

종자발아에 영향을 미치는 울산 정자동 절토비탈면 강산성 토양의 화학적 특성

장창희¹⁾ · 김민수²⁾

¹⁾ 대구가톨릭대학교 대학원 환경과학과 · ²⁾ 대구가톨릭대학교 조경학과

Chemistry of Strong Acidic Soil on Ulsan-Jungjadong Cut-Slope Affecting Seed Germination

Jang, Chang-Hee¹⁾ and Kim, Min-Soo²⁾

¹⁾ Graduate School, Catholic University of Daegu,

²⁾ Department of Landscape Architecture, Catholic University of Daegu.

ABSTRACT

Occasionally, a lot of plants withered on the marine upheaval soil, because of the potential acid sulfate soil. It was necessary to investigate the chemistry of soil, before planting on Ulsan-Jungjadong cut-slope of road construction site. Cut-slope surface soils were sampled on the every varying points in soil colour and analyzed chemically. Germination status of seeds in sample soils was investigated such as *Albizia julibrissin*, *Festuca arundinacea*. Relationship between germination status and chemistry of soil was analyzed. The results of investigation and analysis are as follows.

1. Germination of seeds was inhibited, less than pH(H₂O 1 : 5) 2.63.
2. Germination of seeds was inhibited, more than EC(H₂O₂ 1 : 5) 13.4mS.
3. Germination of seeds was inhibited, more than aluminum ion content 2.0ppm in soil solution extracted by H₂O and 6.2ppm by H₂O₂.
4. pH(H₂O 1 : 5), EC(H₂O₂ 1 : 5) and aluminum ion content proved chemical indicators of seed germination inhibition, in case of potential acid sulfate soil.

Key Words : *Potential acid, Sulfate soil, Marine upheaval soil, Strong acidic soil.*

Corresponding author : Min-Soo Kim, Dept. of Landscape Architecture, Catholic University of Daegu, Kyeongbuk 712-702, Korea,
Tel : +82-53-850-3187, E-mail : mskim@cu.ac.kr

Received : 25 October, 2006. **Accepted** : 17 December, 2006.

I. 서론

바닷물이나 기수의 영향하에서 퇴적된 해성토나 호성토 등이 그 뒤에 일어난 지각변동을 받아 융기되면 높은 산지나 구릉지에서도 함황물질 함유토층을 많이 볼 수 있는데, 우리나라에서는 포항 영일만 주변의 제 3기층구릉지 및 그 위아래 쪽인 영덕, 경주, 울산 등지에 융기해성토가 많이 분포되어 있고 여기에 잠재 특이산성토층이 함유되어 있는 곳이 많다(정연태 등, 1990).

잠재 특이산성토(Potential acid sulfate soils)란 함황물질을 함유한 토층이 환원상태로 토중에 묻혀 있는 토양으로 지표면에 노출되지 않으면 중성인 상태로 있으므로 피해가 발생하지 않으나, 표면에 노출되면 대기 중의 산소와 반응하고 현재화(顯在化)되어 토양산도가 크게 떨어지는 토양을 말한다. 현재화(顯在化)된 토양은 토양자체는 물론이고 여기서 유거되는 유출수 및 지하복류수 등이 유입되는 농경지에서 작물을 고사하게 하는 등의 큰 피해를 입힌다(농촌진흥청, 2002).

포항주변의 제3기층 구릉지대를 절토하여 공단(청하농공단지)을 만든 지역이나 매립 또는 도로가 개설된 지역으로부터 유출수가 논으로 유입되어 상당히 큰 피해를 입었고, 경주 보문단지의 골프장 건설 시에도 이들 잠재특이산성 토층이 노출되어 공사 후 잔디와 조경수가 말라죽은 적이 있다.(정연태 등, 1996)

도로확장공사가 진행 중인 울산 정자동 일대는 지질연대 제3기 시대동안 해침이 진행되었다가 이후 제4기 시대동안 점진적인 해퇴로 인하여 해양환경이 점차 육지환경으로 변화된 곳(한국건설기술연구원, 2004)으로 유기물이 많이 포함된 퇴적암 세일층은 잠재성 특이산성토양을 나타내고 있어, 비탈면 녹화에 많은 어려움을 겪고 있는 지역이다. 본 연구는 이러한 절토비탈면의 토양을 채취하여, 토양의 화학적 특성과 채취 토양에서의 종자발아상태를 조사하여 종자발아에 영향을 미치는 토양의 화학적인 특성을 분석하고자 하였다.

또한 이러한 분석결과를 바탕으로 녹화가 곤란한 잠재성 특이산성토양의 존재여부를 녹화공사 이전에 검출할 수 있는 방법을 검토해보고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 토양시료의 채취

공시토양은 울산-강동간 도로확장공사중인 정자동 일대 3km 구간의 절토 비탈면에서 토양의 색깔이 변하는 구간마다 채취하였다. 비탈면의 높이가 높은 곳은 상, 중, 하로 단을 구분하여 채취하였고, 높이가 낮은 곳은 중간지점에서 시료를 채취하였다. 동일한 토양색깔을 지니고 있는 지점에서도 용수가 있는 곳은 따로 시료를 채취하였다. 채취된 시료는 그늘에서 말린 후, 2mm 표준체로 체가름을 하여 토양분석 및 발아시험용으로 사용하였다.

2. 식물종자의 발아시험

발아시험용 식물은 조사지역에서 자생하고 있는 자귀나무(*Albizia julibrissin*)와 비탈면녹화에서 많이 사용하고 있는 퉁페스큐(*Festuca arundinacea*)를 사용하였다. 2006년 8월 24일에 채취한 공시토양을 3치 비닐포트에 충전한 후 자귀나무 종자 5립, 퉁페스큐 종자 0.5g씩을 파종하였으며 파종 3주 후에 발아율과 발아상태를 조사하였다.

3. 토양의 화학적 특성 측정

1) 토양산도 및 전기전도도

토양산도(pH) 및 전기전도도(EC)는 농업기술연구소(1988)의 토양화학분석법에 따라 측정하였다. 강제산화법에 의한 pH 및 EC의 측정은 H₂O₂ 15%용액을 1시간 간격으로 10회 투입한 후 48시간이 경과한 시점에서 측정하였다(中野, 1994).

2) 토양의 양이온치환용량(CEC) 및 유기물함량

공시토양의 양이온치환용량(CEC)은 (주)한빛나노바이오테크의 KA-P를 사용하여 측정하였고,

유기물함량은 강열감광법에 의하여 측정하였다.

3) 토양용액의 양이온 및 음이온

H₂O(1 : 5)와 H₂O₂(1 : 5)로 추출한 토양용액에서 음이온은 이온크로마토그래피(IC-DX600, METROHM)로 양이온은 ICP-AES(PERKIN ELMER)를 이용하여 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 토양산도 및 전기전도도와 공시식물의 발아 상태

토양산도(pH) 및 전기전도도(EC)와 식물의 발아상태를 표 1과 표 2에 나타내었다. 村井(1995)는 일반적으로 pH 3.5 이하의 토양을 강산성토양이라고 하였는데, 표 1과 표 2에서 살펴보면 pH(H₂O,1 : 5) 3.63 이하가 되면 발아가 되지 않았다. EC(H₂O,1 : 5)가 4.35mS 이상이면 발아가 되지 않았는데 E-35, E-36에서는 EC(H₂O,1 : 5)가 1.20mS, 0.20mS임에도 불구하고 종자발아가 되지 않아 EC(H₂O,1 : 5)에 의한 종자 발아가능여부의 판단이 곤란하였다.

2. 강제산화법에 의한 토양산도 및 전기전도도와 공시식물의 발아상태

본 연구의 조사 대상지는 잠재 특이산성토양이

존재할 가능성이 큰 지역이므로 과산화수소수(H₂O₂)에 의한 강제산화법으로 pH와 EC를 측정해볼 필요가 있었다. 강제산화법에 의한 pH와 EC의 측정치는 표 1과 표 2에서 나타내었다. 표 1과 표 2에서 종자가 발아되지 않는 곳의 pH(H₂O₂, 1 : 5)는 2.63 이하로 나타났는데, pH(H₂O₂,1 : 5)가 2.63 이하 인 곳에서도 발아가 된 곳이 있어 pH(H₂O₂,1 : 5) 값만으로는 종자의 발아여부를 판단하기 곤란하였다.

이에 비하여 종자가 발아되지 않은 곳의 EC(H₂O₂,1 : 5)는 13.40mS 이상으로 나타났으며, 종자가 발아 된 곳은 모두 12.45mS 이하로 나타나 강제산화법에 의한 EC값으로 종자발아가능여부를 명확히 구분할 수 있는 것으로 나타났다.

본 조사 대상지역은 절토사면이 조성되어 1~2년 정도가 경과되었기 때문에 강제산화법에 의한 pH와 EC 변화는 적게 나타났는데, 대부분의 시료는 공기 중의 산소와 반응하여 산화되었기 때문이다. 그럼에도 불구하고 강제산화법에 의하여 측정된 EC 값이 종자의 발아가능여부를 판정하는 명확한 기준이 될 수 있다는 것을 알 수 있다. 절토비탈면이 조성된 지 얼마 되지 않은 곳에서는 특이산성토양의 pH가 중성상태를 나타내거나 EC가 낮게 나타날 수 있으므로 강제산화법에 의하여 특이 산성토양의 판정을 할 필요가 있다.

표 1. 서쪽 비탈면 토양의 색깔, pH, EC 및 공시식물 발아상태.

시료 번호	시료색깔(Munsell 기준)		H ₂ O(1 : 5)		H ₂ O ₂ 처리		자귀나무 발아수	튤페스큐 발아상태
			pH	EC(mS)	pH	EC(mS)		
W-1	연노랑기미의주황	10YR 7/8	5.62	0.15	2.37	3.56	3/5	중간
W-2	주황	5YR 6/8	6.77	0.15	3.68	2.48	3/5	양호
W-3	아주연한주황	5YR 8/8	7.70	0.10	5.35	1.47	3/5	양호
W-4	주황	5YR 6/0	7.36	0.25	5.81	2.28	x	양호
W-5	어두운주황	5YR 5/10	6.71	0.25	5.97	2.58	5/5	양호
W-6	주황	5YR 6/14	6.85	0.20	4.67	1.20	1/5	양호
W-7	주황기미의흰색	5YR 9/2	3.40	4.35	2.02	20.00	x	x
W-8	회주황	5YR 6/6	3.25	5.25	1.89	23.40	x	x
W-9	회색	5YR 5/2	2.56	18.30	1.45	67.70	x	x

표 1. 계속

시료 번호	시료색깔(Munsell 기준)		H ₂ O(1 : 5)		H ₂ O ₂ 처리		자귀나무 발아수	틀페스큐 발아상태
			pH	EC(mS)	pH	EC(mS)		
W-10	회색	5YR10/2	6.75	0.10	3.89	1.43	3/5	양호
W-11	노랑기미의흰색	10YR 9/2	2.74	11.50	1.81	32.50	×	×
W-12	회색	5YR 6/4	5.04	2.05	3.68	12.45	1/5	양호
W-13	아주연한연두	5Y 10/4	2.98	9.50	2.00	27.60	×	×
W-14	연노랑기미의주황	10YR 7/8	8.10	0.20	6.84	3.18	×	양호
W-15	회색	5Y 7/2	8.04	0.70	6.44	6.63	1/5	중간
W-16	아주연한주황	5YR 8/6	7.19	0.15	4.48	0.97	2/5	양호
W-17	연노랑기미의주황	10YR 7/8	3.99	4.00	2.32	8.19	×	불량
W-18	주황	5YR6/10	6.30	0.65	5.68	4.67	×	양호
W-19	밝은주황	5YR7/10	6.80	0.15	5.45	1.30	1/5	양호
W-20	회색	5YR 6/4	3.59	4.85	2.18	13.65	×	×
W-21	연노랑기미의주황	10YR 7/8	4.28	1.45	2.59	6.77	1/5	불량
W-22	노랑기미의흰색	10YR 9/2	7.00	0.25	5.42	1.63	3/5	양호
W-23	회색	5YR 7/2	5.57	0.50	2.42	8.18	3/5	중간
W-24	밝은주황	5YR 7/12	4.22	3.10	3.03	13.85	×	불량
W-25	노랑기미의흰색	10YR 9/2	4.41	2.50	3.20	11.30	×	불량
W-26	연한주황	5YR 7/6	7.32	0.10	5.23	0.86	1/5	중간
W-27	주황	5YR6/10	6.80	0.15	5.36	1.47	4/5	양호
W-28	연주황	5YR 7/8	4.71	0.10	3.88	0.35	4/5	중간
W-29	회색	5YR 6/2	2.85	10.05	1.88	44.80	×	×
W-30	노랑기미의주황	10YR7/14	2.41	23.10	2.27	26.85	×	×
W-31	주황기미의흰색	5YR 9/12	5.13	0.15	4.64	0.51	2/5	양호
W-32	주황	5YR7/12	6.24	0.15	4.42	2.32	5/5	불량
W-33	연한주황	5YR 7/4	7.44	0.15	5.65	4.82	3/5	중간
W-34	주황	5YR7/12	8.26	0.15	6.25	2.06	2/5	중간
W-35	회색	5YR 6/4	8.06	0.15	6.46	2.30	×	양호
W-36	밝은회노랑	5YR 8/2	8.73	0.15	6.96	2.67	3/5	중간
W-37	회색	N6	9.36	0.35	7.70	2.73	×	중간
W-38	회노랑기미의주황	10YR 5/2	10.17	0.20	8.19	2.69	1/5	중간

□ : 공식식물 발아가 곤란한 강산성 토양 × : 발아되지 않은 곳

자귀나무 발아수(5립파종) : 발아수/5립파종

틀페스큐 발아상태(0.5g 파종) : 발아후의 생육상태

3. 토양의 색깔과 토양산도 및 전기전도도

강제산화법에 의한 EC(H₂O₂, 1 : 5)의 증가는 황색계통의 토양시료보다, 회색계통의 토양시료 쪽이 더 높게 나타났다. 공식토양채취 지역은 주 황색 계열의 토양이 대부분이며 명도의 차이에 따라 색깔을 구분할 수가 있었다. 정연태 등(1996)

은 회색정도가 높을수록 함함량이 높았으며, 최저 pH는 2.4에 달하였다고 하였는데 본 연구의 조사에서도 회색 토양의 pH가 가장 낮은 것으로 나타났으며, 최저 pH는 2.17인 것으로 나타났다. 본 조사에 의하면 표 1, 표 2에서와 같이 황색계 통의 토양에서도 식물종자의 발아가 곤란한 pH

표 2. 동쪽 비탈면 토양의 색깔, pH, EC 및 공시식물 발아상태.

시료 번호	시료색깔(Munsell 기준)		H ₂ O(1 : 5)		H ₂ O ₂ 처리		자귀나무 발아수	톨페스큐 발아상태
			pH	EC(mS)	pH	EC(mS)		
E-1	회색	N10	5.52	0.20	4.06	1.04	2/5	중간
E-2	회색	N10	6.05	0.40	4.49	1.84	5/5	양호
E-3	노랑기미의흰색	10YR 9/2	3.71	1.80	2.38	6.71	×	불량
E-4	아주연한청록	5BG 8/2	7.79	0.25	6.37	3.87	3/5	양호
E-5	회주황	5YR 7/2	3.62	1.50	2.18	11.45	×	불량
E-6	연한주황	5YR 6/6	3.38	4.35	2.47	15.20	×	×
E-7	연노랑기미의주황	10YR 7/8	6.50	0.80	4.74	9.11	4/5	양호
E-8	회색	N6	8.72	0.50	7.25	4.57	4/5	양호
E-9	연노랑기미의주황	10YR 7/8	6.31	0.15	6.38	1.95	2/5	양호
E-10	연한주황	5YR 6/4	2.84	9.00	1.84	26.10	×	×
E-11	회주황	5YR 6/6	5.32	0.15	2.42	3.21	4/5	양호
E-12	TOT주황	5YR 7/14	6.62	0.10	5.63	1.12	2/5	양호
E-13	회색	N7	2.61	15.60	1.43	67.25	×	×
E-14	회색	N7	2.69	13.20	1.51	56.45	×	×
E-15	아주연한주황	5YR 8/8	5.82	0.10	4.46	0.97	2/5	양호
E-16	회색	N9	6.94	0.05	5.37	0.69	5/5	양호
E-17	연주황	5YR 7/8	5.92	0.30	4.90	1.35	3/5	중간
E-18	회색	N6	2.52	12.05	1.49	59.05	×	×
E-19	노랑기미의흰색	10YR 9/2	5.85	0.15	3.83	0.87	5/5	양호
E-20	주황	5YR 6/12	6.08	0.10	5.00	1.66	1/5	양호
E-21	회색	N6	8.43	0.40	7.47	4.89	4/5	중간
E-22	밝은주황	5YR 7/12	7.46	0.05	6.40	1.81	3/5	양호
E-23	연노랑기미의주황	10YR 7/8	7.59	0.05	6.23	2.69	1/5	양호
E-24	아주연한노랑	5Y 10/6	3.32	9.35	2.17	31.75	×	×
E-25	연한주황	5YR 7/6	7.09	0.10	5.41	1.38	4/5	중간
E-26	연한주황	5YR 7/6	7.20	0.15	5.84	1.76	2/5	양호
E-27	연노랑기미의주황	10YR 7/8	2.95	10.35	1.84	24.65	×	×
E-28	주황	5YR 6/10	4.24	2.10	3.02	8.30	4/5	불량
E-29	밝은회주황	5YR 6/2	2.96	8.50	1.48	17.90	×	×
E-30	회색	N5	8.36	0.30	7.08	3.22	2/5	양호
E-31	주황	5YR 6/12	3.15	5.50	2.22	18.75	×	×
E-32	연노랑기미의주황	10YR 7/7	6.79	0.55	4.80	1.54	3/5	양호
E-33	밝은회청록	5BG 7/2	6.69	3.05	5.91	7.70	3/5	중간
E-34	노랑기미의흰색	10YR 9/2	3.63	5.20	2.63	13.40	×	×
E-35	회색	N7	3.51	1.20	1.94	16.40	×	×
E-36	진노랑기미의주황	10YR 5/8	3.19	0.20	1.86	21.20	×	×
E-37	연한주황	5YR 6/4	3.49	10.45	1.84	40.80	×	×
E-38	회주황	5YR 5/4	2.17	31.55	2.18	30.00	×	×
E-39	회색	N7	2.33	19.95	2.10	33.05	×	×
E-40	노랑기미의흰색	10YR 9/2	5.75	0.30	5.17	1.00	5/5	불량
E-41	주황	5YR 6/12	5.94	0.10	5.98	0.71	3/5	중간
E-42	회색	N5	8.47	0.35	7.56	1.18	4/5	불량
E-43	짙은주황	5YR 4/6	8.63	0.20	8.02	1.21	2/5	중간

□ : 공시식물 발아가 곤란한 강산성 토양 × : 발아되지 않은 곳

자귀나무 발아수(5립파종) : 발아수/5립파종

톨페스큐 발아상태(0.5g 파종) : 발아후의 생육상태

3.7에서 2.96까지의 시료가 있어 토양의 색깔만으로는 특이산성토양을 구별하기 어렵다는 것을 나타내주고 있다.

4. 공시 토양 및 증류수로 추출한 토양용액의 화학적 특성

공시토양의 양이온치환용량(CEC)과 유기물함량을 표 3에 나타내었다. CEC와 유기물함량에서

는 토양의 화학적 특성상 종자의 발아에 영향을 미치는 특이한 점이 발견되지 않았다.

증류수로 추출한 토양용액에 포함된 SO₄이온 및 양이온의 함량을 표 3에 나타내었다. 田中(1984)은 Al이온은 산성토양에만 존재하는 양이온으로 대부분은 토양입자의 표면에 흡착상태로 존재하며, 가수분해에 의하여 산성을 띠게 된다고 하였는데, 본 연구의 공시토양 중에서 pH(H₂O,

표 3. 공시토양 및 증류수(H₂O)에 의한 토양용액의 화학적 특성.

시료 번호	H ₂ O처리		CEC (cmol/kg)	유기물 (%)	H ₂ O처리					
	pH	EC (mS)			SO ₄ (ppm)	Al (ppm)	Ca (ppm)	Fe (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)
E-1	5.52	0.20	9.70	1.38	703	0.0	20.1	1.0	5.2	1.9
E-2	6.05	0.40	8.81	1.52	814	0.0	30.1	1.2	4.4	2.7
E-3	3.71	1.80	17.45	3.27	910	0.0	35.6	1.5	14.2	8.7
E-5	3.62	1.50	15.64	4.61	1253	0.7	75.9	2.1	9.2	24.8
E-6	3.38	4.35	18.74	3.70	1107	30.7	152.1	1.7	13.5	103.0
E-10	2.84	9.00	10.99	2.14	2069	71.5	206.2	2.4	17.6	110.4
E-13	2.61	15.60	13.09	3.33	3977	0.0	30.0	1.1	9.1	2.2
E-14	2.69	13.20	11.32	2.74	3213	381.6	140.1	332.6	19.9	99.9
E-18	2.52	12.05	9.49	3.04	3803	253.3	273.4	65.7	30.3	263.3
E-24	3.32	9.35	13.99	2.92	3566	142.0	360.3	4.9	0.0	267.9
E-27	2.95	10.35	12.00	3.02	1850	53.0	99.7	6.4	8.2	57.3
E-29	2.96	8.50	10.76	3.16	1477	25.4	115.3	2.6	0.0	82.8
E-31	3.15	5.50	16.58	6.09	3472	57.0	587.9	5.7	16.8	75.1
E-34	3.63	5.20	13.60	2.85	1572	7.5	61.0	1.1	16.7	56.2
E-35	3.51	1.20	14.32	4.04	896	2.0	20.4	0.8	1.3	15.7
E-36	3.19	0.20	12.88	4.77	1856	29.0	40.5	3.2	0.0	55.2
E-37	3.49	10.45	12.07	4.83	3787	188.8	342.2	40.3	0.0	166.7
E-38	2.17	31.55	15.65	4.97	4853	198.9	487.6	354.6	2.6	143.1
E-39	2.33	19.95	14.97	5.79	5141	261.7	519.9	97.8	1.9	209.8
E-42	8.47	0.35	14.20	2.20	835	0.0	15.3	2.0	6.3	2.6
E-43	8.63	0.20	11.87	2.02	713	0.0	11.6	1.5	0.0	1.8
W-7	3.40	4.35	14.48	3.81	1426	23.3	33.6	4.6	0.7	29.6
W-8	3.25	5.25	11.10	2.16	1382	5.9	131.3	2.0	0.7	31.0
W-9	2.56	18.30	14.17	4.32	5796	297.6	461.3	798.8	14.7	167.9
W-11	2.74	11.50	10.23	2.54	2670	173.2	79.3	64.3	0.0	62.6
W-13	2.98	9.50	10.70	2.63	1834	49.9	42.6	7.6	6.0	53.2
W-20	3.59	4.85	12.99	3.38	1417	6.1	161.6	1.7	3.7	22.8
W-29	2.85	10.05	18.56	7.69	5264	216.9	646.9	490.2	2.1	288.7
W-30	2.41	23.10	16.94	9.09	4226	191.7	515.9	13.6	0.0	264.4
W-37	9.36	0.35	13.42	1.70	873	0.0	16.6	1.9	0.0	2.8
W-38	10.17	0.20	13.77	2.12	645	0.0	0	0	0.0	0.0

□ : 공시식물 발아가 곤란한 강산성 토양

1 : 5)가 3.71 이상인 곳에서는 Al이온이 검출되지 않았다. Al이온이 검출된 곳에서는 종자발아가 곤란하였고, Al이온이 0.7ppm으로 검출된 E-5에서는 종자가 발아되어도 생육상태가 매우 불량한 것으로 나타났다. 잠재 특이산성토가 지표면에 노출되면 대기 중의 산소와 반응하여 극산성으로 되고, 이에 따라 수용성 철과 알루미늄이 많이

용출되므로 황산이온, 수산화철, 알루미늄 등의 함량이 매우 높은 토양이 된다(농촌진흥청, 2002)고 하였는데 표 3에서는 Al 이온이 2.0ppm 이상이거나, SO₄이온이 다량 함유된 곳에서는 종자가 발아되지 않는다는 것을 알 수 있다. Fe 함량으로는 종자발아가가능여부를 판단하기가 곤란하였다.

표 4. 공시토양 및 강제산화법(H₂O₂)에 의한 토양용액의 화학적 특성.

시료 번호	H ₂ O ₂ 처리		CEC (cmol/kg)	유기물 (%)	H ₂ O ₂ 처리					
	pH	EC (mS)			SO ₄ (ppm)	Al (ppm)	Ca (ppm)	Fe (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)
E-1	4.06	1.04	9.70	1.38	4705	0.0	27.1	0.4	11.4	3.1
E-2	4.49	1.84	8.81	1.52	4719	0.0	35.9	0.1	13.7	3.0
E-3	2.38	6.71	17.45	3.27	5235	0.0	45.4	2.9	23.6	11.6
E-5	2.18	11.45	15.64	4.61	5569	4.4	91.4	65.9	9.4	27.0
E-6	2.47	15.20	18.74	3.70	6461	49.5	155.3	7.7	21.8	97.9
E-10	1.84	26.10	10.99	2.14	6831	48.6	181.3	7.5	25.1	87.3
E-13	1.43	67.25	13.09	3.33	10297	341.2	130.0	549.4	38.8	87.1
E-14	1.51	56.45	11.32	2.74	9622	235.8	134.7	417.1	46.5	116.7
E-18	1.49	59.05	9.49	3.04	9581	205.6	236.7	284.9	25.5	238.3
E-24	2.17	31.75	13.99	2.92	9701	125.4	324.7	70.5	16.7	224.5
E-27	1.84	24.65	12.00	3.02	7571	49.4	128.8	81.2	9.0	61.7
E-29	1.48	17.90	10.76	3.16	6658	44.1	139.7	208.6	22.0	79.5
E-31	2.22	18.75	16.58	6.09	7927	63.9	635.7	138.6	8.9	80.9
E-34	2.63	13.40	13.60	2.85	6774	24.7	101.7	4.8	10.6	72.8
E-35	1.94	16.40	14.32	4.04	5154	6.2	46.3	17.4	8.4	22.4
E-36	1.86	21.20	12.88	4.77	5770	29.2	60.7	12.0	17.6	48.8
E-37	1.84	40.80	12.07	4.83	8652	210.6	453.2	187.1	12.7	193.3
E-38	2.18	30.00	15.65	4.97	9851	187.5	417.9	484.1	23.7	122.3
E-39	2.10	33.05	14.97	5.79	10649	256.4	603.8	377.5	45.4	232.6
E-42	7.56	1.18	14.20	2.20	1855	0.0	42.5	0.4	10.4	7.7
E-43	8.02	1.21	11.87	2.02	1270	0.0	38.8	0.3	8.9	6.4
W-7	2.02	20.00	14.48	3.81	2420	27.9	74.3	119.2	24	36.9
W-8	1.89	23.40	11.10	2.16	2128	8.2	124.1	20.1	21.9	31.5
W-9	1.45	67.70	14.17	4.32	10137	378.5	526.5	1009	27	175.5
W-11	1.81	32.50	10.23	2.54	3251	213.4	130.7	184.3	16.8	80.1
W-13	2.00	27.60	10.70	2.63	2507	67.2	79.2	26	15.6	75.5
W-20	2.18	13.65	12.99	3.38	2279	6.8	203.2	3.4	11.1	27.5
W-29	1.88	44.80	18.56	7.69	8055	357.7	585.6	1085	18.1	297.4
W-30	2.27	26.85	16.94	9.09	3165	195.9	554.6	319.3	10.7	292.4
W-37	7.70	2.73	13.42	1.70	1460	0.0	45.6	0.4	10.3	7.2
W-387	8.19	2.69	13.77	2.12	1655	0.0	42.8	0.3	6.4	5.2

□ : 공시식물 발아가 곤란한 강산성 토양

5. 강제산화법으로 추출한 토양용액의 화학적 특성

강제산화법에 의하여 EC값이 급격히 상승하는 원인을 규명하기 위하여 토양용액의 이온 함유량을 측정해 볼 필요가 있었다. 강제산화법으로 추출한 토양용액의 SO₄이온, 양이온함량을 표 4에 나타내었다. 증류수로 추출한 토양용액에 비하여 SO₄이온 및 양이온함량이 많아져 EC값이 급격히 상승하였다는 것을 알 수 있다.

정연태 등(1996)은 잠재성 특이산성토층내의 제3기층지대의 유기해성토의 총황함량은 평균 1.630ppm에서 최대 31.200ppm이며 제3기층지대에 총황함량이 높으면 잠재특이산성토로 보아도 무방하다 하였고, 안열(1994)은 과산화수소 처리 후 가용성 황산이온의 함량은 6,000ppm에서 7,000ppm라 하였다. 본 연구에서는 종자발아가 곤란하였던 공시토양에서 강제산화법으로 추출한 토양용액의 황함유량은 2,128ppm에서 10,2970ppm으

로 나타나 기존의 연구에서 나타난 황함유량과 비슷한 경향을 보여주었다. 안열(1994)은 잠재성 특이 산성토양의 조기 판정법으로 methylene blue 퇴색법을 이용한 sulfate-S함량의 직접 측정법이 효과적이라고 하였는데 표 3에 의하면 공시식물의 발아가 가능하였던 E-1과 E-2의 SO₄함량이 발아가 곤란하였던 W-7, 8, 11, 13, 20, 30의 SO₄함량보다 많은 것으로 나타나 SO₄의 함량으로는 종자발아 가능여부를 판단하기 어렵다는 것을 알 수 있다.

정연태 등(1989)은 잠재성 특이 산성토양의 판별은 현장에서 H₂O₂ 산화 pH를 측정하는 것이 적합하다고 하였는데, 본 연구에서는 종자의 발아가 가능여부를 판단하기 위해서는 pH(H₂O₂,1 : 5) 값보다 EC(H₂O₂,1 : 5)값이 더 적절한 것으로 나타났다.

강제산화법으로 추출한 토양용액에서도 Fe 함량으로는 종자발아가 가능여부를 판단하기가 곤란

표 5. 증류수(H₂O)로 추출한 토양용액의 화학적 특성별 상관분석.

	pH(H ₂ O)	EC(H ₂ O)	CEC	유기물	SO ₄	Al	Ca	Fe	K	Mg
pH(H ₂ O)	1									
EC(H ₂ O)	-0.623** 0.000	1								
CEC	-0.163 0.397	0.261 0.156	1							
유기물	-0.504** 0.004	0.670** 0.000	0.665** 0.000	1						
SO ₄	-0.577** 0.001	0.981** 0.000	0.257 0.163	0.647** 0.000	1					
Al	-0.466** 0.008	0.831** 0.000	0.050 0.790	0.424* 0.017	0.818** 0.000	1				
Ca	-0.458** 0.010	0.836** 0.000	0.454* 0.010	0.767** 0.000	0.852** 0.001	0.667** 0.000	1			
Fe	-0.262 0.154	0.642** 0.000	0.212 0.252	0.315 0.084	0.677** 0.001	0.696** 0.000	0.542** 0.002	1		
K	-0.245 0.185	0.110 0.557	-0.040 0.832	-0.104 0.577	0.151** 0.418	0.258 0.161	0.083 0.658	0.180 0.332	1	
Mg	-0.491** 0.005	0.783** 0.000	0.263 0.153	0.626** 0.000	0.794** 0.000	0.753** 0.000	0.822** 0.000	0.441* 0.013	0.141 0.449	1

** : 0.01 수준에서 유의

* : 0.05 수준에서 유의

표 6. 강제산화법(H₂O₂)에 의한 토양용액의 화학적 특성별 상관분석.

	pH(H ₂ O ₂)	EC(H ₂ O ₂)	CEC	유기물	SO ₄	Al	Ca	Fe	K	Mg
pH(H ₂ O ₂)	1									
EC(H ₂ O ₂)	-0.610** 0.000	1								
CEC	-0.158 0.397	0.248 0.183	1							
유기물	-0.479** 0.006	0.581** 0.001	0.665** 0.000	1						
SO ₄	-0.632** 0.000	0.741** 0.000	0.128 0.492	0.324 0.076	1					
Al	-0.526** 0.002	0.957** 0.000	0.154 0.408	0.494** 0.005	0.674** 0.000	1				
Ca	-0.447* 0.012	0.788** 0.000	0.444* 0.012	0.785** 0.000	0.554** 0.001	0.670** 0.000	1			
Fe	-0.427* 0.017	0.901** 0.000	0.290 0.114	0.536** 0.002	0.576** 0.001	0.897** 0.000	0.652** 0.000	1		
K	-0.465** 0.008	0.551** 0.001	-0.028 0.880	0.067 0.720	0.589** 0.000	0.584** 0.001	0.217 0.241	0.463** 0.009	1	
Mg	-0.521** 0.003	0.805** 0.000	0.282 0.124	0.689** 0.000	0.599** 0.000	0.774** 0.000	0.804** 0.000	0.662** 0.000	0.346 0.057	1

** : 0.01 수준에서 유의
* : 0.05 수준에서 유의

하였으나 종자발아여부에 따라 Al이온의 함량은 뚜렷한 차이를 보였다.

6. 토양의 특성별 상관분석

양이온치환능력(CEC), 유기물 함량, 증류수(H₂O)로 추출한 토양용액의 pH와 EC, SO₄, Al, Ca, Fe, K, Mg 이온 함량 간의 상관분석을 실시하여 표 5에 나타내었다.

종자의 발아 여부를 판정하는 기준으로 유효하였던 pH(H₂O, 1 : 5)값과 추출용액의 화학적 특성간의 상관성은 EC(H₂O, 1 : 5)에 비해 낮게 나타났는데, pH값은 양이온과 음이온이 서로 상쇄되어 나타나는데 비하여 EC값은 양이온과 음이온의 함량이 모두 영향을 미쳤기 때문인 것으로 사료된다.

pH와 양이온의 상관관계는 정의 상관관계를 가지는 것이 일반적이나, 부의 상관관계를 가지는 것은 음이온인 SO₄의 양이 pH값에 절대적인

영향을 미쳤다는 것을 나타내고 있으며 SO₄의 양이 많은 곳에 양이온이 많이 용출되었다는 것을 의미하고 있다.

양이온치환능력(CEC), 유기물 함량, 강제산화법(H₂O₂)으로 추출한 토양용액의 pH와 EC, SO₄, Al, Ca, Fe, K, Mg 이온 함량 간의 상관분석을 실시하여 표 6에 나타내었다.

이온의 함유량과 EC의 상관관계가 현저하게 높아진 것으로 나타났는데 H₂O₂에 의하여 양이온의 해리가 많이 이루어진 것을 알 수 있다. 잠재 특이산성토의 생성에는 유기물의 존재가 필수적인데(田中, 1984) 유기물의 함량과 Fe간의 상관관계수가 낮게 나타난 것은 추후 정밀한 분석으로 그 원인을 밝힐 필요가 있다.

IV. 결 론

동해안 지역의 해성용기토는 특이산성토양이

많이 분포되어 있어 녹화용 식물이 고사하는 일이 많이 일어난다. 지질연대 제3기 시대 동안 해침이 진행되어 특이산성토양으로 의심되는 울산 정자동 도로확장공사구간에서는 절토비탈면의 녹화공사를 시행하기 전에 토양의 화학적 특성과 식물발아 가능성 여부를 조사할 필요가 있었다. 절토 비탈면에서 토양 색깔이 변하는 지점마다 표층의 토양시료를 채취하였고, 채취된 시료의 화학적 특성과 토양시료에 파종된 자귀나무와 톨페스큐의 발아상태를 조사 분석하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 토양산도가 pH(H₂O, 1 : 5) 2.63 이하인 곳에서는 종자발아가 저해되었다.

2. 강제산화법으로 측정된 토양용액의 EC(H₂O₂, 1 : 5) 13.4mS 이상인 곳에서는 종자발아가 저해되었다.

3. 증류수로 추출한 토양용액의 알루미늄 이온 농도 2ppm 이상, 강제산화법으로 추출한 토양용액의 알루미늄 이온 농도 6.2ppm 이상인 곳에서는 종자발아가 저해되었다.

4. 토양용액의 pH(H₂O, 1 : 5), EC(H₂O₂, 1 : 5) 및 알루미늄 이온농도는 종자발아가능여부를 판단할 수 있는 유용한 화학적 지표인 것으로 나타났다.

5. 본 연구는 지표면에 노출된 지 1~2년 정도 경과한 절토비탈면을 조사대상으로 하였는데, 잠재 특이산성토의 특성을 명확히 하기 위하여 지표면에 노출되지 않은 토양을 대상으로 한 연구가 필요한 것으로 나타났다.

6. 추후 잠재 특이산성토로 이루어진 절토비탈면의 녹화를 위하여 토양개량에 관한 연구가 이루어져야 할 것이다.

인용문헌

- 農業技術研究所. 1988. 土壤化學分析法, 農村振興廳.
- 농촌진흥청. 2002. 농업과학기술대전 21 : 137-147.
- 안 열. 1994. 잠재성 특이산성토양의 개량 農工技術 42 : 74-80.
- 정연태 · 노영팔 · 백청오. 1989. 河海混成 潛在特異酸性土壤의 分布와 分類, 한국토양비료학회 22(3) : 173-179.
- 정연태 · 김정근 · 손일수 · 윤을수. 1990. 嶺南地域 潛在特異酸性土壤層 含有 隆起海城土의 分布와 特性, 농사시험연구논문집 32(3) : 1-8.
- 정연태 · 윤을수 · 손일수. 1992. 扇狀地 陸成 潛在特異酸性土의 특성과 개량, 한국토양비료학회 25(3) : 195-201.
- 정연태 · 윤을수 · 최영섭 · 김민태 · 김연대 · 김중신. 1996. 迎日灣一帶의 第3紀層에 분포된 潛在特異酸性土의 분포와 특성. 농업과학논문집 38(2) : 261-270.
- 한국건설기술연구원. 2004. 울산-강동간 도로확장 및 포장공사 절토사면 안정성 해석 및 보강방안 제시, 삼성엔지니어링.
- 田中明. 1984. 酸性土壤とその農業利用, 東京 : 博友社.
- 中野裕司. 2003. 極強酸性土壤ののり面緑化の経時変化について(日本岩盤緑化工協會編 “有機質系厚層基材吹付工法 「施工事例集」”) 東京 : 日本岩盤緑化工協會, pp.140-151.
- 村井宏. 1995. 特殊環境面緑化技術(小橋 澄/治村 井宏編 “のり面緑化の最先端”) 東京 : ソフトサイエンス社, pp.171-199.