia (ml/토양kg)	1:1 혼용구 (%)			2:1 혼용구 (%)		
	N	P	K	N	P	K
0	1.35	0.24	2.29	1.38	0.25	2.04
2.5	1.42	0.25	2.16	1.41	0.21	2.26
5	1.46	0.28	2.22	1.44	0.25	2.17
10	1.45	0.25	2.17	1.45	0.23	2.22

3. 매몰구에 대한 Ammonia 처리 효과

특이산성 토양의 매몰 심도에 관계없이 Ammonia 무처리구의 토양 pH는 5.5 부근으로 시간의 경과에도 큰 변화를 나타내지 않았다 (그림 41 및 42). 그러나 Ammonia 처리구에 있어서는 초기의 pH 7 - 7.5가 시간의 경과와 함께 점차 감소 되어가는 경향을 보였다. 5 cm 매몰구에서의 토양 pH는 Ammonia 처리후 3일에는 Ammonia 처리 수준이 높아짐에 따라서 약간씩 높은 pH 값을 나타내었으나, 5일 이후 부터는 거의 비슷한 정도를 보였다. 한편 10 cm 매몰구에서는 Ammonia 2.5 ml 처리구의 pH 하강이 가장 현저하였고,

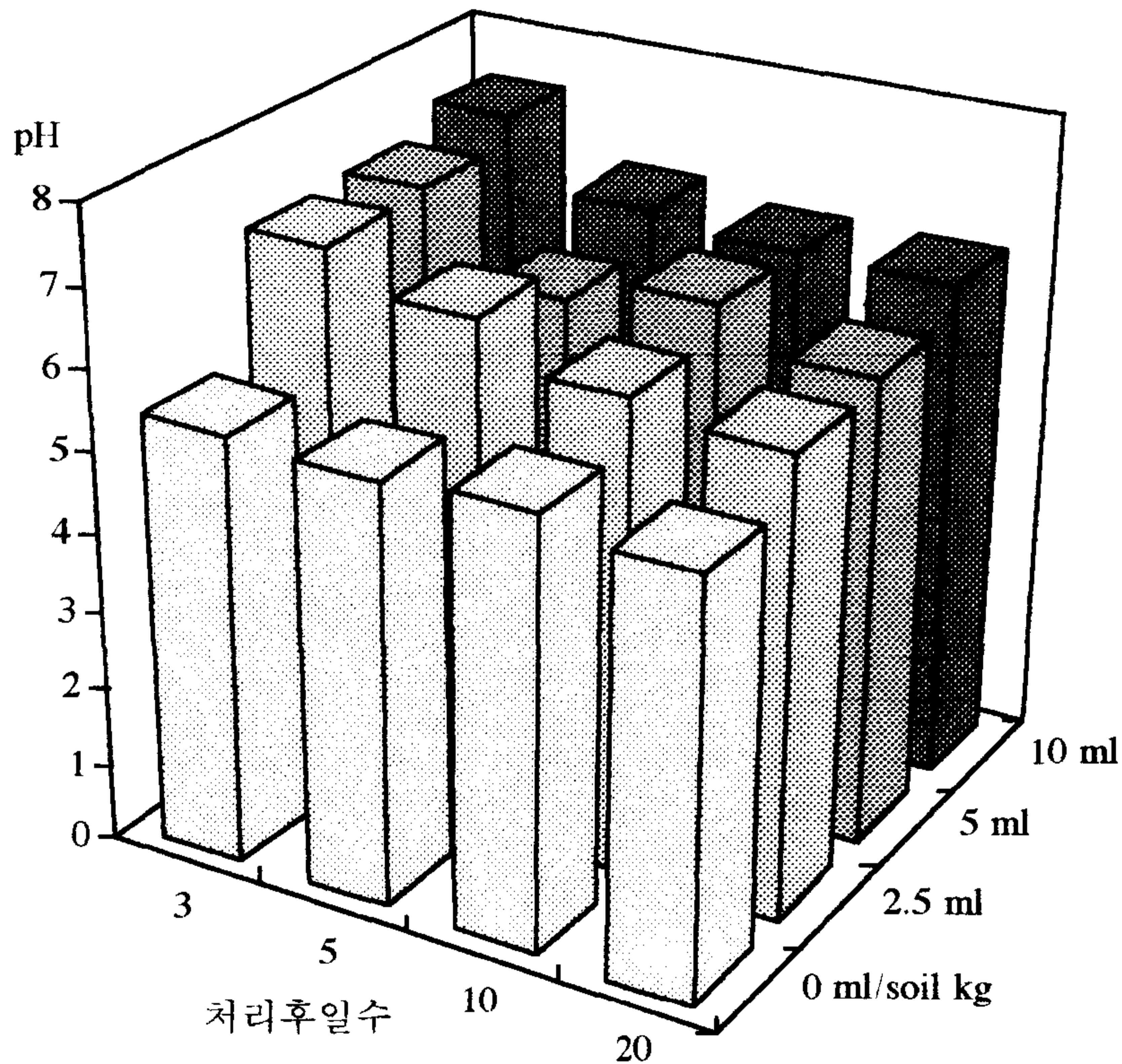


그림 41. 특이산성토양 5 cm 매몰구에 대한 Ammonia 처리 후 pH의 변화

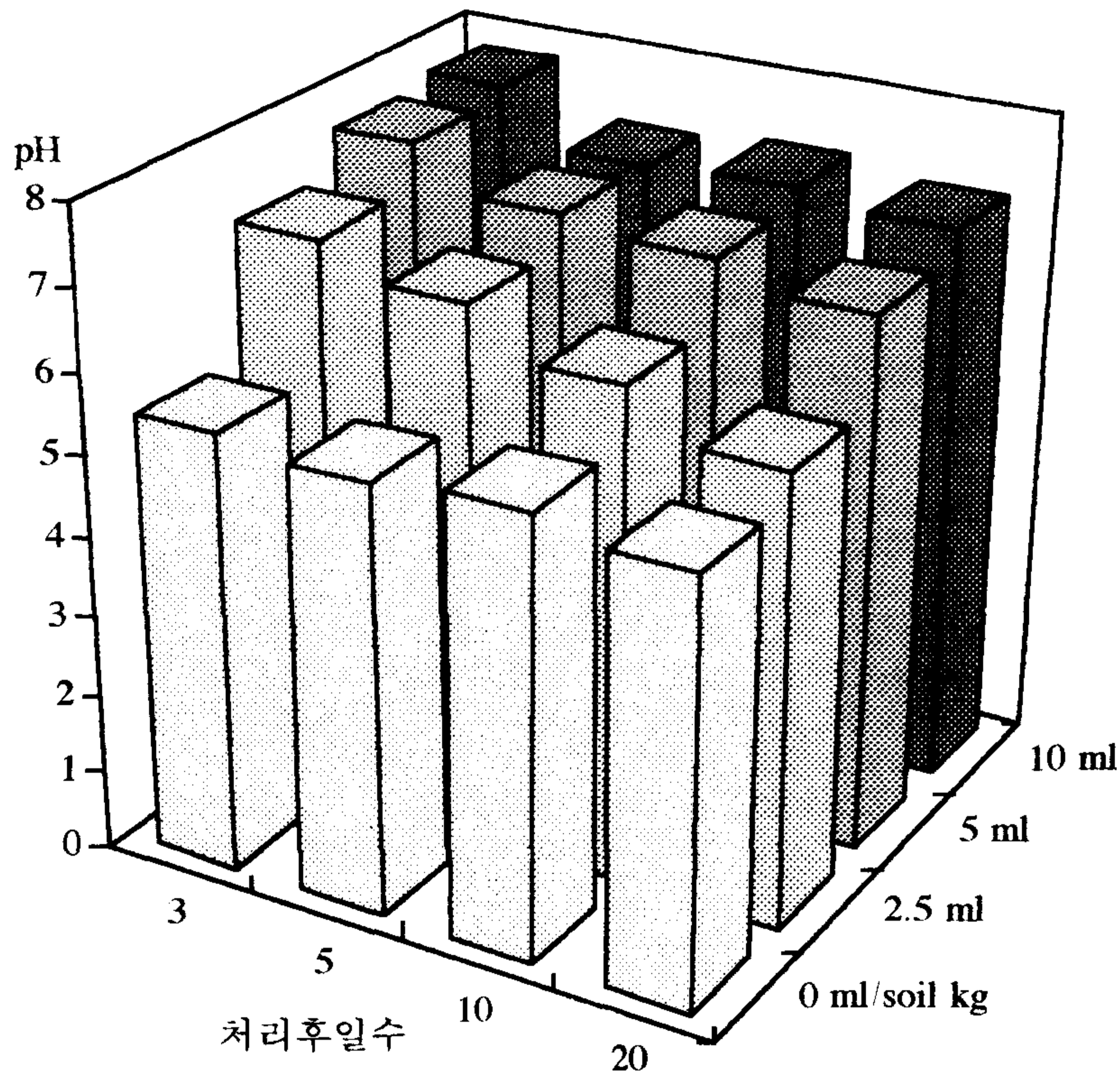


그림 42. 특이산성토양 10 cm 매몰구에 대한 Ammonia 처리 후 pH의 변화

Ammonia 5 ml 및 10 ml 처리구의 토양 pH는 초기에 비교적 많이 하강하고 그 후는 서서히 감소되는 경향을 나타내었다. 전반적인 토양 pH는 10 cm 매몰구의 Ammonia 처리구가 5cm 매몰구에서 보다 높은 경향을 나타내었는데, 이는 하층에 매몰되어 있는 특이산성 토양의 영향 때문으로 생각된다.

Ammonia가 처리된 특이산성 토양 매몰구에서의 수도 초장은 이양 초기에는 매몰심도 및 Ammonia 처리 수준에 관계없이 비슷하였으나, 생육의 진전과 함께 차이를 나타내었다 (그림 43 및 44). 이양 초기의 수도 생육이

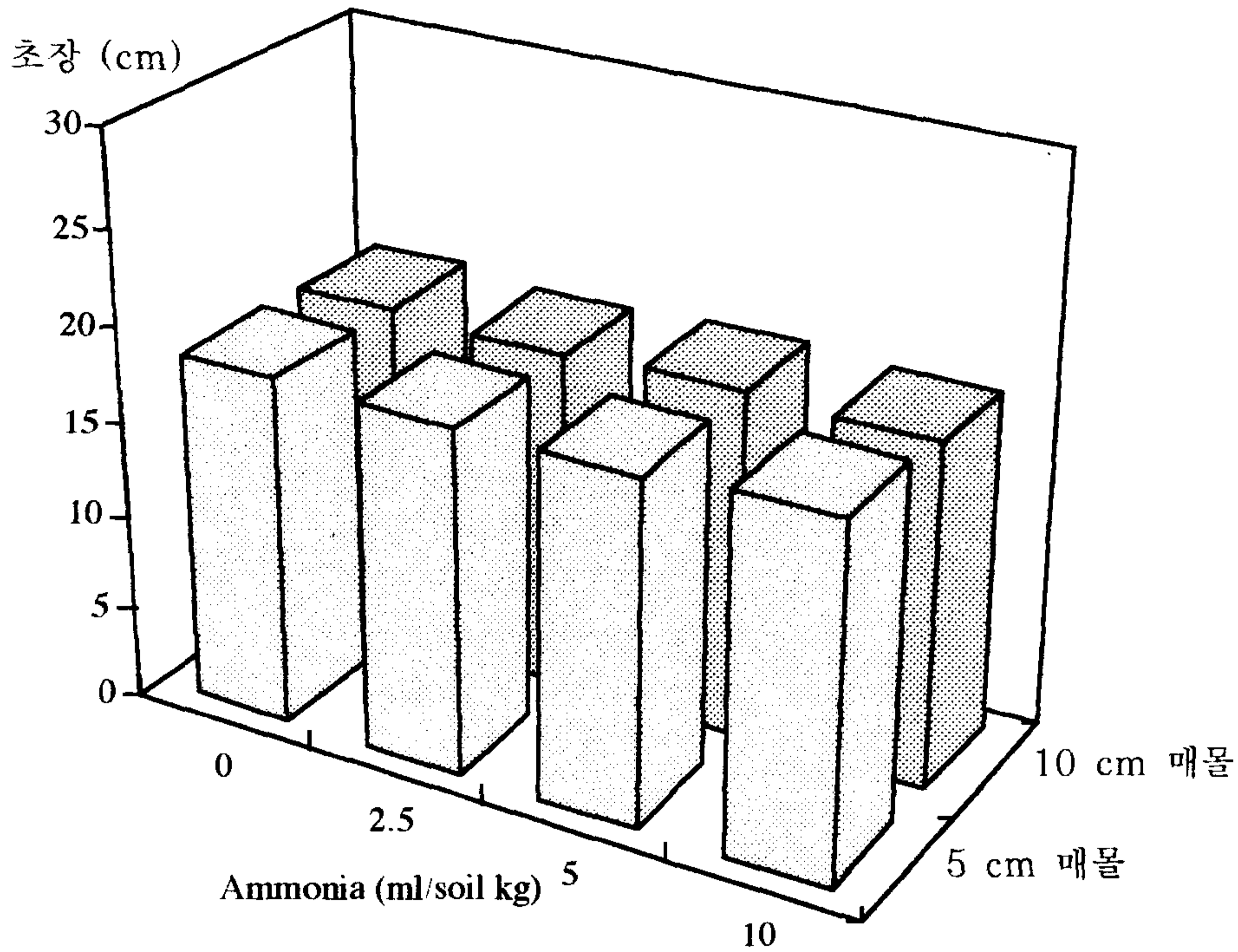


그림 43. 매물구에 대한 Ammonia 처리구에서의 수도 생육 (이양후 10일)

크게 영향을 받지 않았던 것은 수도 근부 생장이 직접적으로 특이산성 토양과의 접촉으로 이루어지지 않았던 관계로 생각되는데, 이것은 이양후 25일의 Ammonia 무처리구에서 5 cm 매물구 보다는 10 cm 매물구의 수도 초장이 월등히 컸던 결과로 알 수 있었다. 한편 이양후 25일에 5 cm 매물구의 수도 초장은 Ammonia 5 ml 처리구가 가장 컸으며, 10 cm 매물구에 있어서는 Ammonia 2.5 ml 처리구의 초장이 제일 컸다.

근장에 미치는 Ammonia의 영향은 두 매물 심도 모두 Ammonia 2.5

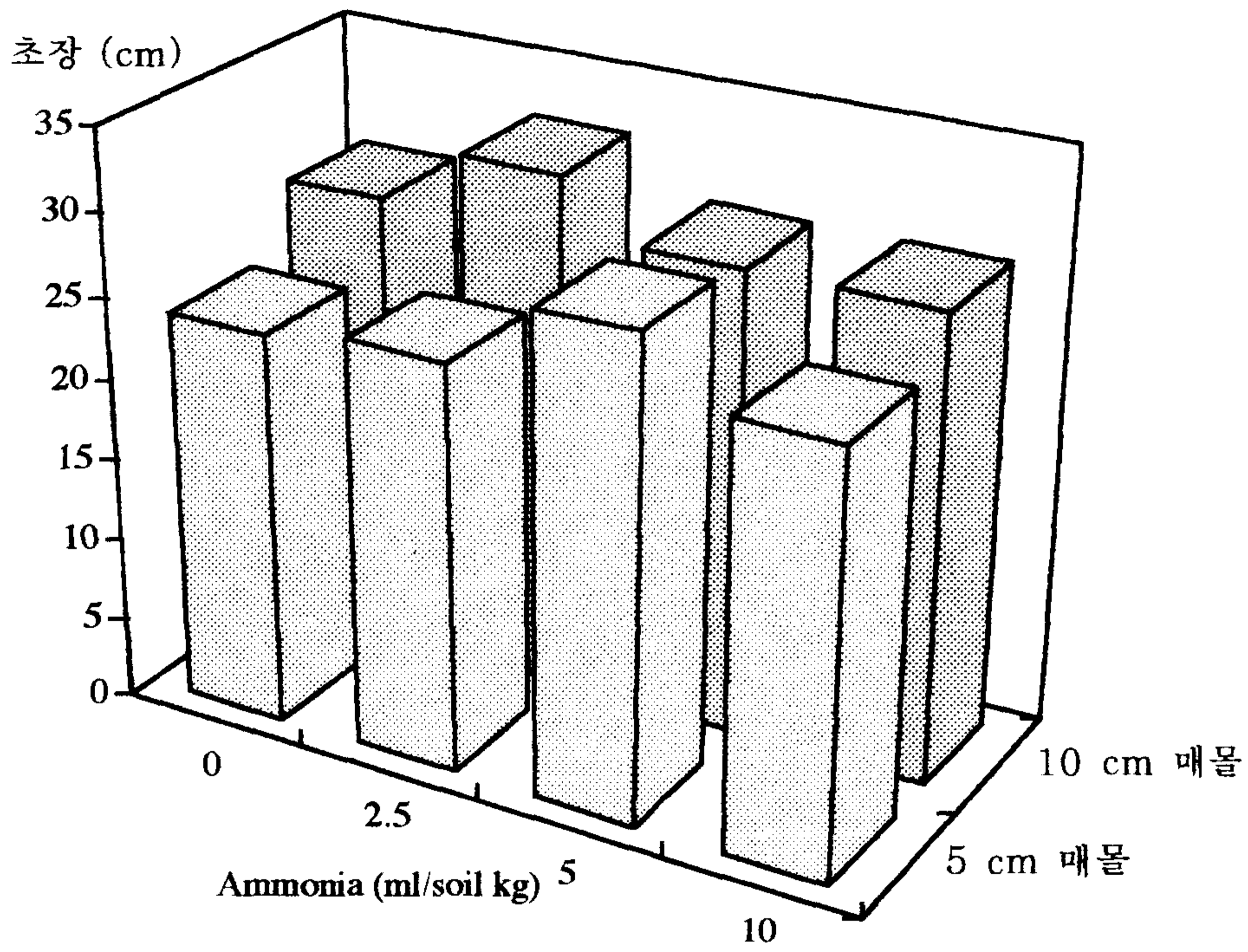


그림 44. 매물구에 대한 Ammonia 처리구에서의 수도 생육 (이양후 25일)

ml 처리구에서 가장 좋았으며, 그 다음으로 Ammonia 5 ml 처리구이었다 (표 12).

엽수에 있어서는 Ammonia 처리 수준 및 매물 심도간에 근소한 차이만을 보였다. 한편 건물중에 미치는 Ammonia 의 영향은 두 매물 심도 조건에서 모두 Ammonia 2.5 ml 처리가 가장 높았고, Ammonia 무처리구가 가장 낮아 Ammonia 처리 효과를 보여 주었다. 그러나 Ammonia 5 ml 및 10 ml 처리구의 건물중이 Ammonia 2.5 ml 처리구에서 보다 낮았는데 이것은 오히려 높은

표 12. 특이산성토 매물구의 Ammonia 처리가 수도 생육에 미치는 영향

Ammonia (ml/토양kg)	5 cm 매물구			10 cm 매물구		
	근장(cm)	엽수	건물중(g)	근장(cm)	엽수	건물중(g)
0	11.3	5.1	1.22	11.6	5.0	1.16
2.5	13.4	5.4	1.50	12.2	4.9	1.43
5	12.2	5.3	1.26	11.8	5.1	1.29
10	11.5	5.4	1.34	10.2	5.4	1.18

pH에 의한 알카리 피해가 있었기 때문으로 생각된다.

이상의 실험 결과에서는 비록 Ammonia 2.5 ml 처리가 효과적이기는 하였지만 Ammonia 무처리구와 비교하여 보다 뚜렷한 효과를 나타내지 않았는데, 이것은 Ammonia 처리 효과가 먼저 특이산성 토양의 위에 복토 되어있는 일반숙답에 의하여 차단되고 약간만이 하층의 특이산성 토양내 산화 유황의 가용화에 쓰여졌기 때문이 아닌가 생각된다. 그러나 이러한 조건하에서의 2차 작기를 위한 경운 정지 및 Ammonia의 재사용에 있어서는 처리 Ammonia의 감소된 사용량으로도 보다 높은 효과를 얻을 수 있을 것이 기대된다. 추후 보다 낮은 Ammonia 사용량의 효과 및 2차 작기시의 Ammonia 효과 등 다각적인 검토가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

4.2.3 모델 실험에서의 개량에 따른 토양 특성 변화

1. 암모니아수 처리

개량제로서 암모니아를 처리한 경우의 잠재성 특이산성토양에서의 토양 특성 변화를 모델 실험을 통하여 정확히 판정하는 것은 주어지는 여러가지 인자를 단순화시켜 암모니아만의 효과를 추출하는데 기여할 것으로 생각되었다.

공시 잠재성 특이산성토양을 pH 6으로 보정하기 위한 완충곡선법에 따른 소요량을 첨가한 직후의 토양 및 용출액의 pH는 모두 5.8이었으나, 이 pH는 시일의 경과와 함께 저하되기 시작하였다 (그림 45). 토양 중의 pH 변화는 용출액에 비하여 완만하게 변하여서 처리 후 15일에 pH는 5.4로 0.4만이 저하되었지만, 용출액에서는 0.9가 저하되어 pH 3.9를 나타내었다. 그러나 용출액에서는 처리 후 60일까지 더 이상의 큰 변화를 보이지 않고 거의 비슷한 수준을 유지

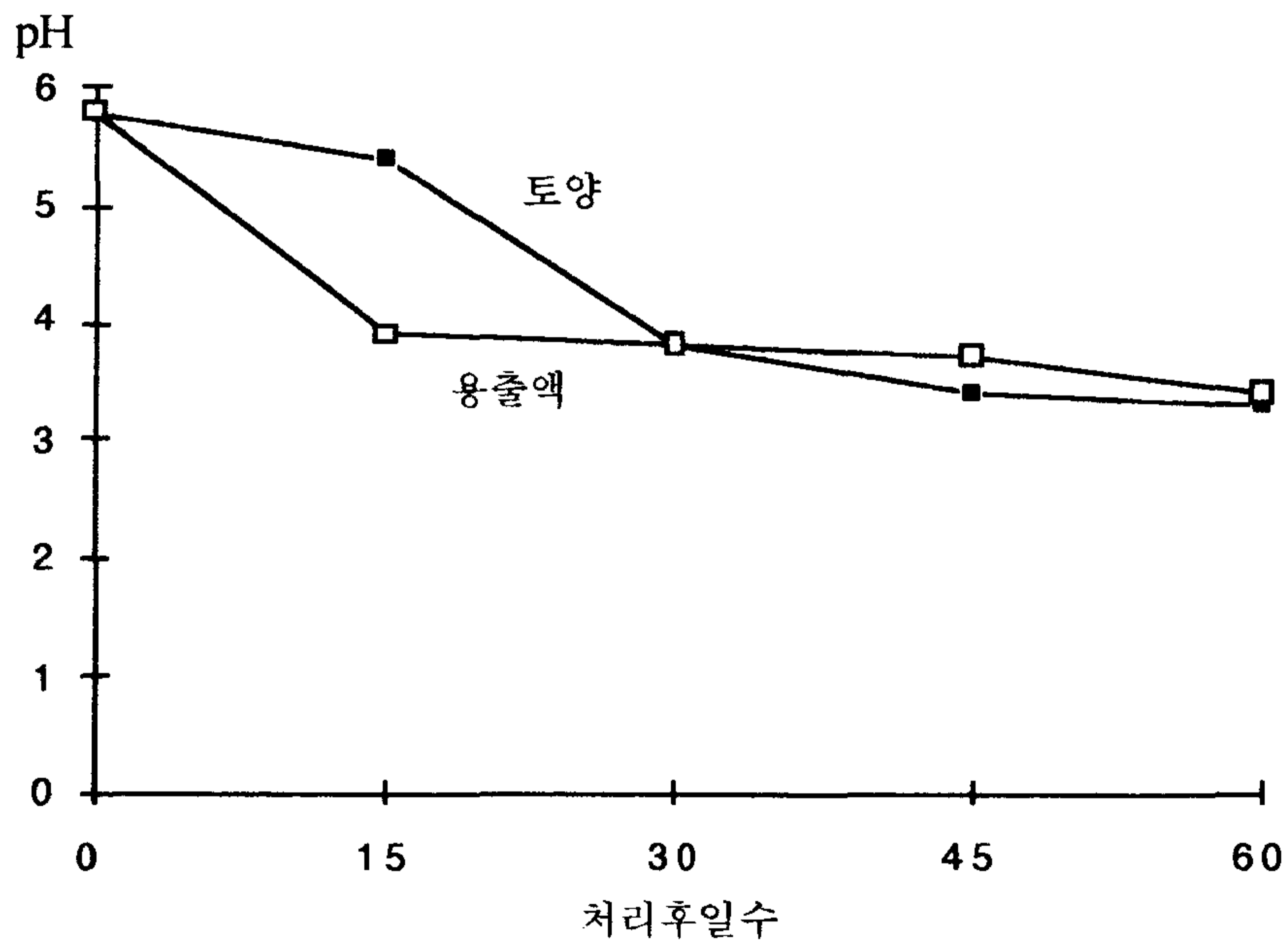


그림 45. 암모니아 처리후 토양 및 용출액의 pH 변화

하였다. 반면에 토양에 있어서는 처음의 낮은 pH 저하가 처리 후 15일 이후에 급격하게 이루어지고 그 후에는 완만한 저하 양상을 보였다. 용출액의 pH가 처음에 빨리 나타난 것은 토양 중 산화 상태의 물질들이 환원 상태로 되면서 용해도의 증가와 함께 토양 용액 중으로 용출되어 나왔기 때문이 아닌가 생각된다.

암모니아 개량제 시용 후의 산화환원전위는 토양이나 용출액 모두에서 전체적으로 처리후 시일의 경과와 함께 감소되는 경향을 보였다 (그림 46). 개량제인 암모니아의 시용은 토양 및 토양 용액내의 환원물질의 양이 증가되고 있음을 나타내 주어 환원 조건이 유지되고 있었다.

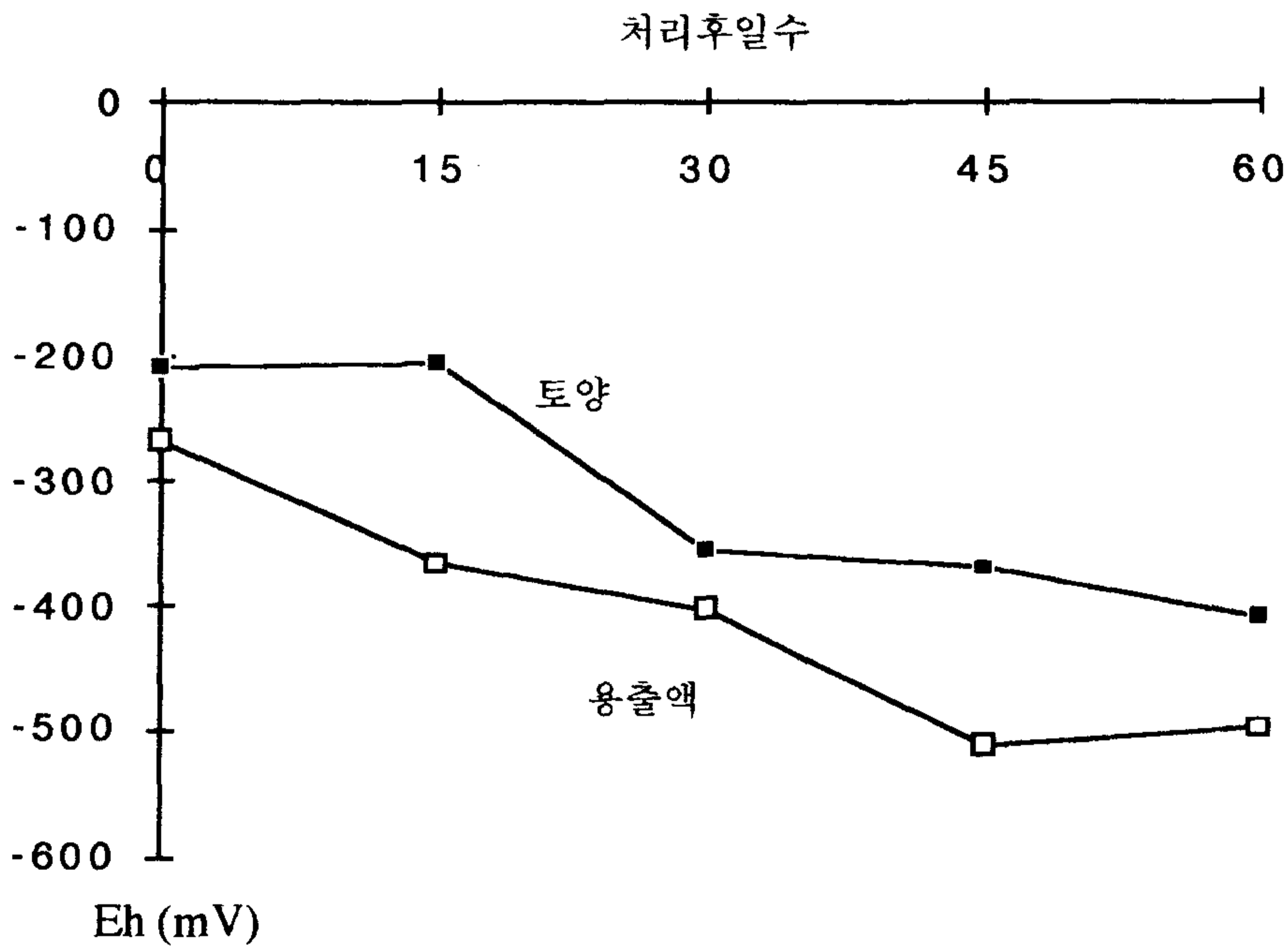


그림 46. 암모니아 처리후 토양 및 용출액의 Eh 변화

토양이 환원되면 3가의 산화철이 2가의 아산화철로 변화되는데, 암모니

아 시용에 따른 환원 상태의 철의 함량은 토양이나 용출액 모두 처리 후 처음에는 증가하다가 감소되는 경향을 보였다 (그림 47). 토양 중에서의 Fe^{2+} 함량은 처리 후 처음 30일 동안에는 급격하게 증가하다가 서서히 감소가 되었던 반면에, 용출액 중에서는 처리 후 처음 15일 동안만 함량이 증가하고 그 후로는 계속 완만하게 감소하였다. 따라서 이러한 경향은 암모니아 처리에 따른 잠재성 특이산성토양의 개량 효과가 비교적 처리 후 빠른 시간내에 일어나고 있음을 시사하여준 결과로 생각한다. 대체로 산화상태의 Fe^{3+} 은 난용성이지만, 환원되어 이들이 Fe^{2+}

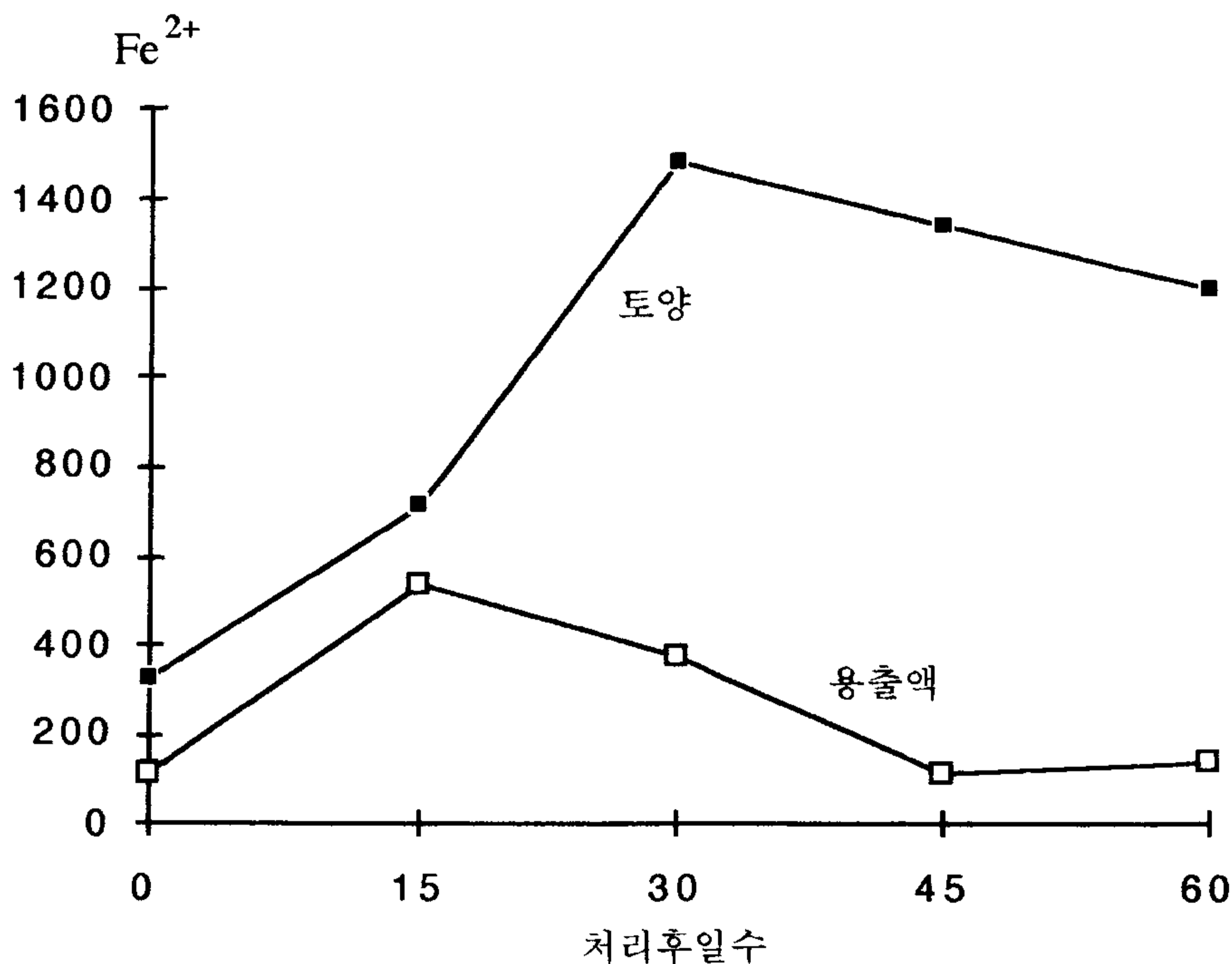


그림 47. 암모니아 처리후 토양 및 용출액 중의 Fe^{2+} 함량 변화

로 되면 용해도가 증가한다. 따라서 암모니아 처리와 함께 처음에 환원 상태의 철이 일시적으로 많이 용출되었고, 그 후 점차 환원될 양이 감소됨에 따라 용출양

도 감소된 것으로 생각된다.

암모니아 시용 후의 알루미늄의 동태는 토양 중에서는 처리 후 30일 동안에는 거의 변화가 없다가 그 후로부터 증가가 되었던 반면에, 용출액 중에는 처음 15일 동안에 크게 증가되고 그 후에는 완만한 증가를 나타내었다 (그림 48). 잠재성 특이 산성토양과 같은 토양에서는 알루미늄의 일부분 또는 유리알루미늄 화합물의 일부가 용해되어 알루미늄 이온으로 나타나는데, 이러한 용해 정도는

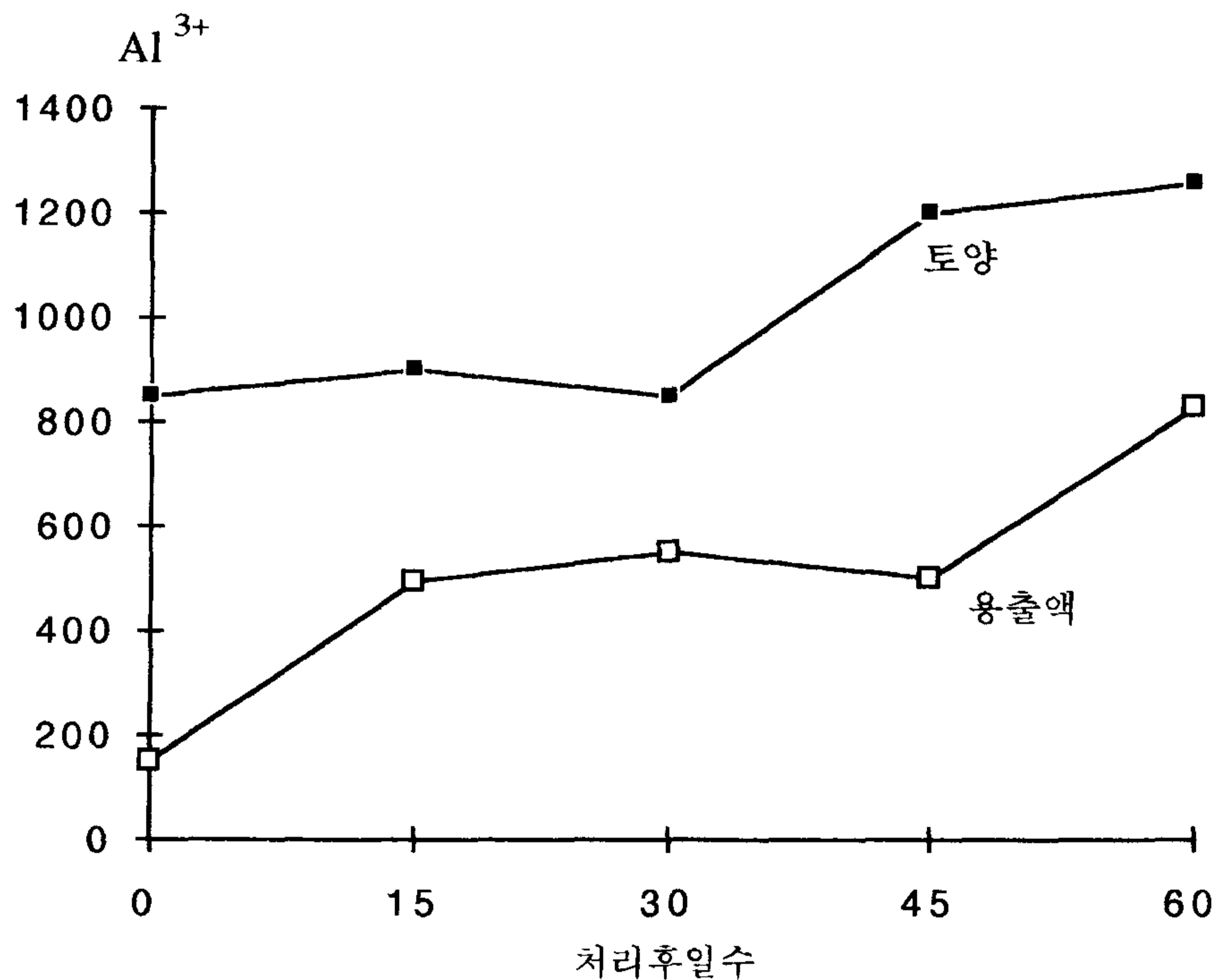


그림 48. 암모니아 처리후 토양 및 용출액 중의 Al³⁺ 함량 변화

토양 산도와 밀접한 관계가 있어, 암모니아와 같은 개량제에 의한 pH의 조정으로 알루미늄 용출이 크게 좌우될 것으로 믿어진다.

산화상태 유황의 함량은 암모니아 시용 후에 토양에서나, 용출액에서나

모두 감소되는 경향을 보였다 (그림 49). 그러나 용출액 중의 농도 수준이 토양 중의 농도 보다 훨씬 높은 수준을 나타내주어, 암모니아 시용에 따라 토양 중 유황이 산화되고 이것이 용해되어 토양 용출액 중으로 나온 것으로 믿어진다. 일반

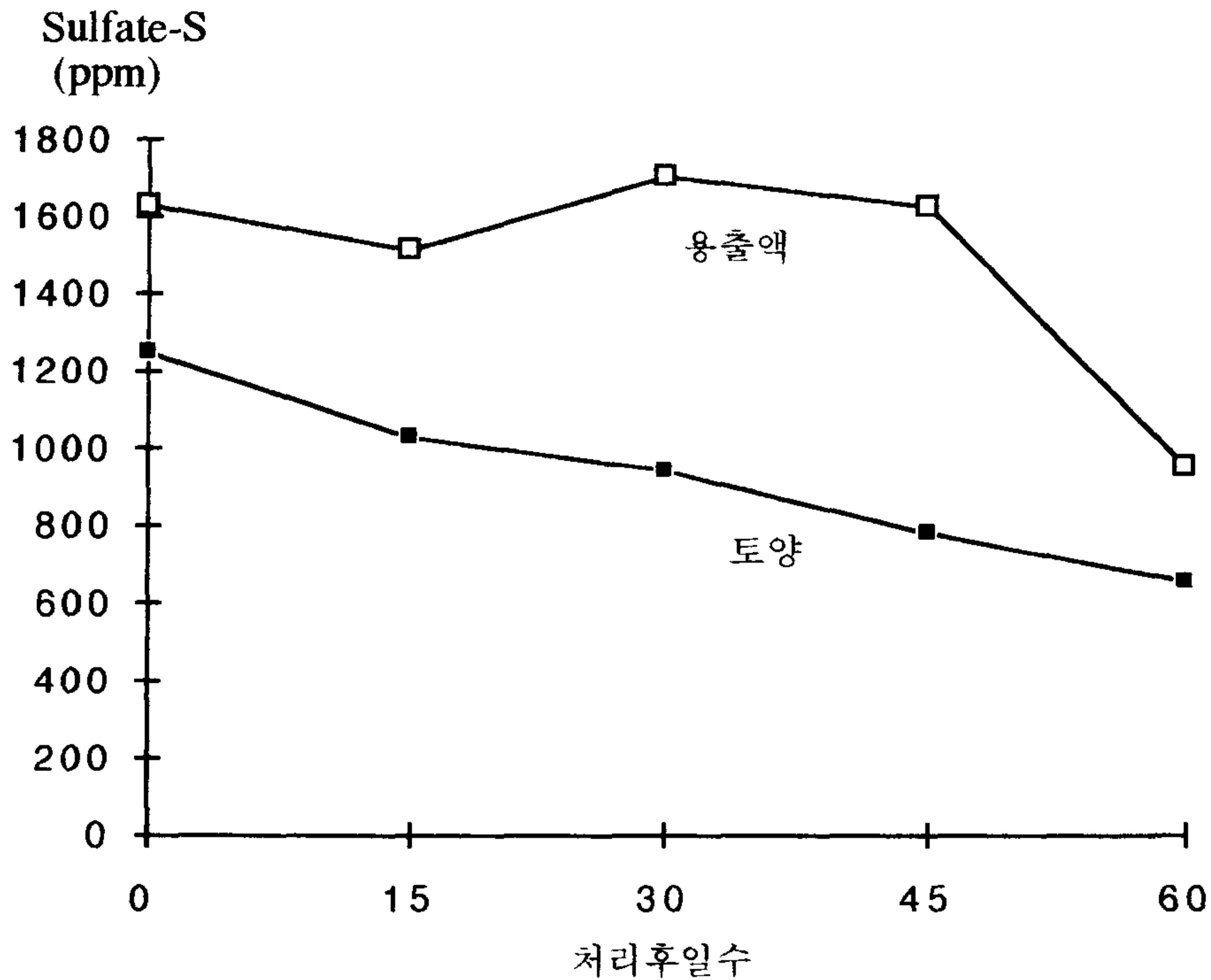


그림 49. 암모니아 처리후 토양 및 용출액 중의 Sulfate-S 함량 변화

적으로 산화상태의 유황이 토양 중에서 이동성이 커서 쉽게 용탈되는 현상을 생각하면, 용출액 중의 높은 산화상태 유황의 함량도 이러한 이동성에서 연유된 것이 아닌가 생각된다.

산화상태의 유황과는 달리 환원상태의 유황의 동태는 암모니아 시용과 함께 나타나는 변화가 다르게 나타났는데, 토양 중에서의 환원상태 유황 함량은 처음에는 큰 차이를 보이지 않다가 처리 후 30일 이후 부터 약간씩 증가되었던 반

면에, 용출액 중에서는 거의 변화를 보이지 않았다 (그림 50). 용출액으로의 환원 유황이 적게 용출된 것은 용해도와 관계가 있을 것으로 생각되며, 토양 중의 환원 유황의 함량이 후에 증가된 것은 산화 유황으로 부터의 환원에 의한 영향이

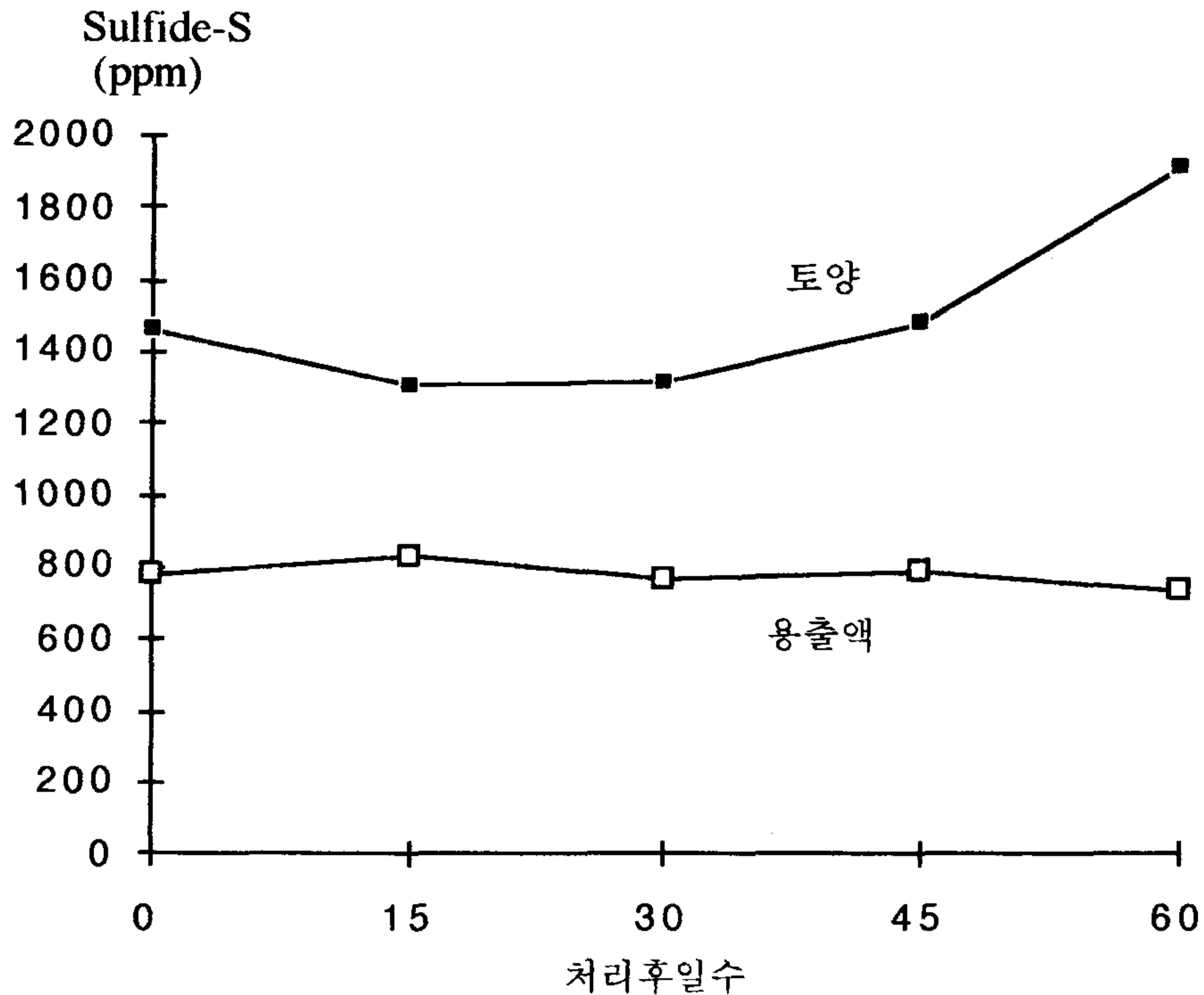


그림 50. 암모니아 처리후 토양 및 용출액 중의 Sulfide-S 함량 변화

아닌가 생각된다.

이상의 암모니아 처리에 의한 개량 모델 실험으로 부터 개량 효과 결과는 토양 및 용출액 중에서 여러가지 조건 변화가 일어나고 있음을 나타내 주었다. 이러한 변화 가운데서 산도는 가장 손 쉬운 측정 방법 중의 하나이지만 그 변동 폭이 크게 나타나서 개량 효과에 대한 정밀한 측정이 될 수 없을 것으로 사료된다. 또한 Eh의 측정도 측정 방법상 백금전극을 토양에 꽂고 평형에 까지 도달되도록

기다려야 하는 등의 조작이 실용적인 면에서 어려움이 뒤따른다고 생각된다. 한편 알루미늄 함량의 변화는 매우 완만하지만, 철이나 산화상태의 유황은 그 증가와 감소폭이 크고 빠르기 때문에 개량제 시용 후의 그 효과를 보다 가시적으로 또 빠르게 판정할 수 있는 지표로 쓸 수 있을 것으로 생각한다. 특히 본 실험에서 적용한 효과적인 유황 분석법을 이용하여 보다 정확한 유황의 동태로부터 개량 효과를 판정할 수 있을 것으로 생각한다.

2. 석회 처리

특이산성토양의 개량을 위하여 가장 대표적으로 사용되고 있는 개량제 중의 하나가 석회이다. 석회 처리에 따른 개량 효과는 두가지 면에서 나타나는데, 하나는 Ca^{2+} 의 공급이고, 다른 하나는 토양 pH의 증가이다. 토양 pH의 증가는 곧 시용되는 석회들의 알카리 반응에 따라 나타난다.

석회 처리 후의 pH는 처리 직후에 토양에서 5.9, 용출액에서 5.4이었으나 처리 후 15일에는 3.7 - 3.8로 저하되었고, 그 이후는 큰 변화없이 같은 수준을 유지하였다 (그림 51). 이상의 결과를 보면 석회 처리에 따른 토양 pH 보정 효과는 비교적 단시간내에 나타나지만 오래 지속되지 않음을 나타내었다. 이와같은 효과의 지속을 암모니아의 경우와 비교해보면 용출액에서의 pH 저하는 서로 비슷하였으나, 토양에서는 암모니아의 경우가 보다 오래 지속되는 경향을 나타내었다.

토양 중에 처리된 CaO는 물과 쉽게 반응하여 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 를 형성하고, 이것은 토양 용액 중의 유리 H^+ 과 직접 반응 함으로서 중화시킨다. CaO나 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 는 비교적 수용해도가 높아 토양 중에서 CaCO_3 와 같은 여타의 석회원 보다 반응이 쉽게 일어난다. 따라서 본 실험에서도 CaO의 처리시에 빠른 반응을

보였던 것으로 믿어지며, 또한 공시 토양 자체가 잠재성 특이산성토양으로서 아직 산화가 많이 일어나지 않았었기 때문에 석회 처리에 의한 반응이 크지 않았었던 것으로 생각된다.

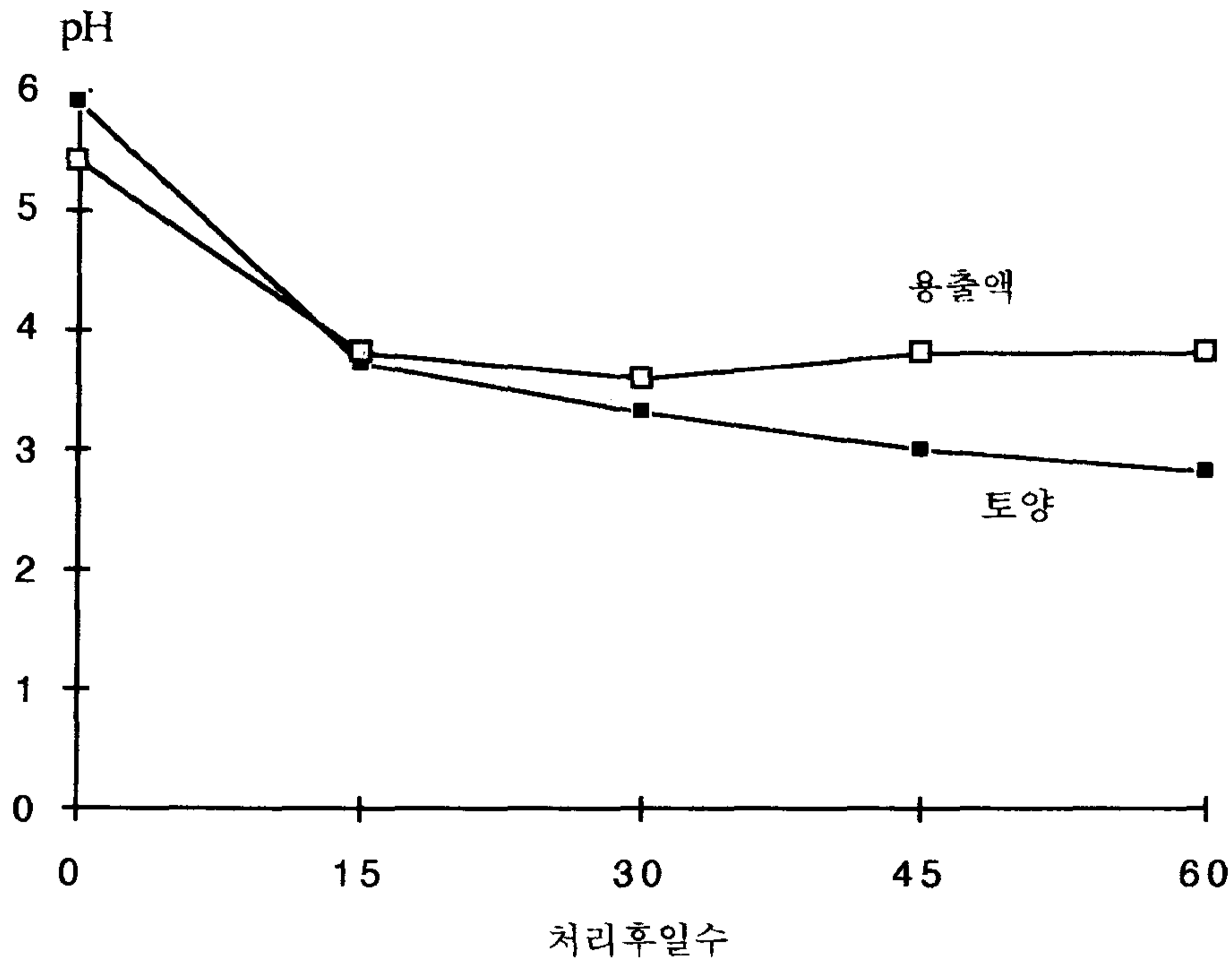


그림 51. 석회 처리후 토양 및 용출액의 pH 변화

담수 토양의 환원 조건은 산화환원전위차를 측정함으로써 알 수 있다. 이것은 토양 중에 산화 물질과 환원 물질간의 농도에 의하여 결정된다. 석회 시용 후의 산화환원전위차는 처리 후 45일까지 토양 및 용출액 모두 매우 완만하게 감소되었고, 그 이후에 조금 큰 정도로 저하되었다 (그림 52).

산화환원전위차가 감소하는 것은 산화 물질의 농도에 비하여 환원 물질의 농도가 증가함을 나타내는 것으로, 산화환원전위차가 낮을 수록 높은 환원력 즉

과잉의 e^- 가 많음을 나타낸다고 할 수 있다. 따라서 본 실험에서와 같이 석회 처리 이후에 완만한 산화환원전위차의 감소는 석회에 의한 환원력의 증가가 매우 더디게 일어남을 시사한 것이라 할 수 있다. 이러한 결과는 앞서의 토양 pH의 변화폭과는 조금 다른 양상으로 이것은 아마도 토양 pH에 영향을 미칠만한 산화환

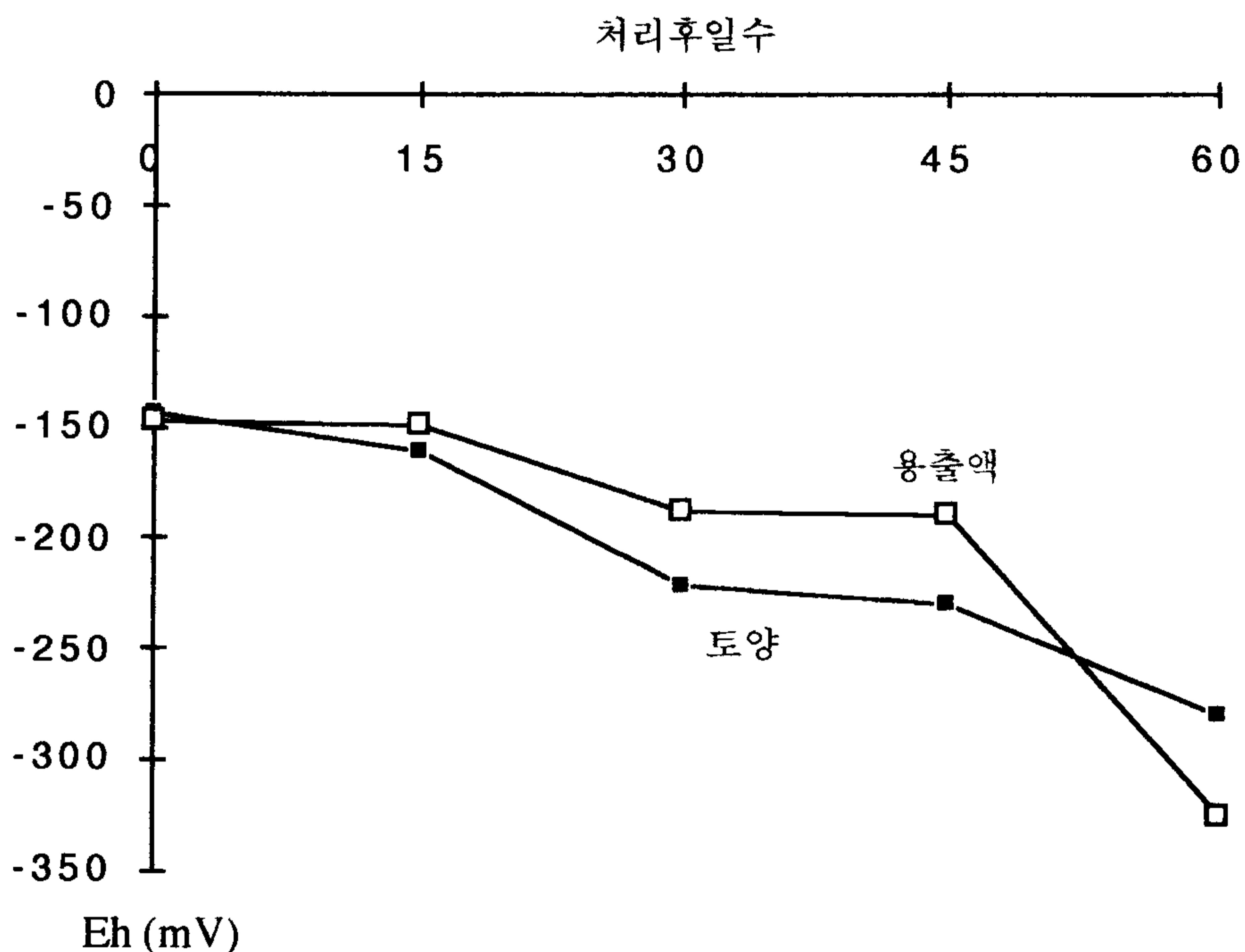


그림 52. 석회 처리후 토양 및 용출액의 Eh 변화

원전위차의 수준이 아니었던 것이 아닌가 생각된다.

석회가 시용된 잠재성 특이산성토양에서의 토양 및 용출액의 철 함량은 처리 후 60일 동안에 전체적으로 증가된 경향으로, 토양 중의 농도는 용출액의 농도에 비하여 높았다 (그림 53). 토양에서의 Fe^{2+} 는 처음 15일 동안 크게 증가하였다가 그 수준에서 유지되었던 반면에, 용출액에서는 완만하지만 꾸준하게 증

가되고 있었다.

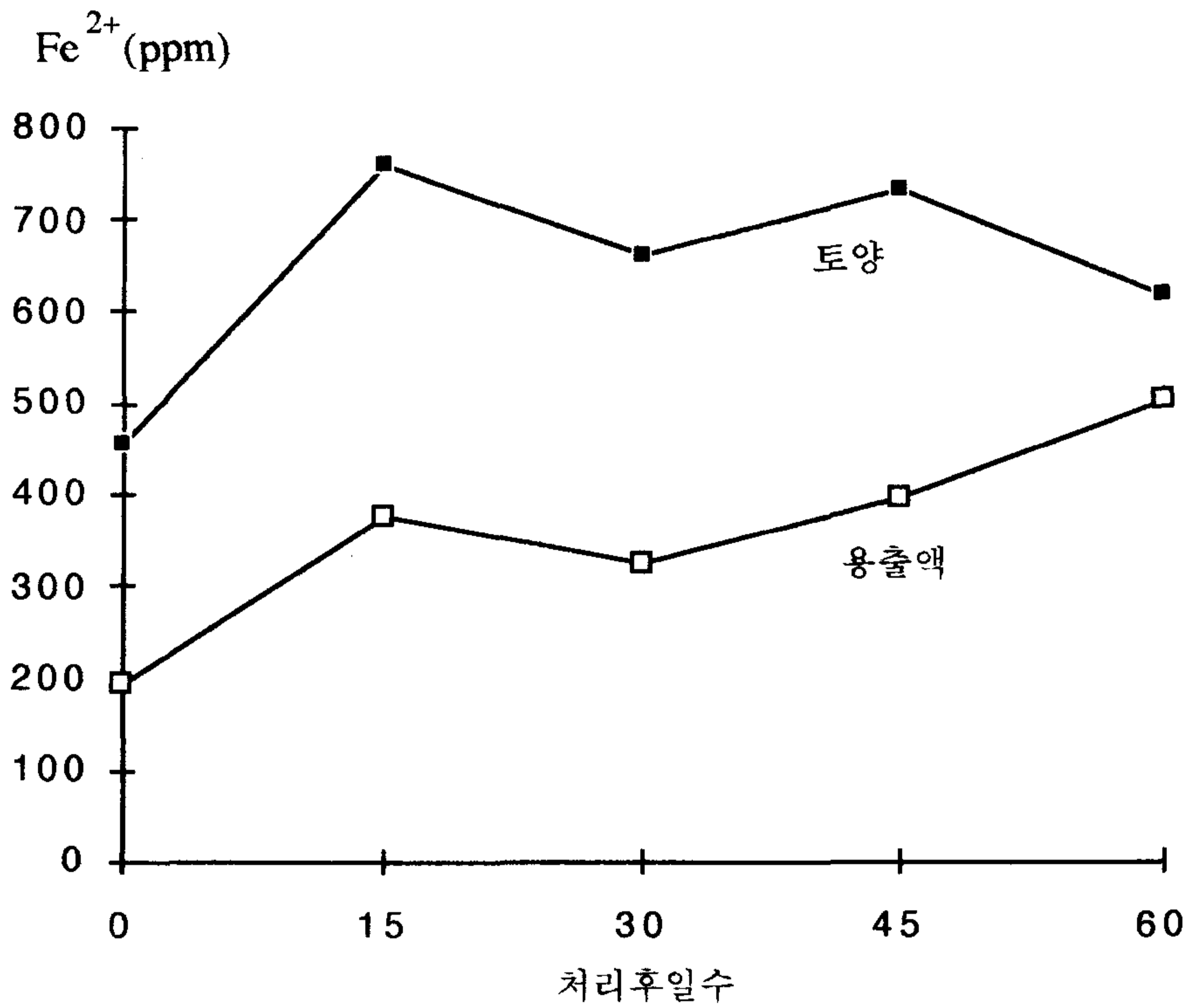


그림 53. 석회 처리후 토양 및 용출액의 Fe²⁺ 변화

토양이 담수되고, 또 석회의 시용에 의하여 토양이 환원 상태에 놓이면, 산화물들은 환원되는데, 이와같은 환원은 H⁺의 소비를 가져온다. 즉 Fe(OH)₃은 수소 이온과의 결합으로 물과 Fe²⁺을 생성하며, 따라서 토양 산도는 증가하게 된다. 그러나 본 실험에서와 같이 석회 처리에 따라 토양 중 Fe²⁺의 변화가 크지 않았던 것은 석회에 의한 개량 효과가 뚜렷치 않아서 토양 pH의 증가를 가져 올 만큼의 변화가 아니었었기 때문으로 따라서 Fe²⁺의 변화도 적었었지 않았나 생각된다.

알루미늄의 농도 또한 토양과 용출액에서 증가되는 경향을 보였으나, 용

출액에서의 농도가 토양에서 보다 높은 경향을 보였다 (그림 54). 토양 중에서 보다 용출액에서의 농도가 높았던 것은 그만큼 Al^{3+} 의 용해도가 높아져 토양 용

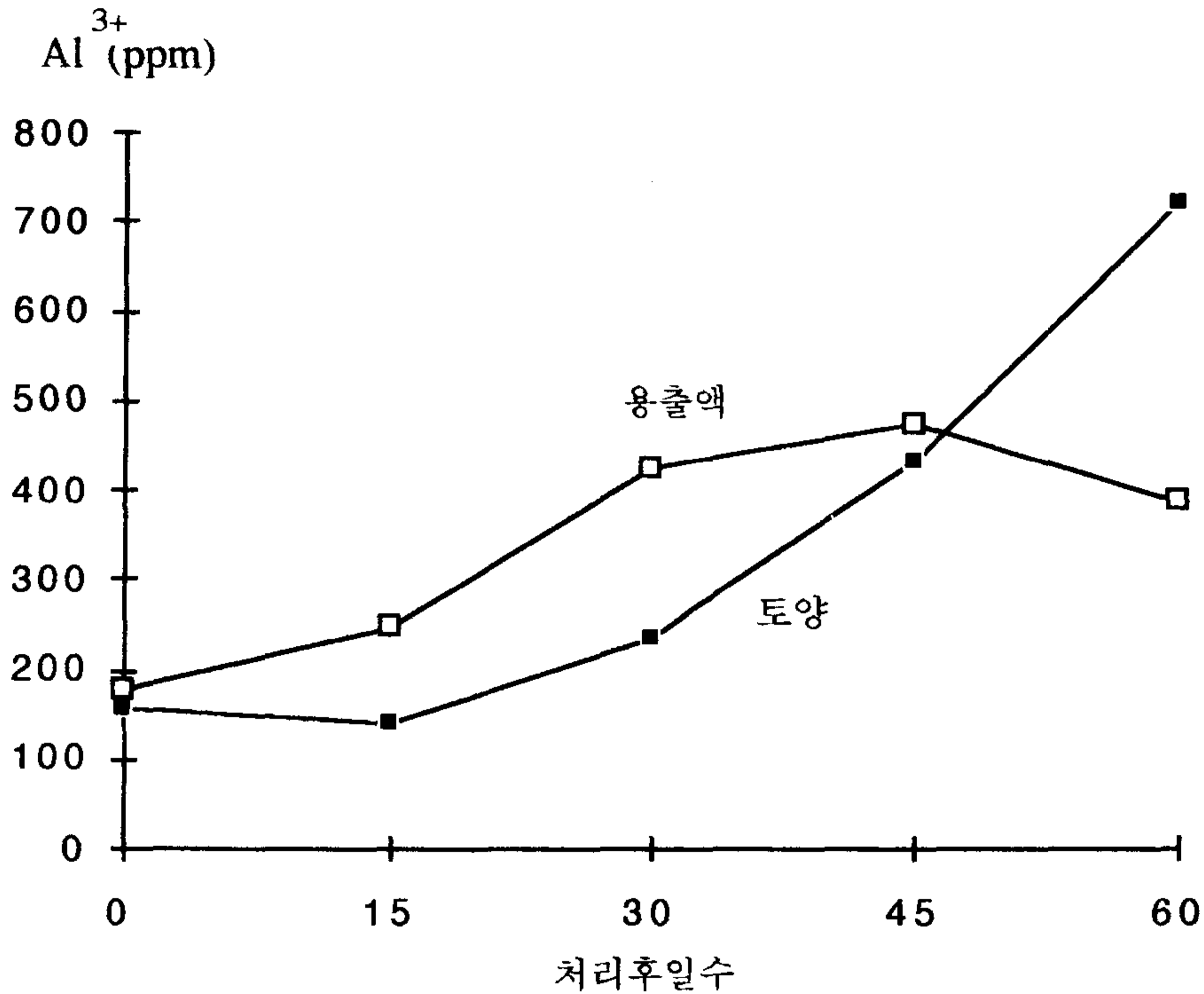


그림 54. 석회 처리후 토양 및 용출액의 Al^{3+} 변화

액 증으로 용출되어 나왔기 때문으로 믿어진다.

산화 상태의 유황의 농도는 토양 및 용출액에서 전체적으로 감소되는 경향을 보였는데 (그림 55), 이러한 결과는 암모니아 시용의 결과와 비슷하였다. 한편 환원 상태의 유황 함량은 석회의 시용과 함께 토양에서의 농도는 처리 후 30일 이후 부터 약간 증가되었지만, 용출액에서는 거의 차이를 나타내지 않았으며 (그림 56), 그 수준 또한 암모니아 시용에서의 결과와 유사하였다.

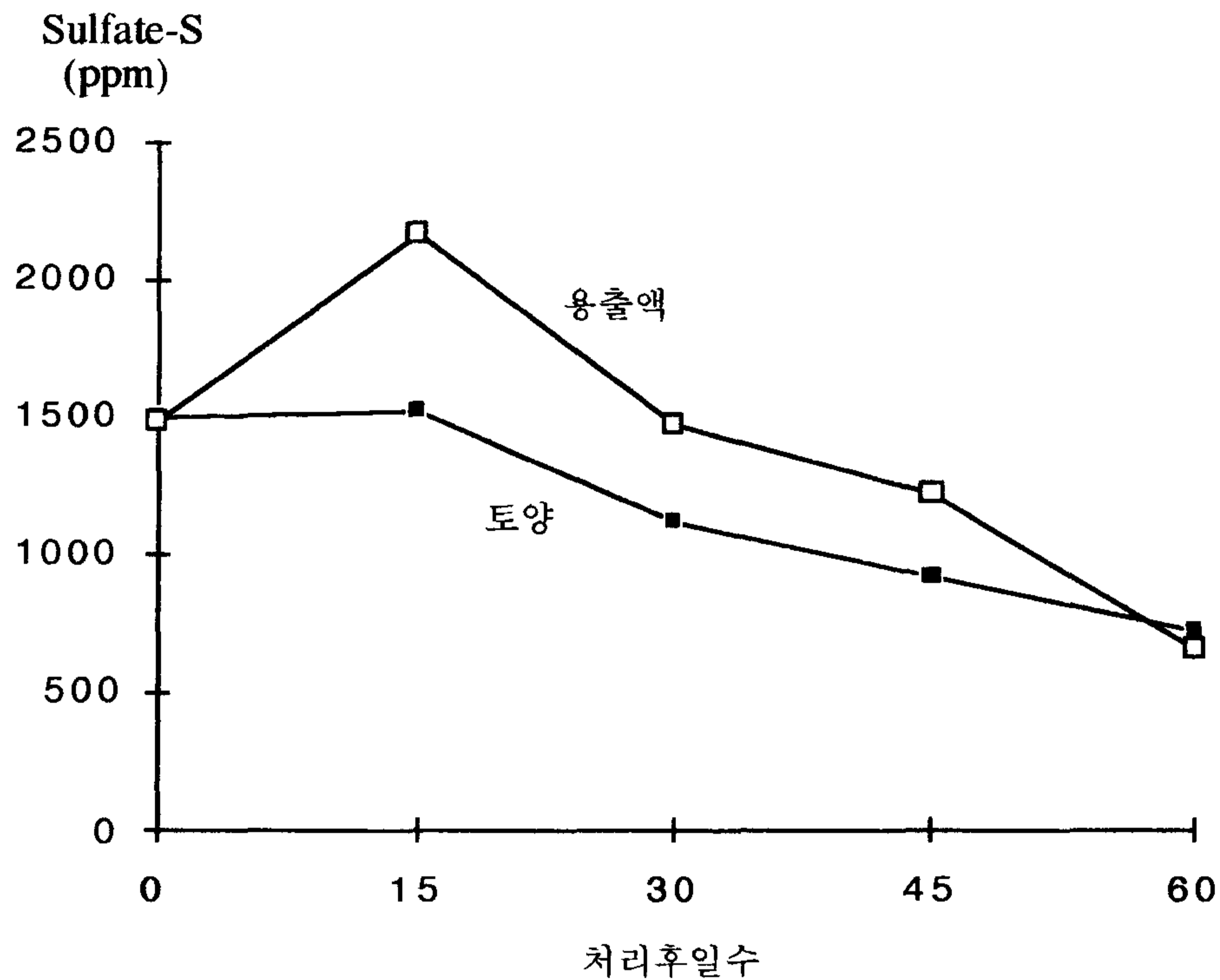


그림 55. 석회 처리후 토양 및 용출액 중의 Sulfate-S 함량 변화

암모니아 사용 및 석회 사용에 따른 모델 실험에서의 큰 차이는 토양 및 용출액에서의 알루미늄의 경시적 농도이었다. 즉 암모니아 사용에서는 토양 및 용출액에서의 알루미늄 농도가 시일의 경과와 함께 점차 감소되는 경향을 보였으나, 석회 사용에서는 오히려 증가되는 경향을 보였다. 이러한 차이는 Al^{3+} 의 용해도에 미치는 암모니아나 석회의 영향의 차이에서 기인된 것으로 생각되는데, 이러한 결과를 작물의 생육과 관련지어 생각하면 알루미늄의 피해를 감안하면 암모니아의 사용에 의한 개량효과의 기대가 클 것으로 생각된다. 그러나 개량에 따른 토양 특성의 변화 및 인자들 간의 상호작용과 또한 각각 인자들의 작물 생육에 미치는 효과 등이 상이하고 복잡하므로 보다 자세한 연구가 수행되어야 할 것으로

생각한다.

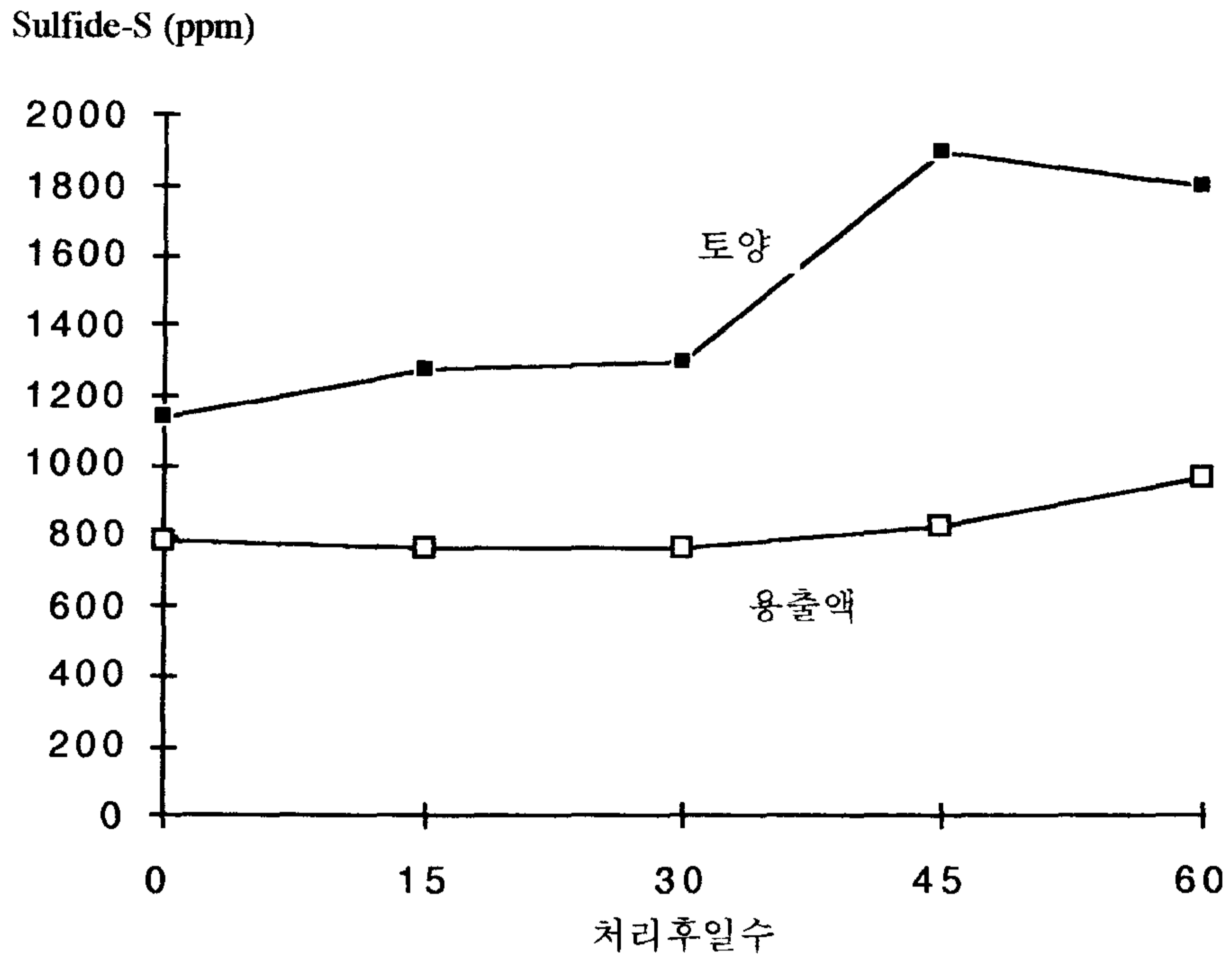


그림 56. 석회 처리후 토양 및 용출액 중의 Sulfide-S 함량 변화

4.3 잠재성 특이산성토양에 대한 개량제 포장 적용 효과

4.3.1 개량방법 효과 비교

잠재성 특이산성토양을 굴착하여 일반 답토양에 성토하고, 물리, 화학적 개량 방법을 적용하고 수도를 재배하면서 이 기간 중의 토양 특성의 변화를 조사하였다.

잠재성 특이산성토양으로 성토된 답토양의 개량제 적용 및 물 관리 적용에 따른 토양 산도의 변화는 일반적으로 시간의 경과와 함께 감소되는 경향이였다 (그림 57).

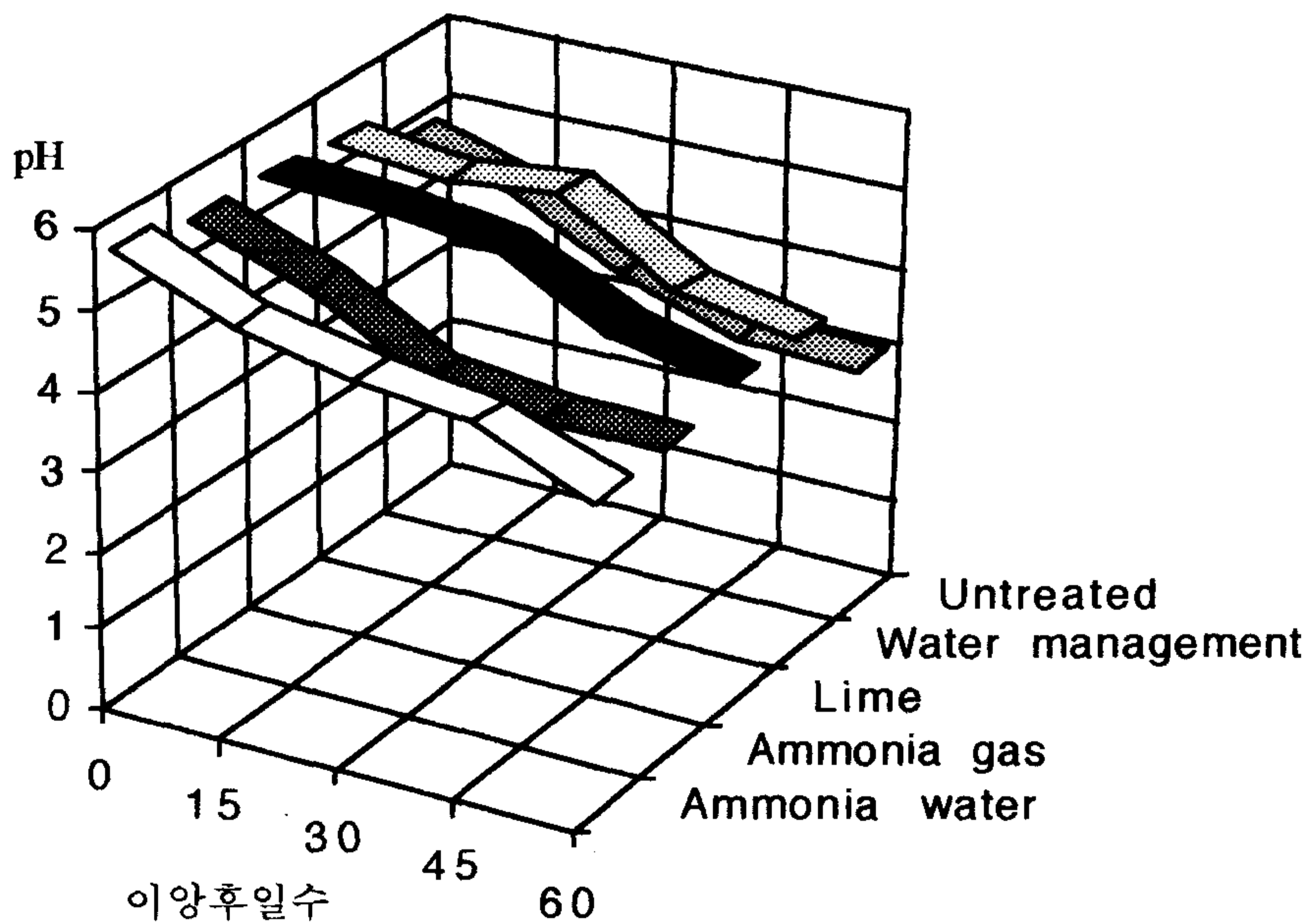


그림 57. 개량 방법 적용에 따른 토양 pH의 변화

이양 당시의 토양 pH는 각 개량 방법 적용구에 있어서는 5.3 - 5.6 정도이었으나, 무처리구에 있어서는 pH 4.8로 다른 처리구 보다 약간 더 산성을 나타내었

다. 이러한 차이는 이양에 앞서 적용한 개량 방법의 적용 결과로 부터 나타난 효과로 인정되었는데, 즉 성토 후 무처리구에서는 계속해서 산화가 진행되어 왔지만, 개량법 적용구에서는 어느 정도의 개량 효과를 나타낸 결과로 믿어진다.

한편, 개량법 적용에도 불구하고 모든 처리구에서는 이양후 60일 동안에 토양 pH가 저하되고 있었는데, 이러한 pH 저하는 무처리구와 암모니아수 처리구에서 가장 큰 pH 1.7의 하강을 보인 반면, 석회 시용구와 물 관리구에서는 pH 1.2 - 1.3이, 그리고 암모니아 가스 시용구에서는 pH 1.5가 하강되었다. 암모니아 시용 효과가 암모니아 형태에 관계 없이 비교적 다른 개량법 적용구에 비하여 개량 효과가 빠르게 소실되었던 것은 암모니아 처리 이후의 암모니아태의 산화후 용탈 및 암모니아의 휘산 때문이었던 것으로 생각된다. 따라서 암모니아에 의한 개량 효과를 보다 확실하게 얻고 또 지속시키기 위하여서는 일회의 시용만으로는 만족할 만한 결과를 얻기 어려울 것으로 생각된다. 석회의 시용과 물 관리에 의한 개량법 적용구에서는 토양 pH의 강하가 비교적 완만하게 일어났으며, 또 산화에 의한 저하 폭도 적었기 때문에 토양 산도만을 고려하면 본 처리 조건하에서는 가장 바람직한 개량 방법으로 인정되지만, 실제 적용 현장의 조건 등 또한 감안되어야 할 것으로 생각된다.

개량법 적용후 각 처리구에서의 산화 상태의 유황 함량은 모두 감소되는 경향을 나타내었다 (그림 58). 산화 유황의 감소는 무처리구에 비하여 다른 처리구에서 급격하게 나타났으며, 이들 중에서도 암모니아 가스와 석회 처리구의 이양 후 처음 15일 동안의 감소가 매우 급격하게 이루어졌다. 암모니아수와 암모니아 가스 처리구의 산화 유황 함량 변화의 양상은 상이하게 나타났는데, 암모니아 가스 처리구에서는 처음에 급격한 감소에 이어 오히려 증가하다가 다시 감소되

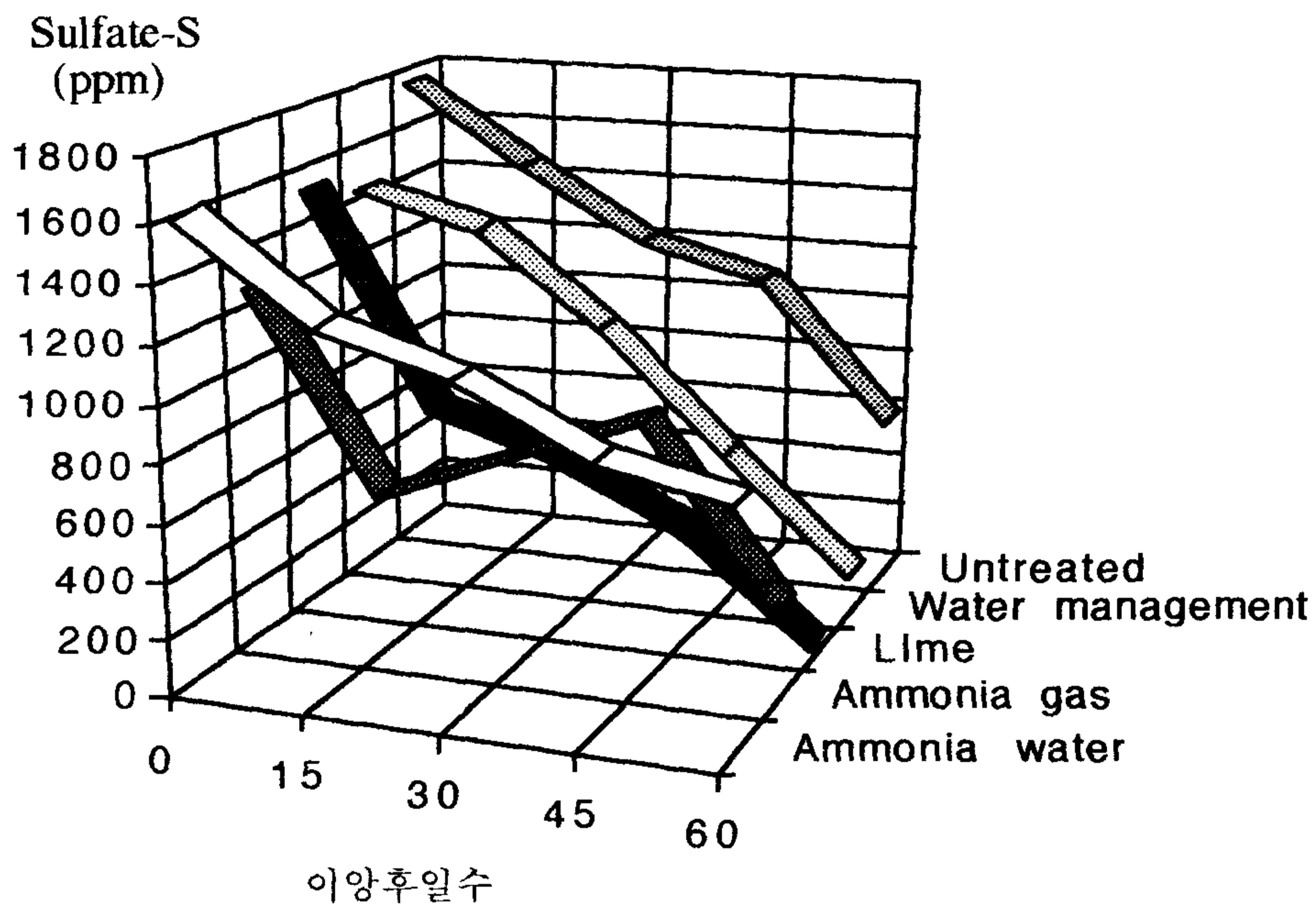


그림 58. 개량 방법 적용에 따른 산화 유황의 함량 변화

있던 반면에, 암모니아수 처리구에서는 꾸준한 감소를 계속하였다. 이와같은 차이는 암모니아 가스의 경우 처리 당시의 손실이 암모니아수의 경우에 비하여 컸던 것 때문이 아닌가 생각된다. 따라서 이론적인 pH 보정에 요하는 양보다 처리 당시의 손실 보정도 감안하여서 처리하여야 할 것으로 생각된다. 석회 시용구 및 물 관리구에 있어서의 산화 유황의 감소는 이양후 시일의 경과와 함께 꾸준하게 감소되고는 있지만, 감소 양상은 석회 시용구가 물 관리 시용구 보다 급격하게 이루어지고 있었다.

환원 상태 유황의 개량법 적용에 따른 이양 후 경시적 변화는 그림 59에서 보는 바와 같이, 암모니아수와 물관리 적용 및 무처리구에서는 증가되는 경향

을 보였던 반면에 암모니아 가스와 석회 처리구에서는 약간 감소되는 경향을 나타내었다.

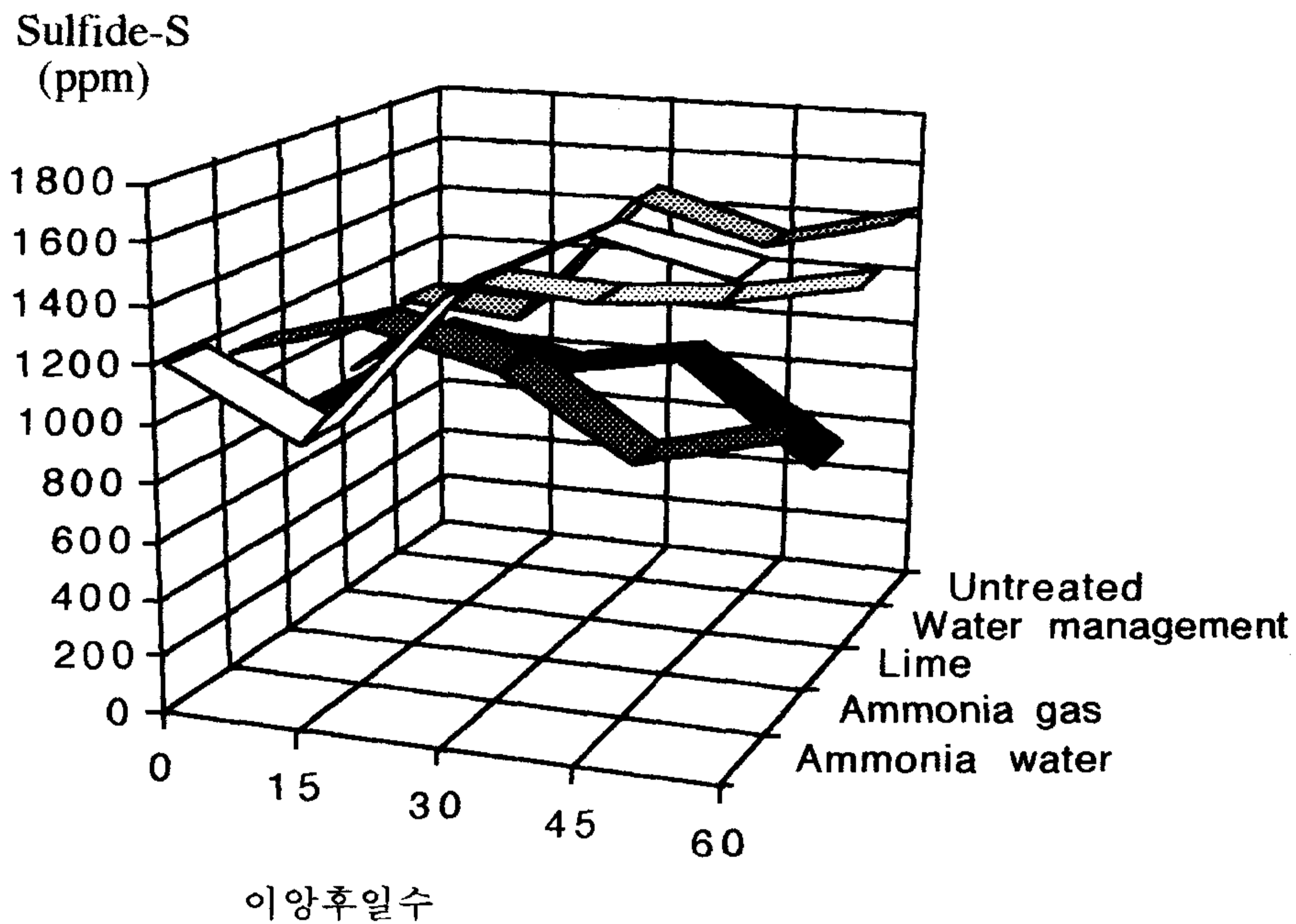


그림 59. 개량 방법 적용에 따른 환원 유황의 함량 변화

무처리구 및 물관리 적용구에서의 환원 상태의 유황 함량 증가는 성토된 잠재성 특이산성토양이 담수에 의하여 계속 환원 상태가 유지되고 있음을 나타내주었다. 한편 암모니아수 처리구에서도 이러한 환원형 유황 함량의 증가가 나타났는데 이것은 개량 효과가 지속되고 있음을 보여 준 결과로 생각한다. 그러나 암모니아 가스 처리구와 석회 처리구에서는 이양 후 60일 동안에 일정한 경향을 나타내지 않고 증감이 이어져서 이양 후 60일에는 처음의 수준과 큰 차이가 없는 경향을 보였

는데, 이것은 이들 처리에 의한 개량의 효과가 그 만큼 지효적이거나 또는 개량제의 손실이 컸었기 때문이 아닌가 생각된다.

개량 방법 적용 후의 Al^{3+} 의 함량 변화를 보면 대체적으로 증가되는 경향을 보였다 (그림 60). 본 실험에서의 개량 방법별 알루미늄의 농도는 암모니아 처리구와 무처리구에서 보다 석회나 물 관리 적용구에서 이양 후 60일에 높은 수준을 나타내었는데 이러한 결과는 토양 산도 변화와 깊은 관계 때문으로 생각한다. 즉 개량 방법 적용에 따른 토양 산도의 변화는 앞에서 본 바와 같이 암모니아 처리구 및 무처리구가 석회나 물 관리 적용구에서 보다 낮아졌는데 이러한 토양 산도의 차이가 알루미늄의 농도에도 영향을 미치지 않나 생각된다.

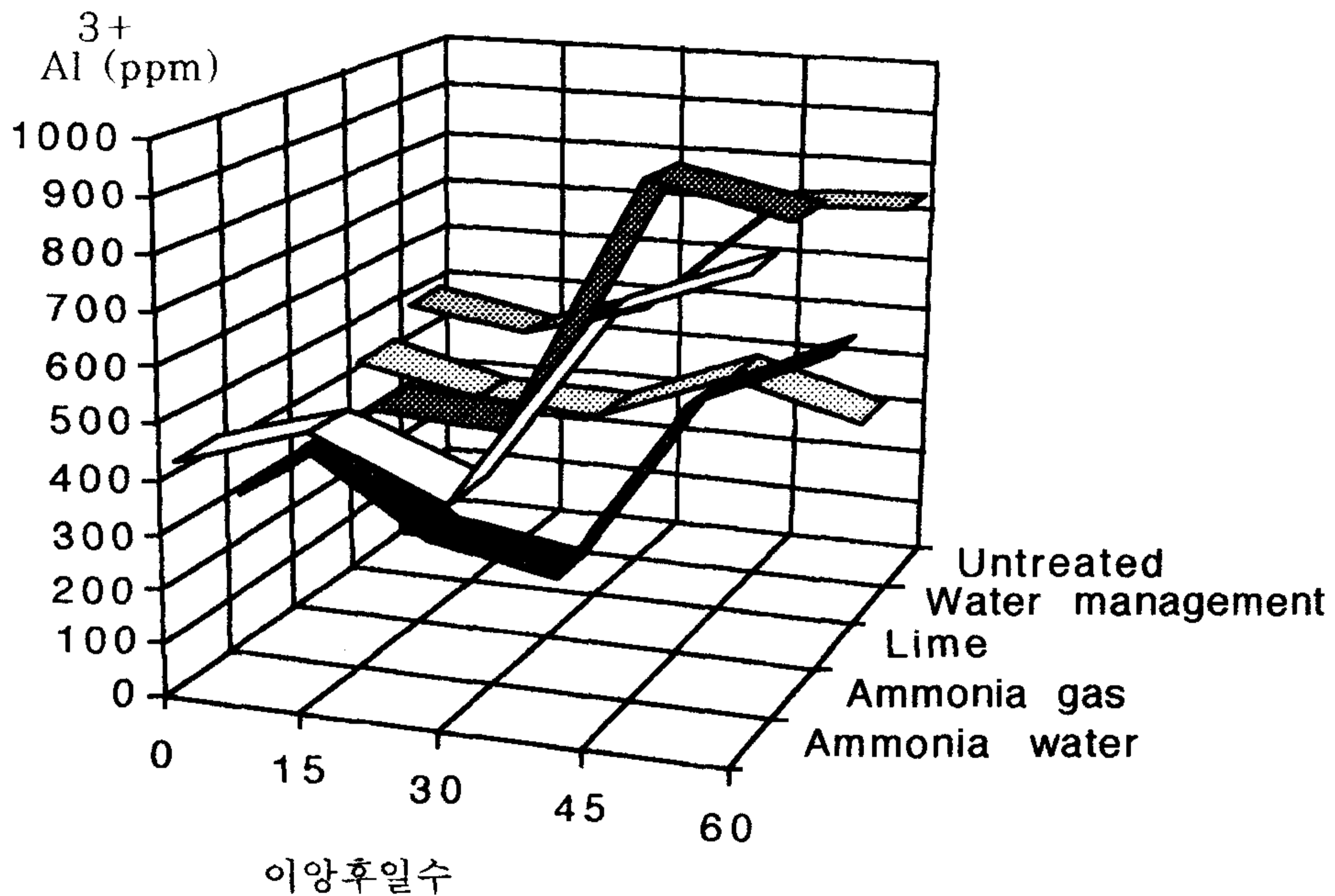


그림 60. 개량 방법 적용에 따른 Al^{3+} 의 함량 변화

알루미늄은 토양 산도에 따라 용해성이 크게 영향을 받으며, 이러한 용해도에 따른 농도는 수도 생육과 밀접한 관계를 갖는다. 수도는 산성에 대하여 큰 내성을 보여 양액 재배상에서 산도가 4 이하가 될 때 비로소 수도 생육이 억제를 받기 시작하는데 토양에서는 산도 5 이하가 되면 산도에 의한 영향을 받게된다. 이와같은 토양 중에서의 산도 저하에 따른 피해는 실제로 산도에 따른 생육 불균형이라기 보다는 오히려 토양 산도가 5 이하로 되면서 알루미늄과 같은 원소의 가용화에 따른 독성해에 의한 것이 더 큰 중요성을 갖는다고 할 수 있다.

잠재성 특이산성토양에서의 Fe^{2+} 의 농도는 일반적으로 높아서 때로는 수천 ppm에 달하기도 한다. 답 토양이 답수되면 토양 중에 존재하는 철 화합물은 환우너되어서 Fe^{2+} 을 토양 용액 중으로 공급한다. 따라서 개량 방법 적용 후의 잠재성 특이산성토양 내의 환원 철의 함량은 토양의 산화와 환원 상태와 관련지어 중요한 요소라 할 수 있다. 그림 61에서와 같이 개량제 적용 및 물 관리에 의한 개량 방법 적용 결과 2가 철의 함량은 이양 후 처음에는 감소되는 경향을 보이다가 다시 상승되는 경향이였다. 무처리구에서는 이양 당시의 환원철의 함량이 타처리구에 비하여 매우 낮았는데 이것은 토양 산도가 타처리구 보다 낮았던 때문으로 생각된다. 각 처리구의 환원철의 농도는 시일의 경과와 함께 점차 낮아졌는데 이것은 개량 방법 적용에 따른 효과의 결과로 볼 수 있다. 즉 철의 용해도는 pH의 증가와 함께 감소되는데, 이양 후 처음에 환원철이 감소하였던 것은 이양전에 적용한 개량 방법의 효과 때문으로 어느 정도 개량에 의한 pH 상승에 의한 효과를 보이다가, 시일의 경과와 함께 점차 개량의 효과가 저감됨과 아울러 토양 pH는 점진적으로 저하되고 이에 따라 환원철의 용해도가 높아져 농도 수준이 증가되는 결과를 가져왔던 것으로 생각된다.

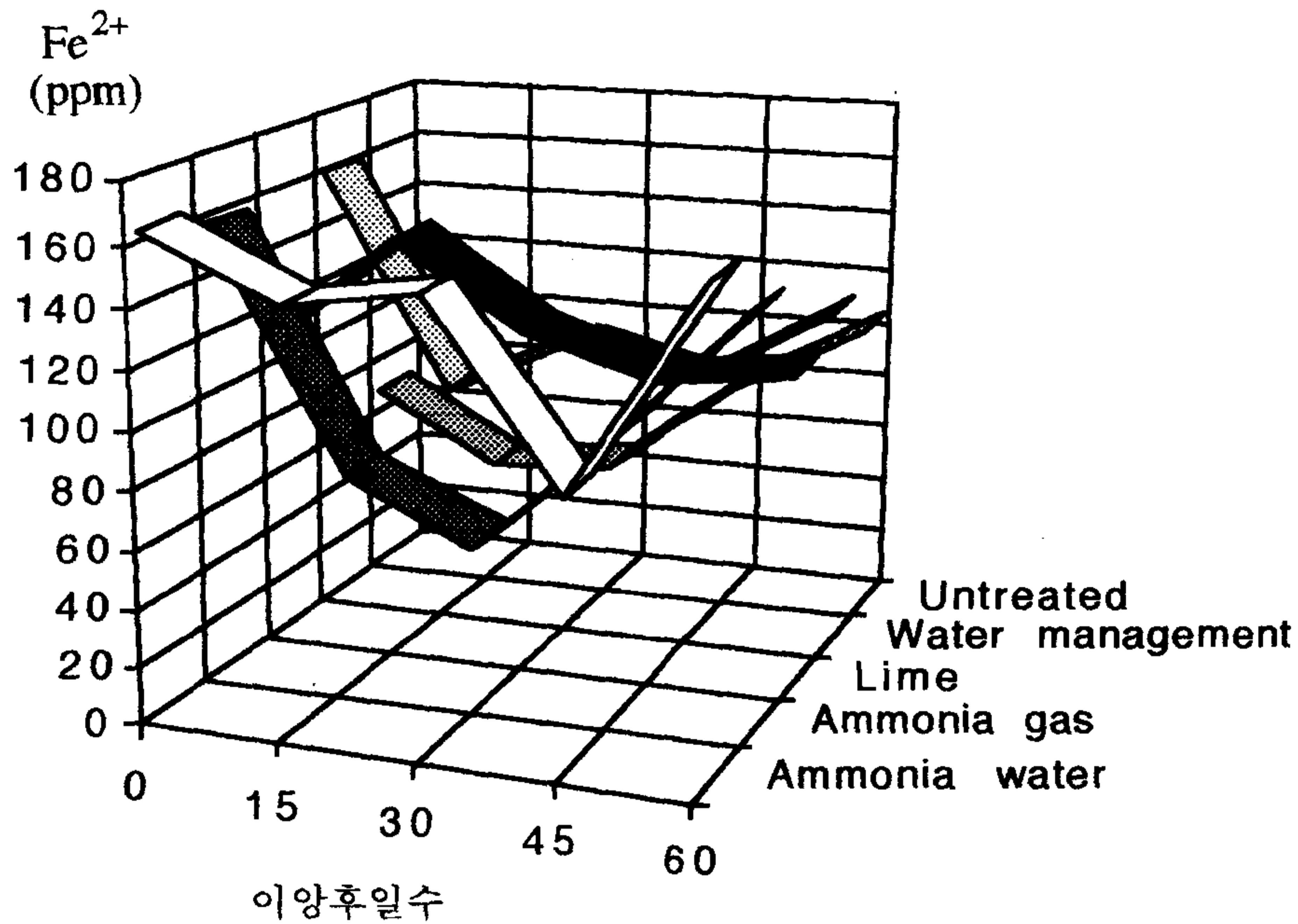


그림 61. 개량 방법 적용에 따른 Fe²⁺의 함량 변화

이상의 결과로 부터 암모니아수나 암모니아 가스, 석회등의 개량제 사용이나 물 관리에 의한 개량 방법 적용 모두 무처리구에 비하여 어느 정도 잠재성 특이산성토양의 개량 효과를 볼 수 있었으나, 처리구 간에는 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다. 더우기 굴착 후 시일이 많이 경과되지 않았던 본 실험 토양의 조건을 감안하면 년차적인 개량 방법의 적용과 효과의 판정정이 계속적으로 이루어져야 할 것으로 생각된다.

잠재성 특이산성토양에서의 수도 재배는 토양이 어느 정도 산화가 진행되었느냐에 따라 수도 생육에 큰 차이를 나타낸다. 당해년도에 굴착하여 기존의 답토양 표면에 성토하고, 이양전에 개량 방법을 적용하고 수도를 재배한 포장에서

의 수도 생육은 무처리구에 있어서만 약간의 생육억제를 나타내었을 뿐 개량 방법 적용구에서는 큰 피해를 보이지 않았다.

이양전 개량제 시용과 물 관리 적용 후 수도를 이양하고 일주 간격으로 측정한 초장은 무처리구를 제외하고는 처리구 간에는 차이를 보이지 않았다. 무처리구에서는 이양후 3주 부터 처리구에 비하여 초장 억제가 인정되었으며, 이러한 생육 억제는 이양 후 10주까지 지속되었다. 이와같은 초장 억제는 잠재성 특이산성토양이 포장 상태에서 계속적으로 산화되어간 결과에서 나타난 것이지만, 그럼에도 불구하고 완전한 고사에 이르지 않았는데 이것은 수도 생육에 심한 피해를 줄 정도까지 완전히 산화되지 않았었기 때문으로 생각된다. 굴착 직후와 성토 전후의 공시 토양의 토양 산도가 4.8 정도이었으며 또 재배 기간 중에도 담수에 의한 환원 조건의 유지가 이와같은 생육을 가능케 하였을 것으로 생각된다. 그러나 개량 방법 적용구에 있어서는 이양 당시의 토양 산도가 5.3 - 5.6 부근이었고 또 재배 기간 중에도 산화에 따른 토양 산도의 저하도 그리 크지 않았었기 때문에 수도의 생육 억제도 거의 없었던 것으로 생각된다. 한편 생육 기간 중의 분얼수에 있어서는 초장에서와는 달리 무처리구에 있어서나 개량 방법 적용구에 있어서나 차이를 나타내지 않고, 이양후 2주에 주당 1개, 3주에 3개, 5주에 4개로 증가되었다. 분얼수에 있어서 이와같이 차이를 보이지 않았던 것은 생육 반응에 있어 분얼수는 초장 보다 훨씬 덜 민감하였기 때문으로 믿어진다.

개량 방법 적용에 따른 수도의 수량구성요소의 차이를 보면 개량 방법 적용구와 무처리구 간에는 차이를 보였던 반면에, 개량 방법 간에는 차이를 나타내지 않았다 (표 13). 무처리구에 있어서는 수량구성요소 중 등숙율과 천립중을 제외한 간장, 수장, 주당수수 및 일수입수에서 개량 방법 적용구에 비하여 떨어졌는데, 이러한 차이는 재배 기간 중의 생육 억제의 결과로 부터 나타난 것으로 믿어

진다.

표 13. 개량 방법 적용별 수도 수량구성요소 차이

처리	간장 (cm)	수장 (cm)	주당수수 (개/주)	일수입수 (개/수)	등숙율 (%)	천립중 (g)
암모니아수	78.2	16.5	17	118	83.2	22.1
암모니아가스	72.2	15.8	15	121	86.5	21.8
석회	81.1	15.4	16	109	84.3	22.7
물 관리	75.8	16.7	15	113	82.1	23.0
무처리	62.3	14.8	13	102	83.7	21.7

수도 생육 기간 중의 양분 흡수에 미치는 개량 방법 적용의 영향을 보면 개량 방법 간에는 질소, 인산, 가리의 흡수에 차이를 나타내지 않았다 (표 14) 그러나 무처리구에 있어서는 3요소 모두 약간의 흡수 억제를 보였다. 이러한 흡

표 14. 개량 방법 적용에 따른 수도 양분 흡수

처 리	이양후 5주			이양후 9주		
	질소	인산	가리	질소	인산	가리
내 용	%					
암모니아수	2.95	0.99	4.71	2.37	0.72	4.67
암모니아가스	2.82	0.82	4.68	2.14	0.62	4.41
석회	2.58	1.13	4.61	2.11	0.69	4.31
물 관리	2.98	1.19	4.53	2.29	0.81	4.75
무처리	2.77	0.72	4.62	2.15	0.59	4.43

수 억제는 이양후 5주 뿐 만 아니라, 이양후 9주에도 지속적으로 나타나고 있었다.

잠재성 특이산성토양에는 산도에 따라 많은 함량의 알루미늄, 철, 유황등이 용해되어 있고 따라서 알루미늄을 비롯한 많은 양의 원소들이 식물체에 흡수되어 수도 생육 대사에 심한 영향을 미칠 뿐 만 아니라, 타 양분들과의 농도 불균형은 흡수 그 자체에도 영향을 미쳐 본 실험에서와 마찬가지로 질소, 인산 및 가리 흡수량이 감소되었지 않나 생각된다.

식물체내의 높은 알루미늄 함량은 특히 체내 인 대사에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있고, 유황의 독성은 광인산화 반응을 저해함으로써 생육을 억제시킨다고 알려져 있다. 한편 철의 높은 함량에 따른 피해로는 수도에 있어서 'bronzing'이라 불리는 증상을 보이는데 특히 가리가 결핍되는 조건에서 많이 나타나는 것으로 알려져 있다. 그러나 본 실험에 있어서는 이상과 같은 철의 독성 징후를 찾을 수 없었는데 이것은 가리가 심각할 정도의 결핍을 보이지 않았던 결과가 아닌가 생각된다.

수량구성요소에서의 차이는 결국 수량에도 영향을 미쳐 무처리구의 수량은 개량 방법 적용구에 비하여 낮게 나타났다 (그림 63). 한편 개량 방법 적용구 간에는 석회 시용구의 수량이 타 적용구에서 보다 약간 낮게 나타났는데, 이것은 여러 요소들의 복합적인 영향의 결과이었지 않았나 생각된다.

이상의 결과를 종합하여 보면, 개량 방법의 적용은 어느 정도 개량의 효과를 인정할 수 있었으나, 개량 방법 간에는 뚜렷한 차이를 찾을 수 없었다. 이러한 결과는 본 공시 잠재성 특이산성토양이 굴착후 산화가 많이 진행되지 않았던 토양으로 아직 개량 효과를 전적으로 수용할 정도가 아니었었기 때문으로 생각된다. 한편 무처리구에 있어서도 실제로 이전에 나타났던 잠재성 특이산성토양의

수도 재배상 피해 보다 훨씬 경미한 피해만이 나타났는데 이러한 차이도 아마 앞서에서와 같이 잠재성 특이산성토양의 산화 정도와 밀접한 관계를 갖기 때문으로 생각된다.

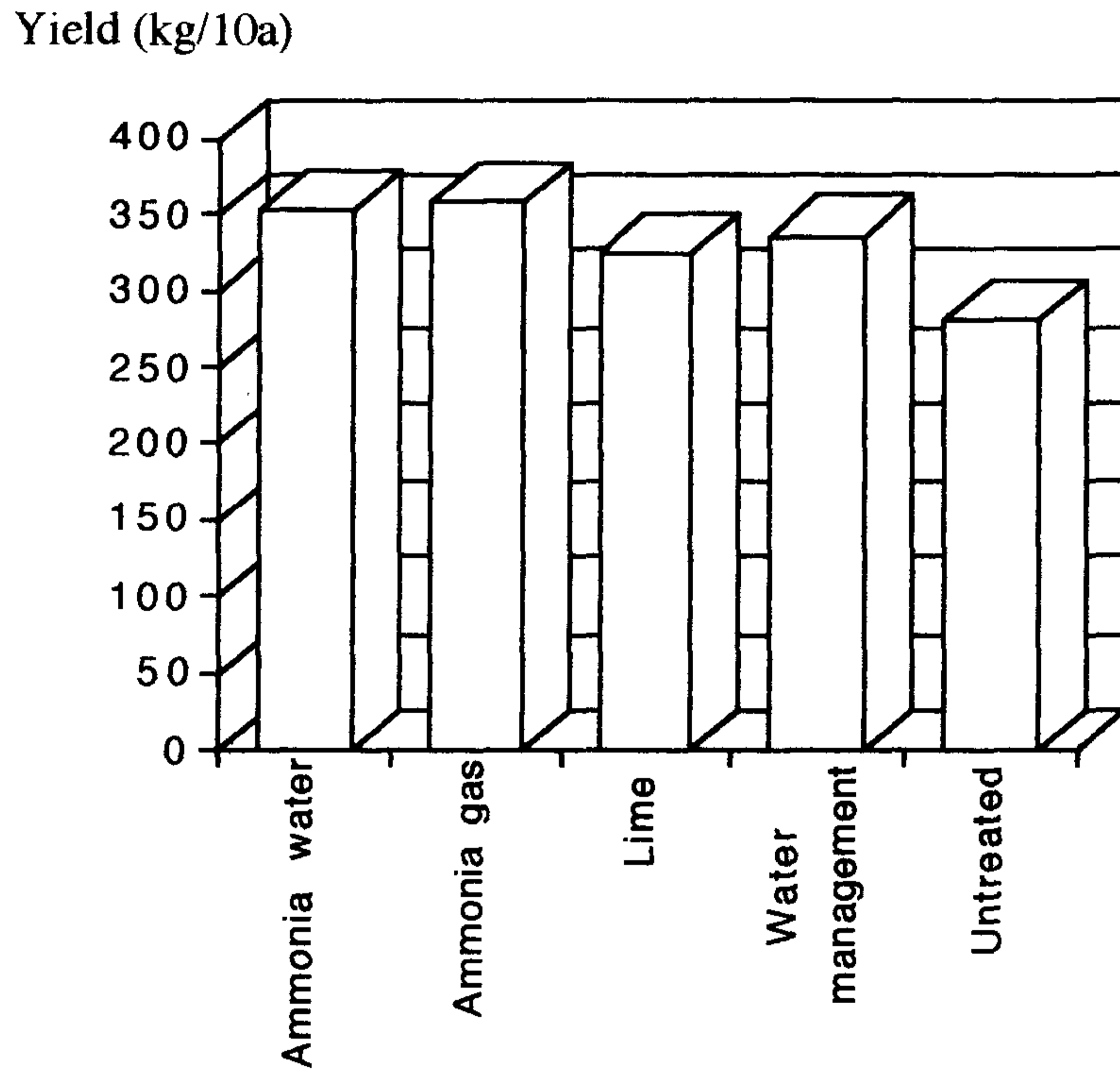


그림 63. 개량 방법 적용에 따른 수도 수량

4.3.2 잠재성 특이산성토양에 대한 선발개량제 적용 효과

기초실험에서의 잠재성 특이산성토양의 개량에 암모니아 및 석회의 처리가 효과가 있었음을 확인 한 바 있다. 그러나 포트에서의 실험 조건은 무누수 등 여러가지 부여되는 조건이 단순하고 정밀하므로 포장 상태와 같이 다양한 조건이 서로 관련되는 경우의 결과하는 크게 상이 할 수 있다. 따라서 포트 실험에서 효과가 우수하였다던 두가지 처리를 농도 수준별로 포장에 적용하였다.

실험 포장의 토양은 전남 나주 영산강 지역의 잠재성 특이산성토양으로 굴착 후 일반 숙답 포장에 30 cm 이상으로 성토하여 시험구를 조성하였다. 실험에 사용한 잠재성 특이산성토양은 미사질식양토로서 토양 pH 7.22, 환원형 유황 함량 99.1 ppm, 유기물 함량 7.75%, Al^{3+} 120.4 ppm, Fe^{2+} 28.1 ppm을 함유하고 있었다.

개량제로서 암모니아와 석회는 실험토양의 석회소요량을 완충곡선법에 의하여 산출하여 암모니아 170 L/10a 및 석회 900 kg/10a을 얻었다. 토양 시용은 이앙 일주일 전에 암모니아 60 및 170 L/10a 수준, 석회 300 및 900 kg/10a을 처리하고 경운 정지 후 이앙하였다. 이앙 후 토양 pH 변화를 일정 간격으로 조사하고, 수도의 생육은 이앙후 20, 40 및 125일에 초장을 측정하고, 더불어 수량구성요소 및 수량을 조사하였다.

대조 토양인 일반 숙답의 pH는 수도 재배 기간 중에 대체적으로 pH 5 부근을 유지하고 있었던 반면에 잠재성 특이산성토양은 pH 6.5 정도를 유지하였다 (그림 64). 그러나 암모니아 및 석회를 시용한 처리구에 있어서는 전반적으로 이들 두 처리구 보다는 높은 수준을 나타내었다. 암모니아 60 L/10a 처리구에서는 처리 직후인 이앙 당시에 pH 8을 보이다가 시간의 경과와 함께 점차 강하되는 추세를 나타내어 이앙 후 96일에는 pH 6 부근까지 떨어졌다. 한편 암모니아

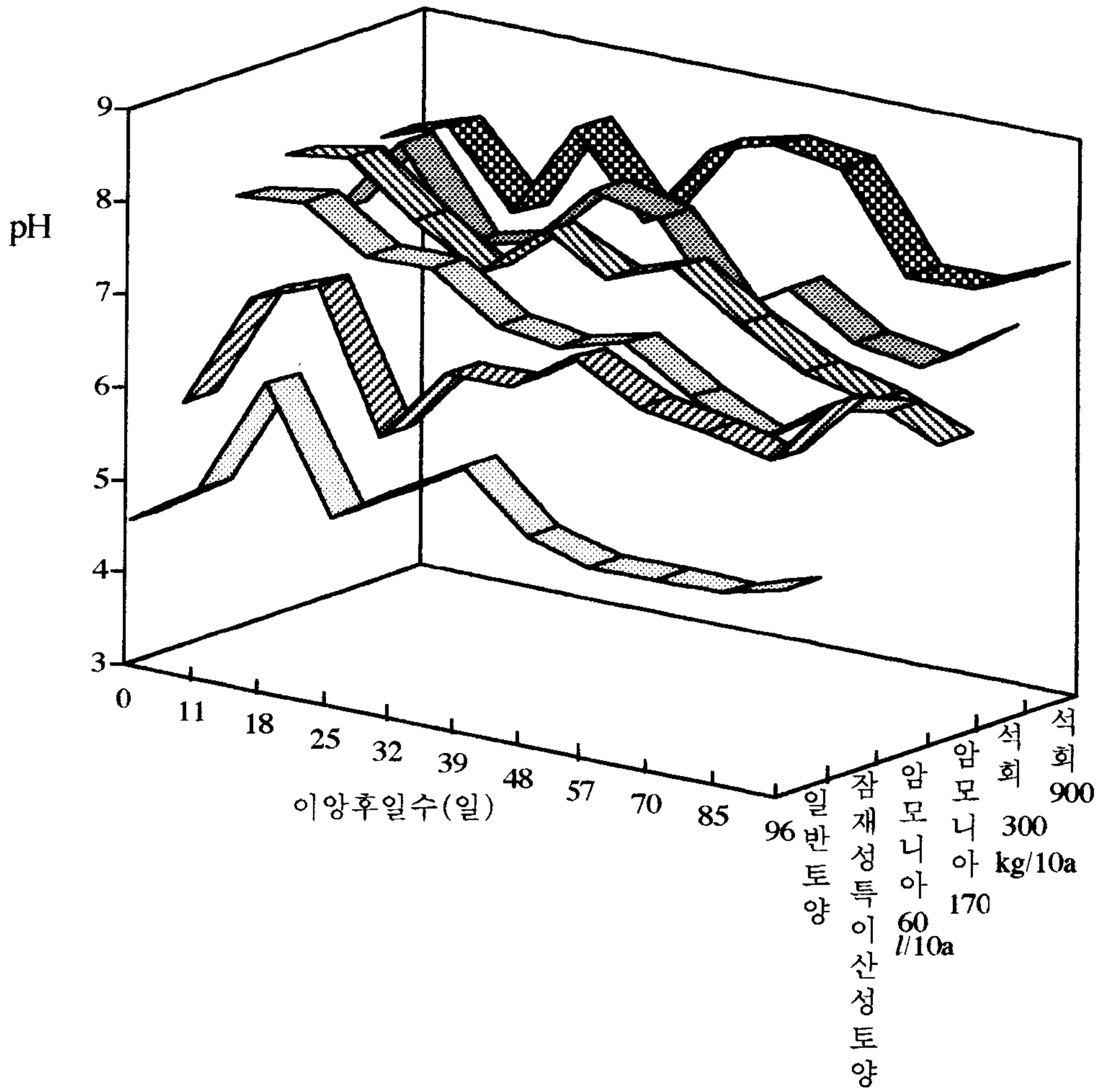


그림 64. 잠재성 특이산성토양의 개량 방법 적용에 따른 수도 포장의 pH 변화

170 L/10a 처리구에서는 pH 강하 경향은 비슷하였지만 저농도에 비하여는 높은 pH 수준을 유지하였다. 석회 시용에 있어서는 암모니아 처리 보다도 더 높은 pH 수준을 나타내었는데, 저농도 처리구에서는 시일의 경과와 함께 pH가 완만하게 감소되었으나 900 kg/10a 처리구에서는 pH의 감소가 크게 나타나지 않고 오히려 pH 8 부근을 유지하고 있었다. 이와 같은 개량제의 시용 효과는 사실상 잠재성 특이산성토양에 대하여서는 큰 효과를 나타내지 못하였는데 이것은 잠재성 특이산성토양 자체가 아직 산화가 되기 이전의 상태이기 때문에 개량제 처리에 의한 효과가 뚜렷하게 나타나지 않았던 것으로 생각한다.

잠재성 특이산성토양에 개량제를 시용하지 않은 경우의 수도 재배 효과는 일반 속담의 경우와 크게 차이를 나타내지 않았다 (그림 65). 그러나 암모니아를 시용한 경우 이양후 20일의 초장은 대조 토양에서의 초장 보다 짧았는데 그 억제 정도는 높은 농도로 처리한 경우가 더 심하였다. 이러한 억제는 암모니아의 시용 초기에 일시적으로 암모니아가 공급됨에 따른 고농도 피해로 생각된다. 암모니아 170 L/10a 처리구에서의 초기 수도 생장 억제는 시일의 경과에도 불구하고 완전히 회복되지 못하여 이양후 40일 및 수확기인 이양후125일에 있어서도 대조구에 비하여 초장 감소가 뚜렷하였다. 한편 석회 300 kg/10a 시용구에 있어서는 암모니아 처리구와는 달리 이양후 초기 및 그 이후에 있어서도 수도 생육 피해는 나타나지 않았지만, 900 kg/10a 시용구에 있어서는 후기에만 약간의 생육 억제를 보였다. 이러한 억제 효과는 아마도 시용된 석회의 양이 너무 많기 때문에 나타나는 석회해가 아닌가 생각된다.

이상의 결과로부터 잠재성 특이산성토양은 굴착 직후에 아직 산화가 이루어지지 않은 상태에서는 개량제를 시용한다 하더라도 그 효과를 기대할 수 없는 것으로 생각되며, 암모니아나 석회와 같은 개량제의 효과는 잠재성 특이산성

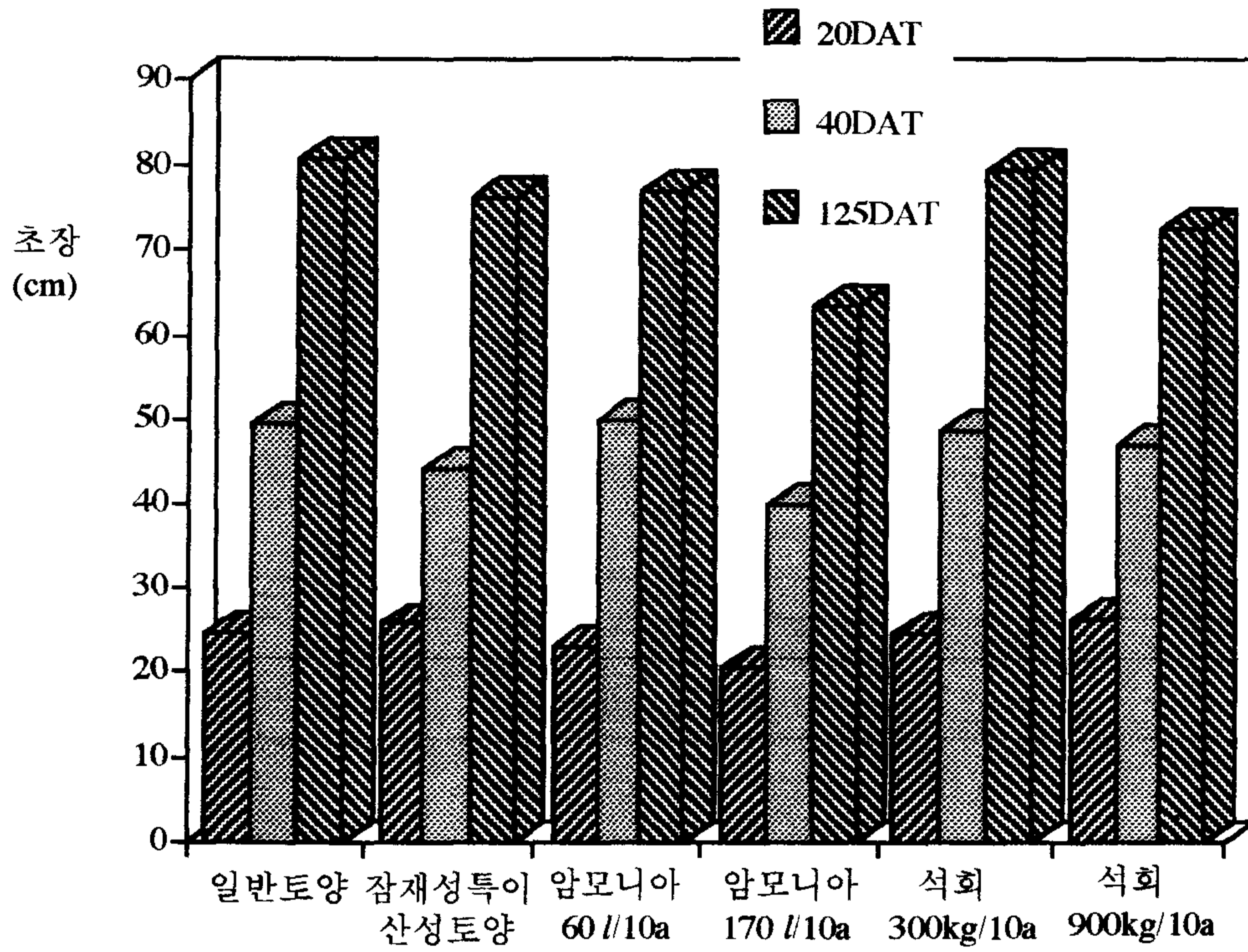


그림 65. 잠재성 특이산성토양의 개량 방법 적용에 따른 수도 생육

토양이 어느 정도 산화되어 산성토양으로서의 토양 특성을 보이는 경우에 보다 효과적일 것으로 생각된다.

개량제를 시용한 처리구에서의 수도 수량구성요소 및 수량에 있어서도 초장에 대한 효과와 비슷한 경향을 나타내었다 (표 15). 즉 암모니아 170 L/10a를 처리한 구에서는 일수입수 및 주당수수에 있어서 대조구에 비하여 떨어지는 경향

표 15. 잠재성 특이산성토양의 개량 방법 적용별 수도 수량

처리내용	일수입수	주당수수	등숙율(%)	천립중(g)	수량 (kg/10a)
일반숙답	95	21	81	22.2	423
잠재성특이산성토	87	23	79	23.1	435
암모니아60L/10a	84	20	83	22.4	419
암모니아170L/10a	76	17	82	23.0	348
석회 300kg/10a	91	19	85	21.3	422
석회 900kg/10a	89	20	81	21.7	406

을 보였으며, 그 결과 수량에 있어서도 전체 처리구 중 가장 낮은 수준을 나타내었다.

이상의 결과를 종합하면 잠재성 특이산성토양은 그 자체가 산화된 상태에 있지 않기 때문에 실제 포장에 성토된 상태 직후에는 개량제에 의한 개량 필요성이 요구되지는 않는다. 그러나 시일의 경과와 함께 산화 과정을 거쳐 토양 산도가 강하되면 개량의 필요성은 절실하게 되어 이 경우 암모니아나 석회의 시용이 가능하지만, 암모니아는 일시적인 높은 처리 농도에 의한 피해가 있을 수 있고, 또 석회 시용에 있어서도 과량의 석회해가 있을 수 있기 때문에 화학적 개량 방법 만으

4.4 파넨 잠재성 특이산성토양의 효과적 처리

잠재성 특이산성토양이 보이는 특징 중의 하나는 산화에 있어 일정 기간 동안 시일을 요하고 또 여러가지 환경 조건에 따라서 산화의 속도가 달라서 산도 강하에 의한 작물 생육 피해 발생도 일정치 않는 것이다. 따라서 이러한 잠재성 특이산성토양을 굴착 직후에 개량제 이용과 같은 화학적 개량은 실용적이지 못한 점이 많다. 이러한 관점에서 굴착 직후에 잠재성 특이산성토양을 물리적인 효과적 방법으로 처리하는 방안의 모색은 실용상 매우 중요하다고 생각된다.

잠재성 특이산성토양을 일반 숙답 토양하에 매몰시키는 방법은 수도 재배 상 수도의 생육이 전반적으로 숙답토에서 이루어지기 때문에 이용할 수 있는 방법이다. 먼저 잠재성 특이산성토양을 포트에 일정량 담고 그 위에 일반 숙답 토양을 10 - 50 cm 두께로 복토한 다음 여기에 수도를 이양하였다. 이양 후 45일에 수도의 초장 및 근장을 조사하여 매몰하지 않은 잠재성 특이산성토양에서의 수도 생육과 비교하였다.

잠재성 특이산성토양을 매몰한 토양에서의 수도 초장은 매몰 심도에 관계 없이 큰 차이를 나타내지 않았다 (그림 66). 즉 수도 초장은 잠재성 특이산성토양에서만 생육된 경우와 10 - 50 cm 매몰구에서 생육된 수도의 초장과 크게 다르지 않았다. 매몰구에 있어서 수도 생육은 이양 초기 부터 잠재성 특이산성토양에서 직접 생육되지 않고 표층에 복토된 일반 숙답 토양에서 이루어지기 때문에 비록 잠재성 특이산성토양이 산화된 상태라 하더라도 피해는 그리 크지 않을 것이 예상된다. 한편 근장에 있어서는 30 및 50 cm 매몰구의 근장이 0 - 20 cm 매몰구의 근장 보다 약간 짧게 나타났는데, 이것은 복토된 토양 깊이 이하로 뿌리가 신장되고, 그 후에 뿌리 신장이 약간 지연되었던 것이 아닌가 생각된다.

수도 포장은 수도가 재배됨에 따른 경운에 의하여 토양의 반전이 항상 일

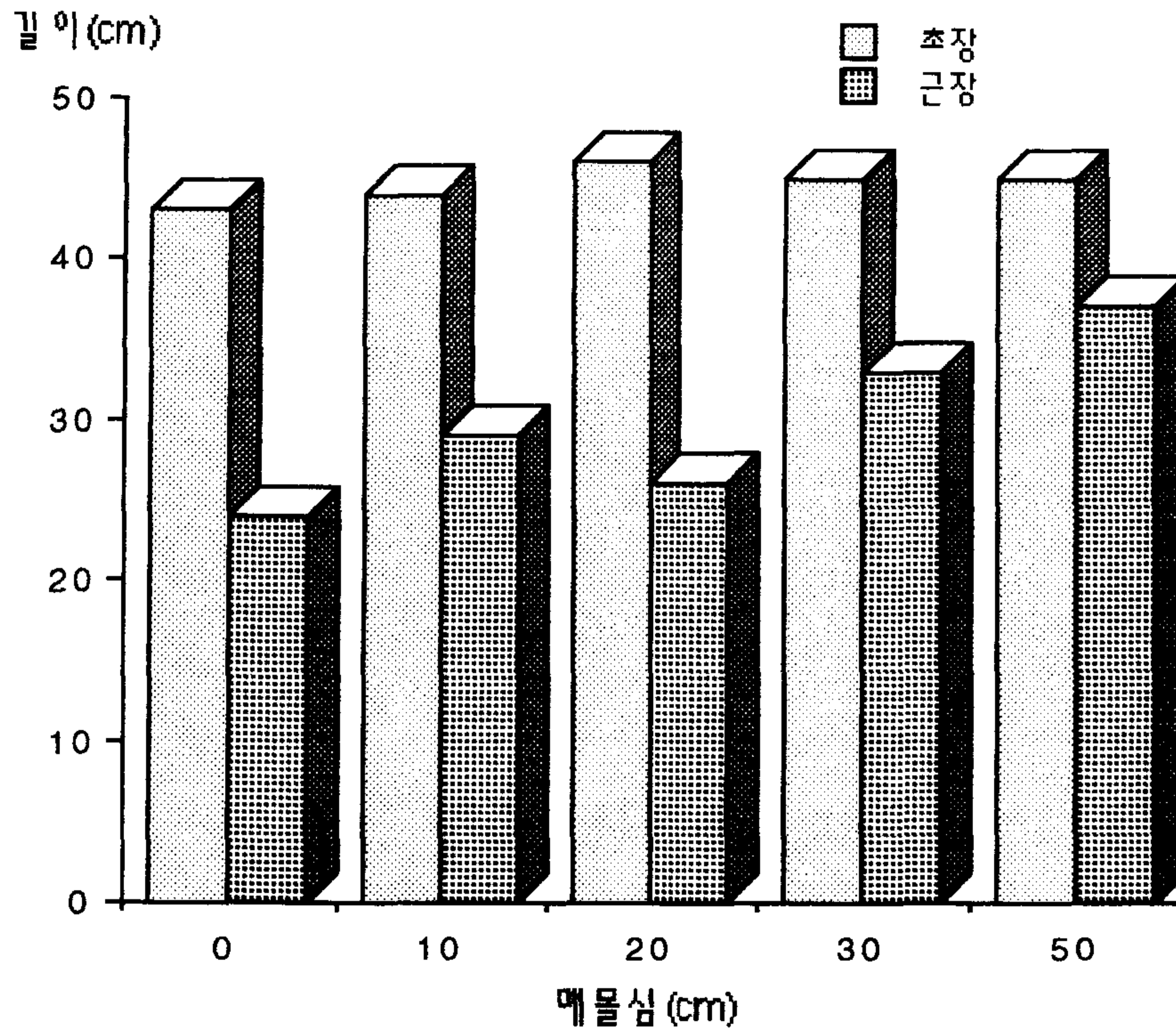


그림 66. 잠재성 특이산성토양의 매물에 따른 수도 생육 (이양 후 45일).

어나고 있다. 따라서 비록 잠재성 특이산성토양을 일반 숙답 토양으로 복토를 하여 매물시켰다고 하더라도 경우에 의한 매물된 토양이 경작토의 위치로 이동되어 혼합되기도 한다. 이러한 상황을 고려하여 잠재성 특이산성토양과 일반 숙답 토양을 혼합한 조건하에서의 수도 생육을 검토하였다.

일반 숙답 토양의 혼합 비율은 0, 25, 50, 75 및 100%로 두 토양을 잘 혼합하여 포트에 담았다. 그 후 담수하고 수도 묘를 이양하고 생육 상태를 조사하였다. 또한 혼합 후 잠재성 특이산성토양에 의한 산화로 인한 토양 pH 및 환원형 유황 함량의 변화를 조사하였다.

일반 숙답과 혼합하지 않은 잠재성 특이산성토양의 pH 변화는 대체적으

로 담수 초기에 약간 상승하다가 점차 감소하는 경향을 보였다 (그림 67).

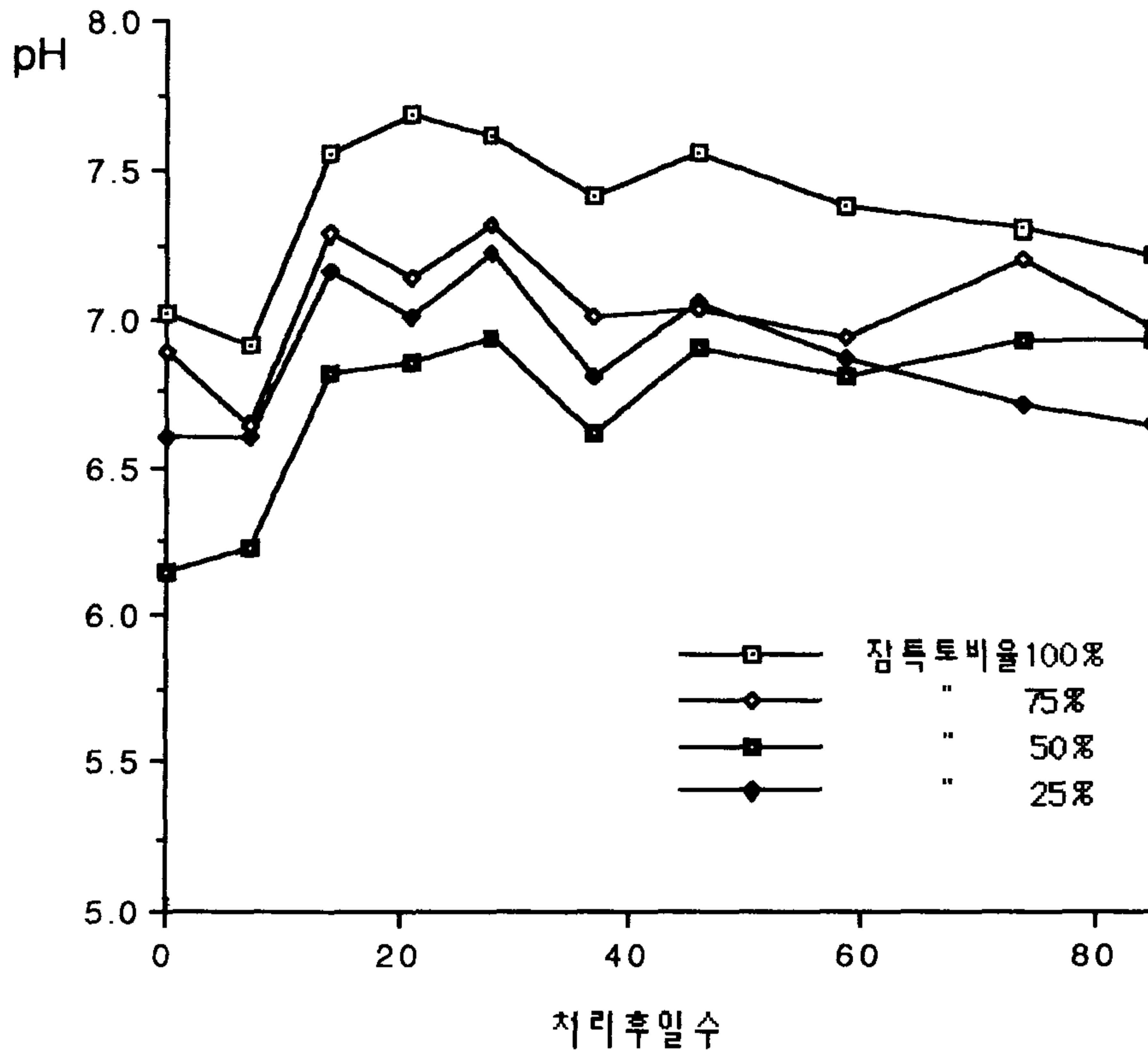


그림 67. 잠재성 특이산성토양과 일반 숙답 토양과의 혼합 비율에 따른 pH의 변화

그러나 잠재성 특이산성토양의 혼합 비율이 감소함에 따라 전체적인 토양 pH는 약간 떨어지는 경향을 보였고, 혼합 비율 간에는 잠재성 특이산성토양이 많은 토양에서 pH가 조금은 높은 경향을 보였다. 어느 비율에 있어서든지 혼합 후 담수와 함께 토양 pH는 일시적으로 증가하다가 3주후 부터는 안정화되는 경향을 나타내었다.

한편 환원형 유황의 함량은 담수후 시일의 경과와 함께 전반적으로 증가하였는데, 초기에는 잠재성 특이산성토양의 함유 비율이 높은 토양에서 높은 수준을 유지하다가 약 40여일 후 부터는 비율간 환원형 유황의 함량이 같게 유지되

않았다 (그림 68).

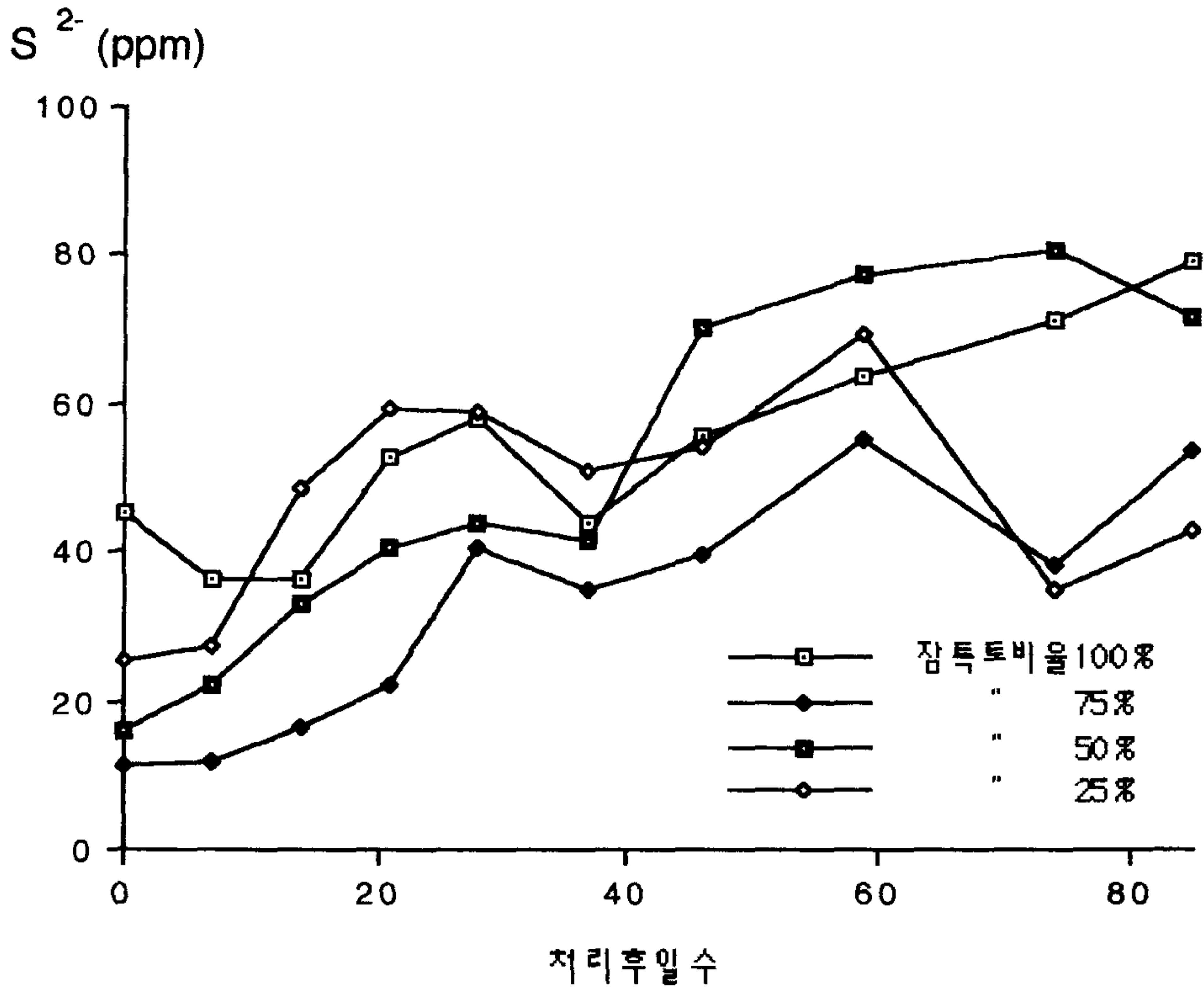


그림 68. 잠재성 특이산성토양과 일반 숙답 토양과의 혼합 비율에 따른 Sulfide-S의 변화

이러한 혼합 토양에서의 수도 생육은 대체적으로는 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났지만, 잠재성 특이산성토양의 혼합 비율이 75% 이상이 되면서 이양 후 45일의 수도 초장은 약간 감소되는 추세를 보였고, 분얼수에 있어서도 혼합 비율 50% 이하의 것 보다 하나씩 적었다 (그림 69).

이상의 결과를 요약하면, 굴착 후 산화가 진전되지 않은 잠재성 특이산성 토양은 일반 숙답 토양에 매몰 시켜 일반 숙답 토양에 의한 복토 효과를 기대할 경우 수도는 피해를 받지 않고 정상적인 생육을 유지 할 수 있다. 이 경우 매몰심

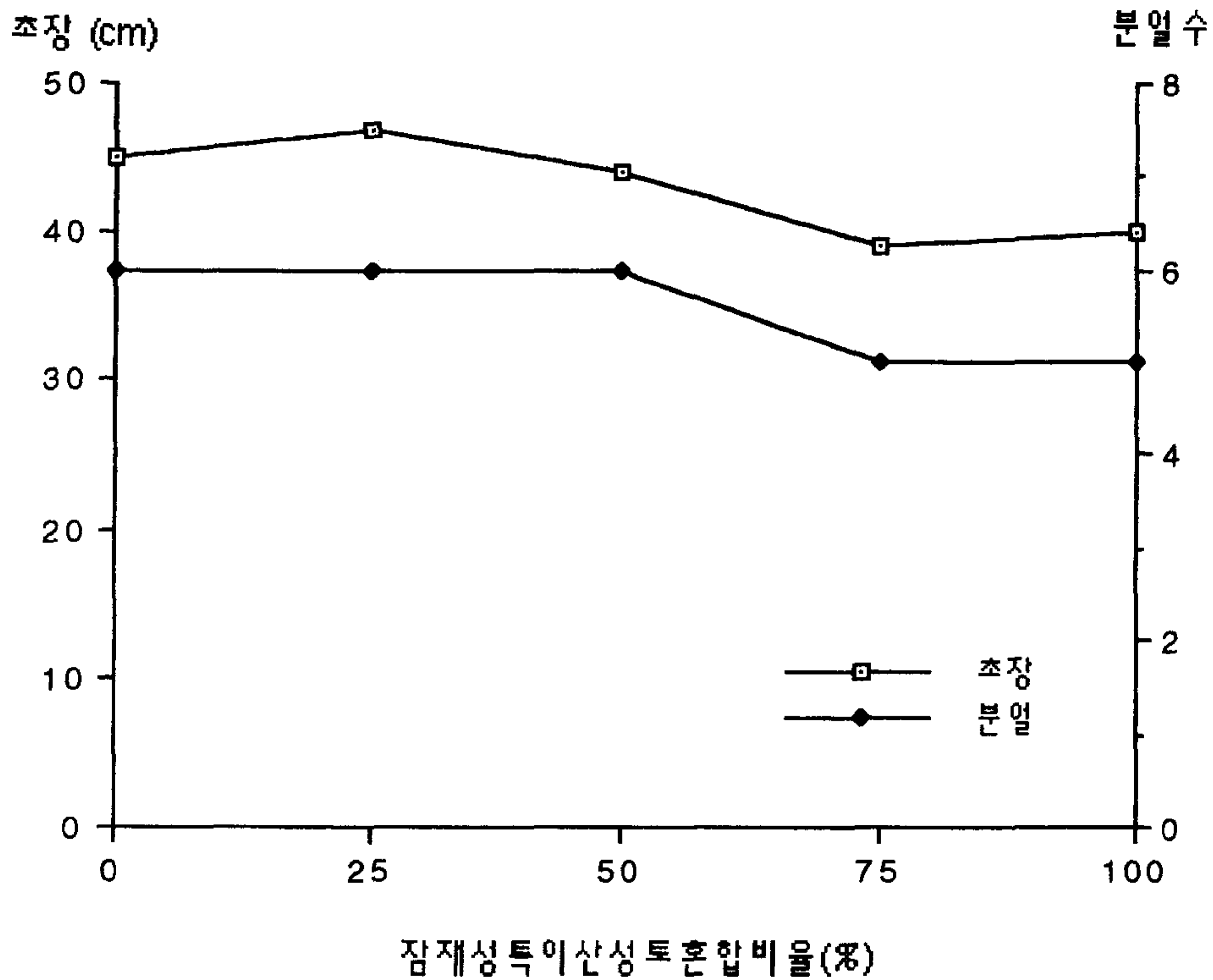


그림 69. 잠재성 특이산성토양과 일반 속담 토양과의 혼합 비율에 따른 수도 생육 (이양 후 45일)

도는 30 cm 이상이 바람직한데, 이것은 일차 수도 재배 후 익년의 경우에 의한 토양 반전은 하층에 매몰된 잠재성 특이산성토양이 표층부로 반전되어 이동하게 되는 효과를 가져오고 그 후 산화 과정을 받게 되면서 토양 pH가 강하되어 수도 생육이 피해를 받을 수 있지만 이 경우에도 일반 토양과의 혼합 비율이 50%까지는 영향이 없기 때문에 30cm 이상 매몰은 안전한 깊이로 추천된다. 또한 실제 수도 포장에서의 작토층의 경우 심도를 고려한다 할지라도 현재의 수도 재배 호한 경에 있어 경우 심도가 트랙터에 의한다 하더라도 30 cm 이상을 초과하는 경우

가 드물기 때문에 하층부의 매몰된 토양이 경운에 의하여 50% 이상의 혼합 비율이 되는 것을 기대 하기는 사실상 어렵다고 생각된다.

제 5 장 조기관정법 개발

5.1 잠재성 특이 산성토양의 분석법 확립.

일부 해안지역의 하해혼성토, 간척지 토양 또는 구농 곡간 충적토양의 기층에는 많은 량의 sulfide-S를 함유하는 잠재성 특이 산성토양이 분포되어 있는데 지금까지 지표하 기층에서 발견되어 왔기 때문에 영농과 관련된 현실적인 측면에서 크게 중요시 되지 않았다.

그러나 최근 대단위 토목공사인 경지 정리, 배수개선을 위해 토양을 파낸후 기층에 있는 환원된 토양의 pH는 중성에 가까워 일반 토양의 표면에 복토된 후 당장은 문제가 없는 듯 하나 표면에서 공기와 접촉하고 유황산화 세균에 의해 서서히 산화가 진행이 되어 토양이 강산성으로 변하여 작물이 고사하는등 민원이 야기 되어 파낸 토양의 sulfide-S함량을 분석하고 또한 현지 간이 판정하는 분석법의 확립이 절실히 요구되는 현실이다.

잠재성 특이산성 토양중의 유황은 pyrite(FeS , FeS_2)나 여러 가지 금속 유화물의 형태 등으로 다양하게 존재한다. 또한 유황은 다른 원소에 비하여 자연계에서 다양한 산화수를 갖는 화합물이 많기 때문에 유황을 형태별 정확하고 정밀하게 분석하는 방법은 매우 복잡하며 여러 가지 분석방법들이 소개되었다. 환원된 유황의 일반적인 분석법들은 환원상태 유황을 sulfate-S로 산화시켜 정량하는데, 이때 이용되는 산화제는 전기로 용융법에 이용되는 sodium carbonate, sodium peroxide, Oxygen bomb에 의한 산화시 sucrose를 첨가하거나 boric acid, sodium nitrate나 magnesium nitrate를 가하여 산소 기류 하에서 태워서 sulfate-S로 환후, 중량법 또는 turbidimetry법으로 분석 한다. 그러나 잠재성 특이산성 토양중 유황함유 여부를 현장에서 신속히 판정하기 위하여는 이들 토양중의 환원된 유황을 산화제로 sulfate-S 로 변화시켜 pH하강을 측정하는 방법이 가장 간단하다. 그러나 위의 산화제들은 그 자체가 강한 산성 또는 강한 알칼리성이어서 현장에서 사용할 수 없다. 따라서 이 실험은 토양중 환원형태의 유황을

포함하는 토양에서 잠재성 산성여부를 알기 위해 간이적으로 현장에서 사용되어 왔던 여러 가지 방법들을 비교 검토하고 실험을 통하여 간편한 합황 여부를 판정하는 방법을 재 검토하였다.

5.1.1 과산화수소수에 의한 방법

토양중의 환원상태의 유황을 산화제인 과산화수소수로 sulfate - S의 형태로 강제 산화시켜 pH하강을 측정하였으며 반응을 촉진하기 위하여 가열에 의한 효과, 과산화수소수의 농도 및 가열시간에 따른 pH의 변화, 잠재성 특이산성토양의 산화 전후의 pH 변화, 산화후 잔류 과산화수소를 분해시키는 catalase의 효과 등을 실험한 결과는 다음과 같다.

1. 가열에 의한 효과

잠재성 특이산성토양중의 과산화수소수를 분석할 때(토양:과산화수소수=1:10) 사용해 왔던 30% 과산화수소수를 산화제로 사용하여 실험한 결과 격렬한 폭발적인 반응을 보이는 시료도 있었으나, 반응이 느린 시료는 산화를 촉진 및 반응시간 단축을 위하여 가열하는 것이 효과적 이었으며, pH의 하강효과가 있는 과잉의 과산화수소수를 분해시키는데 효과적이었다.

2 산화제의 농도 및 가열시간에 따른 토양 pH의 변화

산화제의 농도 및 가열시간에 따른 잠재성 특이산성토양의 pH 변화는 35% 과산화 수소수 처리후(토양 : 과산화수소수 = 1 :10) 10분 가열처리가 이 토양의 경우 매우 효과적이었다. 또한 환원된 유황화합물을 강제 산화시키기 위하여 사용된 과잉의 과산화수소수는 가열에 의해 분해될 수 있어 오차를 줄일 수 있으며 pH meter로 산도를 측정한 결과는 표 16과 같다. 잠재성 산성 토양 중에는 Fe^{+3} , Mn^{+2} 등이 많이 함유되어 있어서 과산화수소수를 분해하는 촉매로 작용할 가능성이 있어 산화제의 역가가 감소될 수 있으므로 과산화수소수에 안정제가

첨가된 35%를 사용하는 것이 바람직하였다.

표 16. 산화제의 농도 및 가열시간에 따른 토양 pH의 변화

산화제의 농도 (H ₂ O ₂)	가열시간(분)					
	0	5	10	20	30	60
5%	5.3	4.9	4.6	4.0	3.4	3.0
10%	5.3	4.7	4.2	3.6	2.9	2.7
20%	5.3	4.4	4.2	3.4	2.7	2.7
30%	5.3	4.2	3.6	3.0	2.6	2.7
35%	5.3	3.8	2.8	2.7	2.6	2.6

익산함열 잠재성 산성토양 (토양 : 과산화수소수 = 1 : 10)

과산화 수소수에 의한 산화 전후의 잠재성 특이산성토양과 일반담 토양의 pH의 변화는 표 17에서 보는 바와 같다. 잠재성 특이산성 토양은 산화후 가산화 물의 산화에 의한 pH의 하강이 매우 큰 것을 알 수 있다.

표 17. 토양별 산화 전후의 pH의 변화

토양	산화전 pH	산화후 pH
잠재성특이산성토(함열)	5.3	2.6
탐토양 I (함열)	5.7	4.7
담토양 II (전주)	5.3	4.5

(토양 : 35% 과산화수소수 = 1 : 10)

3 Catalase를 이용한 과잉 과산화 수소수의 제거

공사현장에서 잠재성 특이산성토양의 확인이 필요하나 pH paper와 과산화 수소수만 있고 가열도 불가능할 때, 과잉의 과산화 수소수는 그 자체가 산성이며 또한 pH paper의 색을 퇴색시키므로 catalase를 이용하여 과산화 수소수를 분해 후 분석하는 것이 효과적이었다. 즉 토양 2.5 g에 35% 과산화수소수 25 ml를 가하고 흔들어 방치한 후 기포가 발생이 거의 그치면 과잉의 과산화수소수를 제거하기 catalase용액(catalase, Sigma 260unit/g 1g을 5 ml에 녹임)을 가하여 기포가 발생하지 않을 때까지 가하여 분해시키고, 방치 후 상중액이 맑아 졌을 때 Toyo pH paper를 이용하여 표준 pH색과 색을 비교 하여 pH를 측정하였다.

5.1.2 과산화수소수에 의한 산화후 알카리 적정법

실험실내에서 가산화성 유황함량을 측정하기 위하여 환원된 형태의 유황 특히 불용성인 pyrite 가 많은 시료를 분석할 때 과산화수소수만을 이용하여 산화시켜 알카리 적정을 할 경우 특히 황철광에 포함된 정방결정의 pyrite등은 후술하는 표 21에서 보는 것과 같이 산화진행이 느려서 오차 발생의 우려가 있었다.

5.1.3 염산 및 초산연에 의한 방법

잠재성 특이산성토양 여부를 현지에서 판정키 위한 방법으로 환원된 형태의 유황을 많이 함유한 토양에 아연 분말과 염산을 가하여 발생하는 환원된 H₂S를 lead acetate로 만든 test paper(lead acetate 9.5g을 끓인 물 100ml에 녹이고 여과지를 담구었다가 꺼내어 과량의 용액을 제거후 금속이 닿지않게 100℃에서 건조)의 색깔 변화로 판별하였다.

즉 토양 2g 을 취하여 20 x 150 mm의 시험관에 넣고 0.5 g의 아연분말과 3 ml의 6N HCl을 가하고 약 5초후 lead acetate paper를 시험관 안에 넣어 색깔의 변화로 유황의 함유 여부를 판정하였다. 색깔의 변화와 환원된 유황의 함량과의 관계는 표 18 과 같다. 이 실험 방법은 sulfide-S함량에 따른 색깔의 변화를

비교가 어려워서 공사현장에서 활용하기에는 부적합 하였다.

표 18. 환원 유황의 함량과 lead acetate test paper의 변색

색깔의 변화	환원 유황의 함량
얇은 황갈색	매우 적음 (0.06% 이하)
황갈색	적음(0.09 - 0.13%)
갈색에 바깥쪽 황갈색	보통(0.2 %)
은색 및 황색을 띤 검정색	많음(1.0% 이상)

5.1.4 교질성 BaSO₄에 의한 정성검사

환원된 유황을 함유한 토양에 35 % 과산화수소수(토양: H₂O₂ = 1:5)를 가하여 거의 건조 될 때까지 가열 산화시킨 후 일정량의 증류수를 가하여 흔들어 방치하고 상층액이 맑게 될 때 BaCl₂용액을 가하여 흰색 침전의 유무 및 그 정도를 비교 추정하여 함황 여부를 판별하였다. 이 방법은 유기물이 많을 경우 투명한 상층액을 얻기 어려워 판별하기 어려웠다.

5.1.5 KCl침출액의 산도 변화 측정법

환원된 유황을 함유한 토양에 35 % 과산화수소수를 가하여 거의 건조 될 정도로 가열산화 시켜 과잉의 과산화수소수를 분해시키고, 건조후 일정량의 시료를 1N KCl로 침출후 방치하고 투명한 상층액 일정량을 다른 곳에 옮기고 phenolphthalein 1방울과 0.5 N NaOH를 가하여 붉은 색을 나타내면 함황토가 아닐 가능성이 크고, 붉은 색이 나타나지 않으면 0.5 N NaOH를 붉은 색이 나타날 때까지 한방울씩 가하고, 소요된 0.5 N NaOH의 량으로 유황의 함량을 추정하는 방법으로 효과적인 간편한 방법은 아니었다.

5.1.6 Methylene blue법에 의한 sulfide-S의 측정

Sulfide-S는 PADA(para-aminodimethylaniline)와 ferric iron존재 하에 1 ~ 20 ppm의 농도에서 아주 민감한 methylene blue색을 나타낸다. 그러나 잠재성 특이산성 토양중 sulfide-S함량은 0.1 ~ 1.0%정도 함유되어 있을 때 토양으로부터 sulfide-S를 추출하여 발색시켜 비교하기에는 분석가능 농도범위가 매우 좁아서 함량 차이가 큰 시료의 분석에는 회석 등의 과정이 수반되어 현지 포장에서의 적용은 부적당하다. 그러나 sulfide-S함량이 매우 높은 농도에서는 methylene blue의 발색에 관여하는 시약의 농도에 따라 퇴색현상이 균일하게 진행됨을 확인하였다. 따라서 고농도의 sulfide-S는 회석과정을 거치지 않고 발색제인 PADA와 발색 보조제인 ferric iron의 량을 조정하여 methylene blue의 퇴색 현상을 이용하여 색깔을 비교하여 그 함량을 측정하는 것이 가능하였다. 이때 methylene blue 퇴색범위는 발색 보조제의 량을 조절함에 따라 50 ~ 2,000ppm 정도까지 색깔 변화로 구별할 수 있음을 확인하였으며, 이 방법을 즉시 판정용 kit제작에 응용하고 저 기초가 되는 여러 가지 실험을 수행하였다. 이 기초실험에 사용한 시약 및 방법은 다음과 같다.

1. 원리

Sulfide sulfur를 함유한 물질을 아연 분말과 황산을 이용하여 H₂S로 변화시킨후 포집액으로 포집후 다음의 반응과 같이 발색제인 PADA (Para-aminodimethylaniline)와 발색 보조제(Fe⁺³)의 농도와 량을 조절하여 측정 범위를 재조정하였다.



2. 시약 및 실험기구

① 포집액 : zinc acetate[Zn (CH₃COO)₂] 100g 과 sodium acetate (CH₃COONa) 25g을 용해시켜 1ℓ의 용량에 맞춘다.

② 발색제 : PADA 2g에 conc.H₂SO₄ 200ml를 넣은 다음 1ℓ의 용량에 맞춘다.

③ 발색보조제 : ferric ammonium sulfate [Fe(SO₄)₃(NH₄)₂SO₄] 12.5g에 conc-H₂SO₄ 5ml를 넣은 다음 200ml의 용량에 맞춘다.

④ H₂SO₄

⑤ zinc powder

⑥ sulfide-S 표준용액 : sodium sulfide를 이용하여 1,000ppm 표준용액을 만든후 100ppm으로 희석후 사용하였다.

⑦ hand air bulb

⑧ spectrophotometer

3. 실험 방법

① 일정량의 시료를 채취한 후 삼각 flask에 넣고 아연 분말 1g 과 10N H₂SO₄ 일정량을 넣은 다음 air bulb를 통해 미리 준비된 포집액을 넣은 용기에 H₂S를 약 3~5분 정도 포집한다.

③ 포집된 H₂S에 발색제인 PADA 와 보조제인 ferric ammonium sulfate 를 가하고 용량을 100ml로 한후 670nm의 파장에서 흡광도를 측정하였다.

5.2 즉시판정법 최적조건 확립실험

잠재성 산성토양은 기층에 환원된 유황을 많이 함유한 토양으로 표면에 살포되었을 때 공기중의 산소, 토양중의 유황 산화 미생물 등에 의해 급격히 산화되어 강한 산성을 나타낸다. 이러한 토양은 채취 직후 즉시 산성반응을 나타내지 않기 때문에 pH 측정등 간단한 방법에 의해 잠재성 산성 토양 여부를 즉시 판정할수 가없다. 이 실험은 넓은 범위의 sulfide-S를 측정할 수 있는 methylene blue의 퇴색원리를 이용하여 토양시료를 분석하기 위하여

① 환원된 sulfide-S를 유화수소로 바꾸는 추출단계

② 추출된 유화수소를 포집하는 단계

③ 포집된 sulfide-S를 발색제(PADA) 및 발색 보조제(Fe^{+3})의량을 조절하여 비색 하는 3단계로 실험을 수행하면서 분석조건을 확립하였다.

5.2.1 추출단계

토양중의 sulfide-S를 유화수소로 추출해 내기 위하여 Hatoichi Siga의 방법인 아연 분말과 황산을 이용하는 추출방법과 옥살산, 황산, 개미산의 혼합액추출 방법을 비교하였다. 추출된 sulfide-S는 충분한 발색제(PADA) 및 발색 보조제(Fe^{+3})로 발색 후 670nm에서 비색 하여 추출결과를 흡광도로 표시하였다. 표 19 에서 보는 것과 같이 잠재성 산성토, pyrite 및 황철광시료에서 모두 아연 분말과 황산 추출이 효과적인 것을 알 수 있었다.

표 19. 추출제의 종류에 따른 sulfide-S의 흡광도 변화

시료종류	추출제 종류	methylene blue의 흡광도
잠재성산성토 (성재양수장)	Zn powder + 10 N H_2SO_4	0.453
	$(COOH)_2:H_2SO_4:HCOOH^*$	0.342
pyrite	Zn powder + 10 N H_2SO_4	1.756
	$(COOH)_2:H_2SO_4:HCOOH$	0.796
황철광	Zn powder + 10 N H_2SO_4	1.300
	$(COOH)_2:H_2SO_4:HCOOH$	0.753

* $(COOH)_2 : H_2SO_4 : HCOOH = 1 : 1 : 1$)

또한 sulfide-S추출 방법중 아연 분말의량을 고정후 황산의 농도 변화에 따른 methylene blue의 흡광도 변화는 표 20 에서 보는 바와 같이 10N H_2SO_4 이 5N H_2SO_4 보다 더욱 효과적이었다.

잠재성 특이 산성토양을 과산화 수소수로 산화후 용량을 증류수로 맞인 후, 일정량을 취하여 brom cresol purple을 지시약으로 0.1 N NaOH의 소비량부터

산출하는 가산화 유황합량과 위의 실험과정에서 효과적인 추출 법으로 선발된 아연 분말과 10 N H₂SO₄ 의해 정량된 유황의 합량을 비교하였다.

표 20. Sulfide-S와 추출제의 농도에 따른 흡광도변화

Sulfide-S 농도	추출제농도	methylene blue의 흡광도
5 ppm	5N H ₂ SO ₄	0.111
	10N H ₂ SO ₄	0.180
15 ppm	5N H ₂ SO ₄	0.328
	10N H ₂ SO ₄	0.483
25 ppm	5N H ₂ SO ₄	0.515
	10N H ₂ SO ₄	0.626

표 21. 추출방법에 따른 환원성 유황의 합량

시료종류	추출 방법	유황합량(ppm)
잠재성산성토	가산화 유황	373
	Zn + H ₂ SO ₄	2,020
pyrite	가산화 유황	4,938
	Zn + H ₂ SO ₄	20,100
황철광	가산화 유황	1,638
	Zn + H ₂ SO ₄	2,200

가산화성 유황 : 과산화 수소로 산화후 NaOH로 적정 환산하였음
 Zn + H₂SO₄ : Zinc powder와 10 N H₂SO₄ 침출후 비색

표 21 에서 보는 바와 같이 잠재성 산성토, 충남대 지질학과에서 분양 받은 거의 순수한 pyrite, 황철광중의 환원성 유황의 합량 분석한 결과 과산화 수소

수에 의한 산화법 보다 아연 분말과 10 N H₂SO₄ 추출방법이 매우 효과적임을 알 수 있다.

5.2.2 유화수소 가스의 포집단계

추출단계에서 추출된 유화수소 가스는 다음과 같이 zinc acetate에 의하여 포집 된다.



3가지 농도의 sulfide 표준용액을 추출제를 사용하여 유화수소 가스로 변화시킨 것을 일정유속의 공기를 이용하여 포집액으로 받았다. 포집액의 용량을 달리했을 때 methylene blue 흡광도의 변화는 표 22와 같다. 즉 30 ml의 포집액이 20 ml보다 효과적으로 포집되었다. 이론적으로 포집액 20 ml은 2,000ppm이상을 포집할 수 있는 량이나 추출단계에서 발생한 유화수소 가스를 포집제로 운반하는 공기량 및 포집시간에 따라 변화가 있을 것으로 본 실험에서는 30 ml의 포집액이 더욱 효과적이었다.

표 22. Sulfide - S와 포집제량에 따른 흡광도 변화

Sulfide-S 농도	포집제량	methylene blue의 흡광도
5 ppm	20 ml	0.148
	30 ml	0.222
15 ppm	20 ml	0.316
	30 ml	0.413
25 ppm	20 ml	0.693
	30 ml	0.816

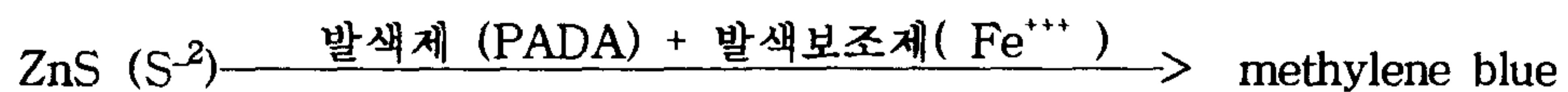
같은 방법으로 3가지 농도의 sulfide 표준용액을 추출제로 유화수소 가스로 변화시킨 후 air bulb를 이용하여 일정 유속의 공기로 포집액에 받으면서 sulfide-S의 농도와 포집시간의 변화에 따른 methylene blue 흡광도의 변화는 표 23 에서 보는 바와 같이 5분 정도 포집시간으로 95%이상 포집됨을 흡광도 측정으로 확인하였다.

표 23. Sulfide sulfur의 농도와 포집시간에 따른 흡광도 변화

Sulfide-S 농도	포집시간	methylene blue의 흡광도
5 ppm	1 분	0.121
	3 분	0.204
	5 분	0.222
	10 분	0.231
15 ppm	1 분	0.309
	3 분	0.391
	5 분	0.413
	10 분	0.425
25 ppm	1 분	0.826
	3 분	0.816
	5 분	0.872
	10 분	0.892

5.2.3 발색단계

발색단계는 유화수소 가스가 포집제인 zinc acetate에 의해 ZnS로 변화되고 이 sulfide-S는 발색제인 p-aminodimethylaniline (PADA)와 발색보조제인 ferric ammonium sulfate에 의해 아래와 같이 발색된다.



다섯가지 수준의 sulfide-S의 농도와 발색제 량에 따른 methylene blue의 흡광도는 표 24와 같다. 즉 sulfide-S의 농도와 발색제 량의 변화를 살펴 보기 위하여 충분한 량의 발색 보조제를 가하고 methylene blue 흡광도를 측정 한 결과 발색제 량은 아무런 영향을 미치지 않음을 확인할 수 있었다.

표 24. Sulfide - S의 농도와 발색제 량에 따른 흡광도 변화

Sulfide-S 농도	발색제 량*	methylene blue의 흡광도
5 ppm	20 ml	0.217
	30 ml	0.222
15 ppm	20 ml	0.420
	30 ml	0.413
25 ppm	20 ml	0.810
	30 ml	0.816
100 ppm	20 ml	1.121
	30 ml	1.212
200 ppm	20 ml	1.314
	30 ml	1.360

침출제 량 : 10 ml , 포집제 량 : 30 ml , 발색보조제 량 : 2.0 ml

Sulfide-S 농도 5수준에, 충분한 포집제 및 발색제를 가하고 2수준의 발색보조제 량에 대한 methylene blue의 발색 및 퇴색하는 현상을 관찰하였다. 표 25에서 보는바와 같이 sulfide-S 농도 40 ppm의 수준에서 발색 보조제 0.4 ml을 가하면 즉시 colloide성 입자가 생성되면서 3 ~ 5분후 약간 붉은 색을 띄면서 퇴색하기 시작하여 발색 보조제의 량이 색상 변화에 큰 영향을 끼쳤다.

그러나 발색보조제 2.0ml을 가하면 100ppm정도에서도 퇴색되지 않고 콜로이드성 물질의 생성도 볼 수 없었다. 따라서 높은 농도의 sulfide-S를 함유한 시

료는 발색보조제량이 제한을 받을 때 methylene blue의 색상의 변화에 큰 영향을 끼쳤으므로 이를 이용 높은 농도까지도 분석할 수 있는 가능성을 확인하였다.

표 25. Sulfide-S의 농도와 발색보조제량에 따른 methylene blue의 색상 변화

Sulfide-S 농도	발색보조제량	methylene blue 색상
20 ppm	0.4 ml	blue
	2.0 ml	blue
40 ppm	0.4 ml	pale blue
	2.0 ml	blue
60 ppm	0.4 ml	pale white blue
	2.0 ml	blue
80 ppm	0.4 ml	gray white
	2.0 ml	blue
100 ppm	0.4 ml	white
	2.0 ml	blue

이상의 결과들을 기초로 하여 포집제량을 고정하고 발색제 및 발색 보조제의량을 변화시킨 결과는 표 26과 같다. sulfide-S의 농도가 높아지면 발색제 보다는 발색 보조제의량에 따라 methylene blue색상에 현저한 변화를 주었고, 이것을 응용하면 발색 보조제의량에 따라 methylene blue 퇴색하는 정도를 조절하여 분석가능 농도범위를 임의로 바꿀 수 있음을 확인하였다.

5.3 즉시판정법 kit 개발 및 실증시험

5.3.1 토양중 sulfide sulfur 검출 Kit

일부 해안지역의 하해혼성토, 간척지 토양 또는 구농 곡간 층적토양의 기층에는 많은 량의 sulfide-S를 함유하는 잠재성 특이 산성토양이 분포되어 있는데 지금까지 지표하 심층에서 발견되어 왔기 때문에 영농과 관련된 현실적인 측면에서 크게 중요시 되지 않았다.

표 26. sulfide sulfur 농도, 포집제량 및 발색제량 및 발색 보조제량에 따른 methylene blue색상의 변화

sulfide sulfur 농도(ppm)	포집제량 (ml)	발색제량 (ml)	보조제량 (ml)	methylene blue 색상
10	30	20	1	dark blue
20	30	20	2	dark blue
40	30	20	3	blue
80	30	20	4	blue
100	30	20	5	blue
500	30	20	6	blue
600	30	30	9	pale blue
700	30	30	12	pale blue
700이상	30	30	15	pale blue

그러나 최근 대단위 토목공사인 경지 정리, 배수개선을 위해 파낸 기층의 환원된 토양의 pH는 중성에 가까워 일반 토양의 표면에 복토된 후 당장은 문제가 없는 듯 하나 표면에서 공기와 접촉하고 유황산화 세균에 의해 서서히 산화가 진행이 되어 토양이 강산성으로 변하여 작물이 고사하는등 민원이 야기되어 파낸 토양의 sulfide-S함량의 현지 판정방법이 절실히 요구되어 간이실험법을 개발하였다.

1. 실험 원리

잠재성 특이산성 토양은 다른 토양에 비하여 sulfide-S [FeS, FeS₂ (Pyrite), ZnS, MnS등]가 특히 많이 함유 되어 있으므로 감도가 예민한 methylene blue 방법을 그대로 이용할 수 없다. 이 실험은 위의 결과를 바탕으로 분석방법을 변형하여 포장에서 간단한 간이 시험법으로 100 ~ 2,000 ppm 또는 그 이상의 sulfide-S함량을 측정하는 방법을 고안하였다.

즉 sulfide-S를 함유한 물질을 아연 분말과 황산을 이용하여 H₂S로 추출시킨 후 포집액으로 포집하여 다음의 반응과 같이 발색제인 PADA (Para-amino dimethylaniline)와 발색 보조제의 농도와량을 조절하여 methylene blue로 발색하여 측정 범위를 재 상향 조정하는 조건을 확립하여 응용하였다.

2. 시약 및 실험기구

가. 시약

① 포집액 : zinc acetate[Zn (CH₃COO)₂] 100g 과 sodium acetate (CH₃COONa) 25g을 용해시켜 1ℓ의 용량에 맞춘다.

② 발색제 : PADA 2g에 conc.H₂SO₄ 200ml를 넣은 다음 1ℓ의 용량에 맞춘다.

③ 발색보조제 : ferric ammonium sulfate [Fe(SO₄)₃(NH₄)₂SO₄] 12.5g에 conc-H₂SO₄ 5ml를 넣은 다음 200ml의 용량에 맞춘다.

④ 10N H₂SO₄

⑤ zinc powder

⑤ 표준용액 : sodium sulfide를 이용하여 1000ppm 표준용액을 만든후 100ppm으로 희석후 사용하였다.

⑥ 표준색상표작성 : 토양시료 5g로 부터 sulfide-S를 침출하고 발색하여 최종 용량을 100ml로 한후 표준색상과 비교하게 된다. 즉 시료 농도가 최종 비색하는 단계에서는 20배 희석되게 됨으로 비교되는 표준용액은 1/20의 농도에 상

당하게 표준용액을 조제하여 발색 후 만든 색상 표와 비교하면 그 색상과 가장 인접한 색깔이 그 시료중의 농도가 된다.

☞ 시료는 발색후 2-3분안에 색상이 나타나며 시간이 경과하면 색상이 약간 붉은 색으로 변화하면서 퇴색되므로 Kit내에 있는 색상과 현장에서 바로 비교하여야 한다. 이 분석방법은 2,000ppm 정도 범위 이내에서 사용될 수 있으나 4,000ppm 까지도 발색보조제 량을 조절하여 적용범위를 넓일 수 있다.

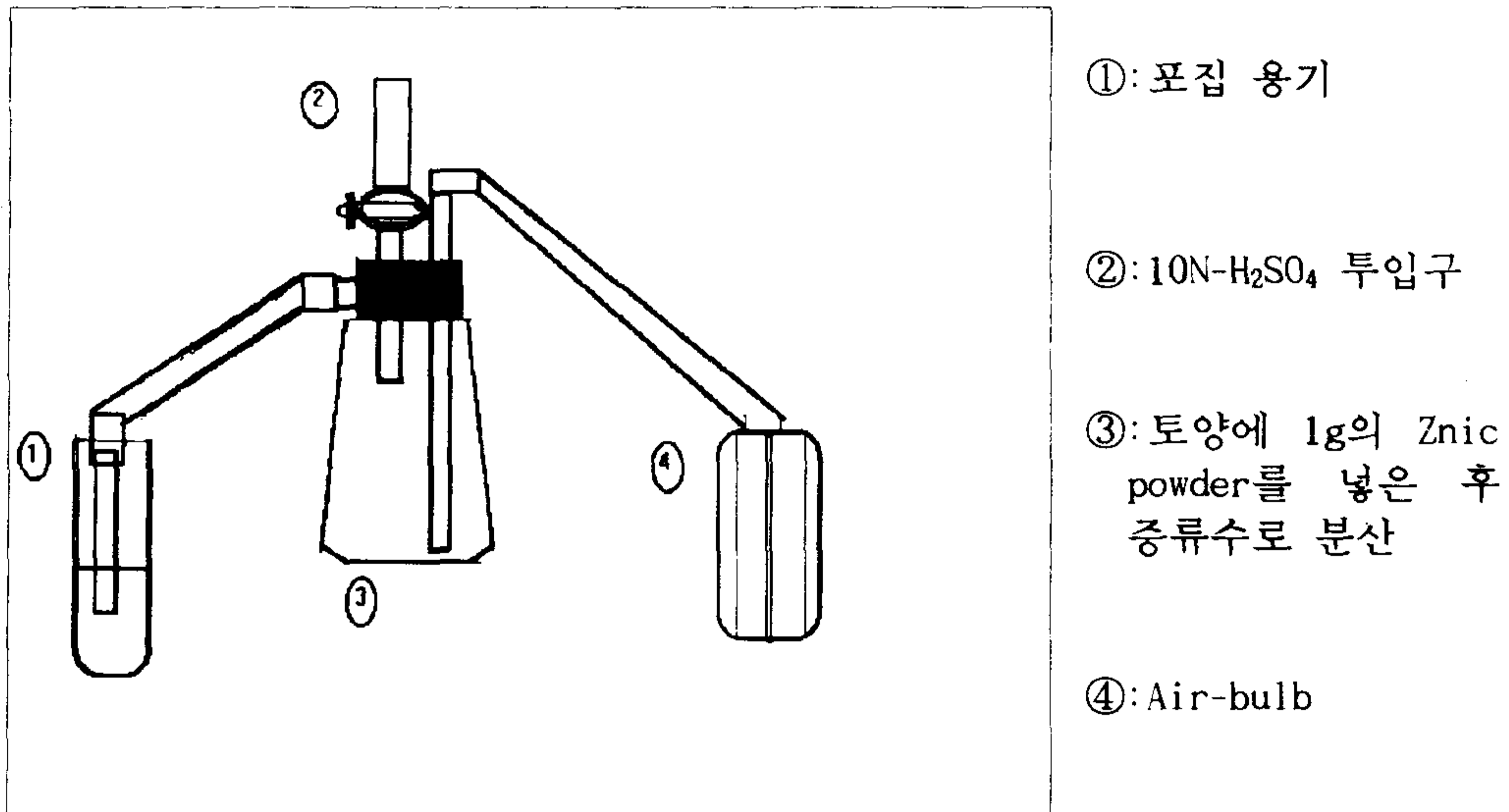


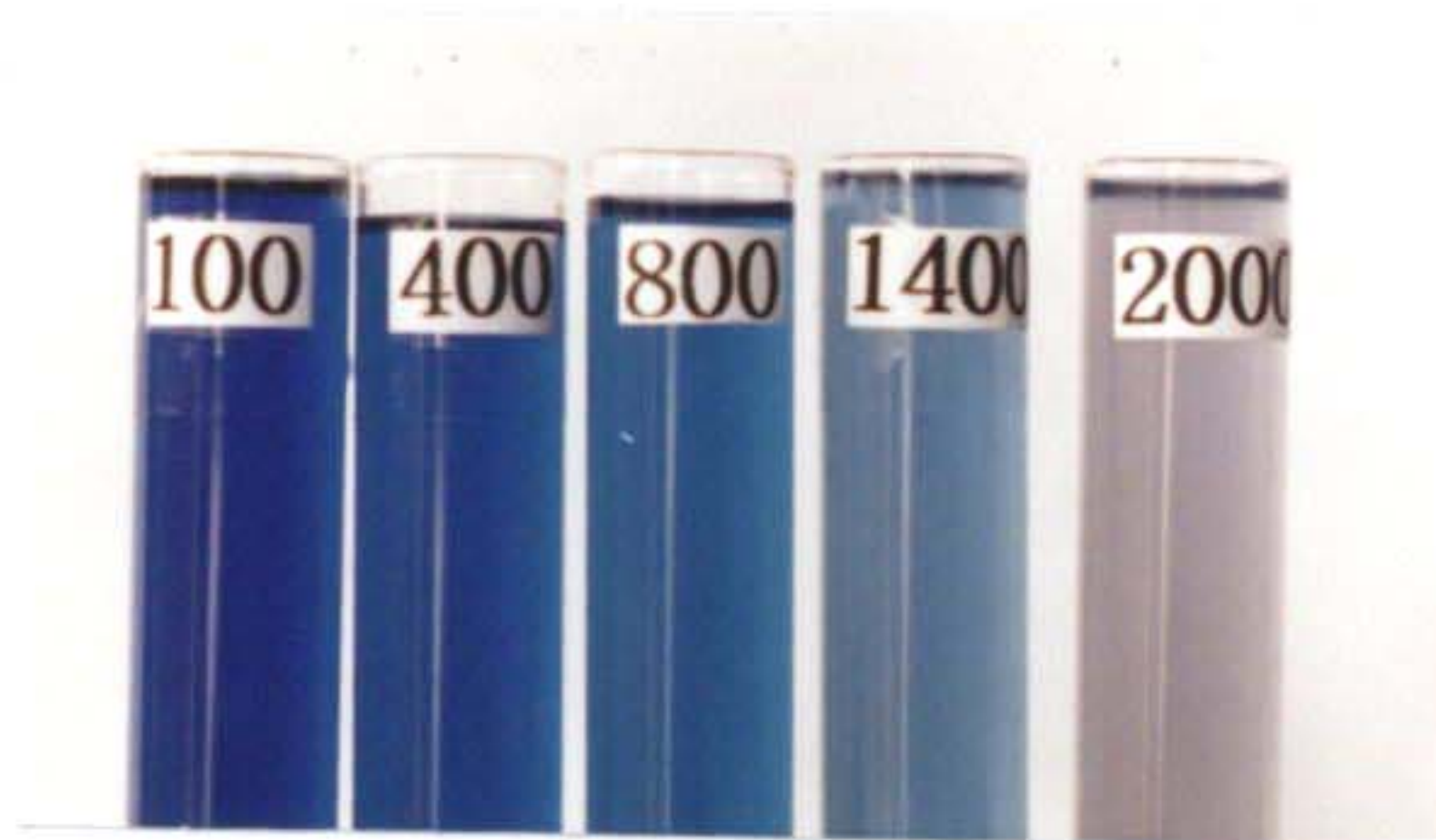
그림 71. 간이 KIT실험 장치

나. 기 구

- ① mess pipette (10~20 ml-용)
- ② hole-piptte (5, 10, 20, 25, 50 ml-용)
- ③ pipette filler, spoon, beaker, flask, test tube with cap
- ④ auger(토양 시료 채취기)

3. 실험 방법

- ① 일정한 질량의 시료를 시료채취기(5.0g)로 채취한다.
- ② 토양을 삼각 flask에 넣고 아연 분말 1g 과 10N H₂SO₄ 20ml를 넣은 다음 Air bulb를 통해 미리 준비된 포집액 30ml를 넣은 용기에 H₂S를 약 3~5분 정도 포집한다.
- ③ 포집된 H₂S에 발색제인 PADA 20ml와 보조제인 ferric ammonium sulfate 0.4ml를 가하고 잘 흔든 다음 용량을 100ml로 한후 표준색상과 발색정도를 비교 가장 가까운 색상이 그 농도이다.



발 색 비 교 조 건 표

H₂S가 포집된 용기에 발색제 20ml와 발색보조제 0.4ml를 넣어서 잘 흔든 후 2~3분 이내 발현되는 색상을 표준 색상과 비교하여 그 sulfide-S함량을 알아낸다.

5.3.2 토양중 sulfide sulfur 검출 Kit 실증시험

개발된 즉시판정용 sulfide sulfur kit를 이용하여 잠재성 특이 산성토양을 현지에서 채취하여 분석한 결과는 표 27에서와 같이 실험실내에서 분석한 화학적 특성과 함께 S²⁻함량으로 표시하였다. 즉 전남 영암 성제 양수장 근처 토양의 sulfide 함량은 1,000ppm 정도의 함량을 나타내었으며 유기물 함량도 5%내외로서 높은 경향이었으며 전 유황의 함량도 높았다. 한편 밀양 육성논 및 양산벌 토양중의 sulfide-S함량은 낮은 편이었다.

표 27. 잠재성 특이산성토양의 현장 실증 결과

지 역	산화전 pH	산화후 pH	S ⁻² (ppm)	총유황 (ppm)	유기물함량 (%)
전남 영암 성재양수장	7.8	3.0	2,000	11,554	5.05
전남영암 양재승	-	3.4	1,600	12,051	2.50
경남 밀양 육성논	6.7	2.6	600	10,660	10.90
경남 밀양 양산빨	6.7	3.2	100	5,489	3.01

이상은 제작된 sulfide-S 검출 kit를 이용하여 문제된 지역에서 현장 실증 시험을 하여 그 적용성 여부를 확인하였다. 현지 실증실험 결과로서 더 많은 장소에서 분석하여 신뢰도를 높이고 sulfide-S의 피해 농도의 범위를 확정하면 현장에서 유용하게 사용될 수 있을 것이며 실증시 sulfide-S의 함량은 표준 색상과 시료의 색상을 비교하므로 10ppm단위의 정밀한 값을 얻을수 없으나 2,000ppm 정도의 sulfide-S농도 까지도 색깔용 비교 할 수 있었다. 또한 과산화 수소수에 의하여 산화될 수 없는 환원성 유황 부분도 분석 측정이 가능함으로 두가지 방법을 상호 보완하여 사용할 것을 추천한다.

참 고 문 헌

강위금, 하호성 1985. 특이산성토양에서 담수시 석회처리 및 온도조절이 토양의 유효성분 변화에 미치는 영향. 한토비지. 18:282-288

박내정, 박영선. 1969. A study on the physico-chemical characteristics of acid sulfate soil in Kimhae plane. 한토비지. 2:15-16

박내정, 박영선, 김영섭. 1971. Effect of lime on growth of rice and changes in pH, Eh, Fe²⁺, Al in a acid sulfate soil, 한토비지 4:167-175

박내정, 박영선, 이규하, 김영섭. 1972. 특이산성토에 대한 석회 및 규회석 효과, 한토비지. 5:25-32

박영대, 김영섭. 1969. 특이산성답에 생육한 수도에 대한 규회석 및 Mn의 효과, 한토비지 3: 23-28

박영선. 1974. 특이산성답 토양의 개량을 위한 석회 시용효과에 관한 연구, 한국농화학회지, 17:193-218

양민석. 1974. 산성황산염토양에 대한 석회 시용이 수도묘의 소질에 미치는 영향, 경상대 농업연구소보 8:33-43

윤을수, 정연태, 김정곤, 남문희, 손일수. 1991. 농시논문집 (토양비료편) 32(2):48-52

- 이규하. 1970. 특이 산성토 개량시험 (Pot 시험), 식물환경연구보고 3:254-278
- 이규하. 1970. 김해 특이산성토양의 벼 증수 확인 시험, 식물환경연구보고 3:447-446
- 이상규, 유익동, James F. Parr. 1975. Decomposition of rice straw and compost in an acid sulfate under aerobic and anaerobic condition, 한토비지, 8:171-176
- 정연태, 노영팔, 백청오. 1989. 하해혼성 잠재성 특이산성토의 분포와 분류, 한토비지, 22:173-179
- 정연태, 김정곤, 손일수, 윤올수. 1990. 영남지역 잠재특이산성토층 함유 유기해성토의 분포와 특성, 농시논문집 (토양비료편) 32(3):1-8
- 하호성. 1970. 산성 규산염 토양에 관한 연구.-투수에 의한 석회 시용량이 수도 생육에 미치는 영향, 한토비지 3:29-34
- 하호성, 강규여, 윤한대. 1979. 산성황산염 토양에 관한 연구 (석회 및 노 처리에 의한 토양 미생물의 변화). 경상대 농업연구보고 13: 1-5
- 하호성, 강대호, 1972. 산성황산염 토양에 관한 연구, 경상대 농업연구보고 6:25-29
- 하호성, 김정교, 김용환, 윤태규. 1978. 특이 산성토양에 관한 연구(제6보) 진동탄환 암거 천공기에 의한 벼 증수에 관하여. 경상대 논문집 (자연과학편)

17:169-176

하호성. 1976. 산성황산염 토양에 관한 연구(제 4보)- 담수하에서 석회 시용에 따라 수용성 제1철과 치환성 제1철의 생성량에 대하여. 경상대. 논문집 15:147-150

하호성. 1980. 김해 산성황산염 토양에 관한 연구 - 특히 배수 및 토양의 이화학적 성질이 수도생육에 미치는 영향을 중심으로. 경상대 논문집(자연과학) 19:1-42

황남열, 채재석, 박건호. 1979. 강산성 토양개량시험 전북도원 시험연구보고서 :345-354

황남열, 박건호, 김진기, 1983. 특이산성답에서 수도에 대한 석회 및 인산의 효과. 한토비지 16:64-71

Bakar, M., T. Chaang, and B. Gopinathan. 1982. effects of field drainage on some chemical properties of acid sulfate soils under coconut small holdings in west johore agriculture development scheme in Malaysia. Trop. Agri. Res. 15:209-218.

Chanchareonsook, J., S. Panichsakpatana, P. Prebuddham. 1984. Nitrogen transformation and nitrogen management in two important problem soils of Thailand. FFTC Book Series 27.

Cheroen Charoencharmratheep, Boonthong Tantisira, Phairoj Chitnuson,

Vachara Sin-Aiem. The effect of liming and fertilizer applications to acid sulfate soils for improvement of rice production in Thailand. Proceedings of the Bangkok symposium on acid sulfate soils, IIRL publication 31, Edited by H.Dost & N.van Breemen. 157

Dost H. 1972. Acid sulfate soils. Vol. I. Proceedings of the International Symposium on acid sulfate soils. 13-20 August 1972. Wageningen. The Netherlands.

Dost H. 1972. Acid sulfate soils. Vol. II. Proceedings of the International Symposium on acid sulfate soils. 13-20 August 1972. Wageningen. The Netherlands.

Hidenori Wada. Water, soil and rice in an acid sulfate soil of Thailand. Proceedings of the Bangkok symposium on acid sulfate soils, IIRL publication 31, Edited by H.Dost & N.van Breemen. 302

James D. Beaton, George R. Burn, Jan Platou, 1968. Determination of sulfur in soil and plant material. The Sulfur Institute, 1725 K Street, N. W., Washington D.C. U.S.A.

Lowe, L. E. 1964. An approach to the study of the sulfur status of soils and its application to the selected Quebec soils. Can. J. Soil Sci. 44:176-179

Methee Maneeewon, Nakorn Thaqornwong, Boonthong Tantisira. Study on rates of rice production on acid sulfate soils in Thailand. Proceedings of the

Bangkok symposium on acid sulfate soils, IIRL publication 31, Edited by H.Dost & N.van Breemem,172

Methods of Soil Analysis. 1982. Edited by A.L.Page Part 2 Chemical and microbiological properties,2nd ed. American Society of Agronomy,Inc and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin U.S.A.

Olson,G.A. 1957.The estimation of sulfur in plant material and soil.State College of Washington,Agr.Exp.Sta.Bull 145 pp 1-12

Powlson, D. S. 1976. The identification of potential acid sulfate soils. MARDI Res. Bull. 4:34-43

Tasnee Attanandana, Sorasith Vacharotayan. Chemical characteristics and fertility status of acid sulfate soils of Thailand. Proceedings of the Bangkok symposium on acid sulfate soils,IIRL publication 31, Edited by H.Dost & N.van Breemem, 137

Vacharotayan, S. and T. Attanandana. 1985. Potential productivity of acid sulfate soils for crop production in Thailand. Proc. Int. Seminar Envir. Factors Agri. Prod, :389-406

Yoshida, T. 1991. Dynamics and its control of soils in tropical monsoon regions. Ministry of Education. Science and Sulture,Japan.

石渡輝夫. 1991. 北海島の農地造成 深層土壌とのかからり.ペドロジスト

35:145-160

川崎弘. 古閑孝彦. 1976. 阿蘇カルテラ内の酸性硫酸鹽土壤. 九州農試報
18:271-192.

川崎弘. 1988. 筑後川下流域水田地帯のクリークの低質土.九州農試報
25(1):77-90

川崎弘. 1989. らか國の酸性硫酸鹽土壤の分布と対策. 農業技術 44:409-414

佐敦. 高橋正. 1985. 八郎低濕重粘土の土壤構造發達過程と化學的性質の變化. 日
土肥誌. 56:409-420

村上英行. 1968. 可酸化性イオウ酸化についての二三の問題 - 酸性硫酸鹽土壤
の特性と改良法-(第3報). 日土肥誌 39:116-120

村上英行. 1968. 可酸化性イオウ酸化に伴う土壤無機成分の變化- 酸性硫酸鹽土
壤の特性と改良法-(第4報). 日土肥誌 39:194-198

분야별 공동연구 참여내역

① 공동연구항목	② 연구용역기관참여자	③ 농어촌진흥공사참여자
<p>잠재성 특이산성토양에 의한 피해 및 원인 규명</p>		
- 육안 판정 기준		농어촌진흥공사 안 열
- 산화과정	전북대 농대 전 재 철	농어촌진흥공사 안 열
- 수도 생육	전북대 농대 전 재 철	
<p>잠재성 특이산성토양 개량 및 효과적 이용</p>		
- 개량법	전북대 농대 전 재 철	농어촌진흥공사 안 열
- 개량제 시용	전북대 농대 전 재 철	
- 개량제포장적용효과	전북대 농대 전 재 철	농어촌진흥공사 안 열
<p>조기판정법 개발</p>		
- 분석법 확립	전북대 농대 한 강 완	
- 최적조건 확립	전북대 농대 한 강 완	
- 키트 개발	전북대 농대 한 강 완	
- 실증실험		농어촌진흥공사 안 열