

초고농도 이온수를 이용한 무공해 청정 농산물 재배기술 및 장치 개발

Research and Development of High Efficiency Electrolytic Cell System and Unchemicultivation Technology Utilizing a Highly Ion-Precipitated and Electrolysed Water.

주 관 연구 기 관
경 북 대 학 교

협 동 연구 기 관
경 북 농 업 기 술 원

농 립 부



제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “초고농도 이온수를 이용한 무공해 청정 농산물
재배기술 및 장치 개발에 관한 연구” 과제 최종보고서로 제출합니다.

1999년 10월 30일

주관연구기관명 : 경북대학교

총괄연구책임자 : 문 재 덕

연구 원 : 김 진 규

연구 원 : 정 석 환

연구 원 : 정 화 숙

연구 원 : 박 강 은

협동연구기관명 : 경북농업기술원

협동연구책임자 : 김 칠 룡

연구 원 : 배 도 함

연구 원 : 권 태 룡

연구 원 : 이 문 중

연구 원 : 장 길 수

연구 원 : 박 기 춘

요 약 문

I. 제 목

초고농도 이온수를 이용한 무공해 청정 농산물 재배기술 및 장치 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

UR 타결 및 WTO 체제 출범으로 농산물은 본격적인 국외 시장 개방화에 따라 영세한 국내 우리 농산물의 입지는 매우 미약하며, 경작 농민의 심리적 부담은 충격적인 실정이다. 이와 같은 무한 경쟁체제하에서의 우리 농산물의 경쟁력 확보를 위해서는 고품질 농작물의 효과적인 재배 기술개발이 가장 필수적이고 원천적인 것이라고 할 수 있다.

본 연구에서는 수도수 또는 지하수를 특수 전리 처리함으로써 농약과 같은 이차오염을 전혀 발생시키지 않으면서도 매우 뛰어난 살균효과가 있는 초고농도 음이온수(陽電極水)와, 발아및 성장촉진능력을 갖는 초고농도 양이온수(陰電極水)를 제조하여 시설농작물(특히, 고추)에 관개함으로써 우리 농산물의 고소득화는 물론 고품질화, 저생산비로 경쟁력도 갖게 하며, 또한 가장 안전하고 저렴하며 양질의 농작물(특히, 고추)을 국민에게 제공하고자 한다.

III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구는 본 장치의 장점인 무공해성을 이용하여 가장 효과적이면서 안전한 농작물재배(특히, 고추)에의 응용, 즉, 강음이온수의 병해방지과, 강양이온수의 성장촉진효과를 농작물(특히, 고추)에 적절히 적용할 수 있게 된다. 종자의 살균이나 발아촉진 및 균일화, 배양수의 무공해살균 및 성장촉진화, 수경재배수의 무공해적 이온발란스 조절등 매우 다목적으로 광범위하게 적용할 수도 있게 된다. 그리고, 채소나 화훼, 과수등 기타 여러작물에의 폭넓은 응용이 가능하며, 보관, 저장, 종묘의 살균소독 및 성장촉진에 이르기까지 매우 광범위하게 적용할 수도 있게 된다.

그리고, 가축이나 가금 등의 축산에도 적용 가능하여 양이온수(약알칼리성의 경우 사람용 음용수로 시판되고 있다)의 축산음용수로 건강과 성장촉진을, 그리고 음이온수로 축산분뇨 및 폐기물 살균소독 및 냄새제거에의 응용에 이르기까지 매우 효과적으로 적용될 수도 있을 것으로 사료된다.

III-1. 최종연구목표

세부과제명	연구개발 최종목표	연구개발 최종내용
주관기관	(1) 고효율 초고농도 이온수 제조장치제작 및 개발	① 고효율 초고농도 이온수장치개발 ② pH 2.2/11.5 용량 45LPH의 이온수장치 개발 완료
	(2) 고추와 곡식의 발아 및 초기 성장 촉진 및 장애작용검토	① 고추나 곡식의 양이온수에 의한 발아 및 초기성장촉진효과 실험적연구 ② 고추나 곡식의 음이온수에 의한 장애작용검토
협동기관	(2) 고추 및 고추냉이의 병해 방제효과와 생육효과의 현장실증연구	① 고추나 고추냉이의 병해방제 및 무공해 청정 재배기술 개발 ② 고추 및 고추냉이의 이온수에 의한 생육촉진 및 장저해 작용 검토

III-2. 연도별 연구개발목표 및 연구내용

1. 1차년도 연구개발 목표 및 연구내용

목표, 내용 년도	연구개발목표	연구개발내용
1차년도	1) 제1세부과제 proto형 이온수제조장치 설계 및 시작품 제작	(1)고전계 형성기초연구 (2)전극재료 소모성 기초 검토 (3)scale방지기술기초연구 (4)proto형 장치제작 (pH 3.0/11.0, 15 LPH)
	2) 제2세부과제 시설채소의 성장효과 및 장애작용 기초검토	(1)시설채소의 성장효과검토 및 기초조사 (2)음이온수의 장애작용기초검토 및 실험기초준비
	3) 협동과제 고농도 이온수의 고추냉이 및 고추의 병해 방지효과 기초검토	(1)고추냉이의 병해방지효과 검토 및 자료조사 (2)고추냉이의 포트재배시설제작 및 준비 (3)고추의 병해 방지 효과 검토 및 자료 조사 (4)고추 재배 양식별 효과 기초 연구

2. 2차년도 연구개발 목표 및 연구내용

목표, 내용 년도	연구개발목표	연구개발내용
2차년도	1) 제1세부과제 고농도 이온수제조장치 설계제작 및 개발	(1) 고농도 이온수제조장치 설계, 제작, 개발연구 (2) 고전계성형전극구조설계, 수류층류화, 전원의 펄스화 고효율화 연구 (3) 고농도 장치제작 (pH 2.5/11.5, 30 LPH)
	2) 제2세부과제 시설채소의 발아 및 초기생장 효과 및 장애작용검토	(1) 콩과, 무우류 등 채소의 양이온수에 의한 발아 및 성장효과 실험적연구 (2) 콩과, 무우류 등 채소의 음이온수에 의한 장애작용검토
	3) 협동과제 고추냉이의 병해방지 효과 실험연구 및 고추 병해 방제 에 알맞는 초고농도 이온수 구명	(1) 고추냉이의 묵입병, 연부병의 살균효과검증 (2) 고추냉이의 포트재배와 병해방지작용실험 및 재배기술 확립 (3) 고추병해에 대한 이온수농도별 효과 구명 (4) 고추 pot재배에 의한 병원균의 방제효과 구명

3. 3차년도 연구개발 목표 및 연구내용

3차년도	1) 제1세부과제 초고농도이온수제조장치 설계제작 및 개발(모델정립)	(1) 초고농도이온수 제조장치 구조 최적화설계 (2) 첨가물에 의한 이온농도 극대화 (3) 고전계형성의 최적화(모델정립) (4) 초고농도장치개발완료(pH 2.2/11.8, 45 LPH)
	2) 제2세부과제 고추와 곡식의 발아초기와 생 장 및 장애작용검토	(1) 고추나 곡식의 양이온수에 의한 발아 및 초기 성장촉진효과 실험적연구 (2) 고추나 곡식의 음이온수에 의한 장애작용검토
	3) 협동과제 고추 및 고추냉이의 병해상 습발생지의 병해방지효과와 생육특성의 현장실증연구	(1) 이온수의 고추재배시 발아 및 초기성장촉진 (2) 전작토양의 이온농도와 토양의 이화학성과 이온수의 생리장애작용검토, (3) 역병 및 탄저병 상습지 실증확인 (4) 청정재배기술 검토

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구개발결과

가. 고효율 초고농도 이온수제조장치 설계제작 및 개발

종래형의 강이온수 발생장치는 이온집속 및 전해작용을 일으키는 전극이 매우 좁은 편평형이며, 직류전압을 인가하는 것이다. 따라서 이온분리집속 능력이 부족하여 전해작용도 작고, 따라서 효율이 높지 못한 단점이 있는 것이다.

본 연구에서는 수류속도와 공간전하제한 작용을 완화하고, 이온집속전계를 높이며, 수중 산소기포방전을 유발시켜서 이온분리집속능력과 전해효율은 크게 올릴수 있는 구조를 제안하고 이를 실험적으로 확인하여서 아래와 같은 결과를 얻었다.

(1) 유전체 소구가 충전된 전해장치의 강이온수 발생특성

강이온수 발생면적이 $20 \times 6 \times 0.5 \text{cm}^3$ 인 장치내에 비유전율이 10000인 BaTiO_3 유전체 소구를 충전하고 수도수만을 인입한 경우 pH 2.70과 pH 11.69의 이온수를 얻었으며, 염화나트륨 0.1 [wt%] 용해된 수도수의 경우 pH 2.36과 pH 12.03의 효과적인 이온수를 발생시킬 수 있었다. 그리고 BaTiO_3 와 같은 유전체 소구를 충전한 경우가 충전하지 않은 경우에 비해서 강알카리 이온수의 경우 약 10배, 강산성 이온수의 경우 약 100배의 높은 이온수를 실험적으로 얻을 수 있었다.

(2) 슬릿형 평행평판전극계에서의 강이온수와 산화성물질 발생특성

전극형상을 슬릿형으로 형성한 결과 슬릿 측면에서 전계분포를 집중시킬 수 있었고, 슬릿 측면등에서 발생된 산소방전을 유발시켜 수중 전기분해작용을 크게 증가시켰다. 그리고 슬릿형 전극에 유통개부를 만들어 전극간에 공간전하효과를 크게 감소시킨 결과, 수도수를 인입수로 사용하고 구형과 펄스전류가 2.0 [A], 인입수의 유속이 0.5 [LPM]일 때 pH 3.0, 3.6[ppmm], pH 11.61, 1.1[ppmm]의 강이온수를 얻었으며, 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수를 인입한 경우 pH 2.6, 23.2[ppmm]의 강산화성물질 용존 강산성 이온수와 pH 12.34, 1.5[ppmm]의 강산화성물질 용존 강알카리 이온수를 발생시켰다.

(3) 3전극형 평행평판전극계 이온수 장치의 강이온수 및 산화성물질 발생특성

슬릿형 3전극을 설정하고, 시비율(duty)이 50%로 고정된 펄스전원의 펄스지속시간(t_{on})을 변화시켰을 때, 원료수가 수도수인 경우 2 [A], 250 [V]부근에서 pH 2.8의 강산성수와 pH10.5의 강알카리수를 발생시켰으며, 염화나트륨이 0.1 [wt%]용해된 수도수를 원료수로 사용한 경우 2 [A], 25 [V]부근에서 pH2.4의 강산성수와 pH11.0의 강알카리수를 발생시킬 수 있었으며 인가전류, 전압을 5

[A], 50 [V]로 높이면 pH 2.2, 약 22[ppmm]의 강산성수와 pH 12.0의 강알칼리수까지 얻을 수 있었다.

나. 시설채소 및 농작물의 초고농도 이온수에 의한 발아 및 성장촉진효과와 장애작용

(1) 산성 및 알칼리성이온수에 의한 발아특성

오이와 고추의 강산성이온수중의 발아율이 각각 2.5배 및 3배정도 매우 높았으나, 강알칼리성 수중에는 비교적 낮은 발아율을 나타내었다. 그러나, 대두의 경우는 강산성 및 알칼리성수 모두 발아율이 높지 못했다.

(2) 산성 및 알칼리이온수에 의한 초기생장특성

산성 및 알칼리이온수 대두의 초기생장특성으로서 생장길이, 생체량, 엽록소함량, 건량 등을 조사결과, 생장길이는 산성이온수의 경우가 10~30% 길었으며, 생체량은 알칼리이온수의 경우가 10~20% 높았으며, 엽록소 함량은 산성, 알칼리이온수 모두 2~3배 높았다. 건량의 경우 pH3~11의 경우는 큰 차이가 없으나 아주 높은 pH2.5나 pH11.5의 경우 현저히 감소했다.

(3) 산성 및 알칼리이온수가 유식물의 엽록소 형광패턴에 미치는 영향

산성, 알칼리이온수가 엽록소 형광 패턴에 미치는 영향을 조사한 결과, 대두와 보리잎에서 광합성 중 광계 II의 광화학지표를 나타내는 Fv/Fm 값은 산성, 알칼리이온수 처리구에서 모두 활성이 유사하였다

(4) 강산성 이온수가 보리잎의 광합성 활성화에 미치는 영향

강산성 이온수가 보리잎의 광합성 활성화에 미치는 영향을 알아보기 위하여 강산성이온수(pH 2.5)를 보리잎에 10분간 처리했을 때는 엽록소 a, b 그리고 carotenoid함량은 대조구에 비해 각각 약 12%, 16% 그리고 8% 감소하였다. 강산성 이온수(pH 2.5)를 10분간 처리한 보리잎의 Fo(광계 II의 반응중심이 모두 열렸을 때 안테나 색소로부터 방출되는 형광)는 대조구보다 7% 증가하였으나, Fv, Fm(광계 II의 반응중심이 모두 닫혀 전자 수용체 Q는 완전히 환원 상태에 있을 때의 형광) 그리고 Fv/Fm은 감소하였으며 특히 Fv/Fm은 대조구보다 17% 감소하였다. 이것으로 보아 강산성 이온수(pH 2.5)는 광계II에 심각한 손상을 줄 수 있다는 것을 알 수 있다.

그리고 엽록소 형광 소멸 요인을 분석했을 때 광화학적 형광소멸인 qP는 대조구에 비해 61%나 감소한 것으로 보아 quinone의 산화환원이 억제되었다는 것을 알 수 있으며, 비광화학적 형광소멸인 qNP도 대조구에 비해 14% 감소하였다. 그리고 qI는 처리시간이 지속됨에 따라 증가하여 10분간 처리했을 때는 대조구에 비해 70%나 증가하였다. HCl (pH2.5) 용액으로 보리 잎을 처리했을 때에는

엽록소 형광에 거의 변화가 없는 것으로 보아 산성 이온수에는 H⁺ 이온 이외의 물질이 작용하는 것으로 추측된다. 그러나, 산성 이온수의 pH가 낮을수록 광계 II의 활성이 많이 억제되었으나 pH 4.0 이상에서는 10분간 보리 잎을 처리해도 엽록소 형광에 거의 변화가 나타나지 않았다. 이것으로 보아 pH 4.0이상의 산성 이온수는 단시간 내에 식물체의 광합성 작용에 심각한 손상을 유발하지는 않는 것을 알 수 있다. 따라서 농약등의 대응으로 사용하는 경우 pH 2.5 정도로 높을수록 10분 이하의 짧은 시간에 적정량을 주거나, 또는 pH 4 이상을 장시간 많은량을 투여하는등, 작물에 따라 적정한 조건이 설정되어야 하겠다.

다. 초고농도 이온수의 고추냉이의 생육 및 병해방지 효과

고농도 이온수의 농업적 이용은 1차 시험에서 *Erwinia aroideae* (Townsend) Holland 와 *Phoma wasabiae* Yokogi 같은 병원균의 살균력은 인정되나, 저절된 처리시간과 빈도, 그리고 처리 pH와 처리량등이 매우 중요한 요인이 되는 것을 알 수 있다. 따라서, 작물과 병의 종류에 최적조건이 조사되어야 할 것으로 사료된다. 또한, 고추냉이와 같은 생육조건이 까다롭고, 장기간(2년) 성장후에 수확하는 작물에서의 강이온수 살포는 이온수 제조과정중에서 Na⁺ 물질이 배제되지 않는 한 위험성이 따를 것 같다. 그래서, 고온의 국내 환경에서도 초고농도 이온수의 실적에 있어서는 다년생(2년)으로 생육이 까다롭고 저온(년중 20℃ 전후), 그리고 반음지 식물인 고추냉이 보다는 생육이 왕성한 작물, 즉 딸기나 토마토 등의 원예작물에서 지상부에 발생하는 병을 엽면살포로 방제하는 방향으로 이용성이 고려되면 좋을 것 같다.

라. 초고농도 이온수의 고추 병해방지 효과

고추 역병균(*Phytophthora capsici*)의 발육과 감염에 미치는 산성 이온수의 영향을 구명하기 위해 수행한 결과, 이온수의 pH를 2.5, 3.0, 3.5로 조정하여 1ml씩 분주했을 때 역병균은 발육하지 못하였으나, 멸균 증류수 pH를 0.5N HCl로 2.5, 3.0 3.5로 조정된 대조구에서는 역병균의 발육이 양호 하였다. 실제 토양에서 직경 10cm의 흑색 비닐 pot에서 50일 육묘한 고추묘에 유주자 현탁액의 농도를 10²~10⁵개/ml로 조정하여 5ml씩 접종한 후 산성이온수를 100ml씩 관주하여 20일 후에 조사한 결과, 산성이온수 처리구에서는 접종된 유주자 현탁액의 농도가 10³개/ml 이하일 경우에는 고추 뿌리에 발병이 되지 않았으나, 10⁴개/ml 이상 처리구에서는 발병이 진전되었고, 대조구인 멸균수 관주구에서는 유주자 현탁액 농도가 10³개/ml 이하에서도 뿌리가 갈변하여 심하게 발병되었다.

흰가루병의 경우에도 전반적으로 발병정도가 높은 경향이나 관행방제에서 발병정도가 가장 낮았으며, 산성이온수, 관행방제, 무처리간 통계학적 유의성이 인정되었다.

이온수 수준별 처리에 따른 고추 발아는 pH4.0이하에서 발아시가 빠르고 발아종도 5~6일 단축되었으나 유근의 생장이 알카리전해수인 pH7.0이상에 비해 저하되었다. 양액재배시 초장, 엽면적, 건물중은 pH4.0이하로 갈수록 낮아질수록 감소하였고, 알카리이온수인 pH7.0이상에서는 증가하는 경향이였다. 이온수 + 양액 재배시 산성이온수에서는 초장, 엽면적 등의 증가가 느리나 알카리이온수인 pH7.0이상에서는 성장속도가 빠르고 상대생장율도 증가하였다.

따라서 산성이온수만으로 고추에 발생하는 주요 병을 완전히 방제하기에는 무리가 있는 것으로 생각되며 농약과 교호살포, 살포간격의 조절 등 이온수의 효과를 높이기 위한 다각적인 시험이 수행되어야 될 것으로 사료된다. 다만 일본의 경우 살포농약을 1/3~1/3 정도로 농약 사용을 줄일 수 있는 장점을 이용해 작물을 재배에 적용되고 있는 것으로 알려져 있다.

2. 활용에 대한 건의

가. 고효율 초고농도 이온수제조장치 설계제작 및 개발

본 연구에서 설계제작 및 개발된 초고농도 이온수 장치는 원리적으로 개선 했기 때문에 효율이 매우 높고 에너지 절약이 가능하여 즉시 산업화가 가능하므로, 조속히 상품화가 되어 시설채소 농민이나 화훼단지 등에 매우 유용하게 쓰일 수 있을 것으로 사료된다.

종래형의 강이온수 발생장치는 전극이 편판형이며, 직류전압을 인가하는 것으로 이온분리집속 능력과 전해작용이 작고, 효율이 높지 못한 것이다.

그러나, 본 연구에서는 수류속도와 공간전하제한 작용을 완화하고, 이온집속전계를 높이며, 수중 산소기포방전을 유발시켜서 이온분리집속능력과 전해효율은 크게 올릴 수 있는 구조를 제안하여서 아래와 같은 결과를 얻었기 때문이다.

(1) 유전체 소구가 충전된 전해장치의 강이온수 발생특성

강이온수 장치내에 비유전율이 10000인 BaTiO₃ 유전체 소구를 충전하고 수도수만을 인입한 경우 pH 2.70과 pH 11.69의 이온수를 얻었으며, 염수의 경우 pH 2.36과 pH 12.03의 효과적인 이온수를 발생시킬 수 있었다.

(2) 슬릿형 평행평판전극계에서의 강이온수와 산화성물질 발생특성

전극형상을 슬릿형으로 형성한 결과 수도수로 구형과 펄스전류가 2.0[A], 인입수의 유속이 0.5 [LPM]일 때 pH 3.0, 3.6[ppmm], pH 11.61, 1.1[ppmm]의 강이온수를 얻었으며, 염수를 인입한 경우 pH 2.6, 23.2[ppmm]와 pH 12.34, 1.5[ppmm]의 강산화성물질 용존 이온수를 발생시켰다.

(3) 3전극형 평행평판전극계 이온수 장치의 강이온수 및 산화성물질 발생특성

슬릿형 3전극을 설정하고, 시비율(duty)이 50%, 펄스지속시간(t_{on})을 변화시켰을때, 수도수인 경우 2 [A], 250 [V]부근에서 pH 2.8와 pH10.5의 이온수를 발생시켰으며, 염수를 사용한 경우 2 [A], 25 [V]부근에서 pH2.4와 pH11.0의 이온수를 발생시킬 수 있었으며, 5[A], 50 [V]로 높이면 pH 2.2, 약 22[ppmm]와 pH 12.0의 이온수까지 얻을 수 있었다.

나. 시설채소 및 농작물의 초고농도 이온수에 의한 발아 및 성장촉진효과와 장애작용

초고농도 산성 이온수는 거의 모든 virus와 bacteria, 포자까지도 살균하는 특성을 가지면서도 이차공해를 유발시키지 않기 때문에 일본 등의 선진국에서 농약등으로 연구검토 및 일부 실적용 중에 있는 것으로 알려져 있다.

금번 실험 결과 PH 2.5로, 10분 이상 처리시 식물체에 손상을 줄 수 있는 결과가 나왔으나, 식물체에 따른 적정처리시간, 처리량, 처리주기를 적절히 조절하여 최적조건이 주어진다면 본 이온수 장치는 유효하게 발아 및 초기성장촉진, 농약대신 또는 일부 대체용으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

(1) 산성 및 알칼리성이온수에 의한 발아특성

오이와 고추의 강산성이온수중의 발아율이 각각 2.5배 및 3배정도 매우 높았으나, 대두의 경우는 강산성 및 알칼리성수 모두 발아율이 높지 못했다.

(2) 산성 및 알칼리이온수에 의한 초기성장특성

산성 및 알칼리이온수 대두의 초기성장특성으로서 생장길이는 산성이온수의 경우가 10~30% 길었으며, 생체량은 알칼리이온수의 경우가 10~20% 높았으며, 엽록소 함량은 산성, 알칼리이온수 모두 2~3배 높았다. 건량의 경우 pH2.5나 pH11.5의 경우 현저히 감소했다.

(3) 산성 및 알칼리이온수가 유식물의 엽록소 형광패턴에 미치는 영향

대두와 보리잎에서 광합성 중 광계 II의 광화학지표를 나타내는 Fv/Fm 값은 산성, 알칼리이온수 처리구에서 모두 활성이 유사하였다

(4) 강산성 이온수가 보리잎의 광합성 활성에 미치는 영향

강산성이온수(pH 2.5)를 보리잎에 10분간 처리했을 때는 엽록소 a, b 그리고 carotenoid함량은 대조구에 비해 각각 약 12%, 16% 그리고 8% 감소하였다. 강산성 이온수(pH 2.5)를 10분간 처리한 보리잎의 Fo는 대조구보다 7% 증가하였으나, Fv, Fm 그리고 Fv/Fm은 감소하였으며 특히 Fv/Fm은 대조구보다 17% 감소하였다. 이것으로 보아 강산성 이온수(pH 2.5)는 광계II에 심각한 손상을 줄 수 있다는 것을 알 수 있다. 그리고 엽록소 형광 소멸 요인 qP는 대조구에 비해 61%나 감소한 것으로 보아 quinone의 산화환원이 억제되었다는 것을 알 수 있으며, 비광화학적 형광소멸인 qNP도 대조구에 비해 14% 감소하였고, qI는 처

리시간이 증가했을 때는 대조구에 비해 70%나 증가하였다. 그러나, 산성 pH가 낮을수록 광계 II의 활성이 억제되고 pH 4.0 이상에서는 엽록소 형광에 거의 변화가 나타나지 않았다. 이것으로 보아 pH 4.0이상의 산성 이온수는 식물체의 광합성 작용에 손상을 유발하지는 않는 것을 알 수 있다.

다. 초고농도 이온수의 고추냉이의 생육 및 병해방지 효과

고농도 이온수의 농업적 이용은 1차 시험에서 *Erwinia aroideae* (Townsend) Holland 와 *Phoma wasabiae* Yokogi 같은 병원균의 살균력은 인정되나, 저절 한 처리시간과 빈도, 그리고 처리 pH와 처리량등이 매우 중요한 요인이 되는 것을 알 수 있다. 따라서, 작물과 병의 종류에 최적조건이 조사되어야 할 것으로 사료된다. 또한, 고추냉이와 같은 생육조건이 까다롭고, 장기간(2년) 성장후에 수확하는 작물에서의 강이온수 살포는 이온수 제조과정중에서 Na^+ 물질이 배제되지 않는 한 위험성이 따를 것 같다. 그래서, 고온의 국내 환경에서도 초고농도 이온수의 실적에 있어서는 다년생(2년)으로 생육이 까다롭고 저온(년중 20℃ 전후), 그리고 반음지 식물인 고추냉이 보다는 생육이 왕성한 작물, 즉 딸기나 토마토 등의 원예작물에서 지상부에 발생하는 병을 엽면살포로 방제하는 방향으로 이용성이 고려되면 좋을 것 같다.

라. 초고농도 이온수의 고추 병해방지 효과

고추 역병균(*Phytophthora capsici*)은 이온수의 pH를 2.5, 3.0, 3.5로 1ml씩 분주했을 때 발육하지 못하였으나, 멸균 증류수 pH를 0.5N HCl로 2.5, 3.0 3.5로 조정 한 대조구에서는 발육이 양호 하였다. 실제 토양에서 50일 육묘한 고추묘에 유주자 농도를 $10^2 \sim 10^5$ 개/ml로 5ml씩 접종한 후 산성이온수를 100ml씩 관주하여 20일 후에 조사한 결과, 산성이온수 처리구에서는 고추 뿌리에 발병이 되지 않았으나, 대조구인 멸균수 관주구에서는 뿌리가 갈변하여 심하게 발병되었다.

흰가루병의 경우에도 산성이온수, 관행방제, 무처리간 통계학적 유의성이 인정되었다.

따라서 산성이온수만으로 고추에 발생하는 주요 병을 완전히 방제하기에는 무리가 있는 것으로 생각되며 농약과 교호살포, 살포간격의 조절 등 이온수의 효과를 높이기 위한 다각적인 시험이 수행되어야 될 것으로 사료된다. 다만 일본의 경우 살포농약을 1/3~1/3 정도로 농약 사용을 줄일 수 있는 장점을 이용해 작물을 재배에 적용되고 있는 것으로 알려져 있기 때문에 국내에서 이와같은 방법이 고려되어 적용되면 효과적일 것이라고 사료된다.

3. 현재까지 본과제와 관련된 학술발표실적

가. 국내

- (1) 金振圭, 文在德, "Pulse 전압에 의한 수증 이온 분리특성", 1997年度 大韓電氣學會 放電 및 高電壓硏究會 春季學術發表會論文集, 1997. 5. 30, 부산대학교
- (2) 이증환, 권태룡, 배도함, 최부술, 이준탁, 문재덕, "초강력 이온수를 이용한 고추 병해 방제에 관한 연구", 한국식물병리학회 한국식물병리학회연구발표회지, 1997. 10. 25, 영남대학교
- (3) 金振圭, 文在德, "유전체소구 증진에 의한 효과적인 강전해수의 생성", 1997年度 大韓環境工學會 秋季學術硏究發表會, 1997. 11. 8, 조선대학교
- (4) 孫龍洙, 文在德, "선디형 전극계의 수증방전특성", 1998年度 大韓電氣學會 放電 및 高電壓硏究會 春季學術發表會論文集, 1998. 5. 23, 영남대학교
- (5) 李在容, 金振圭, 文在德, "선대원통전극계의 수증방전 및 이온분리특성", 1998年度 大韓電氣學會 放電 및 高電壓硏究會 春季學術發表會論文集, 1998. 5. 23, 영남대학교
- (6) 배철만, 李在容, 鄭成珍, 文在德, "수방전을 이용한 선대원통형 전해수 발생장치의 유해 유기물 제거 특성", 1999年度 大韓電氣學會放電 및 高電壓硏究會 春季學術發表會論文集, 1999. 5. 8, 청주 LG산전
- (7) 정화숙, 박강은, 임영진, "산성전해수가 보리(*Hordeum vulgare* L.) 잎의 엽록소 형광에 미치는 영향", 한국환경과학회 한국환경과학회 98년도 가을학술발표회, 98. 10. 23-24, 계명대학교

나. 국외

- (1) Jae-Duk Moon, Chil-Man Bae, Jae-Yong Lee, Seung-Lok Park, Jin-Gyu Kim, Zun-Ung Bae, "Removal of Phenol in Water by a Wire-to-Cylinder Type Electrolytic Cell", Annual Meeting of Institute of Electrostatics Japan, Proceedings of 1999 Annual Meeting of Institute of Electrostatics Japan, Sep. 16-17, 1999, 日本千葉工業大學

다. 특별강연

- (1) 문재덕: "전자기의 농업적 이용 기술개발 현황과 전망", 주변첨단과학기술의 농업분야 활용, 1996. 11. 22, 경상북도 농촌진흥원 대강단

라. 기타

- (1) 특허 : 발명특허, "강이온수에 의한 무농약 청정 고추재배방법", 한국, 97-13952(97. 4. 14), 특허 204924(99. 3. 31), 문재덕, 권태룡
- (2) 공학박사학위논문 : 김진규, "평판전극계의 수증 방전과 공간전하제어에 의한 효율적인 강전해수 발생", 1998. 6, 경북대학교 대학원
- (3) 농학석사학위논문 : 이증환, "산성 이온수에 의한 고추 병해의 방제효과", 1997, 12, 경북대학교 대학원

SUMMARY

I. TITTLE

Research and Development of High Efficiency Electrolytic Cell System and Unchemicultivation Technology Utilizing a Highly Ion-Precipitated and Electrolyzed Water

II. OBJECTIVE AND NECESSITY

A highly electrolyzed water with powerful oxidants and ions separated and precipitated from tap water containing a little NaCl additive has been started to be used not only for medical appliance and disinfection in hospitals but also for disinfection plant diseases in agricultural fields recently. It is found that the water can kill virus and microorganism within 10 seconds in 99% which is about 20 times stronger than the existing disinfectants. Moreover, it is proved that the water is harmless to men and does not produce any secondary pollutants after applying. It has much potential for most ordinary medical appliances like preventing diseases and also cultivating crops. And, studies on the effects of the water and the improvement of generator become one of the recent topic in the developed countries the worldwide.

A conventional cell system was generated an ionized and Electrolyzed water but not enough in ion separation and precipitation capability never in the oxidants production action in the cell. And there were no trial applications to an unchemicultivation and no cultivation technologies developed using this the powerful water as the disinfection plant and crop diseases to cope with the agricultural medicines for unchemical-polluted farm productions.

In this study, a novel oxidant generation and ion precipitation cell with slits on its plate electrodes has been proposed instead of a conventional parallel plate to formulate strong nonequilibrium electric fields from the

every edges of the slits. So, the cell can be precipitated and bubble discharged to enrich the ions in water and also generated great oxidents. An investigation was carried out on the effect of numbers and sizes of slits on ion precipitation and oxidant generation characteristics, proved by eliminated space charge limiting action and by elevated electric fields in active interelectrode spacing and by bubble theory in active interelectrode spacing. In addition, ferroelectric pellets bedded parallel plate electrodes system was proposed and pulse power was applied.

This experiment was conducted to find effects of high ultra concentrated ionizing water on controlling effects of *Phoma wasabiae* and growth in *Wasabia japonica* Mtsum.

This experiment was carried out to elucidate the effect of electrolytic water on the growth and infection of *Phytophthora capsici*. Zoospores of *P. capsici* did not grow on potato dextrose agar when the pathogen was cultured after suspended at pH 2.5, 3.0, 3.5 of electrolytic water while it was well grown when electrolytic waters were adjusted at pH 2.5, 3.0, 3.5 with HCl solution.

III. EXPERIMENTAL RESULTS AND APPLICATIONS

III-1. Research and Development of a High Efficiency Cell System

A conventional ion separation system has been made by an ion exchange membrane in between parallel plate electrodes. A thyristor controlled dc voltage was applied to these electrodes and the water molecules were Electrolyzed and the ions in water were precipitated in each electrode by the electric field. And, this conventional system was not enough in the ion precipitation never in the oxidents generation.

In this study, a novel oxidant generation and ion precipitation cell with slits on its plate electrodes has been proposed instead of a conventional parallel plate to formulate strong nonequilibrium electric fields from the every edges of the slits. So, the cell can be precipitated and bubble discharged to enrich the ions in water and also generated great oxidents. An investigation was carried out on the effect of numbers and sizes of slits on ion precipitation and oxidant generation characteristics, proved by eliminated space charge limiting action and by elevated electric fields in active interelectrode spacing and by bubble theory in active interelectrode

spacing. In addition, ferroelectric pellets bedded parallel plate electrodes system was proposed and pulse power was applied.

The following results were obtained without pellets. More intense ion-rich water was generated in case of longer pulse on-time was applied, but there was not particular difference for $t_{on} = 0.5 \sim 100$ [ms]. Electrolyzed water of pH 3.1 and pH 10.6 were obtained with tap water at the square wave pulse current of 1.0 [A] and water flow rate of 0.5 [LPM]. A denser electrolyzed water of pH 2.9 and pH 11.7 were obtained in 0.1 [wt%] NaCl dissolved water at the same current and water flow rate. When ferroelectric pellets, BaTiO₃ of the highest dielectric constant were bedded in the ion separation cell, the electrolyzed water of pH 2.7 and pH 11.4 were obtained with tap water. A denser electrolyzed water of pH 2.4 and pH 12.0 were obtained in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water. It was experimentally shown that the cell with dielectric pellets of higher dielectric constant made more intense electrolyzed water.

For etched slit parallel plate electrodes type, results were monitored when both tap water and 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water were fed. When using the electrodes with 48 slits, it was found that a high density electrolyzed water of pH 3.0 and pH 11.3 and oxidants dissolved water of 3.6 [ppmm] in acidic water and 1.1 [ppmm] in alkali water were obtained with tap water. Furthermore, when using the electrodes with 48 slits, pH 2.6 and pH 11.7, 23.2 [ppmm] in acidic water and 1.5 [ppmm] in alkali water was obtained with 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water. Consequently, very high ion precipitation and dense oxidant generation characteristics can be realized by having slits on the electrodes of conventional cells as these slits increase the electric fields and decrease the space charge limiting actions in interelectrode space.

For both control type i.e. electrolytic cell without 3rd electrode and 3rd-electrode-type, results were monitored when both tap water and 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water were fed. When using the electrodes with 48 slits as a 3rd electrode, it was found that, when 2 [A] was supplied, a high density electrolyzed water of pH 2.8 and pH 10.5 and oxidants dissolved water of 1 [ppm] in acidic water were obtained with tap water. Furthermore, when using the electrodes with 48 slits as a 3rd electrode, pH 2.5 and pH 11.0, 7 [ppm] in acidic water was obtained with 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.

Consequently, very high ion precipitation and dense oxidant generation characteristics can be realized by having slit-type 3rd electrode of conventional cells as these slits increase the electric fields and decrease the space charge limiting actions in interelectrode space.

III-2 Experimental Study on Seed Germination and Seedling Growth Hastening Effect and Damages on the Green House Vegetables and Crops Utilizing a Highly Ion-Precipitated and Electrolyzed Water

1. Seed germination effects by strong acid and alkali water

(1) soy bean case

The germination rates were not high by treated strong acid and alkali water in a early stage of germination but they become to same rates that of control, without treated one, after 3 days

(2) cucumber case

They showed great high germination rates, about 2.5 times, on acid water for the cucumber seed, but they were still low for the alkali water treated.

(3) red pepper case

They also showed very high germination rates on acid water for the red pepper seed, but also they were low for the alkali water treated.

2. Effect of strong acid and alkali water on soy bean seedling growth hastening. In order to study on soy bean seedling hastening effects, growth length, fresh weight, chlorophyll content, and dry weight of the soy bean seedling grown in strong acid and alkali water bed were checked.

As a result, the growth lengths of the soy bean seedling grown in strong acid water bed were longer about 10~20% than those of the alkali water bed ones. The fresh weights and chlorophyll contents of the soy bean seedling grown in alkali water bed were about 10~20% and 200~300% more than those of the acid water ones, respectively. The dry weights of the soy bean seedling grown in the strong ion water, pH 3~11, were no any differences, but for both of the stronger water, pH 2.5 or lower and pH 11.5 or higher cases, they were changed to reduce greatly.

3. Effects of strong acid and alkali water on the chlorophyll fluorescence pattern the seedlings of soy bean and barley Effect of strong acid and alkali water on the chlorophyll fluorescence pattern were studied, and F_v/F_m were not changed greatly for both of strong acid and alkali water
4. Effects of strong acid water on photo syntheses activation of barley leaves. The chlorophyll contents and chlorophyll fluorescence of th barley leaves were measured to investigate the effects of strong acid water.

As a result, chlorophyll contents of the barley leaves treated by strong acid water of pH 2.5 were reduced with the decrease of the treated time. After 10 minutes treated with strong acid water of pH 2.5, chlorophyll a, b and carotenoid contents were reduced as about 12%, 16% and 8% compared with those of the control ones, respectively. With 10 minutes treating of strong acid water of pH 2.5 on the barley leaves, F_o was increased about 7% compared with the control one, while F_v , F_m and F_v/F_m were decreased, 17% decreased for F_v/F_m , particularly. This means that the strong acid water of pH 2.5 give severe damages to photosystems of the barley leaf.

It is found that the photochemical quenching, qP was reduced greatly to 61% compared to that of the control one, which, however reveals that they suppressed the oxidation and reduction activities of the quinone. And the non photochemical quenching and the energy-dependent fluorescence quenching were also reduced to 14% and 90% compared with those of the control ones. It was little differences of the chlorophyll fluorescence of the barley leaf treated by HCl solution of pH 2.5 for comparisons, it would be caused by H^+ ion activity in strong acid water.

But there were no any effects on the chlorophyll fluorescence of barley leaf showed where strong acid water of over pH 4.0 with 10 minutes treating, this indicated that weak acid water over pH 4.0 did not give severe damages on photo syntheses of the barley leaf in short time treating.

III-3. Effects of the Highly Electrolyzed and Ion-Precipitated Water on Minimizing Disease Injury of Wasabi and Hot Peper

This experiment was conducted to find effects of the highly Electrolyzed and ion-precipitated water on controlling effects of *Phoma wasabiae* and growth in *Wasabia japonica* Mtsum. The results were as followings : *Phoma wasabiae* of *Wasabia japonica* Mtsum was died out 99% by immersion for five minute at pH 2.5. And in case of transplanting after soaking seedlings in the pH 2.5, growth regeneration was better in soaking conditions from zero to thirty minute, but it was inhibited by over sixty minutes of immersion treatment. Survival rate was 80% by twenty immersion of acidic electrolytic water but immersion of acidic Electrolyzed water for 120 minute was died out at 90% of plant grown with pots in the plastic house.

III-4. Effects of the Highly Electrolyzed and Ion-Precipitated Water on Minimizing Disease Injury of Hot Peper

This experiment was carried out to elucidate the effect of the highly Electrolyzed and ion-precipitated water on the growth and infection of *Phytophthora capsici*. Zoospores of *P. capsici* did not grow on potato dextrose agar when the pathogen was cultured after suspended at pH 2.5, 3.0, 3.5 of the Electrolyzed water while it was well grown when the Electrolyzed waters were adjusted at pH 2.5, 3.0, 3.5 with HCl solutions. When each of 100ml of the Electrolyzed water at pH 2.5, 3.0, 3.5 was irrigated on the red pepper plants that had been inoculated by the suspension of *P. capsici* with 10^3 zoospores/ml, the red pepper plants were not infected, while by irrigation with sterilized water (pH 6.5), the red pepper plants were infected. With this results, it could be concluded that the good sterilization effect on *P. capsici* might be obtained by applying electrolytic water.

This experiment was conducted to find effects of the highly Electrolyzed and ion-precipitated water on controlling effect of phoma wasabiae Yokogi and growth in hot pepper (*C. annuum*) by the different Electrolyzed water levels. Germination in hot pepper was shortened five to six day in below pH 4.0, but radicle growth was increased in over pH 7.0. Growth such as plant height and leaf area by acidic Electrolyzed water in mixing with Electrolyzed water and

solution culture was delayed but growth speed was accelerated, and also increased in relative growth rate by alkalic Electrolyzed water. There were no large differences in different pH levels of the Electrolyzed water with bed soil and the Electrolyzed water, and leaf area was decreased in forty days after transplanting in pot test.

Changes of inorganic element with solution culture by the Electrolyzed waters were showed that there contents were the highest in the twenty days after treatment, but were decreased in over twenty days after treatments, and total nitrogen and phosphorus contents were the highest in pH 7.0, in particular, also high in over pH 10.0. There was no significant difference in Ca content and Mg content with in pH 2.5 and 11.5.

In the bed-soil culture with the water, total nitrogen and phosphorus contents at the twenty days after treatment was high but decreased as the growing time was proceed, and over degree of pH 7.0 was high but decreased after the growing time was proceed. Ca content was no difference in different pH levels , but Mg content was high in alkali water.

By inoculating at the pots with *P. capsici*, plants died out 100%, but there was no significant difference in comparing inoculation by *C.gloeosporioides* with untreated control showing low infected ratio, its control effect was lower than cconventional method. And in case of powdery mildew, totally disease was highly occurred but conventional control was lower than acidic Electrolyzed water, and statistically significant difference was recognized in three treatments, acidic Electrolyzed water, conventional control and untreated control.

There was no significant difference in concentration and application method except for powdery mildew on acidic Electrolyzed water as different cultural practices. As the results, it could concluded that real controlling methods on major disease occurred in hot pepper were controls with treatment of acidic Electrolyzed water in low pathogen density. For the high control effect by using the high ultra concentration the water in field, continuous research should be needed.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	43
1.1 study necessity	43
1.2 Present technology and problem	43
1.3 Fundamental principle and Effect of developing technology	44
1.4 Study prospectus	46
Chapter 2. Research and Development of a High Efficiency Electrolytic Cell System	49
2.1 Introduction	49
2.2 Theoretical considerations for effective cell and system	50
(1) Reaction of ion and radical	50
(2) Effect of electrical double layer	52
(3) Drift velocity of ion in water	54
(4) Effects of electric field focusing and bubble discharging in between ferroelectric pellets	55
(5) Action of slitted electrodes to enhance electric field intensity and control ability of space charge limiting	57
2.3 Experimental Method and Apparatus	61
(1) Configuration of effective cell	61
(2) Effect and characteristics of ferroelectric pellet bedded cell	65
(3) Effect and characteristics of slitted electrode system	67
(4) Effect and characteristics of third electrode system	70
2.4 Experimental Results and Considerations	75
(1) Effect of pulse on-time of applied power on ions and oxidants generation	75
(2) Effect and characteristics of ferroelectric pellet bedded cell on ions and oxidants generation	79
(3) Effect and characteristics of slitted electrodes system on ions and oxidants generation	93
(4) Effect and characteristics of third electrode system on ions and oxidants generation	130

(5) comparisons of developed with conventional	155
2.5 Chapter Conclusions	157
2.6 References	161
Chapter 3. Seed Germination and Seedling Growth and Enhancing Effects and Damage Action of Highly Ion-Precipitated and Electolyzed Water	164
3.1 Introduction	164
3.2 Effects of Highly Ion-Precipitated and Electolyzed Water on Seed Germination and Seeling Growth	165
(1) Experimental method	167
(2) Experiment results and considerations	167
① Effects on seed germination	167
② Effects on seedling growth	170
3.3 Effects of Highly Ion-Precipitated and Electolysed Water on Seedling Germination and Chlorophyll Fluorescence Pattern	175
(1) Experimental method	175
(2) Experimental results and considerations	177
① Germination enhance of soy bean and barley seed	177
② Growth stimulating of soy bean and barely seedling	179
③ Effects of Highly Ion-Precipitated and Electolysed Water on Chlorophyll fluorescence pattern	183
3.4 Effects of Highly Ion-Precipitated and Electolysed Water on Green Vegetables and Crops	191
(1) Experimental Method and Sample Vegetables and Crops	191
① Allied Highly Ion-Precipitated and Electolysed Water	191
② Sample vegetables and crops	191
③ Measurement of soluble protein content	191
④ Measurement of chlorophyll content	192
⑤ Measurement of chlorophyll content	192
(2) Effects and Damage of Highly Ion-Precipitated and Electolyzed Water on Soy bean seedling	193
① Effects on seeding germination and seedling growth	193
② Effects of NaCl concentration on seeling germination and seedling growth	195

③	Effects of dose of Highly Ion-Precipitated and Electolyzed water on seeling germination and seedling growth	197
④	Effects of acid water on fresh weight of soy bean seedling	198
⑤	Effects of alkali water on fresh weight of soy bean seedling	199
⑥	Effects of Highly Ion-Precipitated and Electolyzed Water on growth stem length of soy bean seedling	200
(3)	Damage action of Highly Ion-Precipitated and Electolyzed Water on Seedling Leaves	201
①	Damage action of strong acid water on treating time on Chlorophyll Content of seedling leaves	201
②	Damage action of strong acid water treating time on Soluble protein content of seedling leaves	202
③	Additive effect in Highly Ion-Precipitated and Electolyzed Water on Chlorophyll Content of seedling leaves	203
④	Damage action of pH of Highly Ion-Precipitated and Electolysed Water on Chlorophyll Fluorescence of seedling leaves	204
⑤	Damage action of strong acid water treating time on Chlorophyll Fluorescence of seedling leaves	205
(4)	Damage action of Highly Ion-Precipitated and Electolysed Water on Barley Seeling Germination and Seedling Leaves	206
①	Damage action of strong acid water on barley seeling germination	207
②	Damage action of strong acid water on Chlorophyll Content of barley seedling leaves	208
③	Damage action of strong acid water on Chlorophyll Fluorescence of barley seedling leaves	209
3.5	Chapter Conclusions	214
(1)	Seedling germination enhancing effects of Highly Ion-Preci pitated and Electolysed Water	214
(2)	Seedling growth stimulation effects of	

Highly Ion-Precipitated and Electolysed Water	214
(3) Seedling growth stimulation effects of damage action on Chlorophyll fluorescence pattern of Highly Ion-Precipitated and Electolysed Water	214
(4) Effects of Highly Ion-Precipitated and Electolysed Water on Photosynthesis activation of barley leaf	215
3.6 References	216
 Chapter 4. Effects of Highly Ion-Precipitated and Electrolyzed Water on Minimizing Disease Injury of <i>Wasabia japonica</i> Mtsum	219
4.1 Introduction	219
4.2 Experimental Methods and Material Preparations	221
(1) Experimental Methods and Preparations for Disease Injury	221
(2) Experimental Methods and Preparations Growth Hastering and Damage from Highly Ion-Precipitated and Electrolyzed Water	221
4.3 Results and Discussions	223
(1) Effect of Highly Ion-Precipitated and Electrolyzed Water on Inactivation of <i>Phoma wasabiae</i>	223
(2) Effect of Highly Ion-Precipitated and Electrolyzed Water on Growth Hastening and Damage of wasabi	223
4.4 Chapter Conclusions	238
4.5 References	239
 Chapter 5. Effects of Highly Ion-Precipitated and Electrolyzed Water on Minimizing Disease Injury of Hot pepper(<i>C. annuum</i>)	240
5.1 Introduction	240
5.2 Materials and Methods	242
(1) Tested isolate	242
(2) Preparation of Highly Ion-Precipitated and Electrolyzed Water	242
(3) Growth of zoospores and spores as affected by acidic electrolytic water	244

(4) Effects of acidic electrolytic water on controlling disease, <i>P. capsici</i> , of Hot pepper(<i>C. annuum</i>)	244
(5) Promoting effects of germination as affected by electrolytic water in Hot pepper(<i>C. annuum</i>)	245
(6) Effects of electrolytic water on early growth of Hot pepper (<i>C. annuum</i>) with solution culture	245
(7) Effects of electrolytic water on major disease of Hot pepper(<i>C. annuum</i>)	246
(8) Effects of electrolytic water on different cultural practices	247
(9) Demonstrated habitual trials for two disease, <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> and <i>P. capsici</i> ,	247
5.3 Results and Discussions	248
(1) Growth of zoospores and spore as affected by acidic electrolytic water	248
(2) Inhibiting effects on <i>P. capsici</i> , as affected by electrolytic water in Hot pepper(<i>C. annuum</i>)	252
(3) Simulating effects on germination of Hot pepper (<i>C. annuum</i>) as affected by electrolytic water	256
(4) Effects of electrolytic water on early growth of Hot pepper (<i>C. annuum</i>) with solution culture	260
(5) Controlling effects of major diseases in Hot pepper(<i>C. annuum</i>)	266
(6) Controlling effects of disease injury as affected by different cultural practices in Hot pepper(<i>C. annuum</i>)	279
(7) Demonstrated habitual trials for two disease, <i>C. gloeosporioides</i> and <i>P. capsici</i> ,	284
5.4 Chapter Conclusions	286
5.5 References	288
Chapter 6. Conclusions	289
6.1 Research and Development of Highly Ion-Precipitated and Electrolyzed Water and Field Test of House Plants	289
6.2 considerations for Applications	292

목 차

제 출 문	1
요 약 문	2
SUMMARY	12
CONTENTS	19
목 차	24
그림 및 표 목록	30
제 1 장 서 론	43
제1절 연구개발의 목적과 범위	43
1. 연구개발의 필요성	43
가. 기술적 측면	43
나. 경제, 산업적 측면	43
2. 국내외 관련 기술의 현황과 문제점	44
가. 국내 관련 기술현황	44
나. 국외 관련 기술현황	44
3. 초고농도 이온수의 발생원리와 효능	45
가. 초고농도 이온수의 발생원리	45
나. 초고농도 이온수의 효능	45
4. 앞으로의 전망	46
제2절 연구개발의 목표 및 내용	47
1. 최종목표 및 내용	47
2. 연차별 연구개발 목표와 내용	47
제 2 장 고효율 초고농도 이온수 제조장치 설계제작 및 개발	49
제1절 서 론	49
제2절 수중 이온수 발생의 이론적 고찰	50
1. 수중 이온의 반응	50
2. 전기 이중층의 두께	52
3. 수중 이온의 이동속도	54

4. 유전체 소구 증진에 의한 전계집중효과와 기포방전효과	55
5. 슬릿형 전극에 의한 전계집중효과, 기포방전효과 및 공간전하제어효과	57
제3절 실험장치 및 방법	61
1. 강이온수 발생장치	61
2. 유전체 소구 증진에 의한 강이온수 발생장치	65
3. 슬릿형 평행평판전극계에 의한 강이온수 발생장치	67
4. 3전극형 평행평판전극계에 의한 강이온수 발생장치	70
제4절 실험결과 및 고찰	75
1. 펄스지속시간에 의한 강이온수 발생특성	75
2. 유전체 소구가 증진된 전해장치의 강이온수 발생특성	79
3. 슬릿형 평행평판전극계에 의한 강이온수와 산화성물질 발생특성	93
가. 슬릿형 평행평판전극계의 강이온수 발생특성	93
나. 슬릿형 평행평판전극계의 산화성물질 발생특성	117
다. 방치시간에 따른 산화성물질 분해특성	128
4. 3전극형 평행평판전극계에 의한 강이온수와 산화성물질 발생특성	130
가. 3전극형 평행평판전극계의 강이온수 발생특성	130
나. 3전극형 평행평판전극계의 산화성물질 발생특성	151
5. 본개발 이온수 장치와외국산 이온수 장치의 특성비교	155
제5절 결 론	157
참고문헌	161

제 3 장 시설채소 및 농작물의 초강이온수에 의한 발아 및 생장촉진효과 및 장해작용

164

제1절 서 론	164
제2절 강이온수가 발아 및 유식물의 생장에 미치는 영향	165
1. 연구수행방법	165
가. 초고농도 이온수 생성	165
나. 초고농도 이온수 처리	165
(1) 종자에 초고농도 이온수 직접처리	165
(2) 초고농도 이온수에 의한 대두의 초기생장	166
2. 연구내용 및 결과	167
가. 초고농도 이온수가 유식물의 발아 및 생장에 미치는 영향	167
(1) 초고농도 이온수에 종자직접처리	167

(가) 대두의 발아율	167
(나) 오이의 발아율	168
(다) 고추의 발아율	169
나. 초고농도 이온수에 의한 대두의 초기생장효과	170
(1) 대두의 생장길이	170
(2) 대두의 생체량	171
(3) 대두의 엽록소 함량변화	172
(4) 대두의 생체량, 건량비교	173
제3절 초고농도 이온수가 유식물의 발아, 생장 및 엽록소 형광 pattern에 미치는 영향	175
1. 연구수행방법	175
가. 적용농작물 재료	175
(1) 대두	175
(2) 보리	175
나. 초고농도 이온수 처리	175
(1) 대두의 발아에 미치는 초고농도 이온수의 영향	175
(2) 보리의 발아에 미치는 초고농도 이온수의 영향	175
다. 유식물의 생장 측정	176
라. 엽록소의 형광측정	176
2. 연구내용 및 결과	177
가. 초고농도 이온수가 대두와 보리의 발아에 미치는 영향	177
(1) 대두의 초고농도 이온수중의 발아율	177
(2) 보리의 초고농도 이온수중의 발아율	178
나. 초고농도 이온수가 대두와 보리의 생장에 미치는 영향	179
(1) 대두의 생장	179
(2) 보리의 생장	180
다. 초고농도 이온수의 PH가 대두와 보리의 엽록소 형광 pattern에 미치는 영향	183
(1) 대두에 초고농도 이온수의 PH가 미치는 영향	183
(2) 보리의 잎에 초고농도 이온수의 PH가 미치는 영향	187
제4절 초고농도 이온수가 시설채소 및 농작물에 미치는 영향	191
1. 실험재료 및 방법	191
가. 초고농도 산성 이온수 제조	191
나. 실험재료	191
다. 가용성 단백질 측정	191

라. 엽록소 함량 측정	192
마. 엽록소 a형광 측정	192
2. 초고농도 이온수가 대두의 발아와 유식물에	
미치는 성장촉진 및 장애작용 검토	193
가. 초고농도 이온수가 대두의 발아와 초기생장에	
미치는 영향	193
나. 초고농도 이온수 중의 NaCl농도가 대두의 발아와 생장에	
미치는 영향	195
다. 초고농도 이온수 적용량이 대두의 발아와 생장에	
미치는 영향	197
라. 초고농도 산성 이온수가 콩나물 콩의 생체량 증가에	
미치는 영향	198
마. 초고농도 알칼리성 이온수가 콩나물 콩의 생체량 증가에	
미치는 영향	199
바. 초고농도 이온수가 콩나물 콩의 길이생장에	
미치는 영향	200
3. 초고농도 이온수가 와사비 잎의 생리적 장애에	
미치는 영향	201
가. 이온수의 처리시간에 따른 와사비잎의	
엽록소 함량변화	201
나. 이온수의 처리시간에 따른 와사비잎의	
가용성 단백질 함량변화	202
다. 일정한 이온수 제조전류와 전압으로 제조된 이온수중의	
NaCl, KCl, MgCl ₂ , MgSO ₄ , CaCl ₂ 가 와사비잎의	
엽록소 형광에 미치는 영향	203
라. 이온수의 PH가 와사비잎의 엽록소 형광에	
미치는 영향	204
마. 이온수의 처리시간에 따른 와사비잎의 엽록소 형광에	
미치는 영향	205
4. 초고농도 산성 이온수가 보리 종자의 발아 및	
보리잎의 생리적 장애작용에 미치는 영향	206
가. 산성 이온수가 보리 종자의 발아에 미치는 영향	207
나. 산성 이온수가 보리잎의 엽록소 함량에 미치는 영향	208
다. 산성 이온수가 보리잎의 엽록소 형광에 미치는 영향	209

제5절 시설채소 및 농작물의 강이온수에 의한 발아 및 생장 촉진효과와 장애작용의 실험결론	214
1. 이온수에 의한 발아특성	214
2. 이온수에 의한 초기생장특성	214
3. 이온수가 유식물의 생장 alcc 엽록소 형광 pattern에 미치는 영향	214
4. 강산성 이온수가 보리잎의 광합성 활성화에 미치는 영향	215
참고문헌	216
제 4 장 초고농도이온수의 고추냉이의 생육 및 병해방지효과	219
제1절 서 론	219
제2절 실험재료 및 방법	221
1. 고추냉이의 검은 썩음병 살균효과 실험재료 및 방법	221
2. 고추냉이의 초고농도 이온수 중의 생육 및 장애검토 실험재료 및 방법	221
제3절 실험결과 및 고찰	223
1. 초고농도 산성이온수의 고추냉이의 검은 썩음병균 살균효과	223
2. 초고농도 산성이온수의 고추냉이의 생육 및 장애작용의 실험적 검토	223
가. 엽의 성장량 비교	226
나. 줄기의 성장량 비교	229
다. 뿌리의 성장량 비교	231
라. 생존율비교	232
마. 무기토양성분의 변화	233
제4절 실험결과 및 결론	233
참고문헌	239
제 5 장 초고농도 이온수의 고추 병해방지 효과	240
제1절 서 론	240
제2절 재료 및 방법	242
1. 공시균주	242
2. 산성이온수 제조	242

3. 산성이온수 처리에 의한 유주자 및 포자의 발육	244
4. 산성이온수 처리에 의한 고추역병 발병억제	244
5. 이온수 처리에 의한 고추 발아 촉진효과	245
6. 이온수 처리에 의한 고추 양액재배시 초기생장 촉진효과	245
7. 고추의 주요 병에 대한 이온수 효과	246
8. 재배형태에 따른 이온수의 고추 병 방지 효과	247
9. 역병 및 탄저병 발생 상습지 실증시험	247
제3절 실험결과 및 고찰	248
1. 산성이온수 처리에 의한 역병 유주자 및 탄저병포자 발육	248
2. 산성이온수 처리에 의한 고추역병 발병억제	252
3. 이온수 처리에 의한 고추 발아 촉진효과	256
4. 이온수 처리에 의한 고추 양액재배시 초기생장 촉진효과	260
5. 고추 주요 병에 대한 이온수의 효과	266
6. 재배형태에 따른 고추 병해 방지 효과	279
7. 역병 및 탄저병 발생 상습지 실증시험	284
제4절 실험결과 및 결론	286
참고문헌	288
제 6 장 연구결과 종합결론	289
1. 이온수 장치 개발 및 농작물 실증연구결과	289
2. 연구결과의 활용검토	292

그림 및 표 목록

제 2 장 그림 및 표 목록

그림 2.1 pH에 따른 활성 염소의 변화

Fig. 2.1 Change of active NaCl for pH.

그림 2.2 전기 이중층의 개략도와 전위분포

Fig. 2.2 Schematic diagram and potential distribution of electrical double layer.

그림 2.3 유전체 소구가 충전된 평판전극에서 발생한 기포의 형태와 전기력선

Fig. 2.3 Closeup configuration of electrolytic gas generation and electric fields with ferroelectric pellets bedded type electrode.

그림 2.4 슬릿형 평판전극에서 발생한 기포에 인가된 전기

Fig. 2.4 Applied electric field in gas bubbles

그림 2.5 슬릿형 평판전극에서 발생한 기포의 형태와 전기력선

Fig. 2.5 Closeup configuration of slit type electrode where electrolytic gas generation and electric fields.

그림 2.6 수중 공간전하들의 이동모습

Fig. 2.6 Migration figure of space charges in water.

그림 2.7 구형파펄스회로의 개략도

Fig. 2.7 Schematic diagram of square wave pulse circuit.

그림 2.8 구형파펄스 전원장치

Fig. 2.8 Square wave pulse power device.

그림 2.9 구형파펄스전원의 출력전압과 전류의 파형

Fig. 2.9 Oscillograms of square wave pulse output voltage.

그림 2.10 실험장치와 강이온수 발생장치

Fig. 2.10 Experimental setup and strong electrolyzed water generation reactor.

그림 2.11 강이온수 발생장치

Fig. 2.11 Strong electrolyzed water generation reactor.

그림 2.12 전해조와 유전체 소구가 충전된 소자의 개략도

Fig. 2.12 Schematic diagram of electrolytic cell and ferroelectric pellets bedded cell.

그림 2.13 슬릿형 평행평판전극계의 실험장치 개략도

Fig. 2.13 Schematic diagram of experimental setup of slit type plate-to-plate electrode.

그림 2.14 슬릿형 평행평판전극의 구조

Fig. 2.14 Structure of slit type plate-to-plate electrode.

그림 2.15 3전극형 강이온수발생장치의 개략도

Fig. 2.15 Schematic diagram of experimental setup of 3rd electrode type strong electrolyzed water generation system.

그림 2.16 슬릿형 평행평판전극의 구조

Fig. 2.16 Structure of slit type plate-to-plate electrode.

그림 2.17 3전극형 강이온수 발생장치

Fig. 2.17 3rd Electrode type strong electrolyzed water generation reactor.

그림 2.18 실험장치와 강이온수 발생장치

Fig. 2.18 Experimental setup and strong electrolyzed water generation reactor.

그림 2.19 수도수에서 펄스지속시간 변화에 따른 소자의 I-V특성

Fig. 2.19 I-V characteristics of cell for various pulse on-times in tap water.

그림 2.20 수도수에서 펄스지속시간 변화에 따른 소자의 수소이온농도-전류특성

Fig. 2.20 pH-I characteristics of cell for various pulse on-times in tap water.

그림 2.21 수도수에서 소자의 수소이온농도-펄스지속시간특성

Fig. 2.21 pH- t_{on} characteristics of cell in tap water.

그림 2.22 수도수에서 다른 종류의 유전체 소구가 충전된 소자의 I-V특성

Fig. 2.22 I-V characteristics of different dielectric pellets bedded cell in tap water.

그림 2.23 수도수에서 다른 종류의 유전체 소구가 충전된 소자의 수소이온농도-전류특성

Fig. 2.23 pH-I characteristics of different dielectric pellets bedded cell in tap water.

그림 2.24 수중 유속변화에 의한 소자의 수소이온농도-전류특성

Fig. 2.24 pH-I characteristics of cell with various water flow rate.

그림 2.25 염화나트륨 중량비에 의한 소자의 물 저항특성

Fig. 2.25 Water resistance characteristics of cell for various contents of NaCl.

그림 2.26 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에 다른 종류의 유전체 소구가 충전된 경우 소자의 전류-전압특성

Fig. 2.26 I-V characteristics of different dielectric pellets bedded cell in 0.1[wt%] NaCl dissolved tap water.

그림 2.27 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에 다른 종류의 유전체 소구가 충전된 경우 소자의 수소이온농도-전류특성

Fig. 2.27 pH-I characteristics of different dielectric pellets bedded cell in 0.1[wt%] NaCl dissolved tap water.

그림 2.28 수도수에서 슬릿개수변화에 따른 소자의 전류-전압특성

Fig. 2.28 I-V characteristics of cell for various numbers of slits in tap water.

그림 2.29 수도수에서 슬릿개수변화에 따른 소자의 수소이온농도-전류특성

Fig. 2.29 pH-I characteristics of cell for various numbers of slits in tap water.

그림 2.30 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 슬릿개수변화에 따른 소자의 전류-전압특성

Fig. 2.30 I-V characteristics of cell for various numbers of slits in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.

그림 2.31 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 슬릿개수변화에 따른 소자의 수소이온농도-전류특성

Fig. 2.31 pH-I characteristics of cell for various numbers of slits in 0.1[wt%] NaCl dissolved tap water.

그림 2.32 30시간 사용 후 산화철 부착에 의한 이온분리막의 오손

Fig. 2.32 Contamination of ion exchange membrane by attachment of iron oxide after 30 hours' using.

그림 2.33 수도수에서 슬릿개수변화에 따른 소자의 수소이온농도특성

Fig. 2.33 pH characteristics of cell for various numbers of slits in tap water.

그림 2.34 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 슬릿개수변화에 따른 소자의 수소이온농도특성

Fig. 2.34 pH characteristics of cell for various numbers of slits in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.

그림 2.35 수도수에서 인가 전류에 의한 소자의 온도특성

Fig. 2.35 Temperature-I characteristics for cell in tap water.

그림 2.36 수도수에서 슬릿개수변화에 따른 소자의 수소이온농도-전압특성

Fig. 2.36 pH-V characteristics of cell for various numbers of slits in tap water.

그림 2.37 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 슬릿개수변화에 따른 소자의 수소이온농도-전압특성

Fig. 2.37 pH-V characteristics of cell for various numbers of slits in 0.1[wt%] NaCl dissolved tap water.

그림 2.38 수도수에서 양전극측의 산성수에 의한 총산화성물질-전류특성

Fig. 2.38 Total oxidant-I characteristics for acid water of positive electrode side in tap water.

그림 2.39 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 양전극측의 산성수에 의한 총산화성물질-전류특성

Fig. 2.39 Total oxidant-I characteristics for acid water of positive electrode side in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.

그림 2.40 수도수에서 음전극측의 알카리수에 의한 총산화성물질-전류특성

Fig. 2.40 Total oxidant-I characteristics for alkali water of negative electrode side in tap water.

그림 2.41 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 음전극측의 알카리수에 의한 총산화성물질-전류특성

Fig. 2.41 Total oxidant-I characteristics for alkali water of negative electrode side in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.

그림 2.42 수도수와 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 방치시간에 따른 총산화성물질 분해특성

Fig. 2.42 Total oxidant decomposition characteristics with time in tap water and 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.

그림 2.43 수도수에서 3전극을 설정하지 않은 소자의 I-V특성

Fig. 2.43 I-V characteristics of cell without 3rd electrode in tap water.

그림 2.44 수도수에서 3전극을 설정하지 않은 소자의 pH-I특성

Fig. 2.44 pH-I characteristics of cell without 3rd electrode in tap water.

그림 2.45 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 3전극을 설정하지 않은 소자의 I-V특성

Fig. 2.45 I-V characteristics of cell without 3rd electrode in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.

그림 2.46 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 3전극을 설정하지 않은 소자의 pH-I특성

Fig. 2.46 pH-I characteristics of cell without 3rd electrode in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.

그림 2.47 수도수에서 3전극만 설정한 경우 이온분리막과 3전극간 거리에 따른 소자의 I-V특성

Fig. 2.47 I-V characteristics of cell with different 3rd electrode spacing in tap water.

그림 2.48 수도수에서 3전극만 설정한 경우 이온분리막과 3전극간 거리에 따른 소자의 I-V특성

Fig. 2.48 pH-I characteristics of cell with different 3rd electrode spacing in tap water.

그림 2.49 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 3전극만 설정한 경우 이온분리막과 3전극간 거리에 따른 소자의 I-V특성

Fig. 2.49 I-V characteristics of cell with different 3rd electrode spacing in 0.1[wt%] NaCl dissolved tap water.

그림 2.50 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 3전극만 설정한 경우 이온분리막과 3전극간 거리에 따른 소자의 pH-I특성

Fig. 2.50 pH-I characteristics of cell with different 3rd electrode spacing in 0.1[wt%] NaCl dissolved tap water.

그림 2.51 수도수에서 펄스지속시간변화에 따른 소자의 I-V특성

Fig. 2.51 I-V characteristics of cell for various t_{on} in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.

그림 2.52 수도수에서 펄스지속시간변화에 따른 소자의 pH-I특성

Fig. 2.52 pH-I characteristics of cell for various t_{on} in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.

그림 2.53 수도수에서 3전극거리변화에 따른 소자의 I-V특성

Fig. 2.53 I-V characteristics of cell for various 3rd electrode spacings in tap water.

그림 2.54 수도수에서 3전극거리변화에 따른 소자의 pH-I특성

Fig. 2.54 pH-I characteristics of cell for various 3rd electrode spacings in tap water.

그림 2.55 수도수에서 3전극거리변화에 따른 소자의 pH-V특성

Fig. 2.55 pH-V characteristics of cell for various 3rd electrode spacings in tap water.

그림 2.56 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 3전극거리변화에 따른 소자의 I-V특성

Fig. 2.56 I-V characteristics of cell for various 3rd electrode spacings in 0.1[wt%]NaCl dissolved tap water.

그림 2.57 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 3전극거리변화에 따른 소자의 pH-I특성

Fig. 2.57 pH-I characteristics of cell for various 3rd electrode spacings in 0.1[wt%]NaCl dissolved tap water.

그림 2.58 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 3전극거리변화에 따른 소자의 pH-V

Fig. 2.58 pH-V characteristics of cell for various 3rd electrode spacings in 0.1[wt%]NaCl dissolved tap water.

그림 2.59 수도수에서 3전극의 슬릿개수변화에 따른 소자의 I-V특성

Fig. 2.59 I-V characteristics of cell for various number of slit on 3rd electrode in tap water.

그림 2.60 수도수에서 3전극의 슬릿개수변화에 따른 소자의 pH-I특성

- Fig. 2.60 pH-I characteristics of cell for various number of slit on 3rd electrode in tap water.
- 그림 2.61 수도수에서 3전극의 슬릿개수변화에 따른 소자의 pH-V특성
- Fig. 2.61 pH-V characteristics of cell for various number of slit on 3rd electrode in tap water.
- 그림 2.62 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 3전극의 슬릿개수변화에 따른 소자의 I-V특성
- Fig. 2.62 I-V characteristics of cell for various number of slit on 3rd electrode in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.
- 그림 2.63 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 3전극의 슬릿개수변화에 따른 소자의 pH-I특성
- Fig. 2.63 pH-I characteristics of cell for various number of slit on 3rd electrode in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.
- 그림 2.64 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 3전극의 슬릿개수변화에 따른 소자의 pH-V특성
- Fig. 2.64 pH-V characteristics of cell for various number of slit on 3rd electrode in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.
- 그림 2.65 수도수에서 control과 3전극형 소자의 산화성물질-전류특성
- Fig. 2.65 Oxidant-I characteristics of cell for control and 3rd electrode type in tap water.
- 그림 2.66 수도수에서 control과 3전극형 소자의 산화성물질-전압특성
- Fig. 2.66 Oxidant-V characteristics of cell for control and 3rd electrode type in tap water.
- 그림 2.67 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 control과 3전극형 소자의 산화성물질-전류특성
- Fig. 2.67 Oxidant-I characteristics of cell for control and 3rd electrode type in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.
- 그림 2.68 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 control과 3전극형 소자의 산화성물질-전압특성
- Fig. 2.68 Oxidant-V characteristics of cell for control and 3rd electrode type in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.

표 2.1 본 개발장치의 외국산 장치와의 특성비교표

Table 2.1 Comparative table of developed electrolytic system and foreign one

제 3 장 그림 및 표 목록

- 그림 3.1 강산성수가 대두의 성장에 미치는 영향
Fig. 3.1 Effect of acidic water on soy bean growth
- 그림 3.2 강산성수의 pH에 따른 대두의 발아율 특성
Fig. 3.2 Germination rate of soy bean in different acidic water
- 그림 3.3 강알칼리성수의 pH에 따른 대두의 발아율 특성
Fig. 3.3 Germination rate of soy bean in different alkali water
- 그림 3.4 강산성수의 pH에 따른 오이의 발아율 특성
Fig. 3.4 Germination rate of cucumber in different acidic water
- 그림 3.5 강알칼리수의 pH에 따른 오이의 발아율 특성
Fig. 3.5 Germination rate of cucumber in different alkali water
- 그림 3.6 강산성수의 pH에 따른 고추의 발아율 특성
Fig. 3.6 The number of germinated red pepper in different acidic water
- 그림 3.7 강알칼리수의 pH에 따른 고추의 발아율 특성
Fig. 3.7 The number of germinated red pepper in different alkali water
- 그림 3.8 pH에 따른 대두의 초기 성장특성
Fig. 3.8 The length of soy bean in different pH
- 그림 3.9 pH에 따른 대두의 일정기간 생체량 특성
Fig. 3.9 Fresh weight of soy bean in different pH
- 그림 3.10 pH에 따른 대두의 엽록체 상대적 함량 변화 특성
Fig. 3.10 Relative chlorophyll content of soy bean in different pH using SPAD-502
- 그림 3.11 pH에 따른 대두를 잎, 줄기, 뿌리 부분의 생체량
Fig. 3.11 Fresh weight of soy bean in different pH
- 그림 3.12 pH에 따른 대두를 잎, 줄기, 뿌리 부분의 건량
Fig. 3.12 Dry weight of soy bean in different pH
- 그림 3.13 pH에 따른 대두의 발아율 특성
Fig. 3.13 Germination rate of soy beans in different pH
- 그림 3.14 pH에 따른 보리의 발아율 특성
Fig. 3.14 Germination of Barley in different pH
- 그림 3.15 pH에 따른 대두의
Fig. 3.15 Photo of growing soy bean in different pH
- 그림 3.16 pH에 따른 보리의 성장 사진
Fig. 3.16 Photo of Growing barley in different pH

- 그림 3.17 pH에 따른 보리 줄기의 생장길이특성
 Fig. 3.17 The Length of barley stem in different pH
- 그림 3.18 pH에 따른 대두의 형광량 특성
 Fig. 3.18 Relative fluorescence yield of soy bean as a function of pH
- 그림 3.19 pH에 따른 대두의 Fv/Fm 특성
 Fig. 3.19 Fv/Fm of soy bean as a function of pH
- 그림 3.20 pH에 따른 대두의 퀀칭 특성
 Fig. 3.20 Quenching coefficient of soy bean as a function of pH
- 그림 3.21 pH에 따른 대두의 형광량 특성
 Fig. 3.21 Relative fluorescence yield of soy bean as a function of pH
- 그림 3.22 pH에 따른 대두의 Fv/Fm 특성
 Fig. 3.22 Fv/Fm of soy bean as a function of pH
- 그림 3.23 pH에 따른 대두의 퀀칭 특성
 Fig. 3.23 Quenching coefficient of soy bean as a function of pH
- 그림 3.24 pH에 따른 보리의 형광량 특성
 Fig. 3.24 Relative fluorescence yield of barley as a function of pH
- 그림 3.25 pH에 따른 보리의 Fv/Fm 특성
 Fig. 3.25 Fv/Fm of barley as a function of pH
- 그림 3.26 pH에 따른 보리의 퀀칭 특성
 Fig. 3.26 Quenching coefficient of barley as a function of pH
- 그림 3.27 pH에 따른 보리의 형광량 특성
 Fig. 3.27 Relative fluorescence yield of barley as a function of pH
- 그림 3.28 pH에 따른 보리의 Fv/Fm 특성
 Fig. 3.28 Fv/Fm of barley as a function of pH
- 그림 3.29 pH에 따른 보리의 퀀칭 특성
 Fig. 3.29 Quenching coefficient of barley as a function of pH
- 그림 3.30 이온수가 콩의 초기생장에 미치는 영향.
 Fig. 3.30 Effect of pH on growth of soy bean seedling
- 그림 3.31 산성 이온수가 콩나물 콩의 생체량 증가에 미치는 영향
 Fig. 3.31 Effect of acid water of fresh weight on soy bean seedling
 as a function of growing days
- 그림 3.32 알카리 이온수가 콩나물 콩의 생체량 증가에 미치는 영향
 Fig. 3.32 Effect of alkali water of fresh weight on soy bean seedling
 as a function of growing days
- 그림 3.33 이온수가 콩나물 콩의 길이 생장에 미치는 영향

Fig. 3.33 Length of soy bean seedling as a function of pH

그림 3.34 산성이온수 처리시간에 따른 와사비잎의 엽록소 함량변화

Fig. 3.34 Effect of ion water on Chlorophyll content of wasabi leaves as a function of the treatment time.

그림 3.35 산성이온수 처리시간에 따른 와사비잎의 가용성 단백질 함량변화

Fig. 3.35 Effect of ion water on soluble protein content of wasabi leaves as a function of the treatment time.

그림 3.36 산성이온수의 처리시간 변화에 따른 와사비잎의 엽록소 형광 변화

Fig. 3.36 Effect of ion water on chlorophyll fluorescence of wasabi leaves as a function of treatment time.

그림 3.37 산성이온수의 처리시간 변화에 따른 와사비잎의 퀘칭비 변화

Fig. 3.37 Effect of ion water on quenching coefficient of wasabi leaves as a function of treatment time.

그림 3.38 발아일수 경과에 따른 보리종자발아에 미치는 강산성이온수의 영향

Fig. 3.38 Effects of acidic ion water on germination rate of barley seed as a function of germinated days.

그림 3.39 처리시간변화에 따른 보리잎의 엽록소함량에 미치는 강산성이온수의 영향

Fig. 3.39 Effects of acidic ion water (pH 2.5) on chlorophyll contents of barley leaves as a function of treatment time.

그림 3.40 처리시간변화에 따른 보리잎 엽록소 형광에 미치는 강산성수의 영향

Fig. 3.40 Effects of strong acidic ion water (pH 2.5) on chlorophyll a fluorescence of barley leaves as a function of treatment time.

그림 3.41 처리시간변화에 따른 보리잎의 형광퀘칭계수에 미치는 강산성수의 영향

Fig. 3.41 Effects of acidic ion water on the fluorescence quenching coefficients of barley leaves as a function of treatment time.

그림 3.42 보리잎의 엽록소 형광, 총엽록소함에 미치는 강산성수의 영향

Fig. 3.42 Effects of acidic ion water on chlorophyll a fluorescence, total chlorophyll content of barley leaves as a function of pH.

표 3.1 0.01 M NaCl이 포함된 원수로 제조한 이온수의 pH에 따라 콩의 생장과
생장상태에 미치는 영향 조사.

Table 3.1 Effect of dose and pH on seed germination and seedling growth of
soy bean in 0.01 M NaCl dissolved water.

표 3.2 일정한 전류와 전압하에서 이온수 제조시 사용한 원수에 포함된 NaCl의

농도에 따라 생성된 양 및 음이온수가 콩의 발아율과 생장에 미치는 영향

Table 3.2 Effect of pH and NaCl additives on seed germination and seedling growth of soy bean

표 3.3 이온수의 양을 달리하여 콩의 발아 및 생장을 및 성장상태에 미치는 영향

Table 3.3 Effect of dose and pH on seed germination and seedling growth of soy bean.

표 3.4 일정한 전류와 전압하에서 이온수 제조시 각각 0.05 M의 NaCl, KCl, MgCl₂, MgSO₄, CaCl₂이 포함된 원수로 생성된 양이온수에 와사비잎을 30분간 처리했을 때 엽록소 형광에 미치는 영향

Table 3.4 Effect of Additives in ion water on Chlorophyll fluorescence of wasabi leaves

표 3.5 강산성이온수의 pH에 따른 와사비잎의 엽록소 형광 변화 조사

Table 3.5 Effect of strong acid water on Chlorophyll fluorescence of wasabi leaves

표 3.6 보리잎의 엽록소형광, 총엽록소함량에 미치는 이온수 pH, HCl 그리고 NaCl의 영향

Table 3.6 Effects of ion water, HCl and NaOH on chlorophyll fluorescence, total chlorophyll content of barley leaves

제 4 장 그림 및 표 목록

그림 4.1 고추냉이 실험 포장

Fig. 4.1 Photos of wasabi field tested

그림 4.2 고농도 이온수 처리구와 대조구 고추냉이 시험 시료

Fig. 4.2 sample wasabi treated by strong ion water and controlled

그림 4.3 강산성 및 강알칼리성수 처리하여 재배한 고추냉이 시료 비교사진

Fig. 4.3 Comparisons of wasabi treated by strong acid and alkali water

그림 4.4 시기별 엽중의 변화

Fig. 4.4 Change of leaf weight

그림 4.5 시기별 엽수의 변화

Fig. 4.5 Change of leaf number per plant

그림 4.6 시기별 엽폭의 변화

Fig. 4.6 Change of leaf width

그림 4.7 시기별 엽병의 길이변화

Fig. 4.7 Change of petiole length

그림 4.8 시기별 엽병의 무게 변화

Fig. 4.8 Change of petiole weight

그림 4.9 시기별 뿌리의 무게 변화

Fig. 4.9 Change of root weight

그림 4.10 고농도이온수에 의한 고추냉이의 생육실험 사진

Fig. 4.10 Photos of wasabi treated by strong acid and alkali water

그림 4.11 강산성수중(pH2.5)에 풋트재배한 고추냉이 유식물의 생존특성

Fig. 4.11 Survival characteristics of wasabi according to duration of treatment of strong acid water of pH2.5 when cultivated in pot by upland-cultivation method

표 4.1 강산성 이온수처리시간에 따른 고추냉이 검은썩음병균의 생존율

Table 4.1 Survival rate of spores of *Phoma wasabiae* after treating strong acid water of pH2.5

표 4.2 수확조사후 남은 처리구에 대한 생존율

Table 4.2 Proportion of alive plants at 20th August

표 4.3 각 처리별 토양의 무기성분 분석 결과

Table 4.3 Chemical composition of soil(me/100g)

표 4.4 강산성이온수중에 풋트재배한 고추냉이 유식물의 생육특성

Table 4.4 Growth characteristics of wasabi according to duration of treatment of strong acid water of pH2.5 when cultivated in pot by water-cultivation method

표 4.5 강산성수중에 풋트재배한 고추냉이 유식물의 생존율

Table 4.5 Survival rate of wasabi according to duration of treatment of strong acid water of pH2.5 when cultivated in pot by upland-cultivation method

표 4.6 고농도 산성수 및 알칼리수로 120 min/day로 처리한 고추냉이 유식물의 생육특성

Table 4.6 Survival rate of wasabi when treated 120 min/day by ion water after transplanted

제 5 장 그림 및 표 목록

그림 5.1 펄스전류에 따른 전해수의 pH 및 총산화성물질량 특성

Fig. 5.1 Output pH and total oxidants in electrolytic water according to the function of applied pulse current

- 그림 5.2 역병 유주자의 발육에 있어서 강이온수의 48시간 처리시의 영향
 Fig. 5.2 Effect of electrolytic water on zoospores growth of *Phytophthora capsici* after 48 hours incubation on PDA
- 그림 5.3 역병균 접종 20일 후 고추뿌리의 감염에 미치는 산성이온수의 영향
 Fig. 5.3 Effect of electrolytic water on root rot of red pepper plants at 20 days after inoculation with *Phytophthora capsici* (10^3 zoo- spores/ml)
 A: Electrolytic water (pH 2.5), B: Sterilized water (pH 6.5)
- 그림 5.4 산성이온수의 pH 따른 고추종자 발아율의 변화
 Fig. 5.4 Changes of seed germination as affected by acidic electrolytic water in hot pepper (*C. annuum*)
- 그림 5.5 알칼리 이온수의 pH 따른 고추종자 발아율의 변화
 Fig. 5.5 Changes of seed germination as affected by alkali electrolytic water in hot pepper (*C. annuum*)
- 그림 5.6 19일 후 pH 수준에 따른 강이온수의 고추종자 발아특성
 Fig. 5.6 Changes of seed germination on different pH levels of electrolytic water in hot pepper (*C. annuum*) for nineteen days
- 그림 5.7 이온수 처리에 의한 고추 양액재배시 초기생장 촉진효과
 Fig. 5.7 Early growth responses of seedlings as affected by different electrolytic waters for thirty days after transplanting.
- 그림 5.8 이식후 30일경과시 이온수의 pH에 따른 고추의 초기생장
 Fig. 5.8 Early growth of seedlings as affected by different electrolytic waters for thirty days after transplanting.
- 그림 5.9 이온수의 pH 수준별 고추 양액재배시 식물체내 무기성분의 흡수율
 Fig. 5.9 Composition of inorganic elements at different pH levels of electrolytic water in solution culture
- 그림 5.10 이온수+상토 재배시 pH 수준에 따른 식물체내 무기성분 흡수율
 Fig. 5.10 Composition of inorganic elements at different pH levels of electrolytic water in bed soil
- 그림 5.11 비닐하우스 내의 고추의 역병발병 상태
 Fig. 5.11 Overview of green house for *phytophthora* blight in hot pepper
- 그림 5.12 탄저병의 접종
 Fig. 5.12 Inoculation of *C. gloeosporioides*
- 그림 5.13 이온수의 농도별 처리방법에 따라 탄저병방제효과
 Fig. 5.13 Photos of controlling effects of *C. gloeosporioides* as affected by different pH levels of electrolytic water

그림 5.14 비닐하우스 내의 고추의 흰가루병발병 상태

Fig. 5.14 Overview of green house for powdery mildew in hot pepper

그림 5.15 역병 및 탄저병 상습지에서의 실증 시험

Fig. 5.15 Overview of habitual field *Phytophthora capsici*

표 5.1 역병 유주자의 발육에 미치는 강이온수의 영향

Table 5.1 Effect of electrolytic water on growth of *Phytophthora capsici* on PDA

표 5.2 탄저병 포자의 발육에 미치는 강이온수의 영향

Table 5.2 Effect of electrolytic water on growth of *Colletotrichum gloeosporioides* on PDA

표 5.3 고추역병 발병에 미치는 강이온수의 영향

Table 5.3 Effect of electrolytic water on occurrence of *phytophthora* blight of red pepper on pot

표 5.4 역병균 접종 20일 후 고추뿌리의 감염에 미치는 산성이온수의 영향

Table 5.4 Effect of electrolytic water on root rot of red pepper plants at 20 days after inoculation with *Phytophthora capsici*

표 5.5 이온수 pH 수준에 따른 고추종자 발아 특성

Table 5.5 Germination characteristics as affected by different pH levels

표 5.6 이온수 pH 수준별 처리에 따른 고추의 성장 해석

Table 5.6 Growth analysis as affected by different electrolytic water

표 5.7 1998년도 1년차 이온수의 농도별 처리방법에 따른 고추의 역병방제효과

Table 5.7 Controlling effects of *Phytophthora capsici*, as affected by different pH levels of electrolytic water and application methods(1998)

표 5.8 1999년도에 수정한 이온수의 pH 수준 및 처리방법에 따른 방제 효과

Table 5.8 Controlling effects of *Phytophthora capsici*, as affected by different pH levels of electrolytic water and application methods(1999)

제 1 장 서 론

제1절 연구개발의 목적과 범위

1. 연구개발의 필요성

가. 기술적 측면

UR 타결 및 WTO 체제 출범으로 농산물은 본격적인 국외 시장 개방화에 따라 영세한 국내 우리 농산물의 입지는 매우 미약하며, 경작 농민의 심리적 부담은 충격적인 실정이다. 이와 같은 무한 경쟁체제하에서의 우리 농산물의 경쟁력 확보를 위해서는 고품질 농작물의 효과적인 재배 기술개발이 가장 필수적이고 원천적인 것이라고 할 수 있다.

본 연구에서는 수도수 또는 지하수를 특수 전리 처리함으로써 농약과 같은 이차오염을 전혀 발생시키지 않으면서도 매우 뛰어난 살균효과^(2,3)가 있는 초고농도 음이온수(陽電極水)와, 발아⁽⁴⁾ 및 성장촉진능력⁽⁵⁾을 갖는 초고농도 양이온수(陰電極水)를 제조하여 시설농작물(특히, 고추)에 관개함으로써 우리 농산물의 고소득화는 물론 고품질화, 저생산비로 경쟁력도 갖게 하며, 또한 가장 안전하고 저렴하며 양질의 농작물(특히, 고추)을 국민에게 제공하고자 한다.

나. 경제, 산업적 측면

본 연구는 본 장치의 장점인 무공해성을 이용하여 가장 효과적이면서 안전한 농작물재배(특히, 고추)에의 응용, 즉, 강음이온수의 병해방지화, 강양이온수의 성장촉진효과⁽⁵⁾를 농작물(특히, 고추)에 적절히 적용할 수 있게 된다. 종자의 살균⁽³⁾이나 발아촉진⁽⁴⁾ 및 균일화, 배양수의 무공해살균 및 성장촉진화⁽⁵⁾, 수경재배수의 무공해적 이온밸런스 조절등 매우 다목적으로 광범위하게 적용할 수도 있게 된다. 그리고, 채소나 화훼, 과수등 기타 여러작물에의 폭넓은 응용이 가능하며, 보관, 저장, 종묘의 살균소독 및 성장촉진에 이르기까지 매우 광범위하게 적용할 수도 있게 된다.

그리고, 가축이나 가금 등의 축산에도 적용 가능하여 양이온수(약알칼리성의 경우 사료용 음용수⁽⁸⁾로 시판되고 있다)의 축산음용수로 건강과 성장촉진을, 그리고 음이온수로 축산분뇨 및 폐기물 살균소독 및 냄새제거에의 응용에 이르기까지 매우 효과적으로 적용될 수도 있을 것으로 사료된다.

2. 국내외 관련기술의 현황과 문제점

가. 국내 관련기술 현황

국내의 대학이나 연구기관에서 본연구 관련분야의 연구를 수행하는 곳은 전혀 알려져 있지 않다. 한편, 본 연구 총괄책임자는 박사과정논문이래 수년간 디젤배진용 전기집진장치 연구를 수행한 바 있으며⁽⁹⁻¹³⁾, 이는 공기중의 가스와 하전먼지(전자 또는 양이온 부착먼지)를 코로나 방전으로 부착제거법시키는 장치이다. 본 연구에서 수행하고자 하는 것은 수중의 하전입자를 강력한 고전압에 의해 양극과 음극에 각각 편향집속시키고 또한 전해시킴으로써 강산화성물질 발생과 ion이 풍부한 초고농도 이온수를 제조하는 기술이다. 이 기술은 본 연구책임자의 박사학위과정⁽⁹⁾ 이래 여러해 동안 수행해온 연구내용⁽¹⁰⁻¹³⁾을 수중에서 응용한 것이다. 즉, 공기중에서 이온을 집속하던 것을 본 연구에서는 수중에서 집속전해하는 것으로, 기술적으로 실현이 용이할 것으로 사료된다.

따라서, 이 기술을 고추재배시의 병해방제에 적용하여 무공해한 무농약고추를 재배하고자 하며, 이는 지난 2년간의 연구결과로 보아 매우 좋은 결과를 얻을 것으로 판단된다.

나. 국외 관련기술 현황

日本에서 이온수 제조기술이 제안되어 현재 연구되고 있는 것^(2,3)으로 알려져 있으나, 구체적인 기술내용은 기업의 이윤과 관련되어 미발표상태이며, 학계 등에서는 아직 발표된 것이 검색되지 않고 있는 실정이며, 다만 일부병균(대장균 등)의 살균효과와 일부식물의 성장촉진 효과에 대한 결과가 수편 발표^(2,3)되고 있는 실정이다.

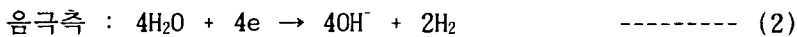
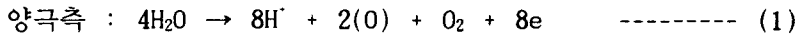
특히, 물의 구조화와 식물 및 농산물의 대사 제어에 관하여 東京大學 농학생명과학과의 大下誠一 교수가 부분적으로 연구하고 있으며, 농작물에 있어서 전기분해수의 사용예에 관해서는 東京大學 농학부 八卷良和 교수와 기업 등에서 전해수 장치 및 재배기술관련 연구를 수행하고 있는 것으로 알려져 있다.

그러나, 국내에서 실제 농작물에 적용한 예는 아직 없으며, 특히 우리나라의 가장 중요한 식품의 하나인 고추의 경우는 적용예가 현재까지는 없다.

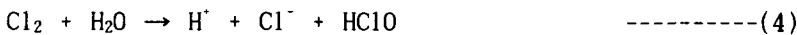
3. 초고농도 이온수의 발생원리와 효능기구

가. 발생 원리

본 초고농도 이온수발생의 이론적인 원리는 다음과 같을 것으로 사료된다. 특수 평행전극간에 이온투과격막(membrane)을 설치하고, 이 전극간에 특수직류 전압을 인가하면 식(1), (2)와 같은 순수한 전기에너지만에 의해 물의 전해작용이 일어난다. 양극에는 수소이온을 방출 하여 산성수가 되고,



특히 살균력이 매우 뛰어난 활성산소(O)와 다량의 용존산소(O₂)가 발생되게 된다. 그리고, 음극에는 수소와 수소이온이 발생되어 알칼리수가 되게 된다. 한편, 수도수중에 염분이나 염소가 존재하게 되면, 양극측에는 식(3)과 같은



반응이 일어나서, 식(4)와 같은 반응을 유발하게 되어 살균력이 매우 뛰어난 활성염소(HClO)를 생성하게 되어 수중에 용존하게 된다.

나. 이온수의 효능

이상의 원리에 의해 음이온수(陽極側水)는 강한 산성을 가지며, 또한, 강력한 살균력을 갖는 활성산소(O)와 활성염소(HClO)를 다량 용존하게 되어 결국 뛰어난 살균력을 가지게 된다. 따라서 음이온수는 식물체^(4,5)에는 물론, 동물⁽²²⁾에 이르기까지 살균소독수로 적용될 수 있으며, 최근에는 인체에도 실험중에 있으며⁽¹⁷⁾, AIDS virus도 살균 가능⁽¹⁵⁾한 것으로 알려지고 있다.

한편, 양이온수(陰極側水)는 주로 양이온이 풍부한 이온수로서, 함유된 양이온으로는 주로 생명체에 매우 필수적인 미네랄(minerals, Ca⁺⁺, Fe⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, 등)을 매우 풍부하게 함유하고 있어서 생명체를 활성화⁽⁸⁾하여 발아⁽⁴⁾나 생장촉진효과⁽⁵⁾를 가져오게 하는 것으로 알려져 있다. 특히 알칼리수는 세포내에 흡수율이 빠른 장점⁽⁸⁾ 등이 확인되어 있어서 일본과 대만에서는 환자는 물론 많은 사람의 음용수로서도 널리 적용되고 있다.

4. 앞으로의 전망

본 기기가 현재와 같이 계획대로 개발된다면 본 장치의 장점인 무공해청정성을 이용하여 시설채소나 곡식의 초기생장 등의 재배에의 응용, 즉, 강음이온수의 병해방지와 강양이온수의 성장촉진효과를 적절히 농작물에 적용할 수 있을 뿐 만 아니라, 나아가, 종자의 살균이나 발아촉진 및 균일화, 배양수의 무공해 살균 및 성장촉진, 수경재배수의 무공해적 이온발란스 조절 등 매우 다목적으로 광범위하게 적용할 수 있게 된다. 또한, 기타 채소나 화훼과수 등 많은 작물에의 폭넓은 응용이 가능하며, 종묘의 살균소독 및 성장촉진에 매우 광범위하게 적용할 수 있게 된다.

가축이나 가금 등의 축산에도 적용 가능하여 양이온수의 축산음용수(약알칼리성의 경우 사람용 음용수로 시판되고 있다)로 건강과 성장촉진을, 그리고, 음이온수로 축산분뇨 및 폐기물 살균소독 및 냄새제거에의 응용에 이르기까지 매우 효과적으로 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

제2절 연구개발의 목표 및 내용

1. 최종목표 및 내용

목표		연구개발 목표	내용
년도			
최종 년도 (98.11)	주관 기관	(1) 고효율 초고농도 이온수 장치제작 및 개발	① 고효율 초고농도 이온수장치개발 ② pH 2.2/11.5 용량 45LPH의 이온수장치 개발 완료
		(2) 고추와 곡식의 발아초기와 성장 및 장애작용검토	① 고추나 곡식의 양이온수에 의한 발아 및 초기성장촉진효과 실험적연구 ② 고추나 곡식의 음이온수에 의한 장애작용검토
99.10)	협동 기관	(2) 고추 및 고추냉이의 병해 방제효과와 생육효과의 현장실증연구	① 고추나 고추냉이의 병해방제 및 무공해 청정 재배기술 개발완료 ② 고추 및 고추냉이의 이온수에 의한 생육촉진 및 장저해 작용 검토

2. 연차별 연구개발 목표와 내용

목표, 내용 년도	연구개발목표	연구개발내용	비 고
1차 년도 (1996/ 1997)	1)제1세부과제 proto형 이온수제조장치 설계 및 시작품 제작	(1)고전계 형성기초연구 (2)전극재료 소모성 기초 검토 (3)scale방지기술기초연구 (4)proto형 장치제작 (pH 3.0/11.0, 15 LPH)	
	2)제2세부과제 시설채소의 성장효과 및 장애작용 기초검토	(1)시설채소의 성장효과검토 및 기초조사 (2)음이온수의 장애작용기초검토및 실험기초준비	
	3)협동과제 고농도 이온수의 고추냉이 및 고 추의 병해 방지효과 기초검토	(1)고추냉이의 병해방지효과 검토 및 자료조사 (2)고추냉이의 포트재배시설제작 및 준비 (3)고추의 병해 방지 효과 검토 및 자료 조사 (4)고추 재배 양식별 효과 기초 연구	

목표, 내용 년도	연구개발목표	연구개발내용	비고
2차 년도 (1997/ 1998)	1)제1세부과제 고농도 이온수제조장치 설계제작 및 개발	(1)고농도 이온수제조장치 설계, 제작, 개발연구 (2)고전계성형전극구조설계, 수류층류화, 전원의 펄스화 고효율화 연구 (3)고농도 장치제작 (pH 2.5/11.5, 30 LPH)	
	2)제2세부과제 시설채소의 발아 및 초기생장효 과 및 장해작용검토	(1)콩과, 무우류 등 채소의 양이온수에 의한 발아 및 생장효과 실험적연구 (2)콩과, 무우류 등 채소의 음이온수에 의한 장해작용검토	
	3)협동과제 고추냉이의 병해방지 효과 실험연구 및 고추 병해 방제에 알맞는 초고농도 이온수 구명	(1)고추냉이의 묵입병, 연부병의 살균효과검증 (2)고추냉이의 포트재배와 병해방지작용실험 및 재배기술 확립 (3)고추병해에 대한 이온수농도별 효과 구명 (4)고추 pot재배에 의한 병원균의 방제효과 구명	
3차 년도 (1998/ 1999)	1)제1세부과제 초고농도이온수제조장치 설계제작 및 개발(모델정립)	(1)초고농도이온수 제조장치 구조 최적화설계 (2)첨가물에 의한 이온농도 극대화 (3)고전계형성의 최적화(모델정립) (4)초고농도장치개발완료(pH 2.2/11.8, 45 LPH)	
	2)제2세부과제 고추와 곡식의 발아초기와 생장 및 장해작용검토	(1) 고추나 곡식의 양이온수에 의한 발아 및 초기 생장촉진효과 실험적연구 (2) 고추나 곡식의 음이온수에 의한 장해작용검토	
	3)협동과제 고추 및 고추냉이의 병해상습 발생지의 병해방지효과와 생육특성의 현장실증연구	(1)이온수의 고추재배시 발아 및 초기생장촉진 (2)전작토양의 이온농도와 토양의 이화학성과 이온수의 생리장해작용검토, (3)역병 및 탄저병 상습지 실증확인 (4)청정재배기술 검토	

제 2 장 고효율 초고농도 이온수제조장치 설계제작 및 개발

제1절 서론

본 연구는 종래의 수중 이온수 발생장치의 구조를 새로운 형태로 제안한 것으로서, 즉, 슬릿(流通開部, slit)을 설정한 대향전극구조를 제안하여 종래의 이온수 발생장치에서의 전극부근에서 전극의 극성과 반대되는 이온의 집속에 의한 공간전하제한작용 문제점을 보완하여 고효율화하고자 하였다.

원료수중의 이온 분리집속을 용이하게 제어할 수 있으며 소비전력을 줄이기 위하여 인가전원으로써 맥류전원 대신에 구형파 펄스전원을 사용하였다. 즉, 구형파 펄스전원의 경우 인가전압(전류)를 맥류에 비해 매우 크게 하면서도 펄스시비율(duty rate)를 조절함으로써 전력을 용이하게 줄이거나 제어할 수 있는 장점이 있기 때문이다.

또한 종래의 이온수 발생장치 형태인 평행평판전극내에 유전율이 매우 높은 강유전체 소구를 가득 충전함으로써 유전체 소구 접촉점 사이에 불평등 전계를 형성하여 이 유전체 소구사이에서 산소와 수소기포들을 발생시켜 기포발생면적을 크게 할 수 있게 된다. 또한 발생된 기포내에 물과 기포의 비유전을 차이로 유전상수가 적은 기포내에 물보다 80배의 강한 전계가 인가되어 기포방전^[50]을 유발시켜서 수중 전기분해작용을 더욱 크게 증가시킬 수 있게 된다.

제안된 새로운 전극구조나 방법은 이러한 원리를 이용하여 전극부근에 집속된 이온들에 의한 공간전하들이 평행평판전극과는 달리 슬릿을 통하여 용이하게 전극 외측으로 확산되어 빠져나갈 수 있도록 유통개부를 형성함으로써 공간전하들이 전극표면에 축적되는 현상을 방지하게 함은 물론 슬릿측면에서 전계분포를 집중시켜서 수중방전까지 유발시키며, 또한 강유전체 소구를 충전시킴으로써 전계집중효과와 기포내의 방전을 동시에 실현시키고자 하였다.

아울러 제3전극을 평판형 전극간에 삽입하여 설치함으로써 이온집속 전계를 더욱 높게 할 수 있을 뿐만 아니라, 전극주변으로 집속되어 온 공간전하들을 용이하게 제어하고 제거할 수 있게 하고자 하였다.

제2절 수중 이온수 발생의 이론적 고찰

2.1 수중 이온의 반응

강이온수 발생장치는 평행평판전극간에 이온분리막(ion separation membrane)을 설치하고, 이 전극간에 전압을 인가하면 수중의 이온들이 쿨롱력(Coulomb's force)에 의해 반대극성을 갖는 전극으로 분리집속되게 하는 작용과 식(2.1), (2.2)와 같이 전기분해작용이 일어나게 된다.

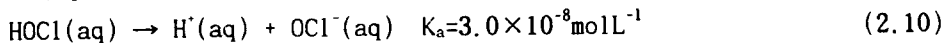
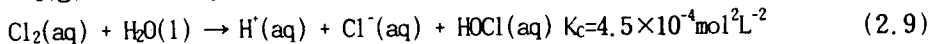
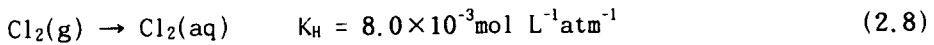


물의 전기분해 시에 발생하는 산소와 수소기체는 일부가 수중에 용해되기도 하지만 발생한 기포의 대부분은 기포상태로 수면 상으로 상승(1.5~4cm/sec)하게 된다. 특히 양극측에서는 식(2.3)과 식(2.4)와 같은 반응이 일어나서 활성산소류(O_3 , H_2O_2 , 등)가 발생된다.

한편, 수도수중에 염분이나 염소가 존재하게 되면, 양극측에는 식(2.5)와 같은 반응이 일어나며, 발생한 염소가스는 수중의 액성조건에 따라 식(2.6), (2.7)와 같이 가수분해된다.



염소가 수중에 용해되면 식(2.8), (2.9), (2.10)과 같은 평형반응을 이룬다.



여기서, K_H 는 Cl_2 1 mol이 액화되는 과정에서 수화되는 정도, K_c 는 평형상수, 그리고 K_a 는 산의 이온화 상수이다. 또한 위와 같은 반응을 유발하게 되어 안전하면서도 살균력을 갖는 활성염소(HOCl)를 생성하게 되어 양극측 수중에 용존하게 된다.

수중에서 $H^+(aq)$ 와 $Cl^-(aq)$ 로 해리하는 염산은 식(2.9)에서 생성된다. 그림 2.1에서 볼 수 있듯이 염소분자는 pH 1 이하에서만 존재한다. 따라서 수도수 속에 염소분자는 포함되어 있지 않다. 수도수의 경우에 $HOCl$ 과 OCl^- 사이의 평형이 매우 중요하다. $HOCl$ 의 pK_a 는 7.5이므로 pH 7.5에서 두 화학종의 농도는 같다. $HOCl$ 이 OCl^- 보다 거의 100배 정도 소독성이 강하기 때문에 이러한 평형은 중요하다. $HOCl$ 이 더 강한 소독제인 이유는 $HOCl$ 이 중성 분자이기 때문에 미생물의 세포막에 OCl^- 보다 쉽게 침투할 수 있기 때문이며, OCl^- 은 세포내부로 잘 들어가지 못하기 때문에 $HOCl$ 살균력이 상대적으로 강하기 때문이다.^[51]

이상의 원리에 의해 강산성 이온수는 뛰어난 살균력을 가지게 된다. 따라서, 강산성 이온수는 농작물의 병해방지나 의료기기용의 살균소독수로 적용될 수 있고, 최근에는 인체에도 실험 중에 있으며, 의료기구의 살균, 대장균(0-157 virus), 병원균(MRSA virus), 에이즈균(HIV virus)도 살균 가능한 것으로 알려지고 있다.^[21~43] 한편, 강알카리 이온수는 주로 생명체에 매우 필수적인 미네랄(minerals, Cu, Mn, Zn, Co, Mo, Se, Cr, 등)^[52]을 매우 풍부하게 함유하고 있어서 생명체를 활성화하여 발아나 성장촉진효과를 가져오게 하는 것으로 알려져 있다. 특히, 강알카리 이온수는 DNA의 손상을 방지할 뿐만 아니라 세포내에 흡수율이 빠른 장점 등이 확인되어 있어서 일본과 대만에서는 환자용으로는 물론 많은 사람의 음용수로서도 널리 사용되고 있다.^[46~48]

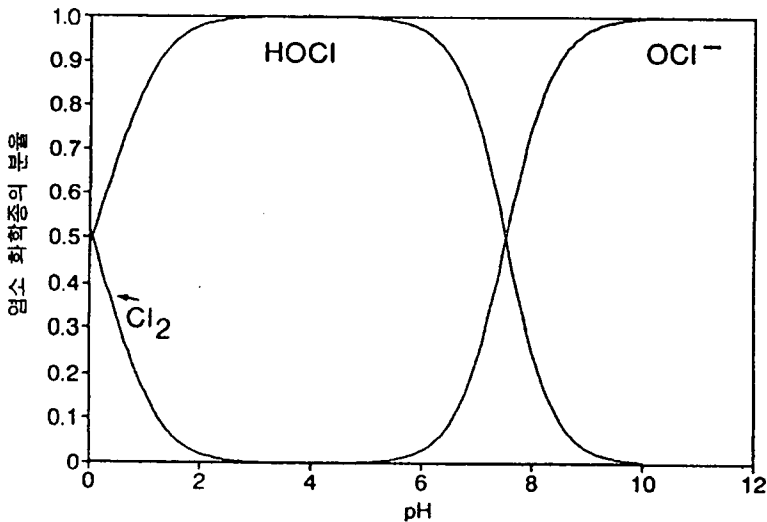


그림 2.1 pH에 따른 활성 염소의 변화
Fig. 2.1 Change of active NaCl for pH.

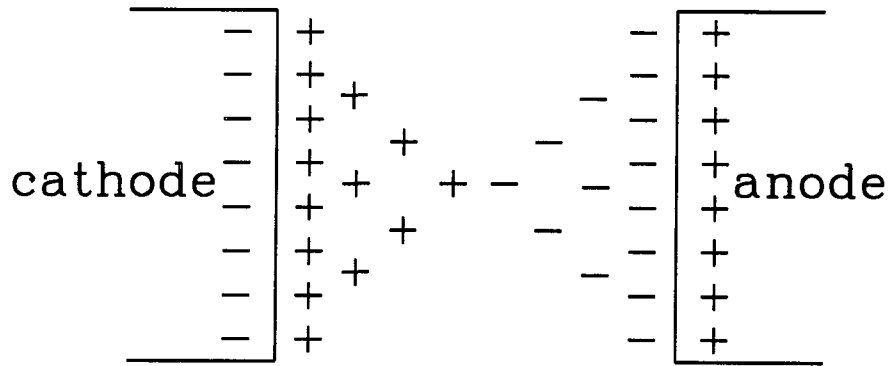
2.2 전기 이중층의 두께

이온수 발생장치에서 강산성 이온수와 강알칼리 이온수의 발생은 전극표면 부근에서 주로 발생된다고 보면 전극표면의 전위분포상태, 즉 전기 이중층(electrical double layer)의 연구 검토는 매우 중요하다고 생각된다. 전기 이중층은 이온수 발생장치의 내부 전극이 전해액에 침전되면 금속상의 전하때문에 수중에 있는 반대부호를 가진 이온이 계면(interphase)에 끌려 전극과 전해액 중에 각각 전하층이 형성된다. 이것을 전기 이중층이라 하며, 이 계면은 어느 정도의 두께를 가진다. 여기에서는 지금까지 제안된 여러가지 전기 이중층의 구조에 관해서 검토해 보고, 본 연구에 적합한 모델을 찾고자 한다.

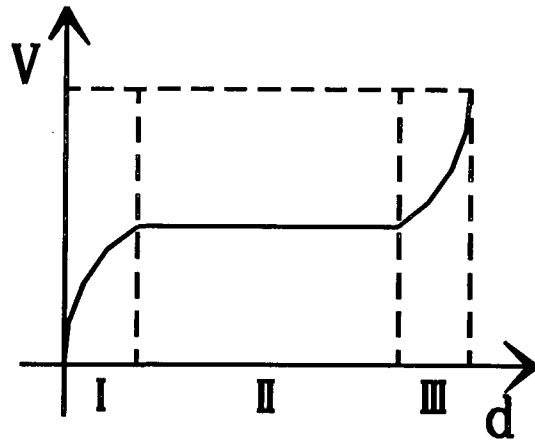
본 연구에서는 Gouy-Chapmann의 전기 이중층 모델^[53, 54]이 이론적인 계산 값과 실험한 결과사이에 오차가 있으나 매우 묽은 농도의 용액에서는 거의 일치하므로 식(2.11)을 적용하였다.

$$d = \{8\pi n(Ze)^2 / \epsilon kt\}^{1/2} \quad (2.11)$$

여기서, n 은 용액의 농도, ϵ 는 유전상수이고, 물의 비유전율 $\epsilon_r=80$, Z 는 수소 원자가 1, e 는 전자의 전하량 $1.6 \times 10^{-19}C$, k 는 볼츠만 상수로 $k=1.381 \times 10^{-23}[J/K]=8.167 \times 10^{-5}[eV/K]$ 이다. 이온수 발생장치에서 만들어지는 이온수는 전극 부근에서 주로 발생되기 때문에 전기 이중층 영역이 길어질수록 이온수 발생량이 많아지리라 생각된다. 또한 전기 이중층의 두께는 전하밀도의 최대까지의 거리를 나타낸 것으로 일반적으로 Debye-Hückel 길이, 또는, 이온 분위기의 두께 등으로 불리고 있다. 만약 이 전기 이중층의 두께를 안다면, 저항성 영역에서의 전력손실을 줄일 수 있고, 고효율의 이온수 발생장치 설계에 도움이 될 것이다. Gouy-Chapmann 전기 이중층 모델을 도입하여 이론적 두께를 계산하여 적정간격을 유추할 수 있다. 식(2.11)을 대입하여 계산하면 수용액의 온도 $25^\circ C$ 에서 전기 이중층의 두께는 $5 \times 10^{-4} [m]$ 정도이다. 따라서, 이온수 발생장치 내의 대향전극 간격이 각각 $2 \times 5 \times 10^{-4} [m]$ 정도로서 $1.0 [mm]$ 가 되는 것이 전력손실 및 산소와 수소 기포의 발생 문제를 가장 효과적으로 해결할 수 있다.



(a) 전기 이중층의 개략도



(b) 전위분포

I : 음극측 전기 이중층 II : 저항성 영역 III : 양극측 전기 이중층

그림 2.2 전기 이중층의 개략도와 전위분포

Fig. 2.2 Schematic diagram and potential distribution of electrical double layer.

2.3 수중 이온의 이동속도

이온수 발생공간 내에서의 수중 이온의 이동속도는 다음의 이론으로 설명 할 수 있다. 즉, 이온들의 수중에서의 역학 방정식^[55]은 식(2.12)과 같이 나타낼 수 있으며, 이 방정식으로 수중 이온들의 이동속도(migration velocity, ω)는 식(2.13)과 같이 나타내어진다.

$$m \frac{d\omega}{dt} = qE - 6\pi\eta a\omega \quad (2.12)$$

$$\omega = \frac{qE}{6\pi\eta a} (1 - e^{-(6\pi\eta a/m)t}) \quad (2.13)$$

여기서, m 은 입자질량, η 는 물의 점성(viscosity)계수, a 는 입자의 반경, λ 는 이동도(mobility), E 는 인가 전기장(electric field)이다. 또한 입자경이 1 [μm]이하가 되면 $(1 - e^{-(6\pi\eta a/m)t})$ 항은 무시되고 보정계수(Cunningham's correction factor, C_m) 식(2.14)을 적용하면 식(2.15)과 같이 간략화할 수 있다.

$$C_m = 1 + 2.514 \frac{\lambda}{2a} + 0.80 \frac{\lambda}{2a} \exp(-0.55 \frac{2a}{\lambda}) \quad (2.14)$$

$$\omega = \frac{C_m q E}{6\pi\eta a} \quad [\text{m/s}] \quad (2.15)$$

강이온수 발생장치의 간격이 1.0 [cm]이고 인가 전압이 100 [V]일 때 식(2.15)를 이용하여 계산하면 수중 이온들의 이동속도는 Na^+ 의 경우 7.969×10^{-2} [m/s]이고 Cl^- 의 경우는 3.378×10^{-2} [m/s]이다.

2.4 유전체 소구 충전에 의한 전계집중효과와 기포방전효과

수중 이온수 발생공간의 전계분포형성에 큰 영향을 주는 유전체 소구 (ferroelectric pellets)를 그림 2.3와 같이 이온분리공간에 가득 충전(bedded)하면 양쪽 극판에 인가된 전압에 의해 형성된 전기력선은 경계면 즉, 충전된 유전체 소구표면에 도달하게 되고 주위의 매질인 물과 다른 유전율을 가진 물질을 통과시 전기력선은 집중되고 이러한 집중된 전기력선은 유전체 소구사이에 강한 불평등전계를 형성하게 된다. 이때, 유전체 소구와 소구사이에서의 전기분해현상에 의해 기포들이 발생하게 되고 인가된 전계가 물의 비유전율이 $\epsilon_r \approx 80$ 이고 공기의 비유전율이 $\epsilon_r \approx 1$ 인 이유로 물과 기포내에 인가되는 전계의 세기가 유전상수가 적은 기포내에서의 전계가 물에 인가되는 전계의 약 80배 만큼 커져서 기포내에 기체방전이 먼저 유발되어서 수중 전기분해작용을 크게 증가시킨다.^[50] 이렇게 발생된 기포내에서의 방전에 의해 분리집속이 가능한 이온들의 숫자가 급격히 증가하게 되어 물속에 자연적으로 존재하는 이온과 기포방전에 의해 발생된 이온들이 합해짐으로써 출력 이온수의 농도를 증가시키게 된다.

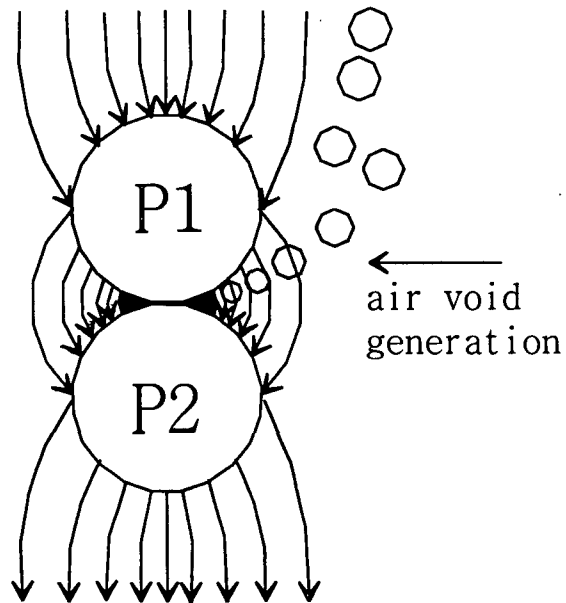
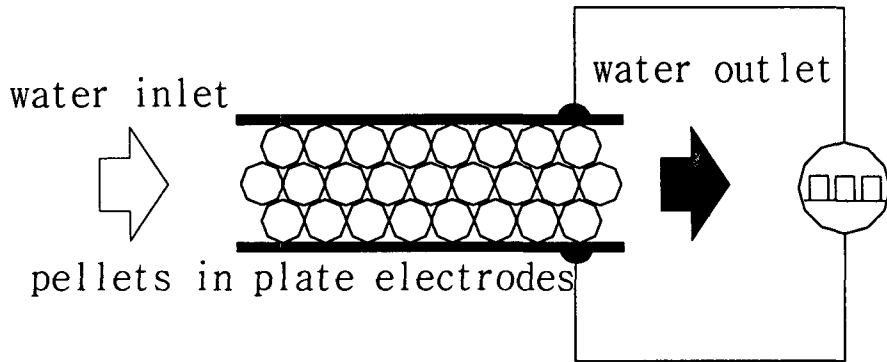


그림 2.3 유전체 소구가 충전된 평판전극에서 발생한 기포의 형태와 전기력선
 Fig. 2.3 Closeup configuration of electrolytic gas generation and electric fields with ferroelectric pellets bedded type electrode.

2.5 슬릿형 전극에 의한 전계집중효과, 기포방전효과 및 공간전하제어효과

종래의 대향전극은 전면적이 전극의 역할을 하는 평행평판형 전극구조로서 전극 간에는 평등전계가 형성되어 수증 이온집속과 기포방전발생에 비효율적이며, 높은 전압에서 공간전하에 의한 전하이동억제현상을 방지할 수 없는 구조였다. 그림 2.4 과 2.5는 슬릿이 형성된 평판전극에서의 전계집중현상과 이러한 전계집중현상에 의한 효과적인 기포방전현상을 보여주고 있다. 유통개부가 형성되어 있는 슬릿형 평행평판전극계의 슬릿의 가장자리 부분은 침전극과 같은 역할을 하게 되며 슬릿의 가장자리 부분에는 강한 불평등전계가 형성되며 이로 인한 전기분해작용이 용이하게 진행되고, 또한 전기분해시에 발생한 산소와 수소기포들은 슬릿과 같은 날카로운 부분의 강력한 전계에 의하여 방전하기 쉬운 상태로 되며 기포발생시 방전을 촉진시키는 작용을 하게 된다. 전극에 발생된 기포에 방전이 발생하는 이유는 대향된 슬릿형 평행평판전극간에 인가된 전계가 물의 비유전율이 $\epsilon_w \approx 80$ 이고 공기의 비유전율이 $\epsilon_a \approx 1$ 인 이유로 물과 기포내에 인가되는 전계의 세기를 식(2.19)으로 나타낼 수 있게 되며, 유전상수가 적은 기포내에서의 전계가 물에 인가되는 전계의 약 80배 만큼 커져서 기포내에 기체방전^[50]이 먼저 발생되고 이때 발생하는 열에 의하여 기포는 고온으로 되어 파열과 생성을 반복하면서 액체방전을 유도하게 되어 부분방전이 발생된다. 따라서 슬릿형 평행평판전극 구조를 가지게 되면 슬릿 개수가 많아질수록 전계분포를 집중시킬 수 있고 슬릿부분에 발생된 기포를 용이하게 방전시킬 수 있다. 그리고 평행평판전극상에 슬릿을 그림 2.6과 같이 형성함으로써 불평등전계를 발생시킬 수 있는 구조를 채택하여 전계분포를 집중시키고, 또한 공간전하들이 슬릿을 통하여 용이하게 전극외측으로 확산되어 빠져나갈 수 있도록 유통개부를 형성함으로써 공간전하들이 전극표면에 축적되는 현상을 방지하여 종래의 평판전극에서는 가지지 못하는 공간전하효과를 가짐으로써 강이온수를 발생시키게 된다.

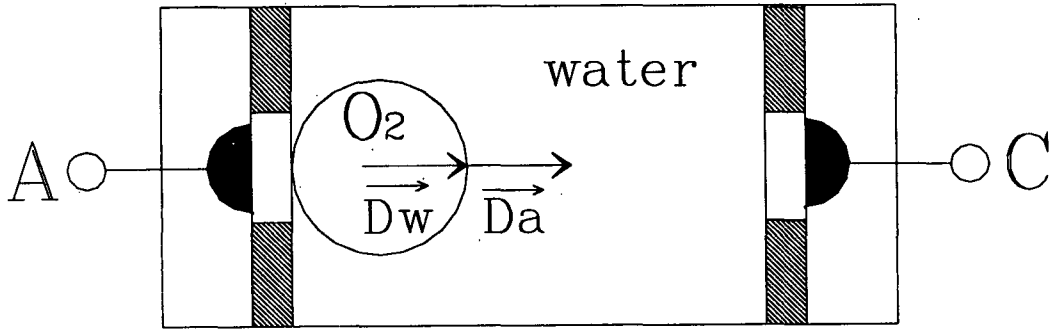


그림 2.4 슬릿형 평판전극에서 발생한 기포에 인가된 전기
 Fig. 2.4 Applied electric field in gas bubbles.

$$\vec{D}_a = \vec{D}_w \quad (2.16)$$

$$\epsilon_r \epsilon_o \vec{E}_a = \epsilon_r \epsilon_o \vec{E}_w \quad (2.17)$$

$$\epsilon_{ra} \cong 1 \quad \epsilon_{rw} \cong 80 \quad (2.18)$$

$$\vec{E}_a = 80 \vec{E}_w \quad (2.19)$$

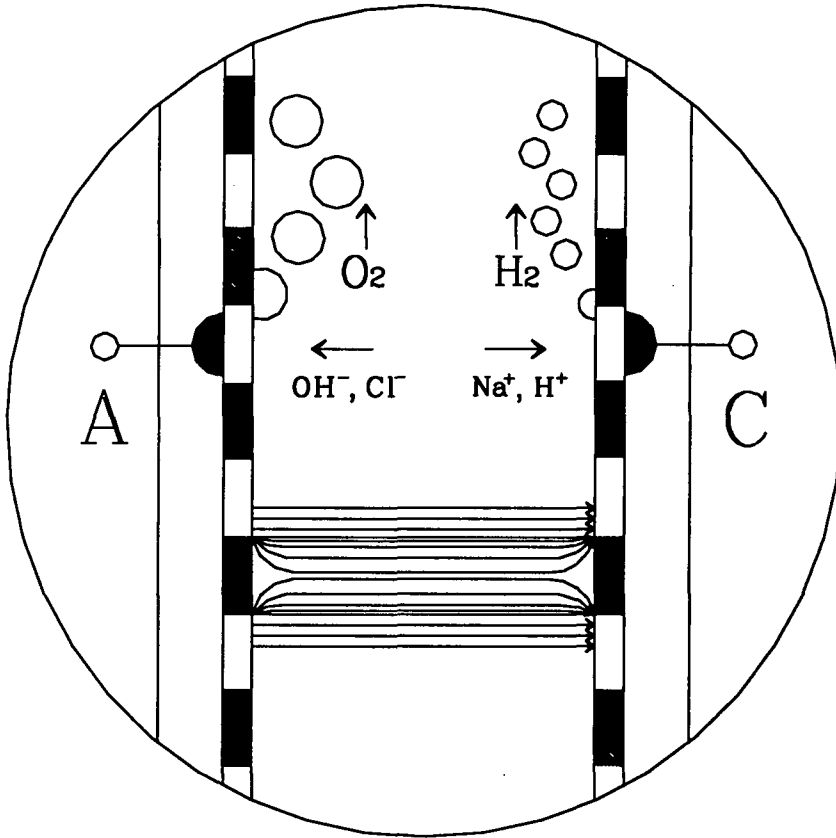
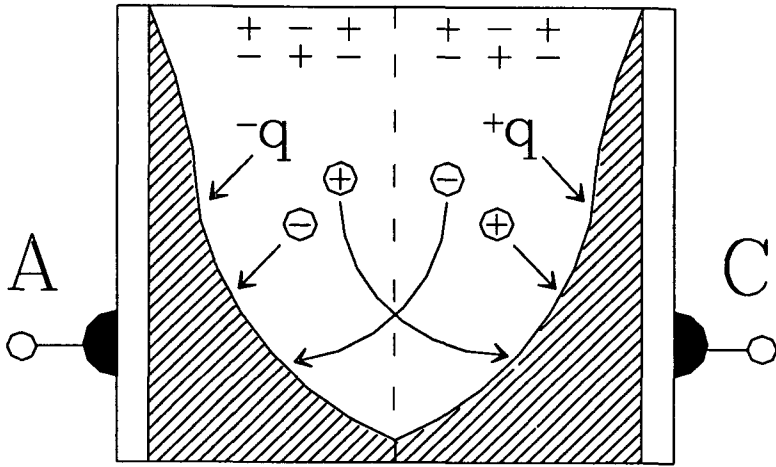
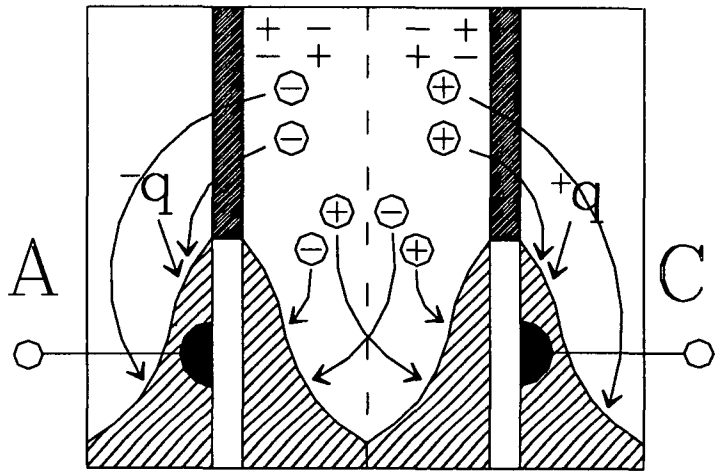


그림 2.5 슬릿형 평판전극에서 발생한 기포의 형태와 전기력선
 Fig. 2.5 Closeup configuration of silt type electrode where electrolytic gas generation and electric fields.



(a) 평판전극계



(b) 슬릿형 평판전극계

그림 2.6 수중 공간전하들의 이동모습
 Fig. 2.6 Migration figure of space charges in water.

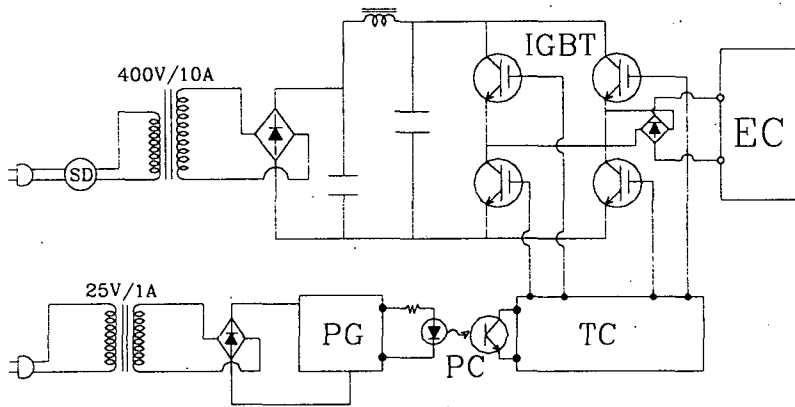
제3절 실험장치 및 방법

3.1 강이온수 발생장치

그림 2.7은 본 실험에 사용된 구형파펄스회로의 개략도이다. 구형파펄스회로는 크게 직류전원공급부, 스위칭부, 게이트신호발생부, 그리고 부하로 나눌 수 있다. 직류전원공급부는 전력용변압기(400V, 10A)의 출력을 전파정류한 뒤 커패시터를 사용해 직류전원을 공급하게 된다. 이렇게 발생된 직류전원을 실험에서 요구되는 구형파 펄스형태로 만들기 위해 스위칭부가 필요하게 된다. 스위칭부는 4개의 IGBT(IRGP, 1200V, 60A)를 사용해 스위칭시킴으로써 부하에 원하는 구형파전압을 공급하게 된다. 스위칭에 사용되는 IGBT에 적절한 게이트신호를 공급하기 위해 게이트신호발생부가 필요하며 실험에 사용된 게이트신호는 발전기에서 발생된 구형파신호를 포토커플러를 사용해 IGBT를 스위칭시키기에 충분한 전압(25V)으로 만들어서 공급하였다. 부하는 본 실험에 사용된 이온수 발생장치이다. 그림 2.8은 강이온수 발생장치에 인가된 구형파펄스 전원장치이다. 그림 2.9는 구형파 펄스전원장치의 출력전압과 출력전류파형을 나타낸 것이며, 출력전압과 출력전류는 200 MHz 디지털 축적형 오실로스코프(Tectronix TDS 360, 1 GHz/s)로 측정하였다. 본 연구에서 수중 강이온수 발생장치는 저항과 커패시터의 병렬회로로 간략히 등가화시킬 수 있다. 강이온수 발생장치의 측정된 저항값은 220 [Ω]이고 정전용량은 166 [μF]로서 시정수(τ)는 36.52 [ms]로서 수식화되지만 실제 실험상에서 전압을 인가할 때 유전체 소구간이나 슬릿부분에서 발생하는 산소와 수소기포층 때문에 강이온수 발생장치의 정전용량이 감소하여 시정수는 짧아진다. 따라서, 그림 2.9에서 보는 전류파형과 같이 용량성분의 영향은 거의 나타나지 않으며 전류는 인가전압 형태와 동일한 파형을 나타낸다. 초기 강이온수 발생장치의 임피던스는 식(3.1)과 같이 수식화된다.

$$Z = R // \frac{1}{j\omega C} \quad (3.1)$$

Z는 임피던스, R는 저항성분, 그리고 C는 정전용량이다. 여기서, ω 는 62.21 [rad/s]로서 식(3.1)에 대입하면 임피던스는 35.7-j81.1 [Ω]이 된다.



- | | | | | | |
|------|---|-----------------------------------|----|---|------------------|
| EC | : | electrolytic cell | PC | : | photo coupler |
| IGBT | : | insulated gate bipolar transistor | | | |
| PG | : | pulse generator | SD | : | auto transformer |
| TC | : | trigger circuit | | | |

그림 2.7 구형파펄스회로의 개략도

Fig. 2.7 Schematic diagram of square wave pulse circuit.

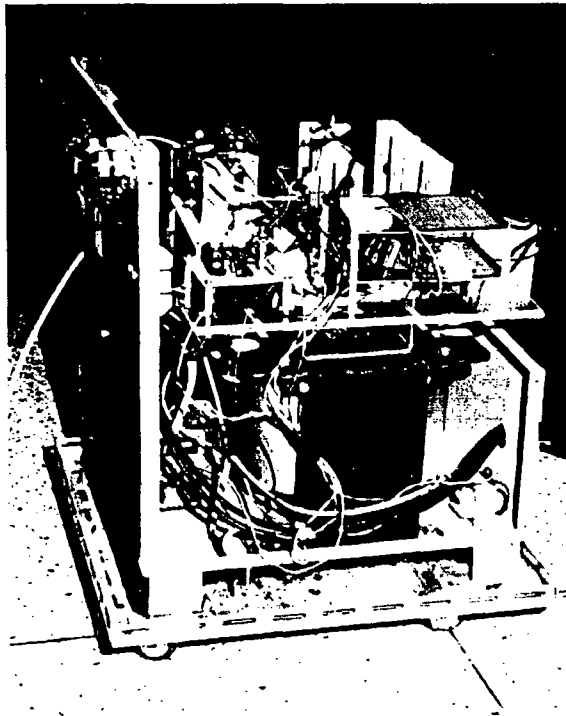
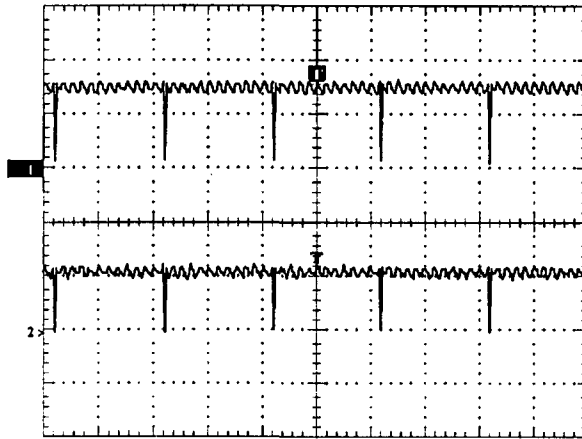


그림 2.8 구형파펄스 전원장치

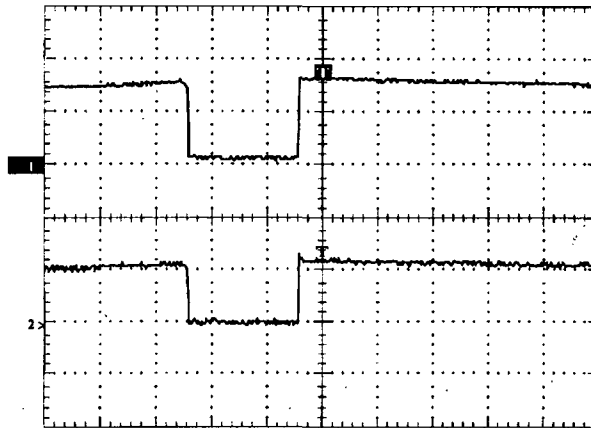
Fig 2.8 Square wave pulse power device.



CH 1 : voltage wave (50V/div) CH 2 : current wave (1.0A/div)

그림 2.9 (a) 구형파펄스전원의 출력전압과 전류의 파형 (시간범위: 50 ms)

Fig. 2.9 (a) Oscillograms of square wave pulse output voltage and current (time range: 50 ms).



CH 1 : voltage wave (50V/div) CH 2 : current wave (1.0A/div)

그림 2.9 (b) 구형파펄스전원의 출력전압과 전류의 시간확대 파형 (시간범위: 500 μ s)

Fig. 2.9 (b) Oscillograms time expansion of square wave pulse output voltage and current (time range: 500 μ s).

그림 2.10은 강이온수 발생장치와 산화성물질농도 측정, 수소이온농도 측정 및 분석장치, 그리고 전류 및 전압 측정장치를 나타낸 그림이다. 그림 2.11은 강이온수 발생장치의 전면도이다.

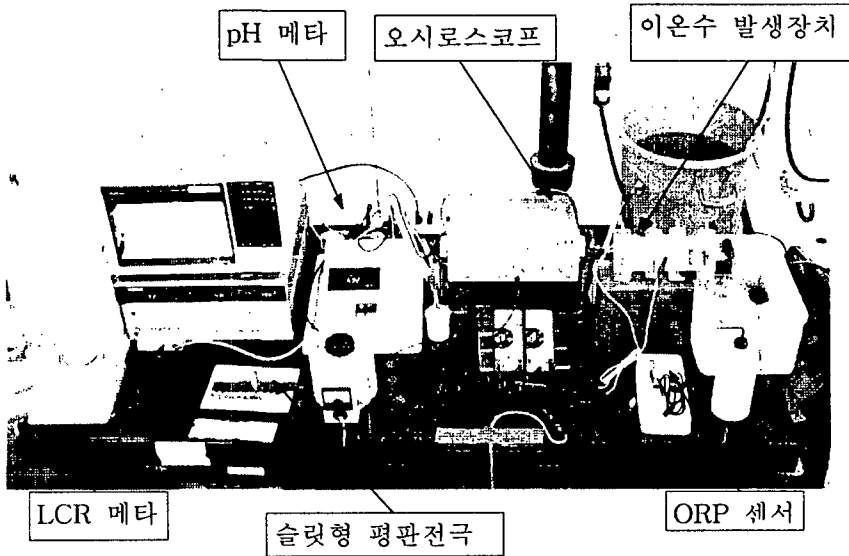


그림 2.10 실험장치와 강이온수 발생장치

Fig. 2.10 Experimental setup and strong electrolyzed water generation reactor.

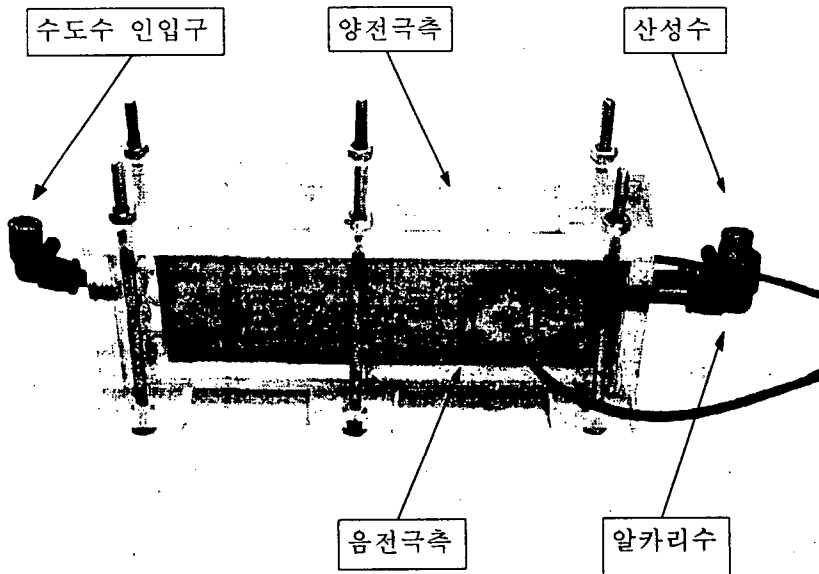


그림 2.11 강이온수 발생장치

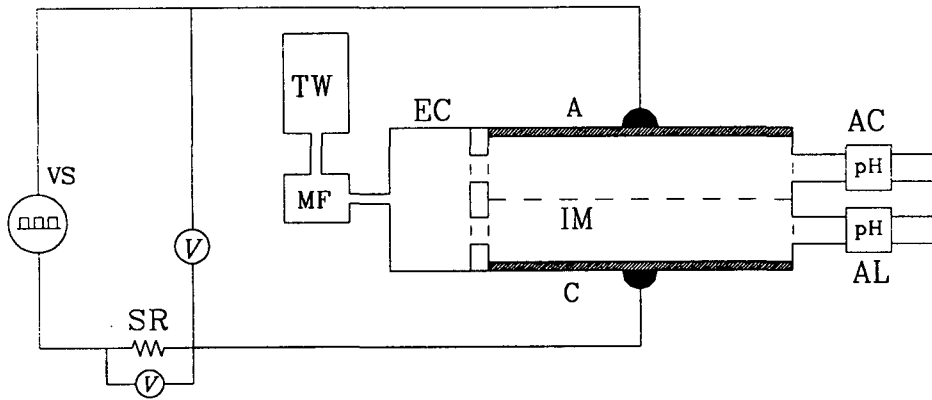
Fig. 2.11 Strong electrolyzed water generation reactor.

3.2 유전체 소구 충전에 의한 강이온수 발생장치

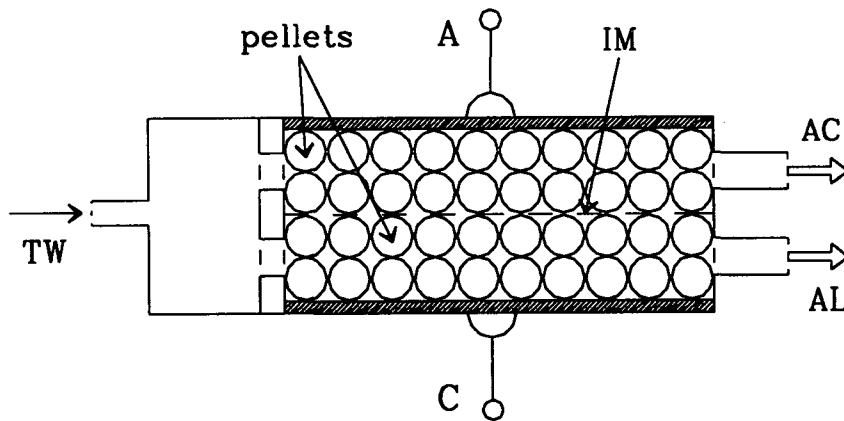
그림 2.12의 (a)는 본 연구에 사용된 강이온수 발생장치와 유전체 소구가 충전된 소자의 개략도이다. 인입 원료수인 수도수는 수도수 공급장치(TW)와 여과장치(MF)를 거쳐서 이온분리소자중의 이온분리공간으로 인입된다. 전계발생을 위한 평행평판전극(stainless steel, SUS 304, 0.2 [mm])과 중앙부에 설치된 이온분리막(ion separation membrane)을 통해서 양쪽 평행평판전극으로 이온들이 분리집속되어 배출되게 된다. 강이온수 발생장치 내의 전극면적은 200×60 [mm^2], 100×60 [mm^2]이고, 이온분리막과 양쪽 평행평판전극간의 거리는 본 실험에서 각각 10.0, 5.0 [mm]로 가변하면서 설치하였으며, 평행평판전극간의 이온분리공간으로는 수도수와 수중이온농도 증가를 위하여 염화나트륨을 용해한 수도수를 인입하였다. 이때, 이온분리공간의 전계분포형성에 큰 영향을 주는 비유전율이 다른 glass, BaTiO_3 의 2 종류의 유전체 소구(ferroelectric pellets)를 그림 2.12의 (b)와 같이 이온분리공간에 가득 충전(bedded)해서 이들이 수중 이온집속에 미치는 영향을 검토하였다.

본 실험에 인가된 전압은 구형파펄스(square wave pulse)로서, 그림 2.7과 같으며 휴지시간(pulse off-time, t_{off})은 1.0 [ms]로 고정하고 펄스지속시간(pulse on-time, t_{on})을 0.5~100.0 [ms]까지 가변하여 실험하였다.

수중 이온분리공간 내에서 공급수의 유속은 0.5 [LPM]으로 고정하여 실험하였다. 발생된 수소이온농도는 디지털 pH메타(pH meter, HM-40V, TOA Electronics Ltd., Japan)로써 측정하였다.



(a)



(b)

- | | |
|------------------------|------------------------------|
| A : anode | AC : acidic water |
| AL : alkali water | C : cathode |
| EC : electrolytic cell | IM : ion separation membrane |
| MF : micro-filter | pH : pH meter |
| SR : shunt resistor | TW : tap water tank |
| V : voltmeter | VS : source voltage |

그림 2.12 전해조와 유전체 소구가 충전된 소자의 개략도.

(a) 전해조 (b) 유전체 소구가 충전된 소자

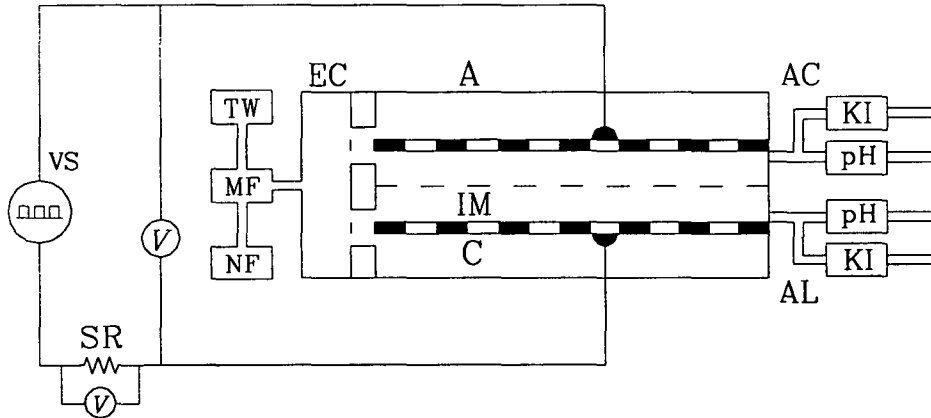
Fig. 2.12 Schematic diagram of electrolytic cell and ferroelectric pellets bedded cell.

(a) electrolytic cell (b) ferroelectric pellets bedded cell

3.3 슬릿형 평행평판전극계에 의한 강이온수 발생장치

그림 2.13은 본 연구에 사용된 강이온수 발생장치의 실험장치 개략도이다. 인입수는 수도수 공급장치(TW)와 여과장치(MF)를 거쳐서 전해조(EC)내로 인입된다. 이때, 인입수중의 이온들은 슬릿형(slit type) 평행평판전극(stainless steel, SUS 304, 0.2 [mmt], 200×60 [mm²](A와 C)간의 전계에 의해 중앙부에 설치된 이온분리막(IM)의 양측으로 분리집속되어 배출된다. 이온분리막과 양쪽 슬릿형 평행평판전극간의 거리는 각각 1.5, 2.5, 3.5, 5.0 [mm]로 가변하면서 설치하였으며, 이때, 슬릿형 평판전극의 개부(開部) 면적은 전(全) 전극면적(S)의 40 [%], 즉, 유효 전극면적(S) = 60 [%]로 고정하고 전극폭과 길이는 개부의 그것들과 동일하게 설정하였다. 즉, 슬릿개수가 적으면 각 슬릿의 면적이 커지며 슬릿개수가 많아지면 각 슬릿의 면적은 적어지게 하였다. 이때, 평행평판전극의 슬릿개수를 그림 2.14와 같이 1~48개로 가변하면서 이들이 수중 이온분리집속과 이온수 발생특성에 미치는 영향을 실험적으로 검토하였다.

본 실험에 인가된 전압은 구형파펄스(square wave pulse)로서, 펄스지속시간(pulse on-time, t_{on})을 100.0 [ms], 휴지시간(pulse off-time, t_{off})은 1.0 [ms]로 고정하여 실험하였다. 강이온수 발생장치내에서의 공급수의 유속은 0.5 [LPM]으로 고정하여 실험하였다. 발생된 수중 수소이온농도와 산화환원전위는 디지털 이온메타(ion meter, HM-40V, PST-5421C, TOA Electronics Ltd., Japan)로서 측정하였고, 발생된 총산화성물질의 농도는 KI 적정법(KI titration)^[56]을 사용하여 측정하였다.



A	: anode	AC	: acidic water
AL	: alkali water	C	: cathode
EC	: ion separation cell	IM	: ion separation membrane
KI	: KI titration	MF	: microfilter
NF	: NaCl feeder	pH	: pH meter
SR	: shunt resistor	TW	: tap water tank
V	: voltmeter	VS	: source voltage

그림 2.13 슬릿형 평행평판전극계의 실험장치 개략도
 Fig.2.13 Schematic diagram of experimental setup
 of slit type plate-to-plate electrode.

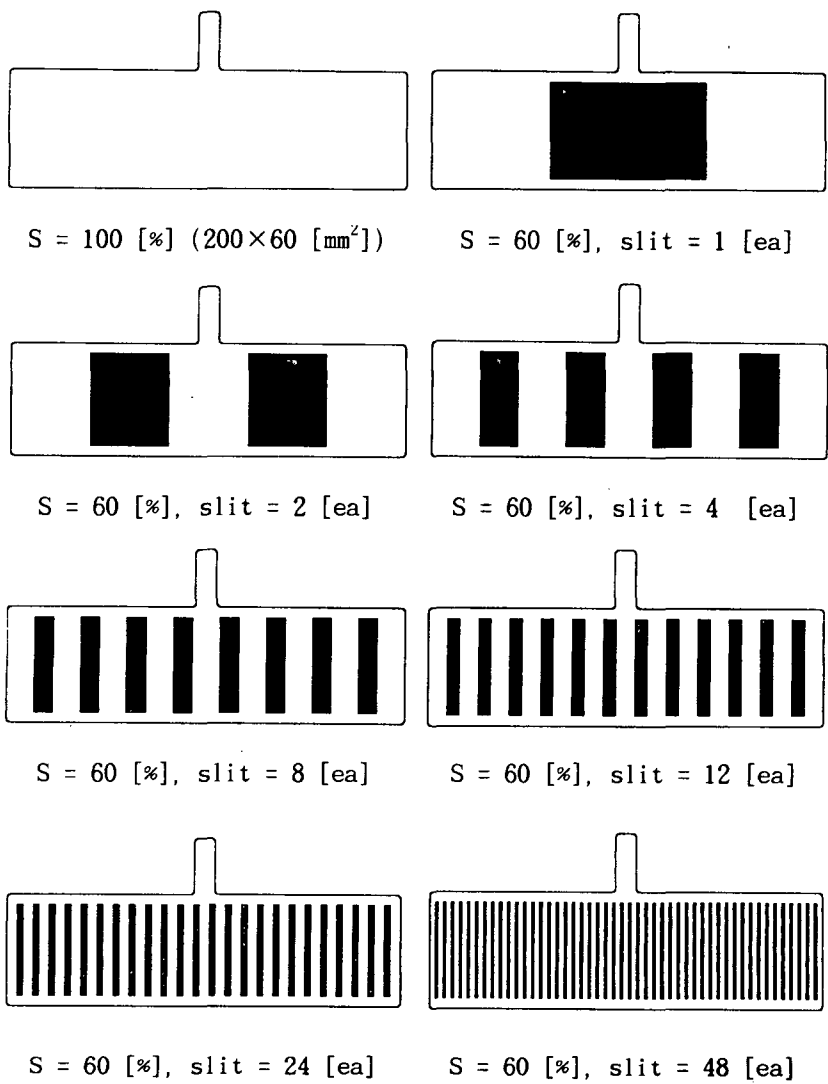


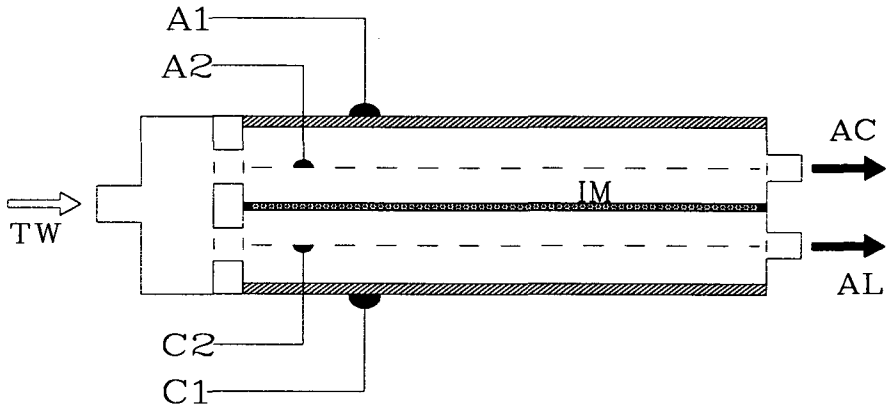
그림 2.14 슬릿형 평행평판전극의 구조

Fig. 2.14 Structure of slit type plate-to-plate electrode.

3.4 3전극형 평행평판전극계에 의한 강이온수 발생장치

그림 2.15는 본 연구에 사용된 3전극형 강이온수 발생장치의 실험장치 개략도이다. 장치에 인가되는 전압은 구형파펄스(square wave pulse)로서 시비율(duty)50%, 즉, 펄스지속시간(pulse on-time, t_{on})과 휴지시간(pulse off-time, t_{off})을 동일하게 고정하여 각각의 3전극(3rd electrode, SUS 316, 0.2 [mm], 200×60 [mm^2])과 주전극(main electrode, SUS 316, 0.2 [mm], 200×60 [mm^2]) 쌍(A1과 C1, A2와 C2)에 순차적으로 인가하여 실험하였다. 펄스지속시간은 0.2, 1.0, 2.0 10.0 [sec]로 변화시키면서 실험하였다. 인입수는 수도수 공급장치(TW)와 여과장치(MF)를 거쳐서 전해조(EC)내로 인입된다. 이때, 인입수중의 이온들은 대향된 슬릿형 slit type) 3전극과 평판형(plate type) 주전극간의 전계에 의해 중앙부에 설치된 이온분리막(IM)의 양측으로 분리집속되어 배출된다. 이온분리막과 슬릿형 3전극간의 거리는 4.0, 7.5 10.0 [mm]로 가변하면서 설치하였으며, 이온분리막에서 주전극간의 거리는 15 [mm]로 고정하여 실험하였다. 또한 슬릿형 3전극의 개부(開部) 면적은 전(全) 전극면적의 40 [%], 유효 전극면적(S) = 60 [%]로 고정하고 전극과 개부의 폭과 길이는 동일하게 설정하였다. 즉, 슬릿개수가 적으면 각 슬릿의 면적이 커지며 슬릿개수가 많아지면 각 슬릿의 면적은 적어지게 하였다. 이때, 3전극의 슬릿개수를 그림 2.16과 같이 8, 12, 16, 48개로 가변하면서 이들이 수중 이온분리집속과 이온수 발생특성에 미치는 영향을 실험적으로 검토하였다. 강이온수 발생장치내에서의 공급수의 유속은 0.5 [LPM]으로 고정하여 실험하였다. 발생된 이온수의 pH는 디지털 이온메타(ion meter, HM-40V, PST-5421C, TOA Electronics Ltd., Japan)로서 측정하였고, 발생된 총산화성물질의 농도는 KI 적정법(KI titration)^[56]을 사용하여 측정하였다.

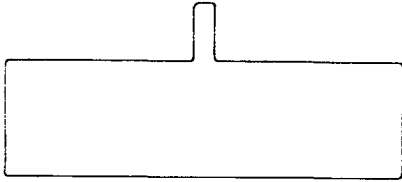
그림 2.17은 강전해수 발생장치의 전면도이다. 그림 2.18은 강이온수 발생장치의 산화성물질농도 측정, pH측정 및 분석장치, 그리고 전류 및 전압 측정장치를 나타낸 그림이다.



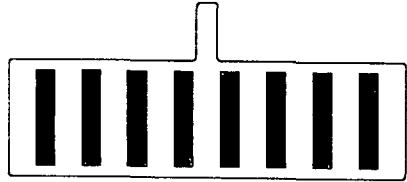
- | | |
|-----------------------------|----------------------------|
| A1 : main anode electrode | A2 : 3rd anode electrode |
| AC : acid water | AL : alkali water |
| C1 : main cathode electrode | C2 : 3rd cathode electrode |
| IM : ion exchange membrane | TW : tap water tank |

그림 2.15 3전극형 강이온수발생장치의 개략도

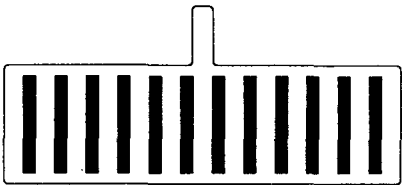
Fig. 2.15 Schematic diagram of experimental setup of 3rd electrode type strong electrolyzed water generation system.



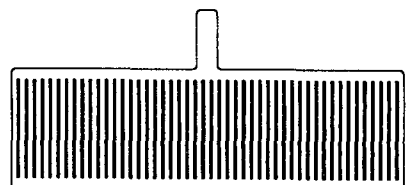
S = 100 [%] (200×60 [mm²])



S = 60 [%], slit = 8 [ea]



S = 60 [%], slit = 12 [ea]



S = 60 [%], slit = 48 [ea]

그림 2.16 슬릿형 평행평판전극의 구조

Fig. 2.16 Structure of slit type plate-to-plate electrode.

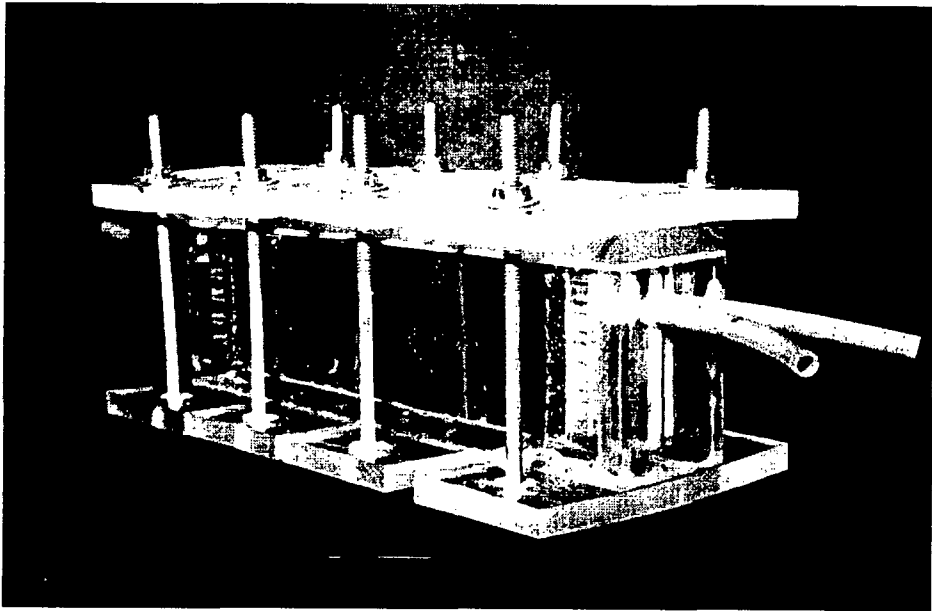


그림 2.17 3전극형 강이온수 발생장치

Fig. 2.17 3rd Eelectrode type strong electrolyzed water generation reactor.

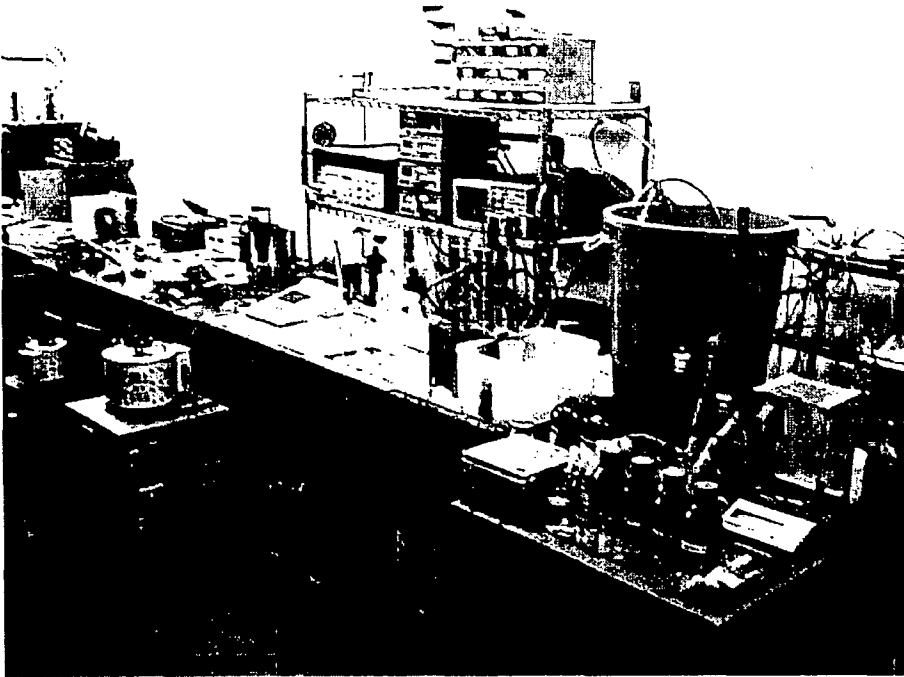


그림 2.18 실험장치와 강이온수 발생장치
Fig. 2.18 Experimental setup and strong electrolyzed
water generation reactor.

제4절 실험결과 및 고찰

4.1 펄스지속시간에 의한 강이온수 발생특성

종래의 이온수 발생장치의 전원으로 사용되는 순수 직류전원과 맥류전원대신 본 연구에서는 구형파형태의 펄스전원을 사용하였다. 본 연구에 사용된 강이온수 발생장치의 경우 대향 전극간의 매개물인 수도수에서의 시정수는 LCR 메타(LCR meter, AG-4311B, ANDO Electric Co., Ltd., Japan)로 저항과 정전용량을 측정하였으며, 그 결과 전기분해가 일어나기 전에는 10^{-2} [sec]범위 이지만 전기분해가 일어나기 시작한 후부터는 전극 표면에 기포가 형성되어 정전용량이 매우 작아져서 10^{-4} [sec] 범위 이하로 작아지게 된다. 따라서 본 연구에서는 인가 펄스파형이 펄스휴지시간(t_{off}) 동안 충분히 0 [V]전압까지 하강 할 수 있게 하기 위하여 펄스의 휴지시간을 1.0 [ms]로 고정하고 펄스지속시간(t_{on})만 변화시켜서 실험하였으며, 펄스의 파형은 그림 3.2에 나타내었다. 이러한 구형파 펄스전원은 빠른 상승시간을 갖는 간헐적인 펄스열로써 전류는 펄스지속시간 동안의 짧은 순간만 인가되어 소비전력을 순수 직류전원에 비해 줄일 수 있는 장점이 있다. 즉, 순수 직류전원과 비교할 경우 동일 소비전력에서 펄스전원의 인가전압이 펄스의 시비율(duty ratio)에 반비례하여 증가함으로 순수 직류에 비하여 같은 소비전력으로 더 높은 전압을 인가 할 수 있게 된다. 동일 전극간격에 인가하는 전압이 증가하게 되면 전극표면의 기포는 낮은 전압에 비해 강력한 방전이 일어나게 되어 전기분해작용을 증가시키게 된다. 그러나 펄스의 휴지시간을 길게하고 지속시간을 너무 짧게 하는 경우에는 기포의 방전은 같은 소비전력 순수 직류에 비해서 더욱더 강력하게 일어나게 되지만 이온의 분리와 집속이 연속해서 되지않기 때문에 순수 직류보다 수중 이온분리집속효율이 더 낮아질수도 있다. 따라서 전력대비 이온분리집속율의 최적조건을 도출하기 위하여 펄스지속시간과 휴지시간을 변화시켜서 실험하였다.

그림 2.19는 강이온수 발생장치의 크기를 200×60 [mm²]로, 전극간의 간격은 이온분리막을 기준으로 각각 10.0 [mm]로 고정하였으며, 수도수를 0.5 [LPM]의 유속으로 흘리고 인가된 구형파전압의 펄스휴지시간(t_{off})은 1.0 [ms], 펄스지속시간(t_{on})을 0.5~100.0 [ms]로 가변하였을 때의 I-V특성을 나타낸 것이다. 전압 상승분 ΔV 에 의한 전류 상승분 ΔI , 즉 기울기(slope= $\Delta I/\Delta V$)는 전압이 25 [V]까지는 $\Delta I/\Delta V=0.08A/10V$ 정도로 일정하나, 50~60 [V] 부근에서 변곡하기 시작하였다. 이 이상의 전압에서는 $\Delta I/\Delta V \geq 0.12A/10V$ 로 증가함을 보여주며 약 50~60 [V]에서 변곡하며, 이때부터 수중 이온들이 강력하게 분리집속되기 시작하는 것으로 나타났다. 한편, 구형파전압의 펄스지속시간이 0.5~100.0 [ms]로 변화함에 따른 I-V특성의 $\Delta I/\Delta V$ 는 큰 차이를 보이지 않았다.

그림 2.20은 구형파전압의 $t_{off}=1.0$ [ms], $t_{on}=0.5\sim 100.0$ [ms]로 가변하면서 강이온수 발생장치에 수도수만을 0.5 [LPM]의 유속으로 흘린 경우 인가전류 증가분에 따른 수소이온농도 특성곡선을 나타낸 것이다. 인가된 평균펄스전류분이 증가할수록 음극쪽에서의 출력 수소이온농도는 점차적으로 증가하고, 양극쪽에서는 점차적으로 감소하여 포화하는 것으로 나타났으며, 평균펄스전류가 1 [A]이고 $t_{off}=1.0$ [ms], $t_{on}=100.0$ [ms]일 때 pH 11.2의 알카리수와 pH 3.2의 산성수를 효과적으로 발생시킴을 보여주었다.

그림 2.21은 강이온수 발생장치에 수도수를 0.5 [LPM]의 유속으로 흘리고, 인가전류를 0.5 [A]로 고정하였을 때 인가 펄스지속시간에 따른 수소이온농도 특성으로서 펄스지속시간이 길어질수록(100.0 [ms]인 경우) 효과적으로 수중 이온을 분리집속하는 것으로 나타났다.

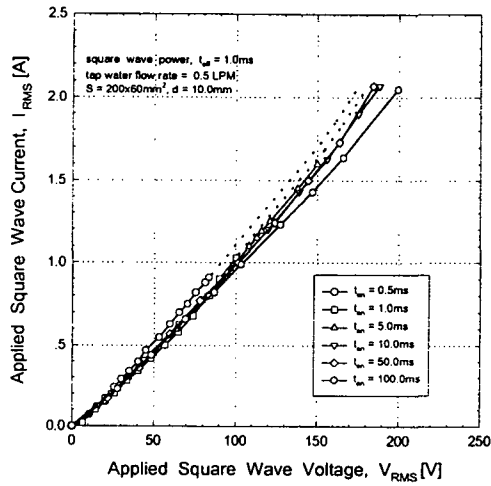


그림 2.19 수도수에서 펄스지속시간 변화에 따른 소자의 I-V특성
 Fig. 2.19 I-V characteristics of cell for various pulse on-times in tap water.

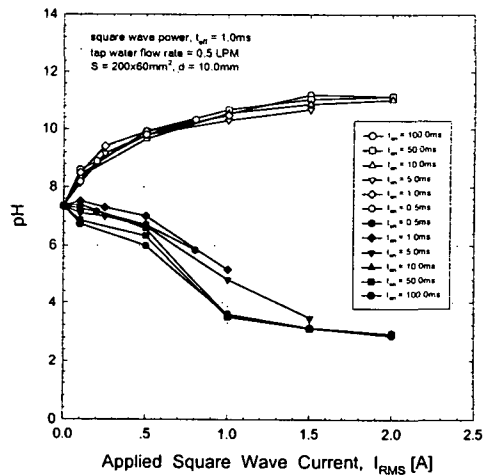


그림 2.20 수도수에서 펄스지속시간 변화에 따른 소자의 수소이온농도-전류특성
 Fig. 2.20 pH-I characteristics of cell for various pulse on-times in tap water.

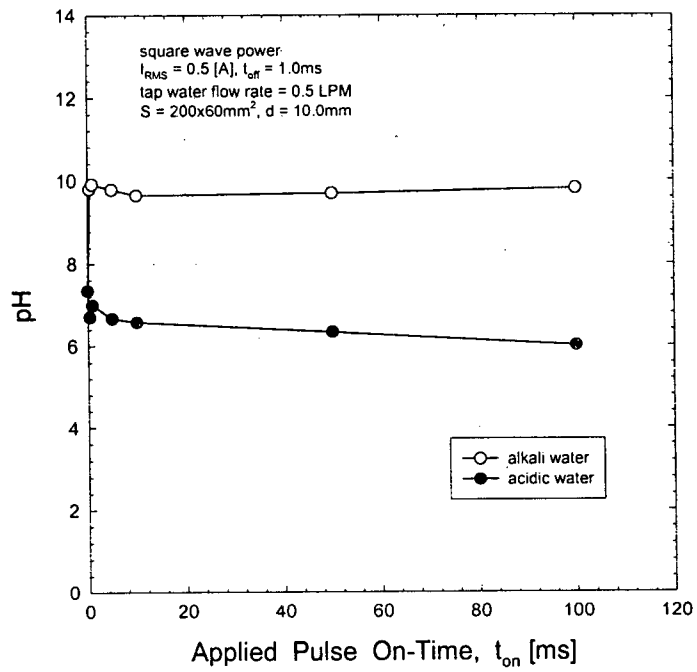


그림 2.21 수도수에서 소자의 수소이온농도-펄스지속시간특성

Fig. 2.21 pH- t_{on} characteristics of cell in tap water.

4.2 유전체 소구가 충전된 전해장치의 강이온수 발생특성

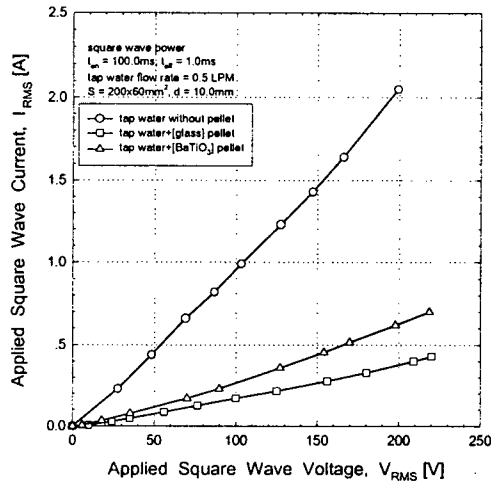
강이온수 발생장치 내에 유전체 소구를 가득 충전함으로써 대향된 평행평판전극 간에 인가된 전압에 의해 형성된 전기력선이 경계면 즉, 충전된 유전체 소구 표면에 도달하게 되고 주위의 매질인 물과 다른 유전율을 가진 물질을 통과시 전기력선은 집중되고, 이렇게 집중된 전기력선은 유전체 소구의 접촉점 사이에 강한 불평등 전계를 형성하게 된다. 이때, 유전체 소구와 소구사이에서의 전기분해현상에 의해 산소와 수소기포들이 발생하게 되고 기포와 물의 유전율차이에 의해 기포내에는 물의 비유전율만큼에 해당하는 높은 전계가 걸리게 되어 기포내에서 방전을 유발시켜서 수증 전기분해작용을 크게 증가시킨다. 그리고 발생된 기포내에서의 방전에 의해 분리집속이 가능한 이온들의 숫자가 급격히 증가하게 되어 수증에 자연적으로 존재하는 이온과 기포방전에 의해 발생된 이온들이 합해짐으로써 출력 이온수의 농도를 증가시키게 된다. 본 연구는 강이온수 발생장치 내에 유전체 소구를 충전함으로써 종래의 평행평판전극에서는 가질 수 없는 불평등전계 형성과 전계집중에 의한 산소, 수소기포들의 방전원리를 이용하여 본 강이온수 발생장치에 적용하였다.

그림 2.22의 (a), (b), (c), (d)는 강이온수 발생장치의 크기를 200×60 , 100×60 [mm^2]로, 대향전극의 간격은 이온분리막을 기준으로 각각 10.0, 5.0 [mm]로 고정하였다. 이때, 강이온수 발생장치 내에 glass, BaTiO_3 와 같은 유전체 소구를 충전하여 수도수를 0.5 [LPM]의 유속으로, 인가된 구형파펄스전압의 t_{off} 는 1.0 [ms], t_{on} 을 100.0 [ms]로 고정하였을 때의 I-V특성을 나타낸 것이다. 유전체 소구를 강이온수 발생장치 내에 충전하지 않은 경우나 충전한 경우가 약 30~40 [V] 부근에서 기울기가 변곡하기 시작하여 부분방전이 발생하였으며, 그림 2.22 (b), (d)의 경우는 (a), (c)의 경우보다 강이온수 발생장치의 대향전극 간격을 1/2인 5.0 [mm]로 축소하여 평행평판전극간의 I-V특성을 나타낸 것으로서 $\Delta I/\Delta V$ 는 전극간격이 10.0 [mm]보다 증가하는 경향을 나타냈다. 그리고, 본 강이온수 발생장치 내에 유전체 소구를 충전해서 수도수를 인입한 경우가 충전하지 않고 수도수를 인입한 경우에 비해 $\Delta I/\Delta V$ 가 (a), (b), (c)의 경우는 약 1/3배로 감소하였으나, (d)의 경우는 약 1/6배로 감소하는 것을 보여주었다. 이는 비유전율과 비저항이 수돗물에 비해서 매우 큰 유전체 소구에 의해 평행평판전극간의 임피던스가 커진 결과에 의한 것으로 사료된다.

그림 2.23의 (a), (b), (c), (d)는 인가된 구형파펄스전압의 휴지시간을 1.0 [ms], 펄스지속시간을 100.0 [ms], 수도수의 유속을 0.5 [LPM]으로 일정하게 인입하고 강이온수 발생장치 내에 유전체 소구(glass, BaTiO_3)를 충전한 경우와 충전하지 않았을 때의 출력 수소이온농도특성곡선을 나타낸 것이다. 강이온수 발생장치내의 전극간격이 1/2로 축소된 (b)의 경우가 저전력에서 강이온수를 발생시켰다. 이

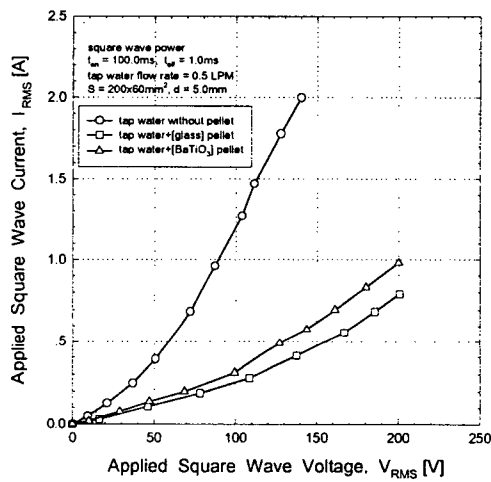
러한 이유는 그림 2.23 (d)의 경우와 비교했을 때 대향전극의 간격이 좁아지고, 전극의 유효길이가 길어질수록 인입된 수도수의 저항이 낮아지고, 이로 인하여 단위면적당의 전류밀도가 높아져서 수중 이온들을 효과적으로 분리집속하게 되기 때문이며, 또한 유전체 소구 접촉점 사이에 전계분포를 집중시키고 이 유전체 소구사이에서 산소와 수소기포들을 발생시킬 뿐만 아니라 물과 기포사이에 유전율차이로 기포내에 전계가 약 80배 높아져서 기포방전^[50]을 유발시켜서 수중 전기분해작용을 크게 증가시킨다. 이러한 기포 방전시에 발생한 산소와 수소기포들이 수중에 용존하여 수중 이온들을 효과적으로 분리집속하게 된다. 그리고, 유전체 소구를 충전한 경우가 수도수만을 인입수로 적용한 경우보다 저전력에서 수십배에서 수백배 정도의 강산성 이온수 및 강알카리 이온수를 발생시킴을 보여주고 있다. 이러한 현상들은 유전율이 비교적 큰 유전체 소구가 강이온수 발생장치 내에 가득 충전되어서 유전체 소구간에 발생된 기포방전에 의한 수중 이온증가와 전계분포집중효과로 인한 수중 이온들의 효율적으로 분리집속 결과라고 사료된다. 그림 2.23의 (a), (b), (c), (d)에서 비유전율이 가장 큰 BaTiO₃를 강이온수 발생장치 내에 가득 충전한 경우가 유전체 소구를 충전하지 않은 경우에 비해서 고농도의 산성수 및 알카리수를 발생시킬 수 있음을 보여주었다. 그러나, 비유전율이 다른 glass와 BaTiO₃를 이온수 발생장치 내에 충전한 경우에 있어서 전류-전압특성과 이온수 발생특성에 큰 영향을 미치지 못했다. 이러한 이유는 유전체 소구사이에 존재하는 물의 형태가 침전극모양으로 존재하고 수중 연면방전이 간헐적으로 발생하여 유전율효과와 중첩되어 강이온수 발생에 있어서 유전율 자체의 특성에 크게 영향을 미치지 못했기 때문이다.

강이온수 발생장치 내에 유전체 소구를 가득 충전함으로써 대향된 평행평판전극간에 불평등전계를 형성하고 유전체 소구와 소구사이에서의 전기분해현상에 의해 발생된 산소와 수소기포들을 기포와 물의 비유전율차이에 의해 기포내에 방전을 유발시켜서 수중 전기분해작용을 크게 증가시킨 결과, 종래의 이온수 발생장치보다 수십에서 수백배 정도의 강산성 이온수와 강알카리 이온수를 얻을 수 있었다.



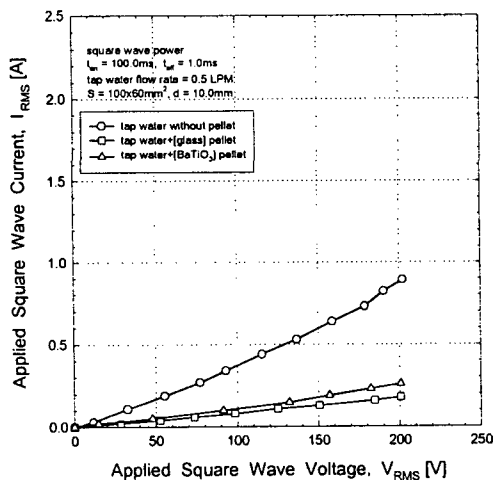
(a) $S = 200 \times 60 \text{ [mm}^2\text{]}$, $d = 10.0 \text{ [mm]}$

그림 2.22 수도수에서 다른 종류의 유전체 소구가 충전된 소자의 I-V특성
 Fig. 2.22 I-V characteristics of different dielectric pellets bedded cell in tap water.



(b) $S = 200 \times 60 \text{ [mm}^2\text{]}$, $d = 5.0 \text{ [mm]}$

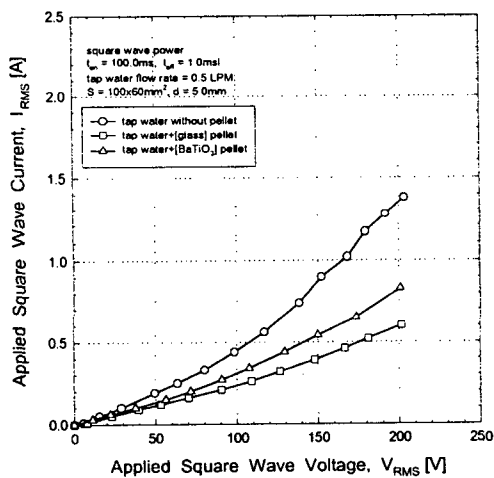
그림 2.22 수도수에서 다른 종류의 유전체 소구가 충전된 소자의 I-V특성
 Fig. 2.22 I-V characteristics of different dielectric pellets bedded cell in tap water.



(c) $S = 100 \times 60 \text{ [mm}^2\text{]}$, $d = 10.0 \text{ [mm]}$

그림 2.22 수도수에서 다른 종류의 유전체 소구가 충전된 소자의 I-V특성

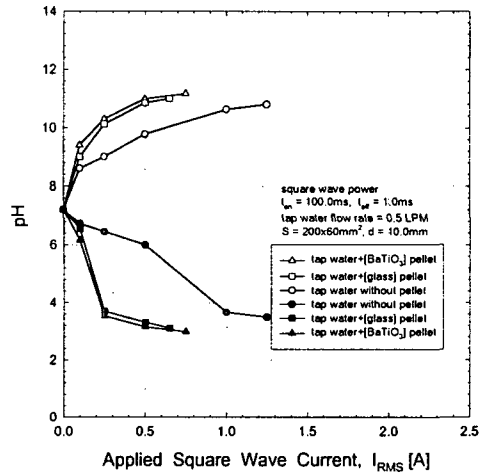
Fig. 2.22 I-V characteristics of different dielectric pellets bedded cell in tap water.



(d) $S = 100 \times 60 \text{ [mm}^2\text{]}$, $d = 5.0 \text{ [mm]}$

그림 2.22 수도수에서 다른 종류의 유전체 소구가 충전된 소자의 I-V특성

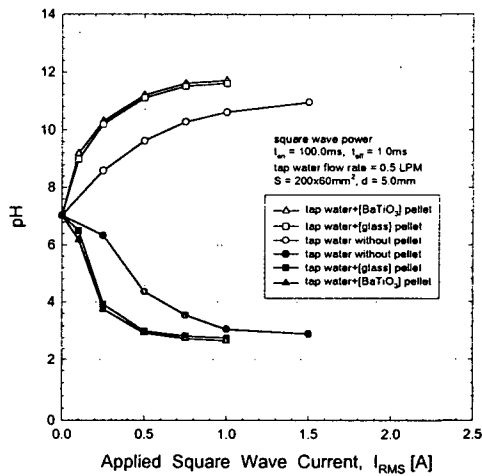
Fig. 2.22 I-V characteristics of different dielectric pellets bedded cell in tap water.



(a) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 10.0$ [mm]

그림 2.23 수도수에서 다른 종류의 유전체 소구가 충전된 소자의 수소이온농도-전류특성

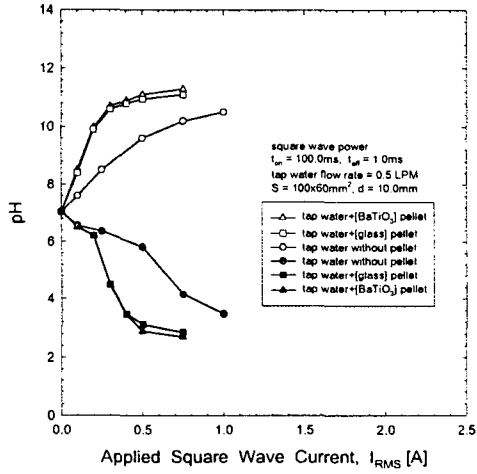
Fig. 2.23 pH-I characteristics of different dielectric pellets bedded cell in tap water.



(b) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 5.0$ [mm]

그림 2.23 수도수에서 다른 종류의 유전체 소구가 충전된 소자의 수소이온농도-전류특성

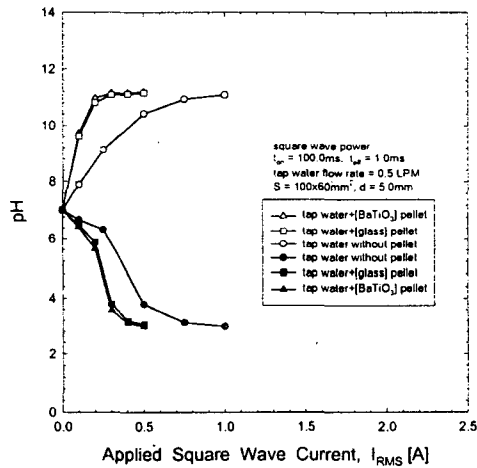
Fig. 2.23 pH-I characteristics of different dielectric pellets bedded cell in tap water.



(c) $S = 100 \times 60 \text{ [mm}^2\text{]}$, $d = 10.0 \text{ [mm]}$

그림 2.23 수도수에서 다른 종류의 유전체 소구가 충전된 소자의 수소이온농도-전류특성

Fig. 2.23 pH-I characteristics of different dielectric pellets bedded cell in tap water.



(d) $S = 100 \times 60 \text{ [mm}^2\text{]}$, $d = 5.0 \text{ [mm]}$

그림 2.23 수도수에서 다른 종류의 유전체 소구가 충전된 소자의 수소이온농도-전류특성

Fig. 2.23 pH-I characteristics of different dielectric pellets bedded cell in tap water.

그림 2.24는 강이온수 발생장치에 펄스휴지시간을 1.0 [ms], 펄스지속시간을 100.0 [ms]로 고정하고 수도수의 유속을 변화시키면서 인입하였을 때의 인가 전류 증가에 따른 수소이온농도특성을 나타낸 것으로서, 수도수의 유속이 0.25 [LPM]인 경우가 고농도의 산성수와 알카리수를 발생시킴을 보여주고 있다. 이러한 현상들은 수도수의 유속이 느려질수록 강이온수 발생장치 내에서 수도수의 체류시간이 길어져서 수중 이온들이 양쪽의 평행평판전극으로 용이하게 분리집속되는 결과로서, 수도수의 유속이 1.00에서 0.25 [LPM]으로 느려질수록 음전극측과 양전극측에서 경우 약 100배 정도의 강이온수를 발생시켰다.

그림 2.25는 강이온수 발생장치 내에 인입수의 유속을 0.5 [LPM]으로 고정하고 펄스휴지시간을 1.0 [ms], 펄스지속시간을 100.0 [ms]로 고정한 경우, 인입수의 염화나트륨 중량비에 의한 전기전도특성이다. 이때 인가된 전류는 1.0~3.0 [A]로 가변하였다. 수도수에 용해된 염화나트륨이 0.1 [wt%] 이상에서는 지수함수적으로 감소하여 포화하는 경향을 나타내었으며, 이상의 결과에 따라서 본 연구는 염화나트륨이 0.1 [wt%] 용해된 수도수로 고정하여 차후실험을 수행하였다.

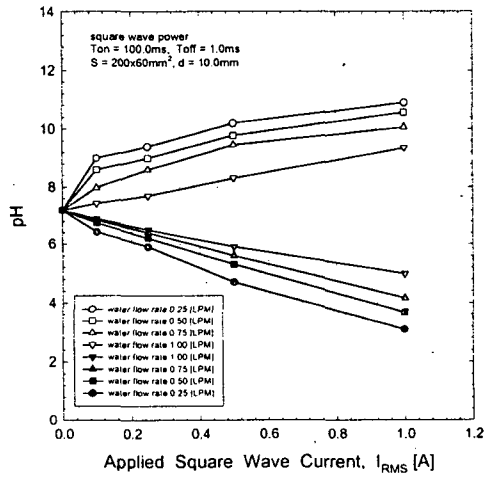


그림 2.24 수중 유속변화에 의한 소자의 수소이온농도-전류특성
 Fig. 2.24 pH-I characteristics of cell with various water flow rate.

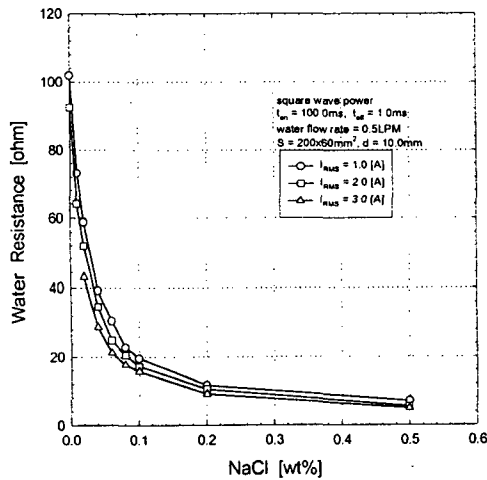


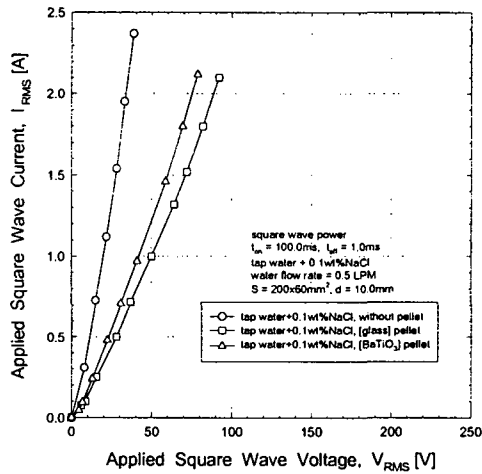
그림 2.25 염화나트륨 증량비에 의한 소자의 물 저항특성
 Fig. 2.25 Water resistance characteristics of cell for various contents of NaCl.

그림 2.26의 (a), (b), (c), (d)는 강이온수 발생장치 내에 유전체 소구(glass_3 , BaTiO_3)를 충전하고 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수를 0.5 [LPM]의 유속으로 인입하고, 인가된 구형파펄스전압의 휴지시간을 1.0 [ms], 펄스지속시간을 100.0 [ms]로 고정하였을 때의 I-V특성을 나타낸 것이다. 비저항이 큰 유전체 소구를 강이온수 발생장치내에 충전한 경우가 충전하지 않은 경우에 비해 $\Delta I/\Delta V$ 가 약 1/3 배 정도로 감소하는 것을 보여주었다. 본 강이온수 발생장치에서 저전력에서 강이온수를 발생시키는 대향전극의 간격이 좁고 길이가 길어지는 전극형태인 그림 2.26의 (b)의 경우 동일전압 30 [V]에서의 전류는 1.67, 0.71, 0.56 [A]로 변화하였다. 이는 수도수만을 인입수로 사용한 경우인 그림 2.22 (b)의 경우 0.20, 0.08, 0.09 [A]에 비해서 인입수의 저항이 낮아져서 동일전압에서 높은 전류치를 나타내었다. 강이온수 발생장치 내에 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수를 인입수로 흘린 경우에는 수도수만을 인입수로 사용한 경우와 같이 BaTiO_3 를 이온수 발생장치에 가득 충전한 경우가 충전하지 않은 경우에 비해 $\Delta I/\Delta V$ 가 감소하는 경향을 나타내었다. 그리고, 대향전극간격이 그림 2.26의 (b), (d)와 같이 5.0 [mm]로 좁은 경우는 $\Delta I/\Delta V$ 가 크게 증가하였고, 전극면적효과는 100×60 [mm]보다는 200×60 [mm]인 경우가 $\Delta I/\Delta V$ 가 증가했다.

그림 2.27의 (a), (b), (c), (d)는 펄스휴지시간을 1.0 [ms], 펄스지속시간을 100.0 [ms]로 고정하고 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수의 유속을 0.5 [LPM]으로 고정하고 유전체 소구를 충전한 경우 강이온수종의 출력 수소이온농도특성을 비교한 것이다. 본 강이온수 발생장치에서 유전체 소구를 충전한 경우가 저전력에서 고농도의 산성수와 알칼리수를 발생시켰다. 즉, 그림 2.27 (b)에서 유전체 소구를 충전하지 않은 경우 평균펄스전류가 1.0 [A]일 때 pH 2.78의 산성수와 pH 11.74의 알칼리수를 발생시킴을 보여주고 있다. 이는 그림 2.23 (b)의 수도수만을 흘린 경우 pH 3.09과 pH 10.60에 비해 염화나트륨 용존수를 인입한 경우가 효과적임을 보여준다. 그리고 비유전율이 가장 큰 BaTiO_3 와 같은 유전체 소구를 충전하고 수도수만을 인입한 경우 그림 2.23 (b)의 pH 2.70과 pH 11.69의 이온수를 얻었으며, 0.1 [wt%] 염화나트륨 용해수를 인입수로 사용한 경우 수중 이온농도의 증가와 유전체 소구의 충전으로 인한 수중 전계분포집중효과와 유전체 소구 접촉점에서의 기포방전효과가 합해져서 그림 2.27 (b)의 경우와 같이 pH 2.36과 pH 12.03의 효과적인 이온수를 분리집속할 수 있었다. 수중 이온수 발생장치에 유전체 소구를 충전하여 실험 한 결과 대향된 평행평판전극간에 인가된 전압에 의해 형성된 전기력선이 유전체 소구 표면에 도달하게 되고 물과 다른 유전율을 가진 물질을 통과시 전기력선은 집중되었고, 유전체 소구의 접촉점 사이에서는 강한 불평등전계를 형성하였다. 그리고 유전체 소구와 소구사이에서의 전기분해현상에 의해 발생된 기포들이 기포와 물의 유전율차이에 의해 기포내에서의 방전을 유발시켜서 수중 전기분해작

용을 크게 증가시켰고, 또한 수중에 용존될 수 있는 이온량을 증가시켜서 산성수의 경우 약 100배 알카리수의 경우 약 10배 정도의 강이온수를 발생시켰다.

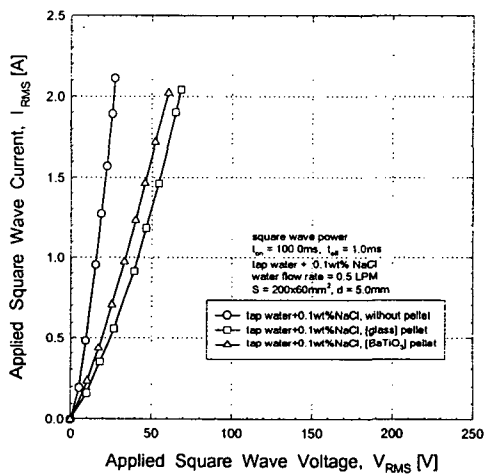
강이온수 발생장치 내에 유전체 소구를 가득 충전하고 0.1 [wt%] 염화나트륨 용해수를 전해조에 인입한 경우 전해조 내의 전기전도도를 향상시켰으며, 또한 수중 이온들의 양을 증가시켰다. 그리고 수도수를 전해조 내에 인입한 경우와 비교시 대향된 평행판전극간에는 불평등전계가 형성되었으며 충전된 유전체 소구들의 접촉점 부근에서는 전기분해현상에 의해 산소와 수소기포들이 발생하고 기포와 물의 비유전율차이에 의해 기포내에 방전을 유발시켜서 수중 전기분해작용을 크게 증가시켰다. 그 결과 수도수를 인입수로 사용한 경우보다 저전력에서 고농도의 산성수와 알카리수를 발생시켰다.



(a) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 10.0$ [mm]

그림 2.26 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에 다른 종류의 유전체 소구가 충전된 경우 소자의 전류-전압특성

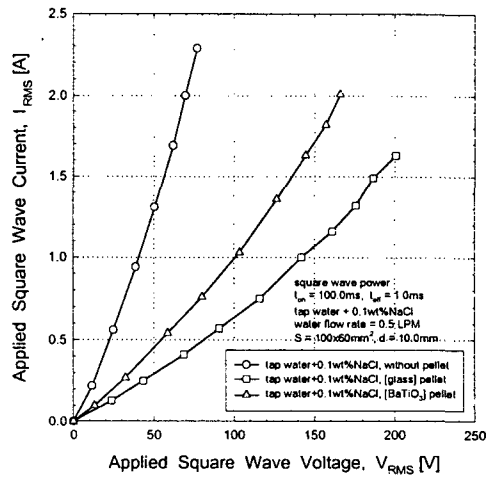
Fig. 2.26 I-V characteristics of different dielectric pellets bedded cell in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.



(b) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 5.0$ [mm]

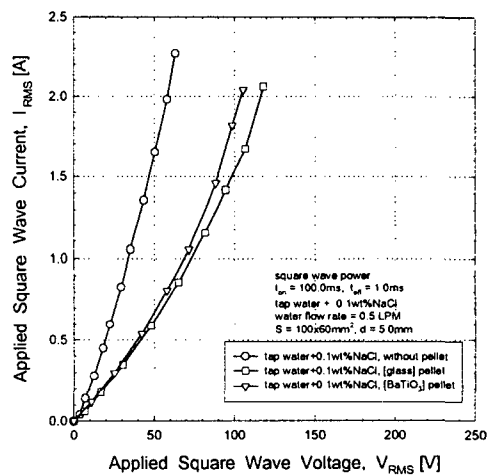
그림 2.26 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에 다른 종류의 유전체 소구가 충전된 경우 소자의 전류-전압특성

Fig. 2.26 I-V characteristics of different dielectric pellets bedded cell in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.



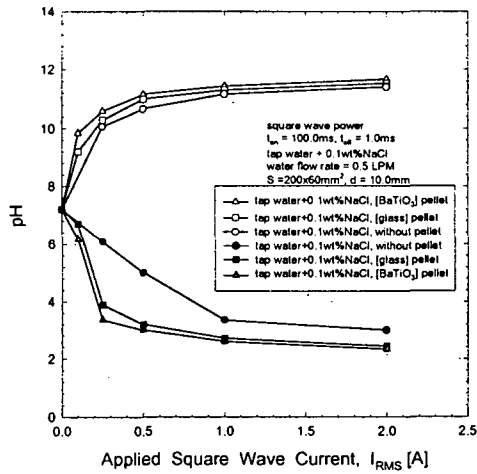
(c) $S = 100 \times 60 \text{ [mm}^2\text{]}$, $d = 10.0 \text{ [mm]}$

그림 2.26 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에 다른 종류의 유전체 소구가 충전된 경우 소자의 전류-전압특성
 Fig. 2.26 I-V characteristics of different dielectric pellets bedded cell in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.



(d) $S = 100 \times 60 \text{ [mm}^2\text{]}$, $d = 5.0 \text{ [mm]}$

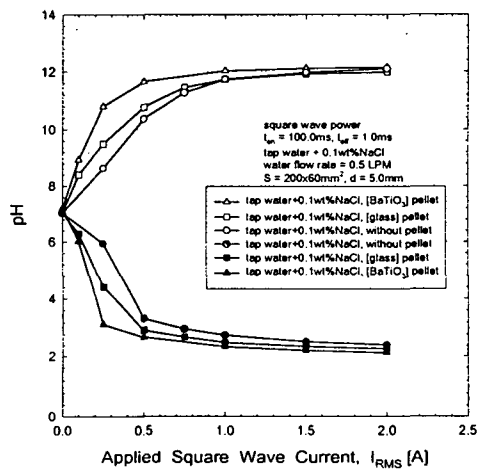
그림 2.26 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에 다른 종류의 유전체 소구가 충전된 경우 소자의 전류-전압특성
 Fig. 2.26 I-V characteristics of different dielectric pellets bedded cell in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.



(a) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 10.0$ [mm]

그림 2.27 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에 다른 종류의 유전체 소자가 충전된 경우 소자의 수소이온농도-전류특성

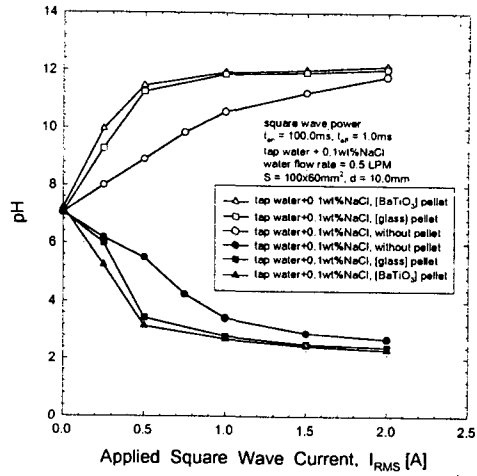
Fig. 2.27 pH-I characteristics of different dielectric pellets bedded cell in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.



(b) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 5.0$ [mm]

그림 2.27 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에 다른 종류의 유전체 소자가 충전된 경우 소자의 수소이온농도-전류특성

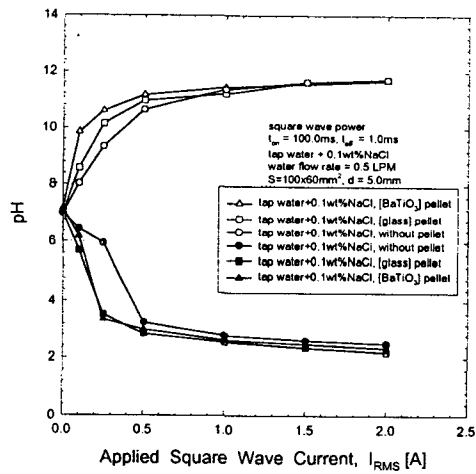
Fig. 2.27 pH-I characteristics of different dielectric pellets bedded cell in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.



(c) $S = 100 \times 60$ [mm²], $d = 10.0$ [mm]

그림 2.27 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에 다른 종류의 유전체 소자가 충전된 경우 소자의 수소이온농도-전류특성

Fig. 2.27 pH-I characteristics of different dielectric pellets bedded cell in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.



(d) $S = 100 \times 60$ [mm²], $d = 5.0$ [mm]

그림 2.27 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에 다른 종류의 유전체 소자가 충전된 경우 소자의 수소이온농도-전류특성

Fig. 2.27 pH-I characteristics of different dielectric pellets bedded cell in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.

4.3 슬릿형 평행평판전극계에 의한 강이온수와 산화성물질 발생특성

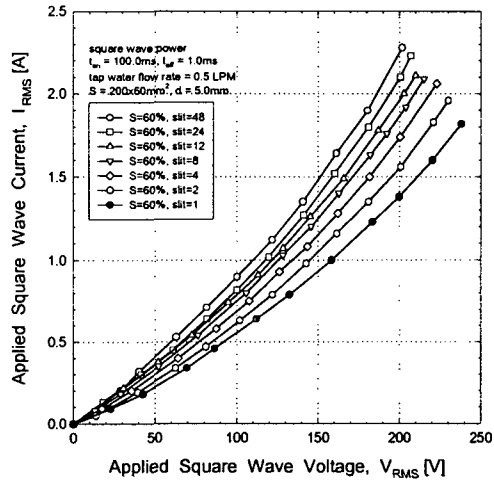
4.3.1 슬릿형 평행평판전극계의 강이온수 발생특성

종래형 이온수 발생장치의 전극구조는 평행평판형 전극구조로서 전극간에는 날카로운 부분이 형성되어 있지 않기 때문에 평등전계가 형성되어 수중 이온집속과 기포방전에 있어서 비효율적이고, 공간전하에 의한 전하이동억제현상을 방지할 수 없는 구조였다. 본 연구는 종래의 전극구조에서 나타나는 위와 같은 문제점을 해결하고자 하였다. 즉, 유통개부가 형성되어 있는 슬릿형 평행평판전극을 제작하여 슬릿부분에서 강한 불평등전계를 형성하면서, 전기분해시 발생하는 기포들을 저전력에서 효과적으로 파괴하여 전기분해작용을 증가시키고 유통개부를 형성하여 공간전하를 효과적으로 제어하는 형태로서 강이온수 발생장치를 개발하고자 하였다. 본 연구에서 유통개부가 형성되어 있는 슬릿의 가장자리 부분은 침전극과 같은 역할을 하게 되고 슬릿의 가장자리 부분에는 강한 불평등전계가 형성되며 이로 인한 전기분해작용이 용이하게 진행된다. 그리고 전기분해시에 발생한 산소와 수소기포들은 슬릿과 같은 날카로운 부분의 강력한 전계에 의하여 방전하기 쉬운 상태로 되며 기포발생시 방전을 촉진시키는 작용을 하게 된다. 전극에 발생된 기포에 방전이 발생하는 이유는 대향된 슬릿형 평행평판전극간에 인가된 전계가 물의 비유전율이 $\epsilon_w \approx 80$ 이고 공기의 비유전율이 $\epsilon_a \approx 1$ 인 이유로 유전상수가 적은 기포내에서의 전계가 물에 인가되는 전계의 약 80배 만큼 커져서 기포내에 기체방전이 먼저 발생되고,^[50] 수중에 이온들을 용존시키게 된다. 따라서 슬릿형 평행평판전극 구조를 가지게 되면 슬릿 개수가 많아질수록 전계분포를 집중시킬 수 있고 슬릿부분에 발생된 기포를 용이하게 방전시킬 수 있다. 본 연구는 불평등전계를 발생시킬 수 있는 구조인 슬릿형 평행평판전극을 채택하여 공간전하들이 슬릿을 통하여 용이하게 전극외측으로 확산되어 빠져나갈 수 있도록 유통개부를 형성함으로써 공간전하들이 전극표면에 축적되는 현상을 방지하여 종래의 평판전극에서는 가지지 못하는 공간전하효과를 가짐으로써 강이온수를 발생시키고자 하였다.

그림 2.28의 (a), (b), (c), (d)는 강이온수 발생장치에 수도수를 0.5 [LPM]의 유속으로 흘리고 인가된 구형파펄스전압의 $t_{off}=1.0$ [ms], $t_{on}=100.0$ [ms]로 고정하였을 때의 전극간격 1.5~5.0 [mm]과 전극판상의 슬릿개수(1~48개)변화에 따른 I-V특성을 나타낸 것이다. 전기전도도($1/R = \Delta I / \Delta V$)를 나타내는 전압 상승분 ΔV 에 의한 전류 상승분 ΔI , 즉, 기울기($slope = \Delta I / \Delta V$)는 전압이 20 [V]까지는 그림 2.28의 (a), (b)는 $\Delta I / \Delta V = 0.05A/10V$, (c), (d)는 $\Delta I / \Delta V = 0.08A/10V$ 정도로 일정하게 나타났다. 그러나, 20~30 [V] 부근에서 슬릿형 평행평판전극의 슬릿은 침전극과 같은 역할을 하게 되어 슬릿부분에서는 강한 불평등전계가 유발되어 부분방전

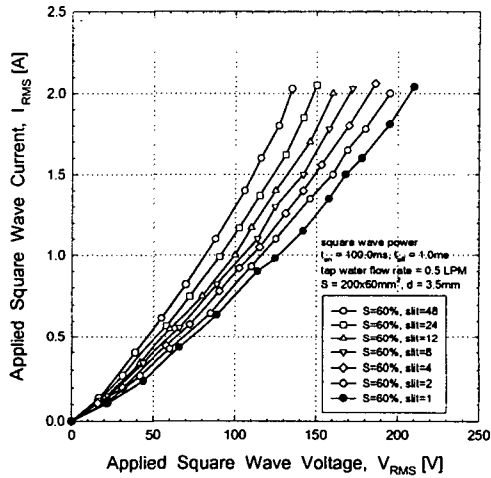
이 발생된다. 또한 슬릿부분의 전류분해작용에 의하여 산소와 수소기포들이 다량으로 생성되며, 이러한 기포들은 슬릿과 같은 날카로운 부분의 강력한 전기장에 의하여 방전하기 쉬운 상태로 되고 또 촉진시키게 된다. 이러한 이유는 대향된 슬릿형 평행평판전극간에 인가된 전계가 물의 비유전율과 공기의 비유전율 차이로 식(2.19)와 같이 나타낼 수 있게 되며, 유전상수가 적은 기포내에 전계가 약 80배 커져서 기포내의 기체방전을 발생시키기 때문이다. 그림 2.28의 (d)의 경우 이 이상의 전압에서는 $\Delta I/\Delta V \geq 0.30A/10V$ 로 크게 증가함을 보여주며 약 20~30 [V]에서 슬릿형 평행평판전극상에는 부분방전이 발생하는 것을 보여준다. 그리고, 그림 2.28의 (d)의 경우 슬릿개수가 각각 1, 12, 48개로 증가됨에 따라 인가전압(80 [V])과 전극면적(60 [%])이 동일함에도 불구하고 전류는 각각 0.96, 1.50, 2.10 [A]로 크게 증가됨을 보여준다. 이는 슬릿개수의 증가에 따라 슬릿형 평행평판전극간의 공간전하가 전극외측으로 용이하게 확산되어 전극간의 집속이온들에 의한 공간전하효과를 크게 감소시켰기 때문이다. 이상의 결과로서 강이온수 발생장치의 평행평판전극간의 간격이 5.0 [mm]에서 1.5 [mm]로 좁아지고 슬릿개수가 1개에서 48개로 가변됨에 따른 I-V특성상의 $\Delta I/\Delta V$ 는 전극간격이 1.5 [mm], 슬릿개수가 48개인 경우 즉, 평행평판전극상의 간격이 좁고 작은 슬릿이 폭넓고 균일하게 많이 분포될 때에 동일전압에서 가장 높은 전류치를 나타내었다.

본 연구는 수증에서 유통개부에 의한 공간전하효과를 크게 감소시키고 불평등전계를 형성시켜서 슬릿형 평행평판전극간에 발생한 기포들에 의한 기포이론(Bubble theory)^[50]을 근거로 하여 다량의 기포들을 형성하는 전극형태인 슬릿형 평행평판전극을 설정하여 기존의 이온수 발생장치보다 고전계를 유도하면서 저전압에서도 기포방전을 일으킬 수 있는 슬릿형 평행평판전극 구조를 제안하여 가장 효과적인 강이온수 발생장치로서의 가능성을 보여주었다.



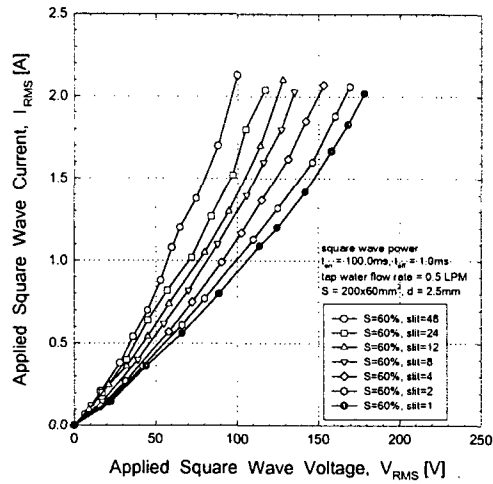
(a) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 5.0$ [mm]

그림 2.28 수도수에서 슬릿개수변화에 따른 소자의 전류-전압특성
 Fig. 2.28 I-V characteristics of cell for various numbers of slits in tap water.



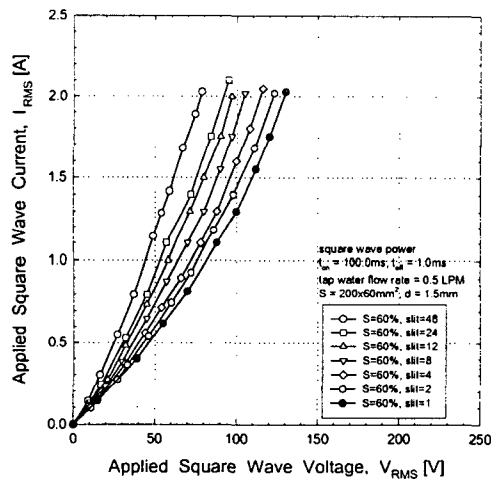
(b) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 3.5$ [mm]

그림 2.28 수도수에서 슬릿개수변화에 따른 소자의 전류-전압특성
 Fig. 2.28 I-V characteristics of cell for various numbers of slits in tap water.



(c) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 2.5$ [mm]

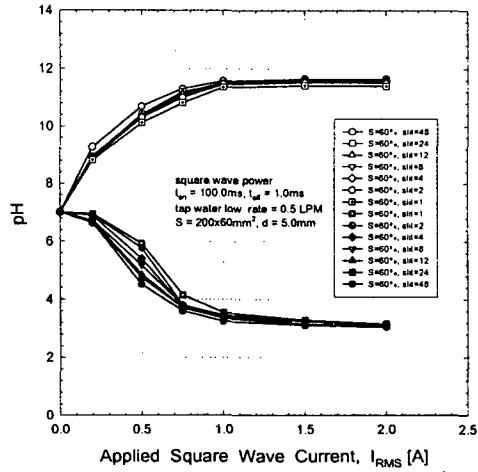
그림 2.28 수도수에서 슬릿개수변화에 따른 소자의 전류-전압특성
 Fig. 2.28 I-V characteristics of cell for various numbers of slits in tap water.



(d) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 1.5$ [mm]

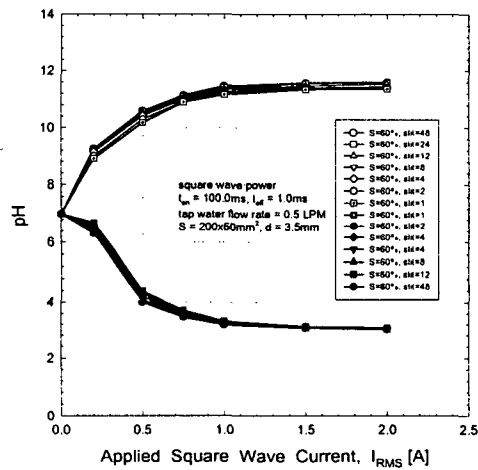
그림 2.28 수도수에서 슬릿개수변화에 따른 소자의 전류-전압특성
 Fig. 2.28 I-V characteristics of cell for various numbers of slits in tap water.

그림 2.29의 (a), (b), (c), (d)는 강이온수 발생장치에 구형파펄스전압의 $t_{off}=1.0$ [ms], $t_{on}=100.0$ [ms]로 고정하고 수도수만을 0.5 [LPM]의 유속으로 흘렸을 때의 전극간격을 1.5에서 5.0 [mm]로 변화시키고, 전극판상의 슬릿개수를 1개에서 48개로 변화시켰을 때의 pH-I특성을 나타낸 것이다. 인가된 평균펄스 전류분이 증가할수록 음전극측에서의 수소이온농도는 점차적으로 증가하여 포화하고, 양극측에서의 수소이온농도는 점차적으로 감소하여 포화하는 것으로 나타났다. 본 연구에서 슬릿형 평행평판전극의 개부면적은 전전극면적의 40 [%], 즉, $S = 60$ [%] 정도로 전극면적이 $S = 100$ [%]인 개부가 형성되지 않은 평행평판전극보다 공간전하가 전극외측으로 용이하게 확산되어 빠져나갈 수 있도록 하여 공간전하들이 전극표면에 축적되는 현상을 방지함으로써 공간전하효과를 크게 감소시켰고, 유통개부가 형성되어 있는 슬릿의 가장자리 부분은 침전극과 같은 역할을 하게 되어 강한 불평등전계를 유발시켰다. 그리고 전기분해시 발생된 산소와 수소기포사이에 기포방전을 유발시켜서 수중 전기분해작용을 크게 증가시킴으로서 저전력에서 강이온수를 발생시켰다. 슬릿형 평행평판전극에서 공간전하효과를 가장 적절히 제어 가능한 슬릿개수가 48개인 경우 평균펄스전류가 2.0 [A]이고 전극간격이 5.0 [mm]에서 1.5 [mm]로 좁아짐에 따라 저전류에서 강이온수를 발생시켰으나, 그림 2.29 (c)의 경우 pH 3.0의 산성수, 11.61의 알카리수보다 (d)의 경우 pH 3.0의 산성수, 11.26의 알카리수 정도로 출력 수소이온농도가 높지 못한 이유는 전극간격이 좁아질수록 대향 슬릿형 평행평판전극간에 존재하는 수중 이온들의 총량이 적어져서 전계에 따른 이온들의 분리집속효과가 약해진 결과이다.



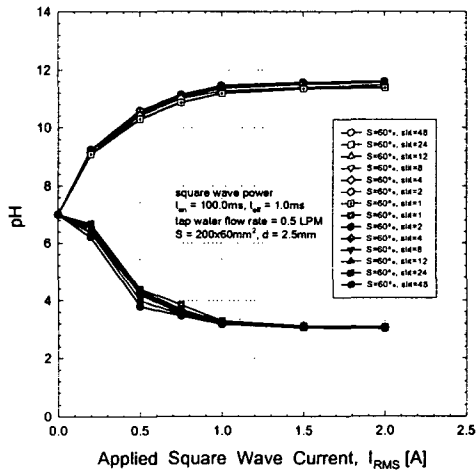
(a) $S = 200 \times 60$ [mm^2], $d = 5.0$ [mm]
 그림 2.29 수도수에서 슬릿개수변화에 따른 소자의 수소이온농도-전류특성

Fig. 2.29 pH-I characteristics of cell for various numbers of slits in tap water.



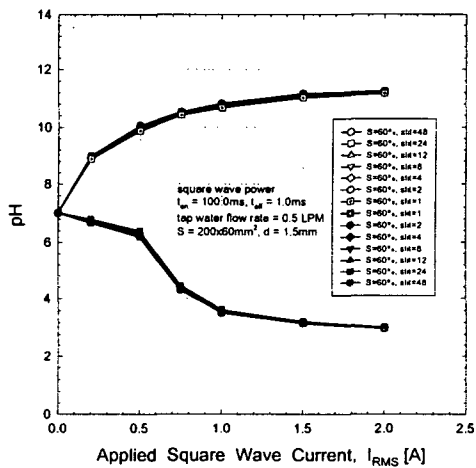
(b) $S = 200 \times 60$ [mm^2], $d = 3.5$ [mm]
 그림 2.29 수도수에서 슬릿개수변화에 따른 소자의 수소이온농도-전류특성

Fig. 2.29 pH-I characteristics of cell for various numbers of slits in tap water.



(c) $S = 200 \times 60$ [mm^2], $d = 2.5$ [mm]
 그림 2.29 수도수에서 슬릿개수변화에 따른 소자의 수소이온농도-전류특성

Fig. 2.29 pH-I characteristics of cell for various numbers of slits in tap water.

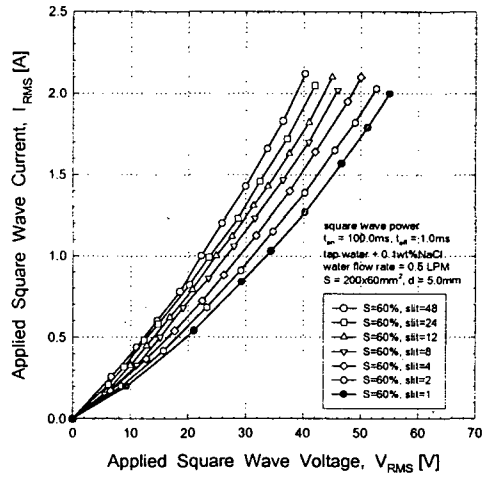


(d) $S = 200 \times 60$ [mm^2], $d = 1.5$ [mm]
 그림 2.29 수도수에서 슬릿개수변화에 따른 소자의 수소이온농도-전류특성

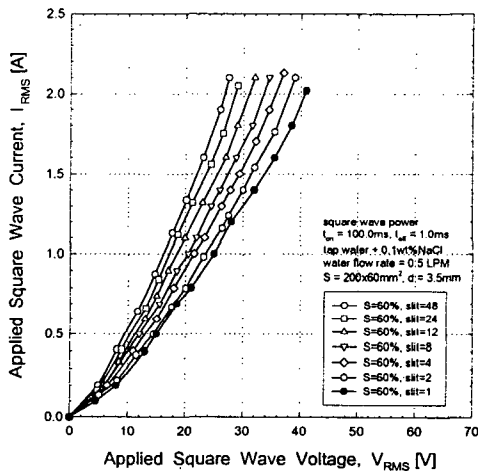
Fig. 2.29 pH-I characteristics of cell for various numbers of slits in tap water.

그림 2.30의 (a), (b), (c), (d)는 강이온수 발생장치에 NaCl 0.1 [wt%]가 용해된 수도수를 0.5 [LPM]의 유속으로 인입하고 인가된 구형파펄스전압의 $t_{off}=1.0$ [ms], $t_{on}=100.0$ [ms]로 고정하였을 때 슬릿형 평행평판전극간의 대향전극간격이 1.5~5.0 [mm], 전극판상의 슬릿개수가 1~48개로 변화하였을 때 I-V특성을 나타낸 것이다. 전기전도도($1/\Delta R=\Delta I/\Delta V$)를 나타내는 전압 상승분 ΔV 에 의한 전류 상승분 ΔI , 즉, 기울기($slope=\Delta I/\Delta V$)는 대향전극간격이 좁아질수록 급격히 증가하였다. 강이온수 발생장치 내의 슬릿형 평행평판전극 간격이 1.5 [mm]이고 NaCl 0.1 [wt%]가 용해된 수도수를 인입한 경우인 그림 2.30 (d)의 경우 $\Delta I/\Delta V=1.7A/10V$ 로서 수도수만을 인입한 그림 2.28 (d)의 경우 $\Delta I/\Delta V=0.3A/10V$ 보다 전기전도도가 약 5.6배 정도로 증가하는 것을 보여주며, 그림 2.30 (a), (b), (c), (d)의 경우에는 매우 낮은 전압(약 6V)에서부터 I-V특성의 기울기가 변곡하기 시작하여 부분방전이 발생됨을 보여준다. 또한 슬릿개수가 증가할수록 강이온수 발생공간 내에서의 유통개부 효과인 공간전하효과의 제어작용과 전기분해시 발생된 기포내의 방전도 수도수의 경우와 같이 나타냄을 보여준다.

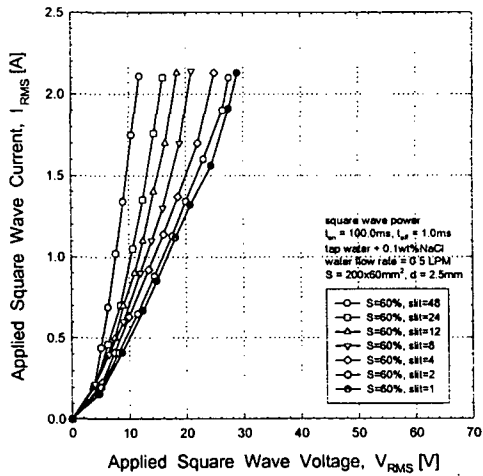
그림 2.31 (a), (b), (c), (d)는 강이온수 발생장치에 구형파전압의 $t_{off}=1.0$ [ms], $t_{on}=100.0$ [ms]로 고정하고 수도수만을 0.5 [LPM]의 유속으로 인입하였을 때의 대향전극간격과 전극판상의 슬릿개수변화에 따른 pH-I특성을 나타낸 것이다. 본 강이온수 발생장치에 NaCl 0.1 [wt%]가 용해된 수도수를 인입한 경우가 수도수만을 인입한 경우보다 저전력에서 고농도의 이온수를 발생시켰으나, 그림 2.29의 (c), (d)와 같이 대향전극간격이 2.5 [mm]에서 1.5 [mm]로 좁아진 경우 전극의 유통개부에서의 공간전하효과의 제어, 전계집중효과 그리고 기포방전을 동시에 할 수 있으나 수중에 존재하는 이온들의 총량이 적어져서 이온들의 분리집속효과가 높지 못했다. 그림 2.31의 (c)에서 슬릿개수가 48개, 평균펄스전류가 2.0 [A]일 때 pH 2.6의 고농도 산성수와 pH 12.34의 고농도 알카리수를 발생시켰다. 이러한 이유는 종래의 강이온수 발생장치의 전극구조인 평행평판전극 구조가 아닌 유통개부가 형성되어 있는 슬릿형 구조이기 때문이다. 본 연구는 유통개부가 형성되어 있는 슬릿부분에서 강한 불평등전계를 형성하면서, 전기분해시 발생하는 기포들을 저전력에서 효과적으로 파괴하여 전기분해작용을 증가시키고 유통개부를 형성하여 공간전하를 효과적으로 제어하는 형태로서 염화나트륨 용해수를 인입한 경우 수도수를 전해조에 인입한 경우보다 수중 이온들의 양이 증가하고 전기전도도가 증가하여 저전력에서 고농도의 강산성수와 알카리수를 발생시켰다.



(a) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 5.0$ [mm]
 그림 2.30 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서
 슬릿개수변화에 따른 소자의 전류-전압특성
 Fig. 2.30 I-V characteristics of cell for various numbers
 of slits in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.



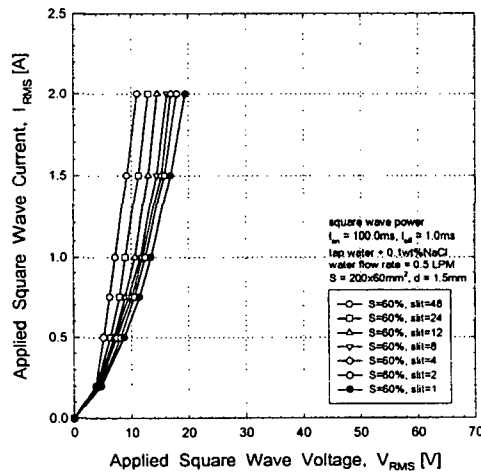
(b) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 3.5$ [mm]
 그림 2.30 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서
 슬릿개수변화에 따른 소자의 전류-전압특성
 Fig. 2.30 I-V characteristics of cell for various numbers
 of slits in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.



(c) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 2.5$ [mm]

그림 2.30 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 슬릿개수변화에 따른 소자의 전류-전압특성

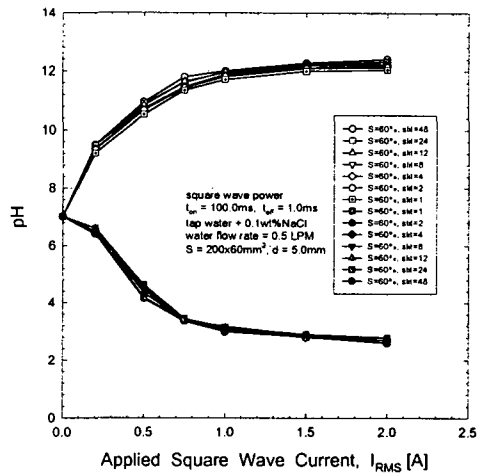
Fig. 2.30 I-V characteristics of cell for various numbers of slits in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.



(d) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 1.5$ [mm]

그림 2.30 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 슬릿개수변화에 따른 소자의 전류-전압특성

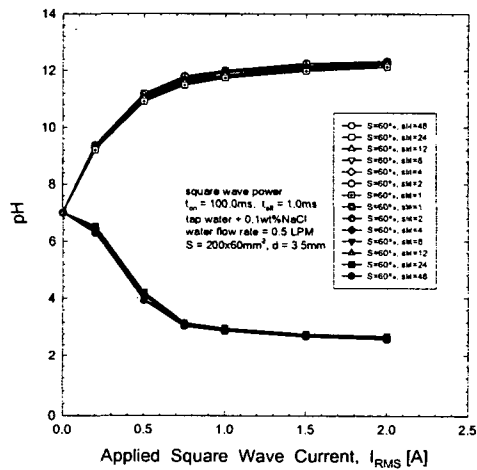
Fig. 2.30 I-V characteristics of cell for various numbers of slits in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.



(a) $S = 200 \times 60$ [mm^2], $d = 5.0$ [mm]

그림 2.31 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 슬릿개수변화에 따른 소자의 수소이온농도-전류특성

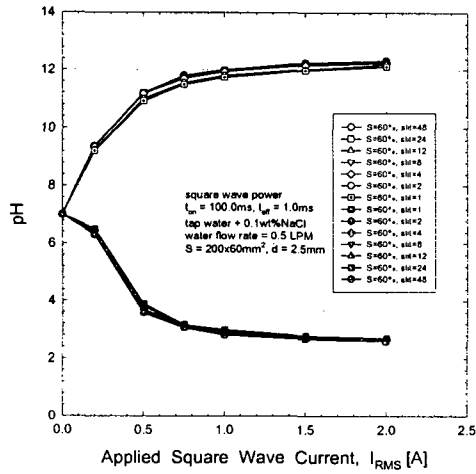
Fig. 2.31 pH-I characteristics of cell for various numbers of slits in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.



(b) $S = 200 \times 60$ [mm^2], $d = 3.5$ [mm]

그림 2.31 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 슬릿개수변화에 따른 소자의 수소이온농도-전류특성

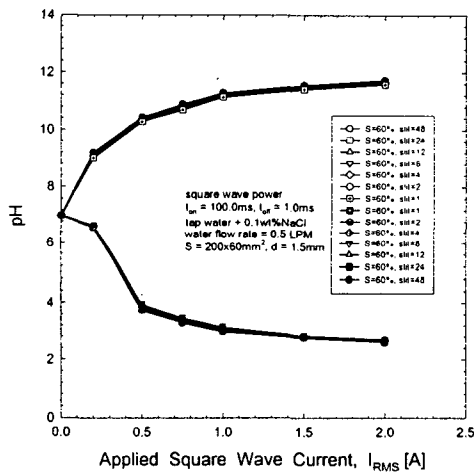
Fig. 2.31 pH-I characteristics of cell for various numbers of slits in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.



(c) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 2.5$ [mm]

그림 2.31 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 슬릿개수변화에 따른 소자의 수소이온농도-전류특성

Fig. 2.31 pH-I characteristics of cell for various numbers of slits in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.



(d) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 1.5$ [mm]

그림 2.31 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 슬릿개수변화에 따른 소자의 수소이온농도-전류특성

Fig. 2.31 pH-I characteristics of cell for various numbers of slits in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.

그림 2.32는 강이온수 발생장치에 슬릿형 평행평판전극을 설치하여 NaCl 0.1 [wt%]가 용해된 수도수를 0.5 [LPM]의 유속으로 인입하고 인가된 구형파전압의 $t_{off}=1.0$ [ms], $t_{on}=100.0$ [ms]로 고정하고 30시간 사용 후 산화철 부착에 의해 이온 분리막이 오손된 모습으로서, 50배 확대사진이다.

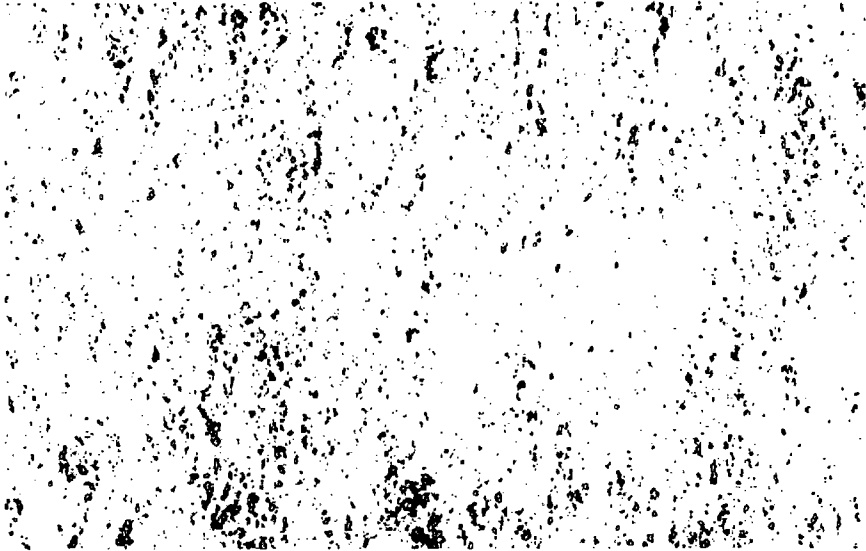
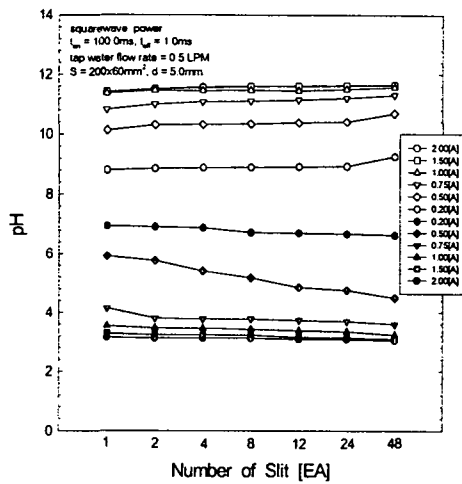


그림 2.32 30시간 사용 후 산화철 부착에 의한 이온분리막의 오손
Fig. 2.32 Contamination of ion exchange membrane by attachment
of iron oxide after 30 hours' using.

그림 2.33 (a), (b), (c), (d)는 강이온수 발생장치에 수도수를 0.5 [LPM]의 유속으로 흘리고 인가된 구형파펄스전압의 $t_{off}=1.0$ [ms], $t_{on}=100.0$ [ms]로 고정하였을 때 인가 펄스전류의 변화와 슬릿개수 증가에 따른 출력 수소이온농도특성이다. 동일 전류에서 슬릿개수가 증가함에 따라 고농도의 산성수 및 알카리성수를 발생시켰으며, 인가 펄스전류의 증가에 따라 출력 수소이온농도도 크게 증가함을 보여준다. 이러한 이유는 유통개부를 가지는 슬릿형 평행평판전극의 구조가 인가된 전계가 높아질수록 공간전하들을 전극표면에 축적시키지 않고 용이하게 전극외측으로 확산시키고 슬릿부분에서의 강한 불평등전계와 전기분해시에 발생된 산소와 수소기포들 사이에 물과 공기의 비유전율 차이로 인한 기포방전이 발생하여 전기분해작용을 크게 증가시켰기 때문이다. 그러나, 전류가 1.5 [A]이상이 되면 슬릿의 효과가 상대적으로 미약해짐을 보여 주는데, 이는 본 강이온수 발생장치 내의 대향된 슬릿형 평행평판전극간의 좁은 전극간격에서 공간전하량이 전류 1.5 [A]이상의 과대증가에 의해 전극 내외부에 포화되어 공간전하효과를 더 이상 제어할 수 없기 때문이다.

그림 2.34 (a), (b), (c), (d)는 강이온수 발생장치에 NaCl 0.1 [wt%]의 용해수를 0.5 [LPM]의 유속으로 흘리고 인가된 구형파펄스전압의 $t_{off}=1.0$ [ms], $t_{on}=100.0$ [ms]로 고정하였을 때 인가 펄스전류의 변화와 슬릿개수 증가에 따른 출력 수소이온농도특성이다. 강이온수 발생장치에 NaCl 0.1 [wt%] 용해수를 인입한 경우 동일 전류에서 슬릿개수와 펄스전류의 증가에 따라 음전극측의 알카리수와 양전극측의 산성수의 농도도 크게 증가함을 보여주며, 펄스전류가 1.5 [A]이상이 되면 좁은 전극간격에서 공간전하량이 포화되어 공간전하효과를 더 이상 제어할 수 없기 때문에 출력 수소이온농도가 포화하는 경향을 나타냈다. 그리고 슬릿개수가 48개, 평균펄스전류가 2.0 [A]일 때 그림 2.34 (d)의 경우 음전극측의 알카리수의 농도는 pH 11.74, 양전극측의 산성수의 경우 pH 2.61이나, (c)의 경우 pH 12.34, pH 2.6의 강이온수가 발생되었다. 이러한 이유는 슬릿개수가 증가할수록 공간전하가 전극외측으로 용이하게 확산되어 공간전하효과를 크게 감소시켰으나, 대향전극의 간격이 2.5 [mm]에서 1.5 [mm]로 좁아짐에 따라 수중에 존재하는 이온들의 총량이 감소하였기 때문에 전계에 다른 이온들의 분리집속효과가 약해졌기 때문이다.

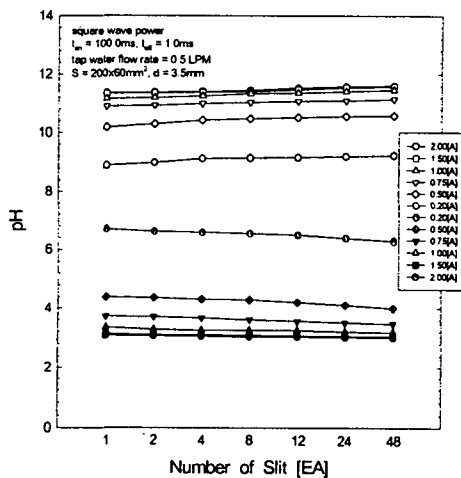
그림 2.35는 강이온수 발생장치에 대향전극간격이 5.0 [mm]인 슬릿형 평행평판전극을 설치하여 수도수를 0.5 [LPM]의 유속으로 흘리고 인가된 구형파전압의 $t_{off}=1.0$ [ms], $t_{on}=100.0$ [ms]로 고정하였을 때 인가 전류증가에 의한 강이온수 발생장치내의 온도특성곡선으로서 0.5 [A]까지는 평균펄스전류가 증가하여도 슬릿형 평행평판전극에서 발생된 이온수의 온도는 일정하나 이 이상에서는 급속하게 증가하여 218 [V], 2.0 [A]인 경우에는 약 10 [°C]이상으로 발생된 이온수의 온도가 증가하였다.



(a) $S = 200 \times 60 \text{ [mm}^2\text{]}$, $d = 5.0 \text{ [mm]}$

그림 2.33 수도수에서 슬릿개수변화에 따른 소자의 수소이온농도특성

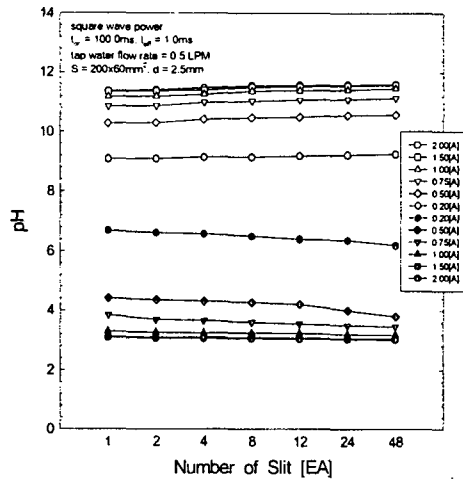
Fig. 2.33 pH characteristics of cell for various numbers of slits in tap water.



(b) $S = 200 \times 60 \text{ [mm}^2\text{]}$, $d = 3.5 \text{ [mm]}$

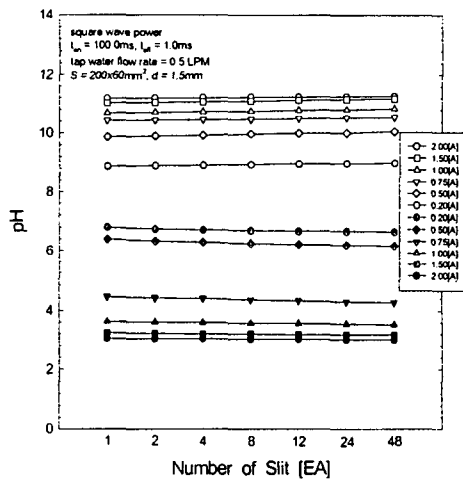
그림 2.33 수도수에서 슬릿개수변화에 따른 소자의 수소이온농도특성

Fig. 2.33 pH characteristics of cell for various numbers of slits in tap water.



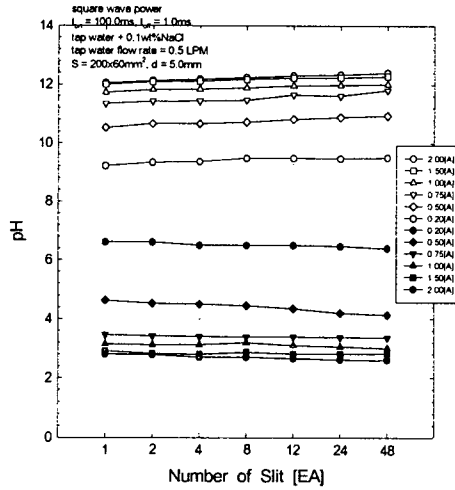
(c) $S = 200 \times 60 \text{ [mm}^2\text{]}$, $d = 2.5 \text{ [mm]}$

그림 2.33 수도수에서 슬릿개수변화에 따른 소자의 수소이온농도특성
 Fig. 2.33 pH characteristics of cell for various numbers of slits in tap water.



(d) $S = 200 \times 60 \text{ [mm}^2\text{]}$, $d = 1.5 \text{ [mm]}$

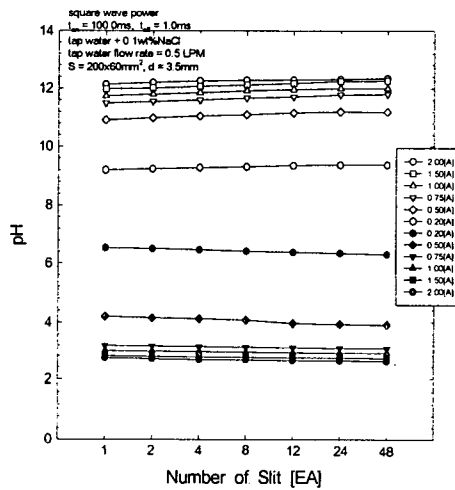
그림 2.33 수도수에서 슬릿개수변화에 따른 소자의 수소이온농도특성
 Fig. 2.33 pH characteristics of cell for various numbers of slits in tap water.



(a) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 5.0$ [mm]

그림 2.34 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서
 슬릿개수변화에 따른 소자의 수소이온농도특성

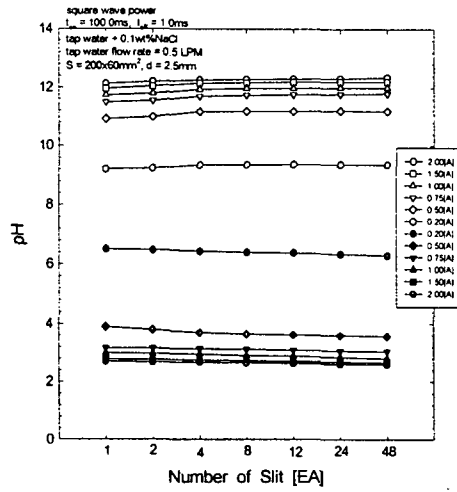
Fig. 2.34 pH characteristics of cell for various numbers of slits
 in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.



(b) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 3.5$ [mm]

그림 2.34 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서
 슬릿개수변화에 따른 소자의 수소이온농도특성

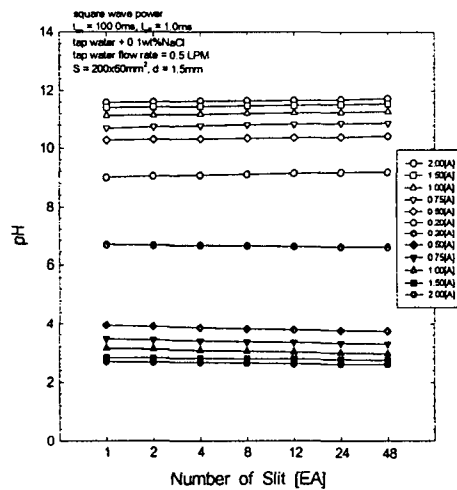
Fig. 2.34 pH characteristics of cell for various numbers of slits
 in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.



(c) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 2.5$ [mm]

그림 2.34 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서
슬릿개수변화에 따른 소자의 수소이온농도특성

Fig. 2.34 pH characteristics of cell for various numbers of slits
in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.



(d) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 1.5$ [mm]

그림 2.34 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서
슬릿개수변화에 따른 소자의 수소이온농도특성

Fig. 2.34 pH characteristics of cell for various numbers of slits
in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.

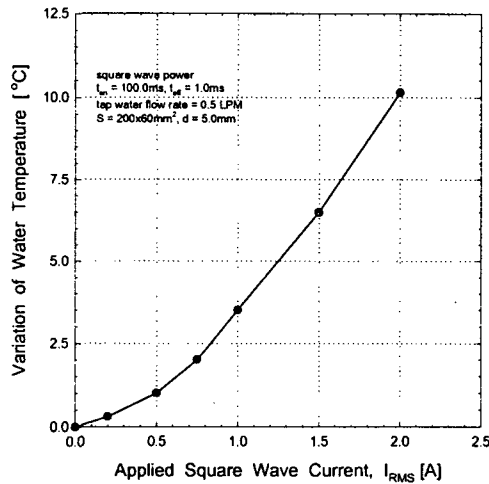


그림 2.35 수도수에서 인가 전류에 의한 소자의 온도특성

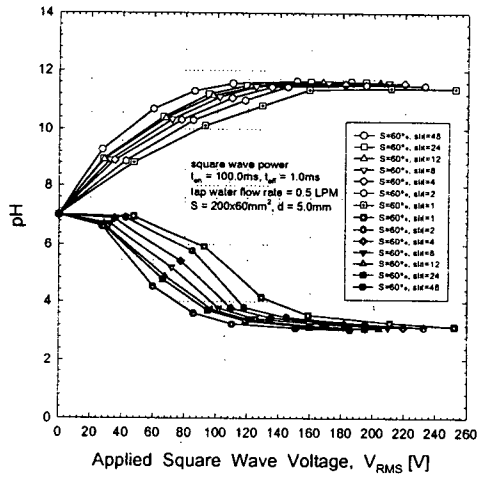
Fig. 2.35 Temperature-I characteristics for cell in tap water.

그림 2.36 (a), (b), (c), (d)는 강이온수 발생장치에 슬릿형 평행평판전극을 설치하여 수도수를 0.5 [LPM]의 유속으로 인입하고 인가된 구형파전압의 $t_{off}=1.0$ [ms], $t_{on}=100.0$ [ms]로 고정하였을 때 인가 구형파전압의 증가에 의한 강이온수 발생장치의 음극측의 강알카리성수와 양극측 강산성수중의 출력 수소이온농도특성을 나타낸 것이다. 슬릿개수가 증가하고 인가된 평균펄스전압이 높아질수록 강이온수를 효과적으로 얻을 수 있음을 보여준다. 인가된 평균펄스전압이 증가할수록 음극측의 강알카리 이온수중에서의 출력 수소이온농도는 급속히 증가하여 포화하고, 양극측의 강산성 이온수중에서는 수중이온농도가 급격히 감소하여 포화하는 것으로 나타났다. 슬릿형 평행평판전극의 간격이 5.0 [mm]에서 1.5 [mm]로 좁아짐에 따라 저전력에서 고농도의 산성수와 알카리수를 발생시켰으나, 슬릿형 평행평판전극의 간격이 1.5 [mm]보다 2.5 [mm]에서의 출력 수소이온농도가 높은 이유는 대향전극의 간격이 좁아져서 수중 이온들의 농도가 감소되었기 때문이다. 또한 슬릿개수가 1~48개로 증가함에 따라 다침전극과 같은 강한 불평등전계 부분이 다량으로 발생되어 전계분포집중효과와 전기분해시 발생된 기포들에 의한 기포방전이 유발되어 전기분해작용을 크게 증가시켰다. 그리고 유통개부로 인하여 공간전하들을 전극내측에 축적시키지 않고 전극외측으로 용이하게 확산시킴으로서 음전극측에서는 고농도의 알

카리수와 양전극측에서는 고농도의 산성수를 발생시켰다. 그림 2.36 (c)의 경우에 평균펄스전압이 96 [V]일 때 pH 11.61의 강알카리수와 pH 3.02의 강산성수를 효과적으로 발생시킴을 보여주었다.

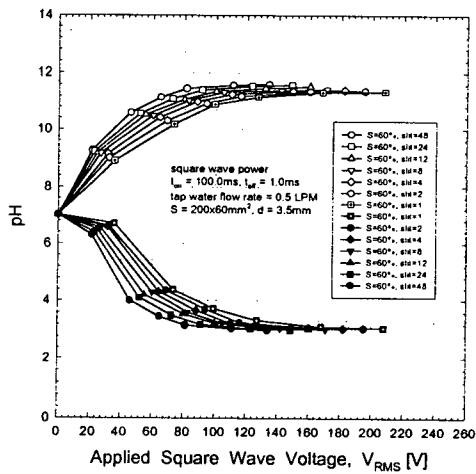
그림 2.37 (a), (b), (c), (d)는 강이온수 발생장치에 슬릿형 평행평판전극을 설치하여 NaCl 0.1 [wt%]의 용해수를 0.5 [LPM]의 유속으로 인입하고 인가된 구형파전압의 $t_{off}=1.0$ [ms], $t_{on}=100.0$ [ms]로 고정하였을 때 인가 구형파전압의 증가에 따른 출력 수소이온농도특성을 나타낸 것이다. 그림 2.36 (a), (b), (c), (d)와 같이 수중 전해집중효과와 공간전하효과 제어에 의해 발생하는 고농도의 이온수는 슬릿형 평행평판전극간격이 5.0~1.5 [mm]로 좁아질수록, 그리고 슬릿개수가 증가할수록 효과적으로 발생되었다. 그림 2.37 (c)의 경우 평균펄스전압이 11.5 [V]이고 슬릿개수가 48개인 경우 pH 12.34의 알카리수와 pH 2.60의 산성수를 저전압에서 발생시켰다. 이러한 이유는 NaCl을 수도수에 용해시킴으로서 수중 이온농도를 크게 증가시킨 결과($\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$)에 의한 것으로 판단된다. 그리고 염화나트륨 용해수를 인입수로 사용한 결과 수중 이온들의 증가현상과 전기전도도의 증가현상으로 인해 저전력에서 고농도의 강산성수와 강알카리수를 발생시켰지만, 대향된 슬릿형 평행평판전극간격이 2.5 [mm]인 경우에 비해서 1.5 [mm]인 경우에 동일전압에서 강이온수가 발생되지 않는 이유는 슬릿형 평판전극의 대향간격이 좁아져서 강이온수 발생장치 내에 존재하는 수중 이온들의 총량이 감소되었기 때문이다.

종래형 강이온수 발생장치의 전극구조 문제점을 개선시킨 형태인 슬릿형 평행평판전극을 강이온수 발생장치의 대향전극으로 사용한 결과, 종래의 평행평판전극구조에서는 가질수 없는 강한 불평등전계를 가졌으며, 전기분해시 발생하는 산소와 수소기포들을 저전력에서 효과적으로 파괴하여 전기분해작용을 증가시켰다. 그리고 형성된 유통개부로 인하여 공간전하를 효과적으로 제어할 수 있어서 종래형 이온수 발생장치에 비해 강이온수를 발생시킬 수 있었다. 수도수와 염화나트륨 용해수를 인입수로 사용한 경우 염화나트륨 용해수를 인입한 경우가 수중 이온농도증가로 인하여 전기전도도($1/\Delta R = \Delta I / \Delta V$)를 나타내는 전압 상승분 ΔV 에 의한 전류 상승분 ΔI , 즉, 기울기($\text{slope} = \Delta I / \Delta V$)를 증가시키면서 수중 이온들을 효과적으로 전기분해시키고 집속시켜서 강이온수를 발생시킬 수 있었다.



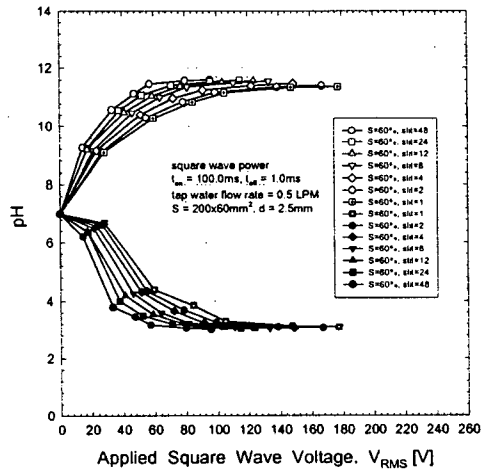
(a) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 5.0$ [mm]
 그림 2.36 수도수에서 슬릿개수변화에 따른 소자의 수소이온농도-전압특성

Fig. 2.36 pH-V characteristics of cell for various numbers of slits in tap water.



(b) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 3.5$ [mm]
 그림 2.36 수도수에서 슬릿개수변화에 따른 소자의 수소이온농도-전압특성

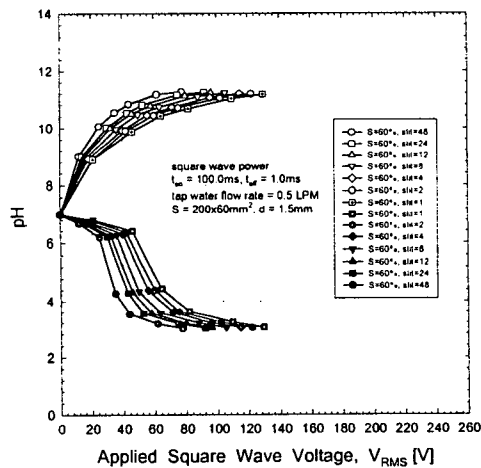
Fig. 2.36 pH-V characteristics of cell for various numbers of slits in tap water.



(c) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 2.5$ [mm]

그림 2.36 수도수에서 슬릿개수변화에 따른 소자의 수소이온농도-전압특성

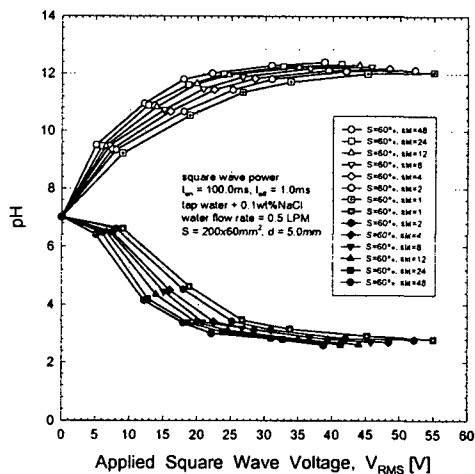
Fig. 2.36 pH-V characteristics of cell for various numbers of slits in tap water.



(d) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 1.5$ [mm]

그림 2.36 수도수에서 슬릿개수변화에 따른 소자의 수소이온농도-전압특성

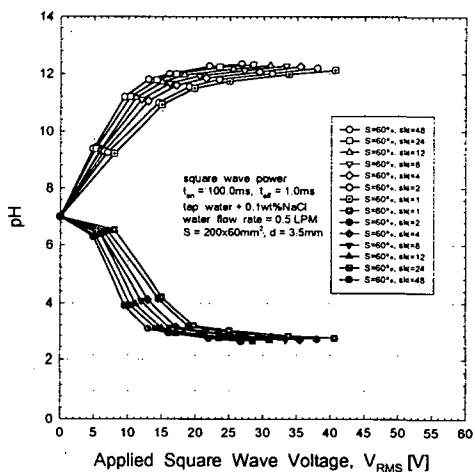
Fig. 2.36 pH-V characteristics of cell for various numbers of slits in tap water.



(a) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 5.0$ [mm]

그림 2.37 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서
슬릿개수변화에 따른 소자의 수소이온농도-전압특성

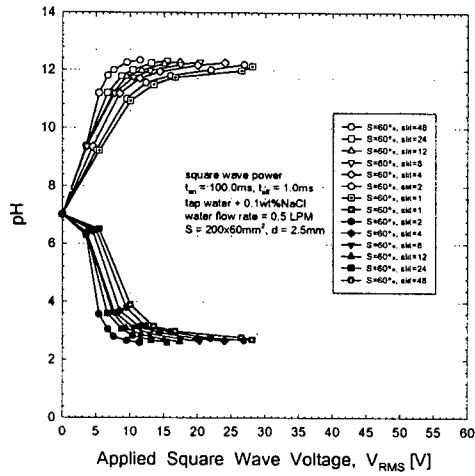
Fig. 2.37 pH-V characteristics of cell for various numbers of slits in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.



(b) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 3.5$ [mm]

그림 2.37 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서
슬릿개수변화에 따른 소자의 수소이온농도-전압특성

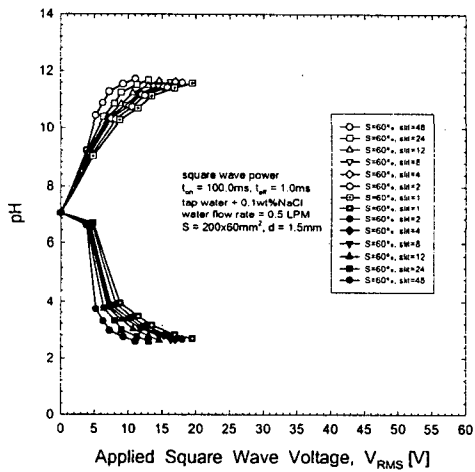
Fig. 2.37 pH-V characteristics of cell for various numbers of slits in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.



(c) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 2.5$ [mm]

그림 2.37 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 슬릿개수변화에 따른 소자의 수소이온농도-전압특성

Fig. 2.37 pH-V characteristics of cell for various numbers of slits in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.



(d) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 1.5$ [mm]

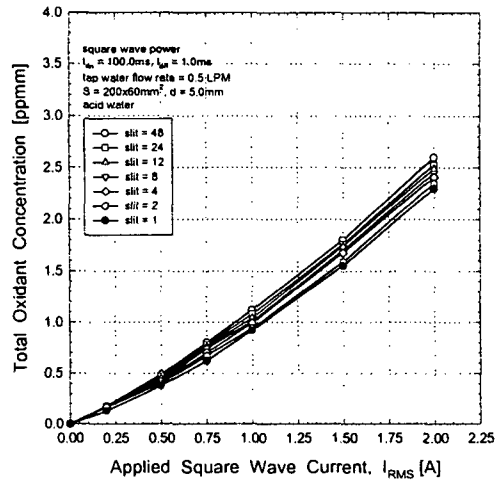
그림 2.37 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 슬릿개수변화에 따른 소자의 수소이온농도-전압특성

Fig. 2.37 pH-V characteristics of cell for various numbers of slits in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.

4.3.2 슬릿형 평행평판전극계의 산화성물질 발생특성

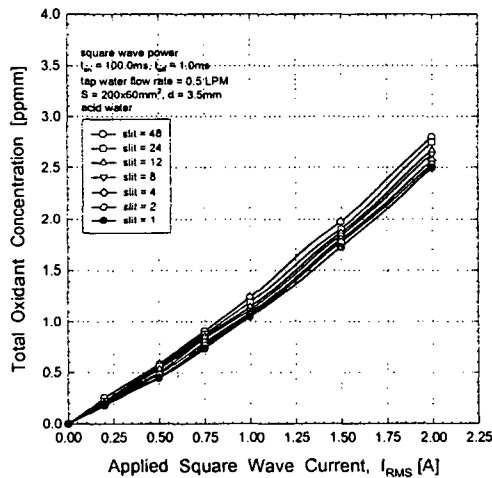
본 연구는 슬릿형 평행평판전극계의 양전극측과 음전극측에서의 산화성물질농도를 증가시키기 위한 연구이다. 그림 2.38 (a), (b), (c), (d)는 강이온수 발생장치에 슬릿형 평행평판전극을 설치하여 수도수를 0.5 [LPM]의 유속으로 인입하고 인가된 구형파전압의 $t_{off}=1.0$ [ms], $t_{on}=100.0$ [ms]로 고정하였을 때 강이온수 발생장치 내의 양전극측수의 평균펄스전류 증가에 따른 산화성물질 발생특성곡선이다. 인가전압(전류)이 높아짐에 따라 방전이 크게 발생하게 되며, 또한 전극간격이 5.0~1.5 [mm]로 좁아지고 슬릿개수가 증가함에 따라 날카롭게 대향된 전극측면수가 증가하여 다량의 불평등전계부분이 발생되고, 이러한 슬릿형 평행평판전극측의 면에서 전기분해에 의해 생성된 기포속에는 강력한 전계에 의해 방전이 일어나서 기포가 분열하게 된다. 이는 슬릿형으로 형성된 전극면들에 의해 수중 방전이 원활하게 발생되기 때문이다. 또한 물의 유전율이 $\epsilon_w \approx 80$ 이고 공기의 유전율이 $\epsilon_a \approx 1$ 인 이유로 유전율이 80배 작은 기포내에서의 전계가 물에서의 경우보다 약 80배 커져서 기포내의 기체방전이 먼저 형성^[50]되고 이때 발생하는 열에 의하여 고온으로 되어 파열과 생성을 반복하면서 기포방전을 유도하게 된다. 따라서 평균펄스전류가 증가함에 따라 고농도의 강산화성물질 용존수가 발생되었다. 특히, 슬릿형 평행평판전극의 간격이 1.5 [mm]이고, 슬릿개수가 48개인 경우에 2.0 [A]에서 3.60 [ppmm] 정도의 산화성물질 용존수를 발생시켰다. 이는 슬릿형 평행평판전극간에 슬릿개수가 증가할수록 슬릿의 날카로운 측면이 증가되고 따라서 고전계 발생면이 증가하기 때문에 수중 고전계분포는 대향전극의 전면에 걸쳐서 커지게 되기 때문이다.

그림 2.39 (a), (b), (c), (d)는 강이온수 발생장치에 슬릿형 평행평판전극을 설치하여 NaCl 0.1 [wt%]의 용해수를 0.5 [LPM]의 유속으로 인입하고 인가된 구형파전압의 $t_{off}=1.0$ [ms], $t_{on}=100.0$ [ms]로 고정하였을 때 강이온수 발생장치 내의 양전극측수의 평균펄스전류 증가에 따른 산화성물질 발생특성곡선이다. 슬릿형 평행평판전극의 대향간격이 좁고 작은 슬릿이 폭넓고 균일하게 많이 분포될 때 동일전류에서 고농도의 총산화성물질 용존수를 발생시켰다. 그리고 슬릿형 평행평판전극의 간격이 1.5 [mm]이고, 슬릿개수가 48개인 경우에서 NaCl 0.1 [wt%]의 용해수를 인입한 경우가 수도수만을 인입한 경우보다 2.0 [A]에서 최고 7배인 23.21 [ppmm] 정도의 고농도 산화성물질 용해수를 발생시켰다. 이것은 슬릿형 평행평판전극간에 인입된 0.1 [wt%]의 NaCl로 인한 수중 이온의 증가로 HOCl가 다량으로 생성되었기 때문인 것으로 사료된다.



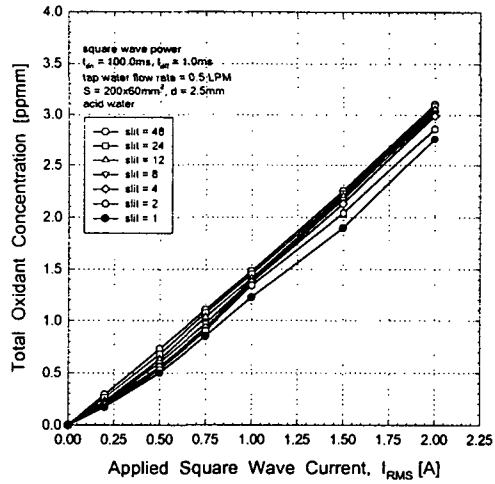
(a) $S = 200 \times 60$ [mm^2], $d = 5.0$ [mm]

그림 2.38 수도수에서 양전극측의 산성수에 의한 총산화성물질-전류특성
 Fig. 2.38 Total oxidant-I characteristics for acid water of positive electrode side in tap water.



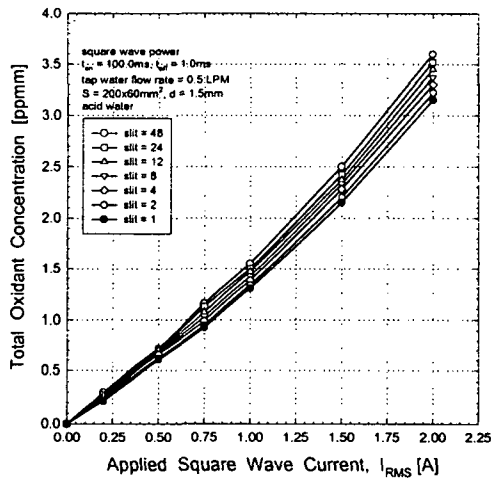
(b) $S = 200 \times 60$ [mm^2], $d = 3.5$ [mm]

그림 2.38 수도수에서 양전극측의 산성수에 의한 총산화성물질-전류특성
 Fig. 2.38 Total oxidant-I characteristics for acid water of positive electrode side in tap water.



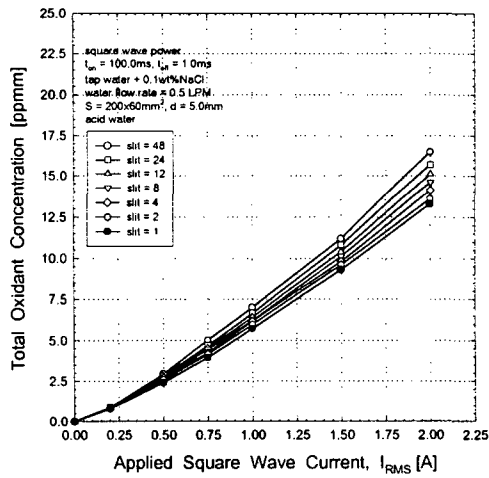
(c) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 2.5$ [mm]

그림 2.38 수도수에서 양전극측의 산성수에 의한 총산화성물질-전류특성
 Fig. 2.38 Total oxidant-I characteristics for acid water of positive electrode side in tap water.



(d) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 1.5$ [mm]

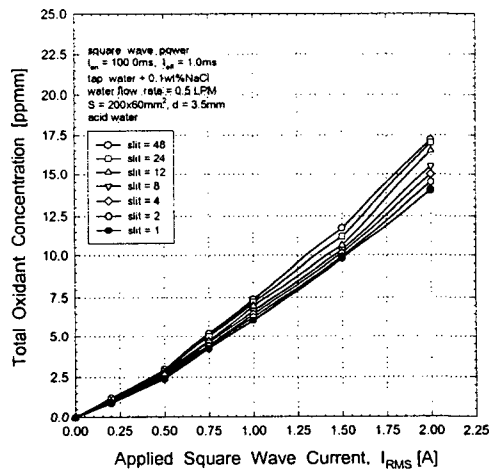
그림 2.38 수도수에서 양전극측의 산성수에 의한 총산화성물질-전류특성
 Fig. 2.38 Total oxidant-I characteristics for acid water of positive electrode side in tap water.



(a) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 5.0$ [mm]

그림 2.39 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 양전극측의 산성수에 의한 총산화성물질-전류특성

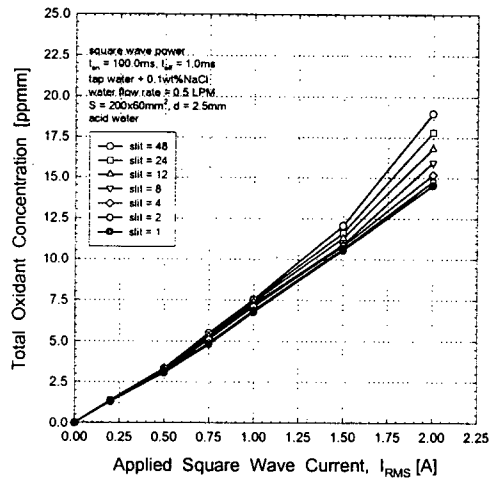
Fig. 2.39 Total oxidant-I characteristics for acid water of positive electrode side in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.



(b) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 3.5$ [mm]

그림 2.39 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 양전극측의 산성수에 의한 총산화성물질-전류특성

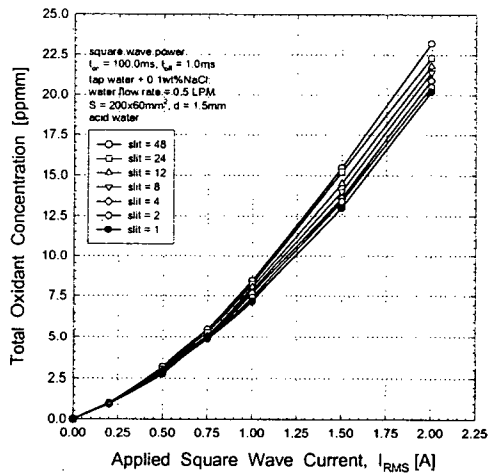
Fig. 2.39 Total oxidant-I characteristics for acid water of positive electrode side in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.



(c) $S = 200 \times 60$ [mm^2], $d = 2.5$ [mm]

그림 2.39 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 양전극측의 산성수에 의한 총산화성물질-전류특성

Fig. 2.39 Total oxidant-I characteristics for acid water of positive electrode side in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.



(d) $S = 200 \times 60$ [mm^2], $d = 1.5$ [mm]

그림 2.39 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 양전극측의 산성수에 의한 총산화성물질-전류특성

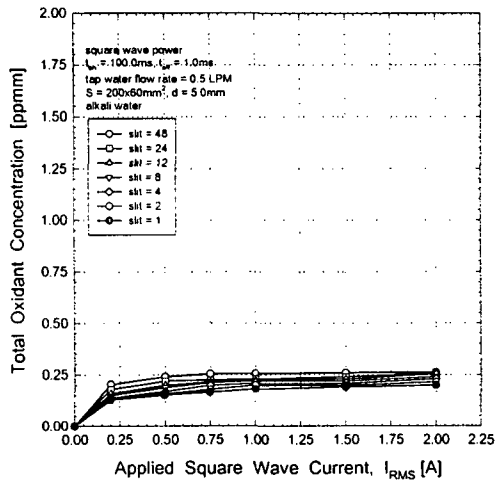
Fig. 2.39 Total oxidant-I characteristics for acid water of positive electrode side in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.

그림 2.40 (a), (b), (c), (d)는 강이온수 발생장치에 슬릿형 평행평판전극을 설치하여 수도수를 0.5 [LPM]의 유속으로 인입하고 인가된 구형파전압의 $t_{off}=1.0$ [ms], $t_{on}=100.0$ [ms]로 고정하였을 때 강이온수 발생장치내의 음전극측수의 평균펄스전류 증가에 따른 산화성물질 발생특성곡선이다. 전술한 바와 같이, 음전극측수에서는 종래의 경우 H_2 만 발생되기 때문에 산화성물질의 생성은 없게 된다. 그러나, 본 실험의 경우 음전극측에서도 방전이 발생하게 되어 산화성물질 용존수가 발생되었다. 산화성물질 발생특성은 평균펄스전류가 증가함에 따라 포화하는 경향을 나타내었다. 그림 2.40 (a), (b), (c), (d)의 경우 인가전류가 높아짐에 따라 방전이 크게 발생하게 되며 또한 대향전극간격이 좁아지고 슬릿형 평행평판전극의 슬릿개수가 증가함에 따라 날카로운 전극측면수가 증가한다. 따라서, 대향전극간격이 좁고 슬릿개수가 증가할수록 전계집중이 용이하고 대향전극간의 공간전하효과가 감소되어 슬릿형 평행평판전극간에는 산화성물질 용존수가 발생하게 된다. 그러나 발생된 산화성물질 용존수가 인가 전류가 높아짐에 따라 포화하는 경향을 나타내는 이유는 수산화기(OH⁻)에 의하여 산화성 물질이 스스로 분해될 수 있는 특성을 가지기 때문에 양전극측수에서의 산화성물질 용존수는 비교적 안정하나 음전극측수에서의 산화성물질 용존수는 갈수록 분해속도가 빨라지게 된다.^[57] 그림 2.40 (d)의 경우 평균펄스전류가 2.0 [A]일 때 1.10 [ppmm] 정도의 산화성물질 용존수를 발생시켰다.

그림 2.41 (a), (b), (c), (d)는 강이온수 발생장치에 슬릿형 평행평판전극을 설치하여 0.1 [wt%] NaCl 용해수를 0.5 [LPM]의 유속으로 인입하고 인가 구형파전압의 $t_{off}=1.0$ [ms], $t_{on}=100.0$ [ms]로 고정하였을 때 강이온수 발생장치내의 음전극측수의 평균펄스전류 증가에 따른 산화성물질 발생특성곡선이다. 대향전극면적이 좁아질수록 수도수를 인입수로 사용한 경우보다 비교적 고농도의 산화성물질 용존수를 발생시켰으며 인가전류의 증가에 따른 산화성물질 용존수의 농도는 포화하는 경향을 나타내었다. 슬릿형 평행평판전극의 간격이 1.5 [mm]이고, 슬릿개수가 48개, 그리고 평균펄스전류가 2.0 [A]일 때 1.50 [ppmm] 정도로 고농도의 산화성물질 용존수의 값을 나타내나 수도수를 인입수로 사용한 경우와 같이 인가전류의 증가에 따라 포화하는 경향을 나타내었다. 이와 같이 수도수에 비해 고농도의 산화성물질 용존수를 발생시키는 것은 슬릿형 평행평판전극의 강전계발생에 의한 효과와 염화나트륨 용해수로 인한 수중 이온의 증가에 따른 결과이다.

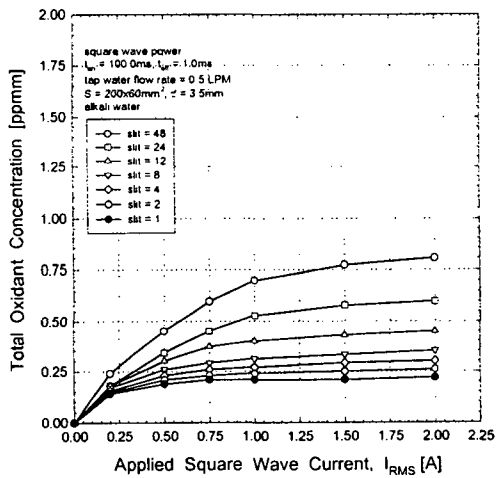
슬릿부분에서 강한 불평등전계를 형성하면서, 전기분해시 발생하는 기포들을 저전력에서 효과적으로 파괴하여 전기분해작용을 증가시키고 유통개부를 형성하여 공간전하를 효과적으로 제어하는 형태인 슬릿형 평행평판전극계의 양전극측과 음전극측에서의 산화성물질 발생특성 결과, 양전극측에서의 산화성물질 농도는 인가 전류가 높아질수록 산화성물질농도가 증가하였지만 음전극측에서의 산화성물질 농도는 인가된 전류가 높아질수록 포화하는 경향을 나타내었다. 음전극측에서 산화성물질

이 포화하는 이유는 오존의 분해속도는 수소이온농도에 크게 영향을 받는데, 이것은 수산기(OH⁻)에 의하여 오존이 스스로 분해될 수 있는 특성(self-decomposition)을 가진다.^[57] 즉, 오존은 산성에서는 비교적 안정하나, 알카리성에는 갈수록 분해속도가 빨라지기 때문이다.



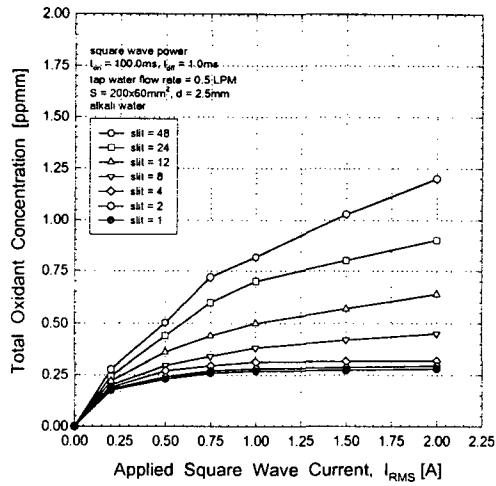
(a) $S = 200 \times 60$ [mm^2], $d = 5.0$ [mm]

그림 2.40 수도수에서 음전극측의 알카리수에 의한 총산화성물질-전류특성
 Fig. 2.40 Total oxidant-I characteristics for alkali water of negative electrode side in tap water.



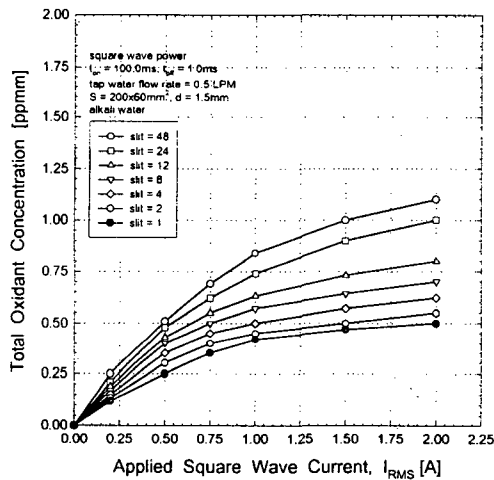
(b) $S = 200 \times 60$ [mm^2], $d = 3.5$ [mm]

그림 2.40 수도수에서 음전극측의 알카리수에 의한 총산화성물질-전류특성
 Fig. 2.40 Total oxidant-I characteristics for alkali water of negative electrode side in tap water.



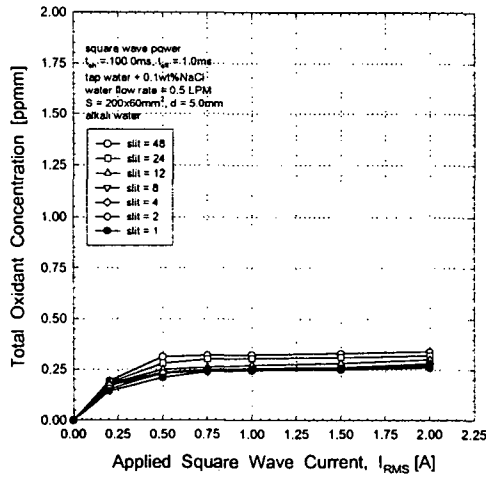
(c) $S = 200 \times 60 [mm^2]$, $d = 2.5 [mm]$

그림 2.40 수도수에서 음전극측의 알카리수에 의한 총산화성물질-전류특성
 Fig. 2.40 Total oxidant-I characteristics for alkali water of negative electrode side in tap water.



(d) $S = 200 \times 60 [mm^2]$, $d = 1.5 [mm]$

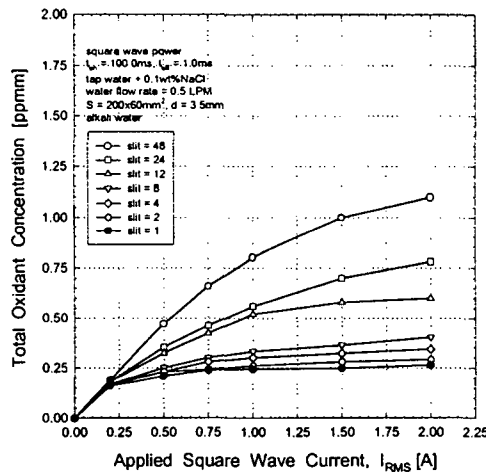
그림 2.40 수도수에서 음전극측의 알카리수에 의한 총산화성물질-전류특성
 Fig. 2.40 Total oxidant-I characteristics for alkali water of negative electrode side in tap water.



(a) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 5.0$ [mm]

그림 2.41 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 음전극측의 알카리수에 의한 총산화성물질-전류특성

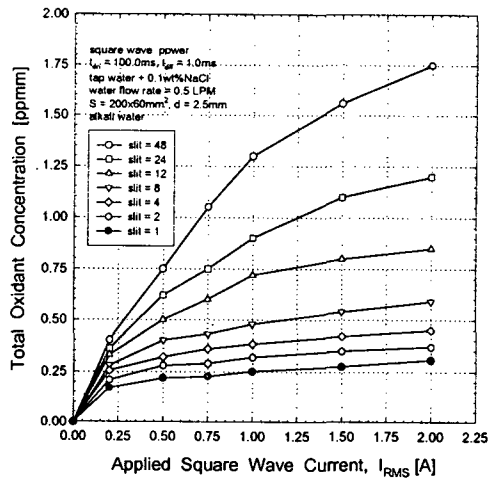
Fig. 2.41 Total oxidant-I characteristics for alkali water of negative electrode side in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.



(b) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 3.5$ [mm]

그림 2.41 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 음전극측의 알카리수에 의한 총산화성물질-전류특성

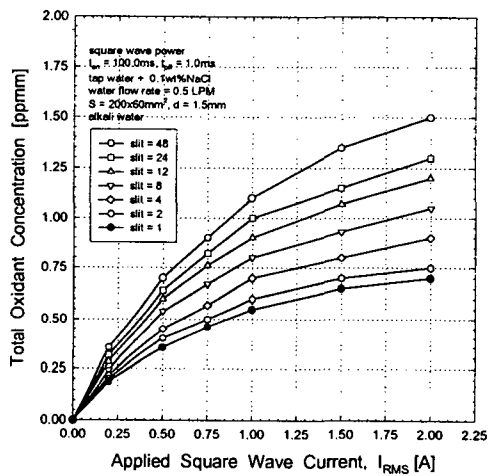
Fig. 2.41 Total oxidant-I characteristics for alkali water of negative electrode side in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.



(c) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 2.5$ [mm]

그림 2.41 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 음전극측의 알카리수에 의한 총산화성물질-전류특성

Fig. 2.41 Total oxidant-I characteristics for alkali water of negative electrode side in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.



(d) $S = 200 \times 60$ [mm²], $d = 1.5$ [mm]

그림 2.41 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 음전극측의 알카리수에 의한 총산화성물질-전류특성

Fig. 2.41 Total oxidant-I characteristics for alkali water of negative electrode side in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.

4.3.3 방치시간에 따른 산화성물질 분해특성

본 연구는 강이온수 발생장치에서 발생된 산화성물질농도가 실제적용시 수중에서 체류할 수 있는 시간을 연구하기 위한 목적이다. 그림 2.42는 강이온수 발생장치에 슬릿형 평행판전극을 설치하여 수도수와 0.1 [wt%] NaCl 용해수를 인입수로 사용하였을 때의 방치시간에 따른 양전극측과 음전극측에서 발생된 강산화성물질의 감쇠특성곡선이다. 음전극측의 알카리성수의 경우 발생된 산화성물질은 5시간 이내에 완전히 분해되었으며, 양전극측의 강산성수의 경우 150시간 경과 후 초기농도가 약 17 [ppmm]이었던 값이 1.50 [ppmm] 정도로 감소하였다. 이는 수도수의 경우나 NaCl 용해수의 경우 모두 양전극측수중에는 O_3 , H_2O_2 , $HOCl$ 등의 산화성물질이 생성될 수 있으나, 수도수중에는 반감기가 짧은 O_3 가 주로 생성되고 염수중에서는 비교적 오랫동안 안정된 특성을 보여주는 $HOCl$ 가 많이 생성되었기 때문인 것으로 사료된다. 이상의 결과로서 강이온수 발생장치에서 발생된 산화성물질의 농도는 실제 적용시 약 150시간 이내에서 적용하여야 한다.

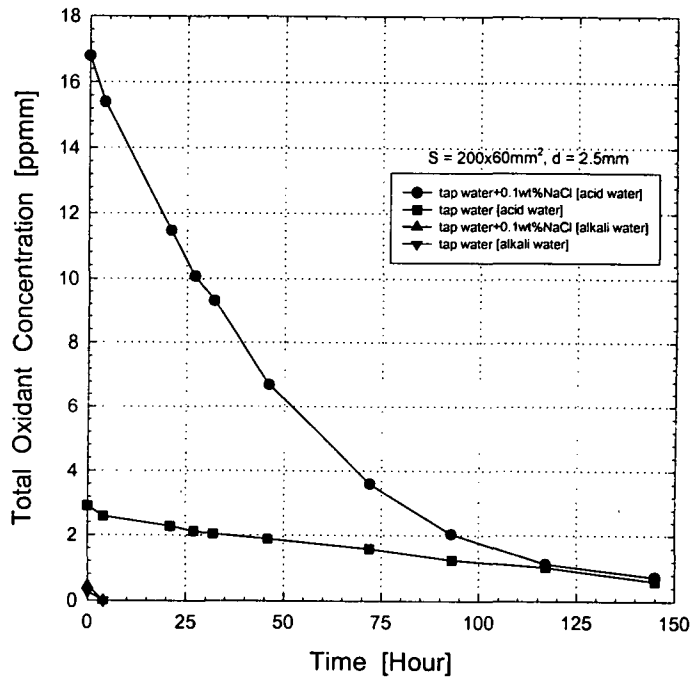


그림 2.42 수도수와 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 방치시간에 따른 총산화성물질 분해특성

Fig. 2.42 Total oxidant decomposition characteristics with time in tap water and 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.

4.4 3전극형 평행평판계에 의한 강이온수와 산화성물질 발생특성

4.4.1 3전극형 평행평판계의 강이온수 발생특성

그림 2.43는 강이온수 발생을 위한 기초특성조사를 위하여 3전극을 설정하지 않고 슬릿이 형성되어 있지 않은 평판전극(SUS316, 200×60 [mm²])을 이온분리막을 기준으로 각각 15 [mm]로 설정하고, 수도수를 0.5 [LPM]의 유속으로 흘리고 직류전압을 인가했을 때의 I-V특성을 나타낸 것이다. 전압 상승분 ΔV 에 의한 전류 상승분 ΔI , 즉 기울기($\text{slope}=\Delta I/\Delta V$)는 전압이 25 [V]까지는 $\Delta I/\Delta V=0.08\text{A}/10\text{V}$ 정도로 일정하나, 50~60 [V] 부근에서 변곡하기 시작하였다. 이 이상의 전압에서는 $\Delta I/\Delta V \geq 0.05\text{A}/10\text{V}$ 로 증가함을 보여주며, 이때부터 수중 이온들이 강력하게 분리집속되기 시작하는 것으로 나타났다.

그림 2.44은 3전극을 설정하지 않고 평행평판전극만을 설정하고 수도수만을 0.5 [LPM]의 유속으로 흘린 경우 인가전류 증가분에 따른 출력 pH 특성곡선을 나타낸 것이다. 인가된 직류전류분이 증가할수록 음극쪽에서의 출력 pH는 점차적으로 증가하고, 양극쪽에서는 점차적으로 감소하여 포화하는 것으로 나타났으며, 직류전류가 1 [A]일 때 pH 10.4의 알칼리수와 pH 3.5의 산성수를 발생시킴을 보여주었다.

그림 2.45은 이상과 같은 조건에서 도전성 증가를 위해 NaCl 0.1 [wt%]가 용해된 수도수를 0.5 [LPM]의 유속으로 인입한 경우의 I-V특성을 나타낸 것이다. 수도수만을 인입한 경우에 비해 동일 전압에서의 전류상승이 현저하여 약 10 [V] 이상에서 부분방전과 함께 수중 이온들이 강력하게 분리집속되기 시작하는 것으로 나타났다.

그림 2.46은 NaCl 0.1 [wt%]가 용해된 수도수를 0.5 [LPM]의 유속으로 인입한 경우의 인가전류에 따른 출력 pH특성곡선을 나타낸 것이다. 수도수만을 인입한 경우에 비해 1 [A] 이전영역에서 산성수와 알칼리수의 출력특성이 현저히 개선되었으며, 직류전류가 1 [A]일 때 pH11.0의 알칼리수와 pH3.0의 산성수를 발생시킬 수 있었다.

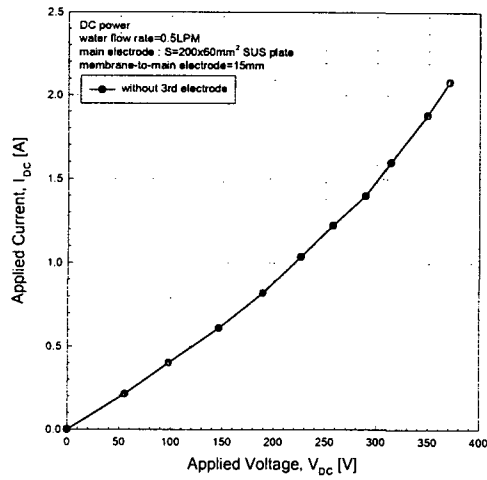


그림 2.43 수도수에서 3전극을 설정하지 않은 소자의 I-V특성
 Fig. 2.43 I-V characteristics of cell without 3rd electrode in tap water.

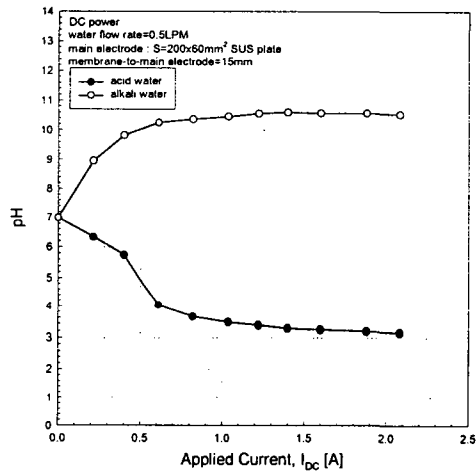


그림 2.44 수도수에서 3전극을 설정하지 않은 소자의 pH-I특성
 Fig. 2.44 pH-I characteristics of cell without 3rd electrode in tap water.

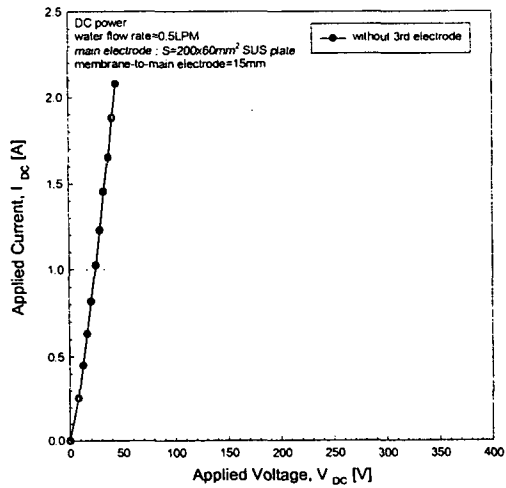


그림 2.45 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서
3전극을 설정하지 않은 소자의 I-V특성
Fig. 2.45 I-V characteristics of cell without 3rd electrode
in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.

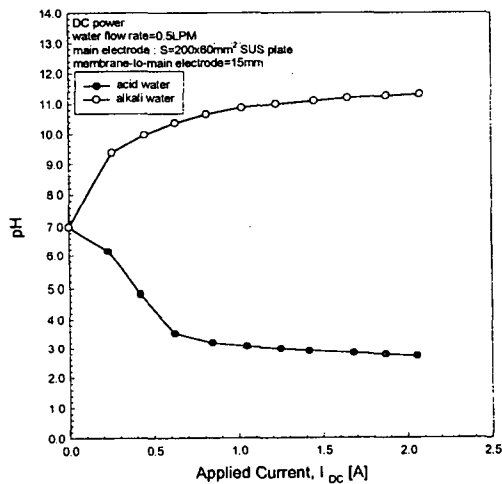


그림 2.46 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서
3전극을 설정하지 않은 소자의 pH-I특성
Fig. 2.46 pH-I characteristics of cell without 3rd electrode
in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.

그림 2.47은 3전극자체의 효과를 알아보기 위해서, 앞서 실험에 사용되었던 평행 평판을 제거하고 선형태의 3전극(0.5mm ϕ SUS wire)을 이온분리막으로부터 각각 3.75, 11.25 [mm]로 간격을 두어 설정하고 직류전압을 인가한 경우의 I-V특성을 나타낸 것이다. 수도수를 0.5 [LPM]의 유속으로 흘렸을 때, 3전극을 설정하지 않고 슬릿이 형성되어 있지 않은 평행평판을 이온분리막으로부터 15 [mm] 거리에 설정해 둔 경우(control)과 비교하여 3전극이 이온분리막과 가까워질수록 동일전압에서의 전류상승이 현저하게 나타났다. 이온분리막과 3전극간의 거리가 3.75 [mm]인 경우, 전압 상승분 ΔV 에 의한 전류 상승분 ΔI , 즉 기울기(slope= $\Delta I/\Delta V$)는 전압이 25 [V]부근에서 변곡하기 시작하여 이 이상의 전압에서는 $\Delta I/\Delta V \geq 0.1A/10V$ 로 급격히 증가함을 보여주었다. 이와 같은 현상은 3전극이 이온분리막쪽으로 가까이 접근함에 따라 3전극사이의 원료수 양이 적어져서 이온성 전도에 영향을 미치는 저항성분이 감소하였기 때문으로 사료된다.

그림 2.48은 이온분리막과 3전극 거리변화에 따른 인가전류와 출력 pH특성곡선을 나타낸 것이다. 원료수는 수도수만을 사용하여 0.5 [LPM]의 유속으로 인입하였다. 인가된 직류전류분이 증가할수록 음극쪽에서의 출력 pH는 점차적으로 증가하고, 양극쪽에서는 점차적으로 감소하여 포화하는 것으로 나타났으며, 3전극을 설정하지 않고 슬릿이 형성되어 있지 않은 평행평판을 이온분리막으로부터 15[mm]에 설정한 경우(control)가 가장 좋은 특성을 나타내었다. 이와 같은 현상은 3전극만을 설정한 경우에 3전극이 이온분리막쪽으로 가까워질수록 실제 이온의 발생 및 분리집속이 가능한 전계가 형성되어 있는 영역이 좁아지게 되고 동시에 전계가 형성되지 않은 영역이 넓어지게 되어 전계가 형성되어 있는 영역에서 발생되거나 분리집속된 이온들이 그렇지 않은 영역의 원료수와 희석되어진 결과라고 사료된다.

그림 2.49는 이상과 같은 조건에서 도전성 증가를 위해 NaCl 0.1 [wt%]가 용해된 수도수를 0.5 [LPM]의 유속으로 인입한 경우의 I-V특성을 나타낸 것이다. 수도수만을 인입한 경우에 비해 동일 전압에서의 전류상승이 현저하며 약 10 [V] 이후의 영역에서는 3전극이 이온분리막과 가까이 설정된 경우가 전압증가분에 대한 전류증가분, $\Delta I/\Delta V \geq 0.7A/10V$ 로 급격히 증가함을 보여주었다.

그림 2.50은 NaCl 0.1 [wt%]가 용해된 수도수를 0.5 [LPM]의 유속으로 인입한 경우의 이온분리막과 3전극 거리변화에 따른 인가전류와 출력 pH특성곡선을 나타낸 것이다. 인가된 직류전류분이 증가할수록 음극쪽에서의 출력 pH는 점차적으로 증가하고, 양극쪽에서는 점차적으로 감소하여 포화하는 것으로 나타났으며, 수도수만을 인입한 경우에 비해 1 [A] 이전영역에서 전반적으로 산성수와 알칼리수의 출력특성이 개선되었으며, 직류전류가 2 [A]일 때 pH12.0의 알칼리수와 pH3.0의 산성수를 발생시킬 수 있었다. 원료수중의 이온량이 많아져서 대체로 유사한 출력특성을 나타냈으나 상술한 바와 같이 control의 경우가 비교적 좋은 특성을 나타내었다.

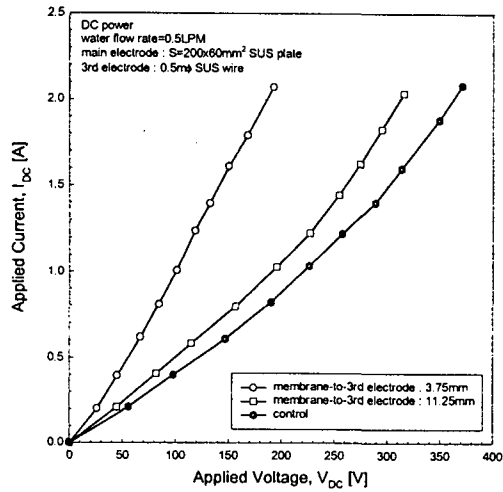


그림 2.47 수도수에서 3전극만 설정한 경우 이온분리막과 3전극간 거리에 따른 소자의 I-V특성
Fig. 2.47 I-V characteristics of cell with different 3rd electrode spacing in tap water.

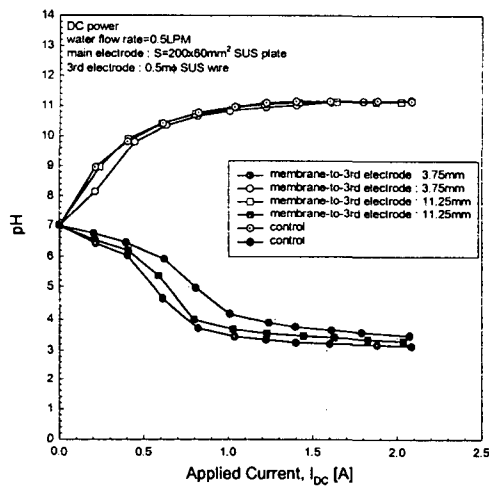


그림 2.48 수도수에서 3전극만 설정한 경우 이온분리막과 3전극간 거리에 따른 소자의 pH-I특성
Fig. 2.48 pH-I characteristics of cell with different 3rd electrode spacing in tap water.

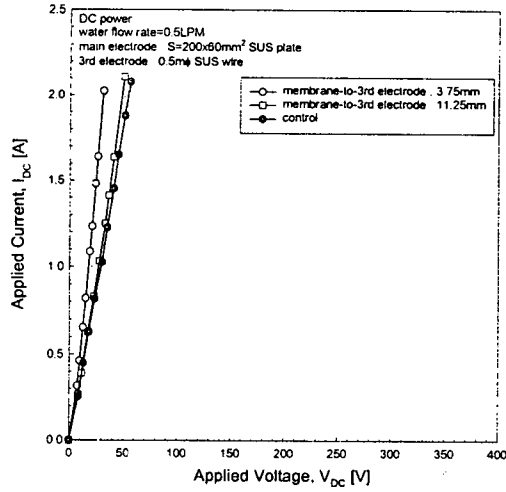


그림 2.49 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 3전극만 설정한 경우 이온분리막과 3전극간 거리에 따른 소자의 I-V특성

Fig. 2.49 I-V characteristics of cell with different 3rd electrode spacing in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.

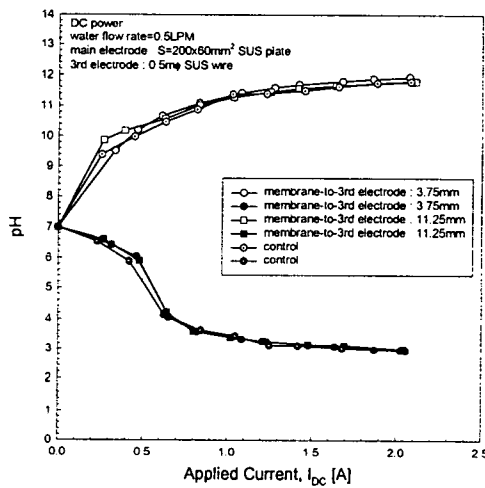


그림 2.50 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서 3전극만 설정한 경우 이온분리막과 3전극간 거리에 따른 소자의 pH-I특성

Fig. 2.50 pH-I characteristics of cell with different 3rd electrode spacing in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.

종래형 이온수 발생장치의 전극구조는 평행평판형 전극구조로서 전극간에는 날카로운 부분이 형성되어 있지 않기 때문에 평등전계가 형성되어 수중 이온집속과 기포방전에 있어서 비효율적이고, 공간전하에 의한 전하이동억제현상을 방지할 수 없는 구조였다.

본 연구에서는 이러한 종래의 전극구조에서 나타나는 문제점을 해결하기 위해 종래의 평행평판형 전극구조에 유통개부가 형성되어 있는 슬릿형 3전극을 설정하여 강한 불평등전계를 형성하면서, 전기분해시 발생하는 기포들을 저전력에서 효율적으로 파괴하여 전기분해작용을 증가시키고 유통개부를 형성하여 슬릿형 3전극부근으로 집속된 이온들을 다시 주전극쪽으로 가속시켜 공간전하를 효과적으로 제어하는 형태로서 강이온수 발생장치를 개발하고자 하였다.

유통개부가 형성되어 있는 슬릿의 가장자리 부분은 침전극과 같은 역할을 하게 되고 슬릿의 가장자리 부분에는 강한 불평등전계가 형성되며 이로 인한 전기분해작용이 용이하게 진행된다. 그리고 전기분해시에 발생한 산소와 수소기포들은 슬릿과 같은 날카로운 부분의 강력한 전계에 의하여 방전하기 쉬운 상태로 되며 기포발생시 방전을 촉진시키는 작용을 하게 된다. 전극에 발생된 기포에 방전이 발생하는 이유는 대향된 슬릿형 평행평판전극간에 인가된 전계가 물의 비유전율이 $\epsilon_w \approx 80$ 이고 공기의 비유전율이 $\epsilon_a \approx 1$ 인 이유로 유전상수가 적은 기포내에서의 전계가 물에 인가되는 전계의 약 80배만큼 커져서 기포내에 기체방전이 먼저 발생되고,^[50] 수중에 이온들을 용존시키게 된다. 따라서 슬릿형 평행평판전극 구조를 가지게 되면 슬릿 개수가 많아질수록 전계분포를 집중시킬 수 있고 슬릿부분에 발생된 기포를 용이하게 방전시킬 수 있다.

또한 유통개부가 형성되어 있는 구조인 슬릿형 3전극을 주전극과 이온분리막 사이에 설정하여 공간전하들이 슬릿을 통하여 용이하게 전극외측으로 확산되어 빠져나갈 수 있도록 함으로써 공간전하들이 전극표면에 축적되는 현상을 방지하여 종래의 평판전극에서는 가지지 못하는 공간전하제어효과를 가짐으로써 효율적으로 강이온수를 발생시키고자 하였다.

3전극형 전해장치에 인가되는 전압은 구형파펄스(square wave pulse)로서 시비율(duty)50%, 즉, 펄스지속시간(pulse on-time, t_{on})과 휴지시간(pulse off-time, t_{off})을 동일하게 고정하여 각각의 3전극(3rd electrode, SUS 316, 0.2 [mm], 200×60 [mm²])과 주전극(main electrode, SUS 316, 0.2 [mm], 200×60 [mm²]) 쌍(A1과 C1, A2와 C2)에 순차적으로 인가하여 실험하였다.

그림 2.51은 주전극은 슬릿이 형성되어 있지 않은 평행평판을 사용하여 이온분리막으로부터 15 [mm]거리에 설정하고, 8개의 유통개부, 즉 슬릿이 형성되어있는 3전극을 이온분리막과 주전극간의 중간 위치인 이온분리막으로부터 7.5 [mm]거리에 설정한 상태에서 전압인가 주기에 따른 전류와 전압관계를 나타낸 것이다. 이때의 전류값은

평균전류값이며 전압값 역시 평균전압값을 나타내었다. 시비율이 50%로 고정되어 있으므로 편의상 펄스지속시간(t_{on})으로 나타내었으며 0.2, 1.0, 2.0 10.0 [sec]로 변화시키면서 실험하였다. 원료수로 는 수도수를 0.5 [LPM]으로 인입하였다. 대체적으로 3전극을 설정하지 않은 상태, 즉 control에 비해 동일 전압에서 높은 전류값을 나타내었는데 이와 같은 현상은 3전극을 삽입으로 인해 실제 전압이 인가되어 전계가 형성되는 영역인 3전극과 대향 주전극사이의 공간적인 거리가 control에 비해 짧아졌기 때문이다. 펄스지속시간이 0.2 [sec]부터 10.0 [sec]로 변화하여도 특성곡선상에 큰 차이점은 나타나지 않았다.

그림 2.52는 이와 같은 조건에서 원료수로 수도수를 인입한 경우 펄스지속시간변화에 따른 소자의 인가전류에 대한 pH출력특성을 나타낸 것이다. 역시 펄스지속시간에 따라 동일 인가전류에서의 pH특성은 큰 차이를 나타내지 않았다.

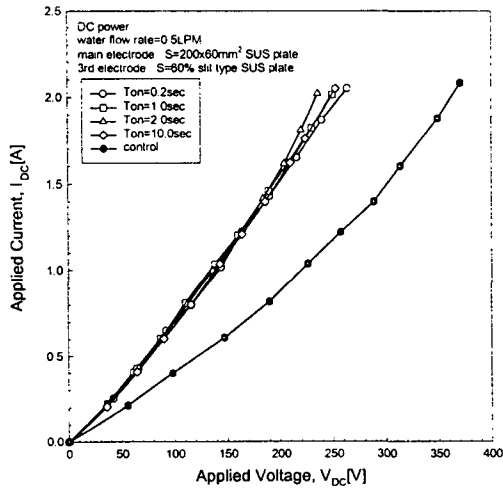


그림 2.51 수도수에서 펄스지속시간변화에 따른 소자의 I-V특성
 Fig. 2.51 I-V characteristics of cell for various t_{on}
 in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.

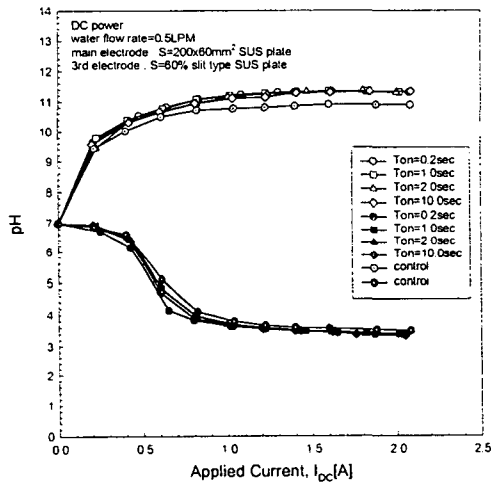


그림 2.52 수도수에서 펄스지속시간변화에 따른 소자의 pH-I특성
 Fig. 2.52 pH-I characteristics of cell for various t_{on}
 in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.

그림 2.53은 펄스지속시간은 1.0 [sec]로 고정해 둔 상태에서 주전극은 슬릿이 형성되어 있지 않은 평행평판을 사용하여 이온분리막으로부터 15 [mm]거리에 설정하고, 8개의 슬릿이 형성되어있는 3전극을 이온분리막으로부터 4.0, 7.5, 10.0 [mm]에 가변하여 설치하여 3전극의 위치변화에 따른 인가전류와 전압관계를 나타낸 것이다. 이때의 전류값은 평균전류값이며 전압값 역시 평균전압값을 나타내었다. 인입수로는 수도수를 사용하였으며, 0.5 [LPM]으로 인입하면서 실험하였다. 10.0, 7.5, 4.0 [mm] 순으로 3전극을 이온분리막에 가까이 설정할수록 동일전압에서의 전류상승폭이 커짐을 알 수 있다. 이온분리막에서 3전극까지의 거리가 4.0 [mm]일 때와 7.5 [mm]일 때의 전류상승특성이 유사하며 또한 10.0 [mm]일 때와 control의 경우가 유사한 전류상승특성을 나타내 주었다.

그림 2.54는 3전극을 이온분리막으로부터 4.0, 7.5, 10.0 [mm]에 가변하였을 때 3전극의 위치변화에 따른 인가전류와 출력 pH특성을 나타낸 것이다. 인가전류분의 변화에 따른 출력 pH특성은 3전극의 위치변화에 따라 큰 차이가 없었다. 전기분해과정에서 흐르는 전류는 한쪽 전극에서 대향전극으로 이동하는 이온에 의해서 나타나게 되므로 주전극이 이온분리막을 중심으로 양쪽으로 각각 15 [mm] 거리에 고정되어 있고 3전극의 위치만 변화하는 상황에서는 동일한 전류값에서는 비슷한 pH출력특성을 보이는 것으로 사료된다.

한편, 그림 2.55에서 보여지는 바와 같이 인가전압에 따른 출력 pH특성은 3전극의 위치변화에 따라 각기 다른 특성을 나타낸다. 전반적으로 3전극의 설정 없이 슬릿이 형성되어 있지 않은 평행평판전극만을 사용한 control의 경우보다 좋은 특성을 나타내었다. 이것은 3전극을 설정함으로써 3전극에 형성된 슬릿이 침전극과 같은 역할을 하게 되어 슬릿부분에서는 강한 불평등전계가 유발되어 부분방전이 발생되고, 또한 슬릿부분의 전기분해작용에 의하여 산소와 수소기포들이 다량으로 생성되며, 이러한 기포들은 슬릿과 같은 날카로운 부분의 강력한 전계에 의하여 방전하기 쉬운 상태로 되고 또 촉진시켜 많은 이온을 생성하게되었기 때문이다. 아울러 3전극의 슬릿을 통해 공간전하가 전극외측으로 용이하게 확산, 가속되어 전극간의 집속이온들에 의한 공간전하효과를 크게 감소시켰기 때문이다. 특히 이온분리막과 3전극간의 거리가 비교적 가까운 4.0 [mm]와 7.5[mm]의 경우에 인가전압이 150 [V]이하 영역에서 효과적으로 강이온수를 발생시켰음을 알 수 있다. 이것은 3전극의 위치에 따라 대향전극과의 거리가 달라지게 되고 3전극이 이온분리막에 가까이 위치할수록 이온분리막 반대편의 반대극성을 가진 이온들을 분리, 집속하기가 용이하기 때문으로 사료된다.

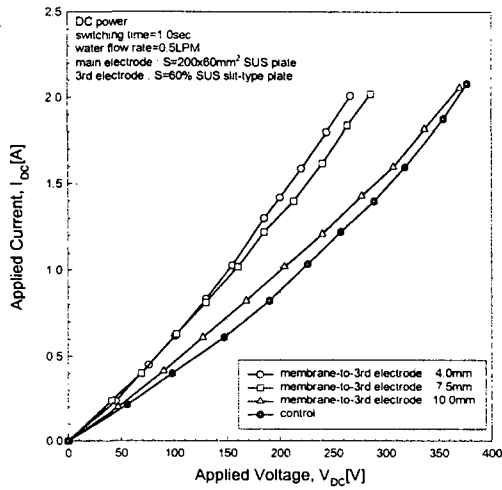


그림 2.53 수도수에서 3전극거리변화에 따른 소자의 I-V특성
Fig. 2.53 I-V characteristics of cell for various 3rd electrode spacings in tap water.

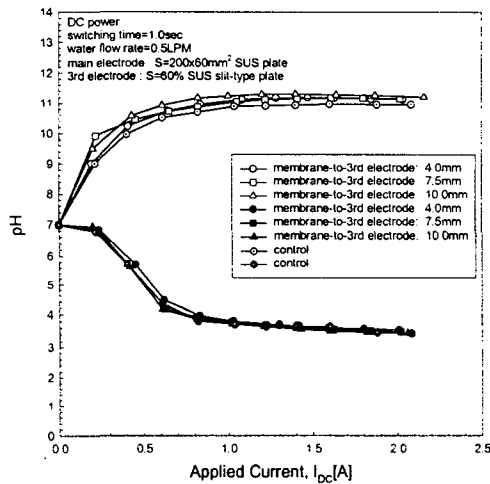


그림 2.54 수도수에서 3전극거리변화에 따른 소자의 pH-I특성
Fig. 2.54 pH-I characteristics of cell for various 3rd electrode spacings in tap water.

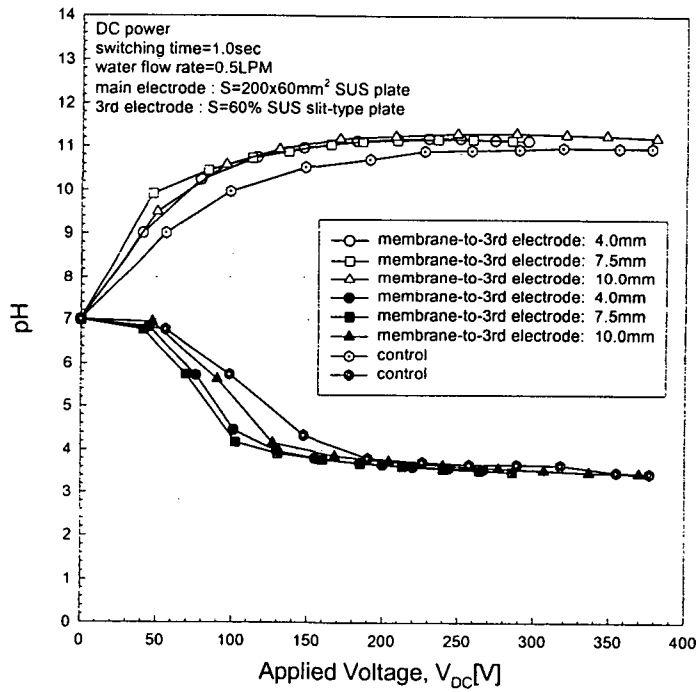


그림 2.55 수도수에서 3전극거리변화에 따른 소자의 pH-V특성

Fig. 2.55 pH-V characteristics of cell for various 3rd electrode spacings in tap water.

그림 2.56은 펄스지속시간은 1.0 [sec]로 고정해 둔 상태에서 주전극은 슬릿이 형성되어 있지 않은 평행평판을 사용하여 이온분리막으로부터 15 [mm]거리에 설정하고, 8개의 슬릿이 형성되어있는 3전극을 이온분리막으로부터 4.0, 7.5, 10.0 [mm]에 가변하여 설치하여 3전극의 위치변화에 따른 인가전류와 전압관계를 나타낸 것으로서 인입수로는 0.1 [wt%]NaCl이 용해된 수도수를 사용하였으며, 0.5 [LPM]으로 인입하면서 실험하였다. 이때의 전류값은 평균전류값이며 전압값 역시 평균전압값을 나타내었다. 10.0, 7.5, 4.0 [mm]순으로 3전극을 이온분리막에 가까이 설정할수록 동일전압에서의 전류상승폭이 커짐을 알 수 있다. 이온분리막에서 3전극까지의 거리가 4.0 [mm]일 때와 7.5 [mm]일 때의 전류상승특성이 유사하며 또한 10.0 [mm]일 때와 control의 경우가 유사한 전류상승특성을 나타내 주었다.

그림 2.57는 인입수로 0.1 [wt%]NaCl이 용해된 수도수를 사용하고 3전극을 이온분리막으로부터 4.0, 7.5, 10.0 [mm]에 가변하였을 때 3전극의 위치변화에 따른 인가전류와 출력 pH특성을 나타낸 것이다. 인가전류분의 변화에 따른 출력 pH특성은 3전극의 위치변화에 따라 큰 차이가 없었으나 전반적으로 control에 비해서 좋은 특성을 나타내었다.

그림 2.58에서 보여지는 바와 같이 인가전압에 따른 출력 pH특성은 3전극의 위치변화에 따라 각기 다른 특성을 나타낸다. 전반적으로 3전극의 설정 없이 슬릿이 형성되어 있지 않은 평행평판전극만을 사용한 control의 경우보다 좋은 특성을 나타내었다. 이것은 상술한 바와 같이 3전극을 설정함으로써 강한 불평등전계유발에 의한 부분방전발생과 아울러 많은 이온의 생성작용과 슬릿을 통한 공간전하제어효과때문이라 사료된다. 인가전압이 20 [V]이하 영역에서 pH출력특성이 급격히 향상되어 효과적으로 강이온수가 발생됨을 알 수 있다. 이온분리막과 3전극사이의 거리가 가장 가까운 4.0 [mm]일 때 좋은 특성을 나타내는데, 이것은 3전극의 위치에 따라 대향전극과의 거리가 달라지게 되고 3전극이 이온분리막에 가까이 위치할수록 이온분리막 반대편의 반대극성을 가진 이온들을 분리, 집속하기가 용이하기 때문인 것으로 사료된다.

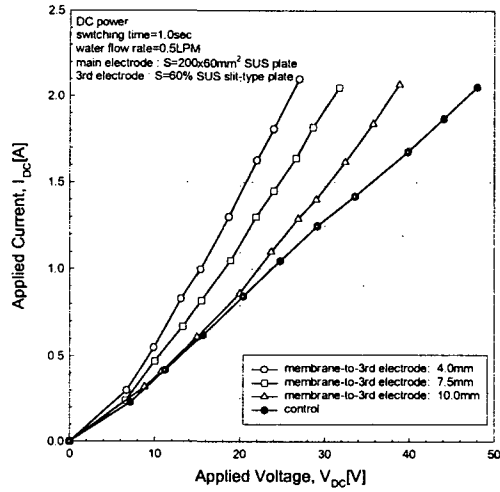


그림 2.56 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서
3전극거리변화에 따른 소자의 I-V특성

Fig. 2.56 I-V characteristics of cell for various 3rd electrode spacings in 0.1 [wt%]NaCl dissolved tap water.

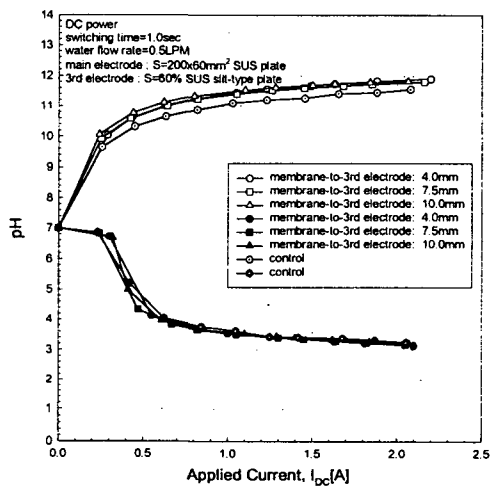


그림 2.57 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서
3전극거리변화에 따른 소자의 pH-I특성

Fig. 2.57 pH-I characteristics of cell for various 3rd electrode spacings in 0.1 [wt%]NaCl dissolved tap water.

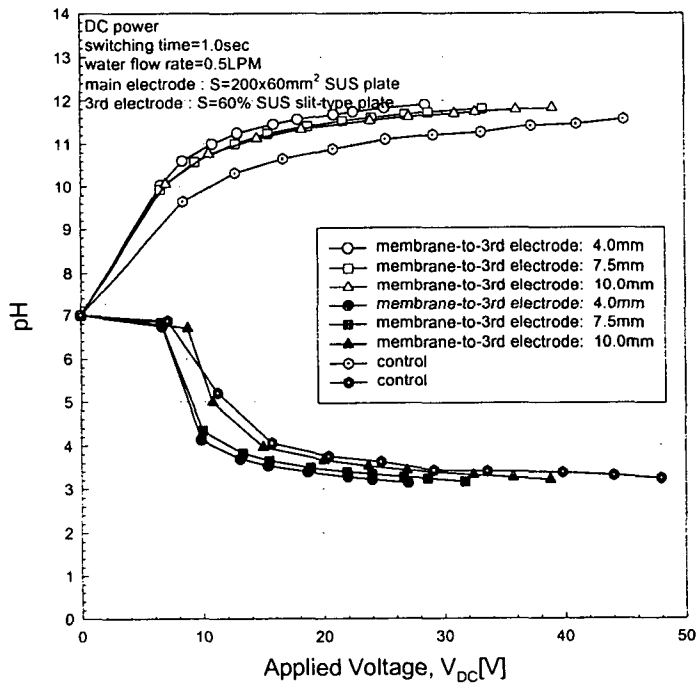


그림 2.58 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서
3전극거리변화에 따른 소자의 pH-V특성

Fig. 2.58 pH-V characteristics of cell for various 3rd electrode spacings in 0.1 [wt%]NaCl dissolved tap water.

그림 2.59는 펄스지속시간은 1.0 [sec]로 고정해 둔 상태에서 주전극은 슬릿이 형성되어 있지 않은 평행평판을 사용하여 이온분리막으로부터 15.0 [mm]거리에 설정하고 3전극은 이온분리막으로부터 4.0 [mm]에 고정적으로 설정해 둔 상태에서, 3전극의 슬릿개수를 8, 12, 16, 48개로 가변하여 3전극의 슬릿개수변화에 따른 인가전류와 전압관계를 나타낸 것이다. 인입수로는 수도수를 사용하였으며, 0.5 [LPM]으로 공급하면서 실험하였다. 이때의 전류값은 평균전류값이며 전압값 역시 평균전압값을 나타내었다. 동일전압에서의 전류값은 control에 비해 대체적으로 좋은 특성을 나타내었으나 슬릿개수변화에 대한 현저한 차이는 나타나지 않았다.

그림 2.60은 이와 같은 실험조건에서 3전극의 슬릿개수변화가 출력pH에 미치는 영향을 나타낸다. 1 [A]부근까지 활발한 pH변화를 보이며 슬릿개수가 많을수록 pH특성이 좋아짐을 알 수 있다. 수중 침전극역할을 할 수 있는 슬릿이 많아지면 보다 넓은 영역에서 강한 불평등전계가 형성되어 기포발생 및 기포방전을 유도하게 되고 보다 많은 이온들이 생성되며 수중에 존재하는 이온이나 분자들이 효과적으로 분리, 집속되기 때문이다. 또한 강한 전계에 의해 3전극쪽으로 집속된 이온들이 다시 주전극쪽으로 효율적으로 가속되어 강이온수를 발생시킬 수 있었다.

그림 2.61은 3전극의 슬릿개수변화에 대한 pH출력과 인가전압과의 관계를 나타낸 것이다. 150 [V]부근까지 급격한 변화를 보이며 특히 슬릿개수가 48일 때의 특성이 가장 우수하게 나타났다. 이것 역시 상술한 바와 같이 유통개부에 의해 공간전하효과가 크게 감소되고 강한 불평등전계가 형성되면서 기포이론(Bubble theory)^[50]에 근거하여 다량의 기포들을 형성할 수 있는 전극형태인 슬릿형 3전극을 설정하였기 때문이다.

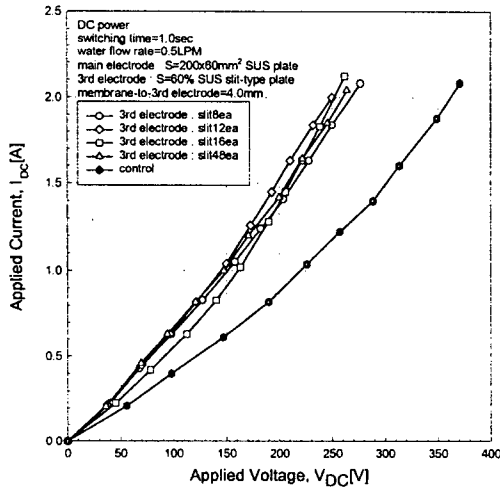


그림 2.59 수도수에서 3전극의 슬릿개수변화에 따른 소자의 I-V특성
Fig. 2.59 I-V characteristics of cell for various number of slit on 3rd electrode in tap water.

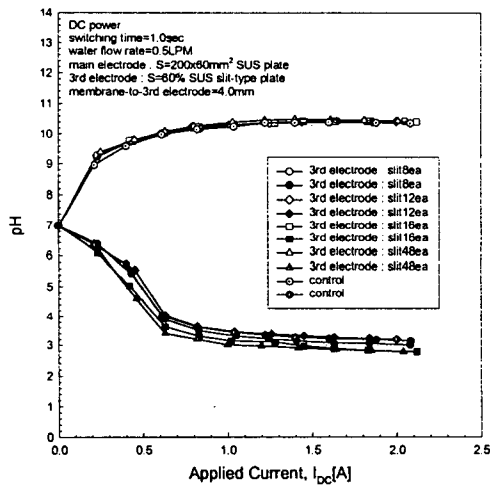


그림 2.60 수도수에서 3전극의 슬릿개수변화에 따른 소자의 pH-I특성
Fig. 2.60 pH-I characteristics of cell for various number of slit on 3rd electrode in tap water.

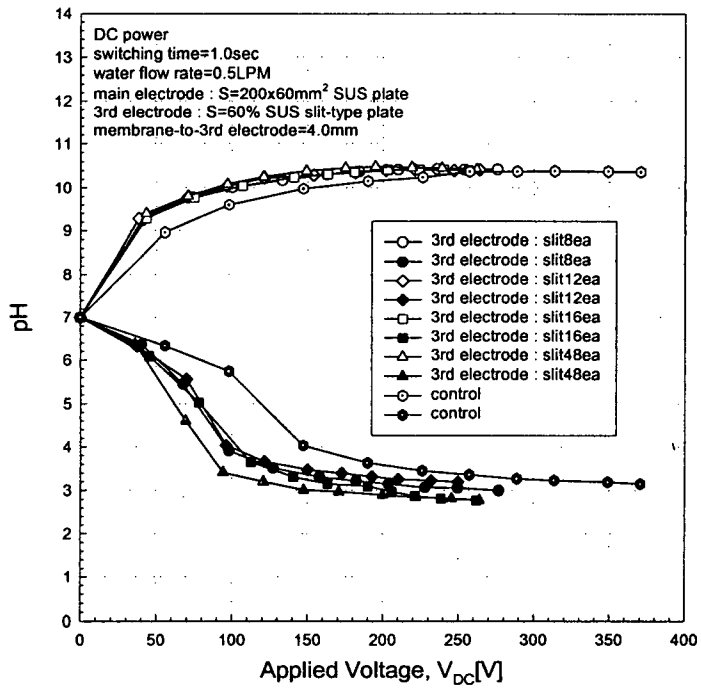


그림 2.61 수도수에서 3전극의 슬릿개수변화에 따른 소자의 pH-V특성
Fig. 2.61 pH-V characteristics of cell for various number
of slit on 3rd electrode in tap water.

그림 2.62는 펄스지속시간은 1.0 [sec]로 고정해 둔 상태에서 주전극은 슬릿이 형성되어 있지 않은 평행평판을 사용하여 이온분리막으로부터 15.0 [mm]거리에 설정하고 3전극은 이온분리막으로부터 4.0 [mm]에 고정적으로 설정해 둔 상태에서, 3전극의 슬릿개수를 8, 12, 16, 48개로 가변하여 3전극의 슬릿개수변화에 따른 인가전류와 전압관계를 나타낸 것이다. 인입수로는 0.1 [wt%]의 염화나트륨이 용해된 수도수를 사용하였으며, 0.5 [LPM]으로 공급하면서 실험하였다. 동일전압에서의 전류값은 2.0 [A]/25 [V]로서 1.0 [A]/25 [V]인 control에 비해 현저히 좋은 특성을 나타내었으나 슬릿개수변화에 대한 현저한 차이는 나타나지 않았다.

그림 2.63은 이와 같은 실험조건에서 3전극의 슬릿개수변화가 출력pH에 미치는 영향을 나타낸다. 인입수로 수도수를 사용한 경우와 유사하게 슬릿개수가 많을수록 좋은 pH특성을 나타냈으며 2.0 [A]에서 pH2.4의 강산성수와 pH11의 강알칼리수를 발생시킬 수 있었다.

그림 2.64는 3전극의 슬릿개수변화에 대한 pH출력과 인가전압과의 관계를 나타낸 것이다. control에 비해 저전압에서 현저히 좋은 pH특성을 나타내며 25 [V]에서 pH2.4의 강산성수와 pH11의 강알칼리수를 효과적으로 발생시킬 수 있었다. 이는 수중 침전극역할을 할 수 있는 슬릿이 많아지면서 강한 불평등전계가 보다 넓은 영역에서 형성되어 기포발생 및 기포방전을 유도하게 되고 수중에 존재하는 이온이나 분자들이 효과적으로 분리, 집속되었기 때문이다. 또한 강한 전계에 의해 3전극쪽으로 집속된 이온들이 다시 주전극쪽으로 효율적으로 가속되어 강이온수를 발생시킬 수 있었다.

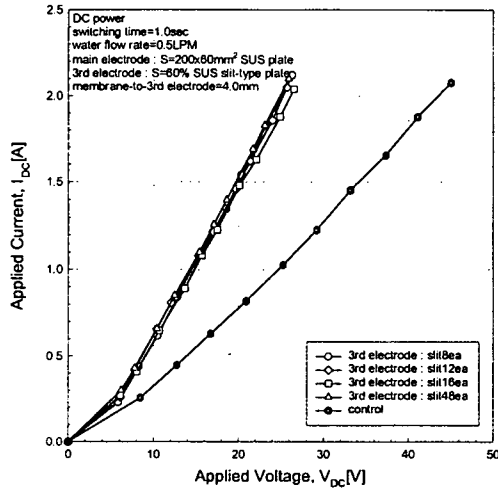


그림 2.62 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서
3전극의 슬릿개수변화에 따른 소자의 I-V특성

Fig. 2.62 I-V characteristics of cell for various number of slit on 3rd electrode in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.

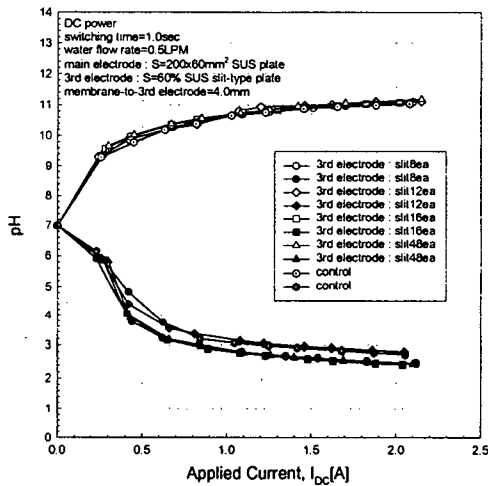


그림 2.63 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서
3전극의 슬릿개수변화에 따른 소자의 pH-I특성

Fig. 2.63 pH-I characteristics of cell for various number of slit on 3rd electrode in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.

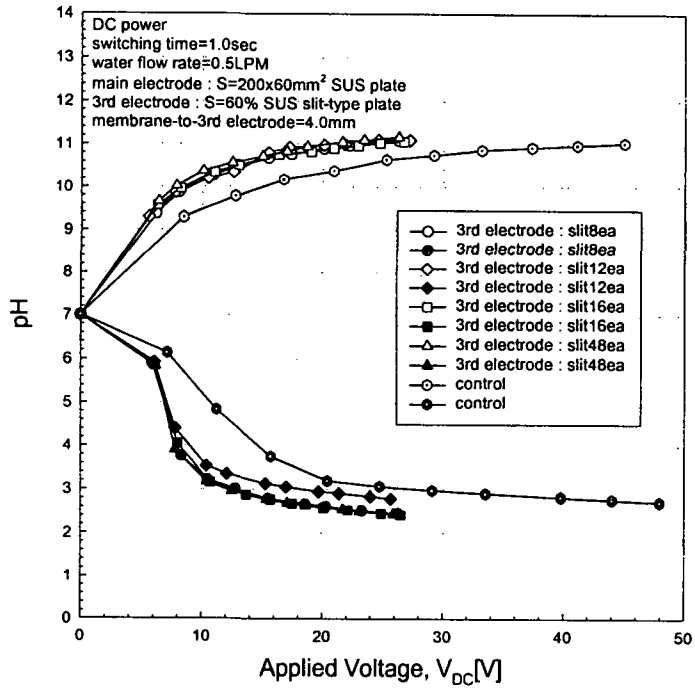


그림 2.64 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서
3전극의 슬릿개수변화에 따른 소자의 pH-V특성
Fig. 2.64 pH-V characteristics of cell for various number of slit
on 3rd electrode in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.

4.4.2 3전극형 평행평판전극계의 산화성물질 발생특성

본 연구에서는 종래의 평행평판전극계에 유통개부가 형성되어 있는 슬릿형 3전극을 부가적으로 설정하고 각각의 3전극과 주전극쌍에 펄스전압을 순차적으로 인가하여 수중이온들을 효율적으로 발생 및 분리, 집속시켜 산화성물질이 다량 함유되어 있는 강이온수를 유효하게 발생시키고자 하였다.

슬릿이 형성되어 있는 3전극을 사용함으로써 슬릿개수가 증가함에 따라 날카롭게 대향된 전극측면수가 증가하여 다량의 불평등전계부분이 발생되고, 이러한 슬릿형 3전극측의 면에서 전기분해에 의해 생성된 기포는 강력한 전계에 의해 방전이 일어나서 기포가 분열하게 된다. 따라서 저전력에서도 슬릿형으로 형성된 전극면들에 의해 수중 방전이 원활하게 발생될 수 있다. 또한 물의 유전율이 $\epsilon_w \approx 80$ 이고 공기의 유전율이 $\epsilon_a \approx 1$ 인 이유로 유전율이 80배 작은 기포 내에서의 전계가 물에서의 경우보다 약 80배로 커져서 기포내의 기체방전이 먼저 형성^[50]되고 이때 발생하는 열에 의하여 기포내부의 온도가 상승하여 기포파열과 생성이 반복되면서 기포방전을 유도하게 된다. 아울러 슬릿형 3전극계에서는 방전과정에서 발생한 다량의 이온들이 전극표면에 축적되지 않고 3전극의 유통개부에 의해 전극외측으로 빠져나가서 주전극쪽으로 가속되는 공간전하제어효과를 이용하여 저전력에서도 고농도의 산화성물질 용존수를 발생시킬 수 있다.

그림 2.65와 그림 2.66은 인입수를 수도수로 하여 0.5 [LPM]으로 공급하고 3전극을 설정하지 않은 control의 경우와 3전극을 설정한 경우의 산화성물질 발생특성을 비교하여 나타낸 것이다. control은 슬릿이 형성되어 있지 않은 평행평판전극을 이온분리막을 기준으로 15.0 [mm]간격에 설정해 두고 직류전압을 인가한 경우이며, 3전극을 설정한 경우는 pH출력특성에서 가장 좋은 특성을 나타낸 3전극형 전해장치 조건, 즉 주전극은 이온분리막으로부터 15.0 [mm]에 설정해두고 48개의 슬릿이 형성되어있는 3전극을 이온분리막으로부터 4.0 [mm]에 설정한 후 펄스지속시간을 1.0 [sec]로 하여 3전극과 주전극쌍에 순차적으로 전압을 인가한 경우이다.

그림 2.65에서 보여지는 바와 같이 동일 전류에서는 두 가지 경우에 큰 차이를 나타내지 않았으며 약 0.4 [A]이상에서부터 산화성물질이 발생하여 2.0 [A]에서 약 1 [ppm]의 산화성물질이 발생되는 것을 알 수 있다. 반면에 그림 2.66의 전압에 따른 산화성물질 발생특성에서는 3전극형이 80 [V]부근에서부터 산화성물질이 발생하여 약 230 [V]에서 1 [ppm]의 산화성물질을 발생시켰다.

그림 2.67과 그림 2.68은 전도성 증가를 위해 0.1 [wt%]의 염화나트륨이 용해되어있는 수도수를 원료수로 사용한 경우의 산화성물질 발생특성을 나타낸 것이다. 그림 2.67는 인가 전류변화에 따른 산화성물질 발생량을 보여주는 것으로서 3전극형의 경우 인가전류가 5 [A]일 때 약 22 [ppm]의 강산화성물질이 발생되었다. 그림 2.70은 인가전압변화에 따른 산화성물질 발생을 보여주는 것으로 상술한 바와 같이 3전극의 슬릿의 효과에 의해 control에 비해 저전압에서 많은 산화성물질이 발생되었다. 3전극형의 경우 50 [V]부근에서 약 22 [ppm]의 산화성물질을 효과적으로 발생시켰다. 이와 같이 수도수에 비해 0.1 [wt%]의 염화나트륨이 첨가된 경우에는 인입된 NaCl로 인한 수중 이온의 증가로 HOCl이 다량으로 생성되었기 때문인 것으로 사료된다.

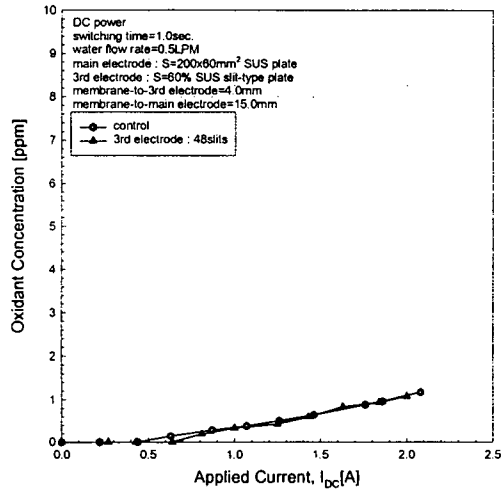


그림 2.65 수도수에서 control과 3전극형 소자의 산화성물질-전류특성
Fig. 2.65 Oxidant-I characteristics of cell for control
and 3rd electrode type in tap water.

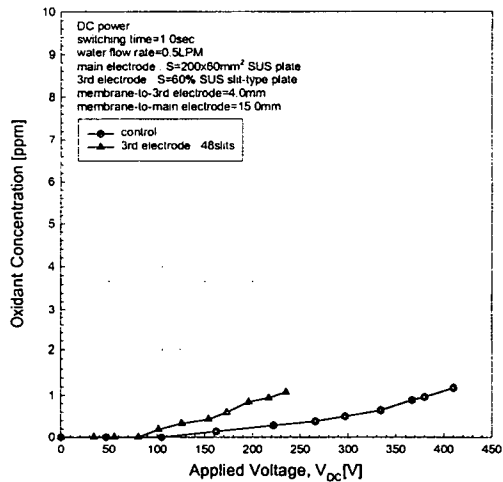


그림 2.66 수도수에서 control과 3전극형 소자의 산화성물질-전압특성
Fig. 2.66 Oxidant-V characteristics of cell for control
and 3rd electrode type in tap water.

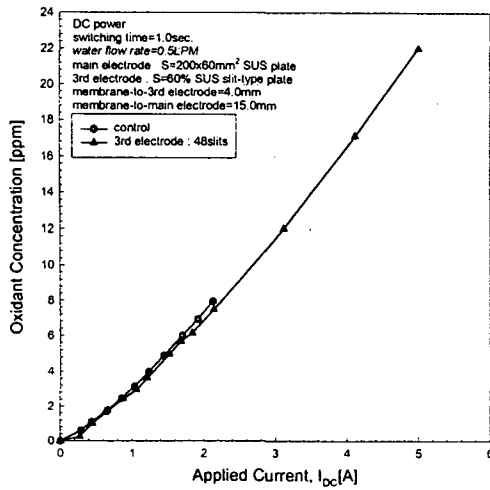


그림 2.67 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서
control과 3전극형 소자의 산화성물질-전류특성

Fig. 2.67 Oxidant-I characteristics of cell for control and 3rd electrode type in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.

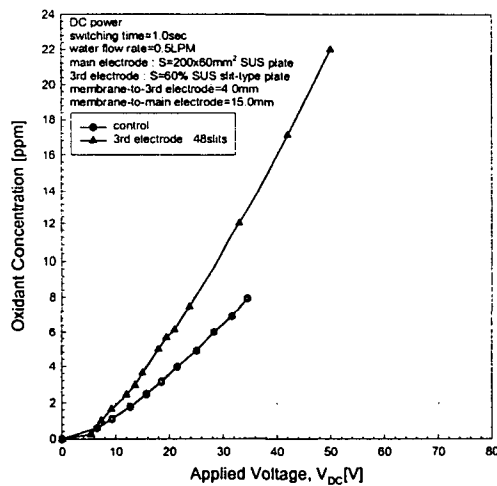


그림 2.68 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수에서
control과 3전극형 소자의 산화성물질-전압특성

Fig. 2.68 Oxidant-V characteristics of cell for control and 3rd electrode type in 0.1 [wt%] NaCl dissolved tap water.

4.5 본 개발 이온수 장치와 외국산 이온수 장치의 특성 비교

표 2-1에 본 연구 결과 개발한 이온수장치의 특성과 비슷한 규모의 외국산 이온수 장치(日本 サンリッチ100)와의 특성비교 검토하였다. 화학공학전공자들이 개발한 일본산 이온수장치의 경우 구조가 이온교환수지(ion exchange membrane)를 중심으로 극히 좁은 간격(1~3mm)의 평판형으로 구성되어 있고, 직류전원(20V이하)을 사용하고 있다. 따라서 작은 공간에 큰 직류전류(2~4A)를 흘리기 때문에 발열작용(Joule열)과 공간전하제한작용(Space Charge Limiting Action)으로 인한 발생된 oxidants의 효율 감소가 크게 우려되는 구조이다. 여기서 전극간격을 최소화하는 것은 인가전압을 낮게 할 수 있어서 상대적으로 이온 및 oxidants의 제조효율을 증가시킬 수 있기 때문이다. 따라서, 본 장치의 경우 전극구조를 슬릿형 평판형으로 함으로서 이온교환되어 집속된 공간전하들에 의해 형성되는 공간전하제한작용을 구조적으로 해소하게 하였으며, 또한 고밀도의 전류로 말미암은 전극간의 oxidants 생성공간으로부터 전류가 흐르지 않는 외부의 저온부로 수류를 방출시킴으로 수류중의 기생성된 oxidants의 분해작용을 최소화되게 하였다. 따라서 이온 및 oxidants제조효율을 증가시킬 수 있게 되었다. 다만, 본 장치의 경우 아직 구조적으로 일본산과 같이 전극간격을 1~2mm로 정밀 축소하지 못하여 현재 규격으로는 비슷한 특성을 나타내나, 정밀구조로 만들 경우 더욱 고효율의 특성이 나타날 것으로 사료된다.

표 2.1 본 개발장치의 외국산 장치와의 특성비교표

Table 2.1 Comparative table of developed electrolytic system and foreign one

항 목		외국산 이온수 장치 (日本 サンリッチ100)	본 개발 이온수 장치 (3차년도 개발 예정 장치)	비 고
(1)성능	oxidants	주성분 : HClO 평균농도 : 10~25ppm	주성분 : HClO+O ₃ 평균농도 : 15~25ppm	
	pH	2.4~2.7	2.2~2.5/11.2~12.0	
	용량	30~60 LPH	30~60 LPH	
(2)구조	전극형태	평판/membrane/평판	슬릿평판/membrane/슬릿평판	
	전극간격	1~2mm	3~10mm	
	전원구조	전압 : dc 10~20 V 전력 : 300~400 W	전압 : pulse 20~250 Vp 전력 : 200~250 W	
(3)첨가물		NaCl	NaCl	
(4)발생소자특성		<p>(1)전극구조가 평판형으로서 공간전하제한작용이 크고 또한 전극수명(3000시간 정도)상 20V이하의 전압 인가,</p> <p>(2)따라서 많은 발열작용이 일어나서,</p> <p>(3)oxidants 발생효율이 낮다.</p>	<p>(1)전극구조가 슬릿형으로 형성함으로써 공간전하 제한작용을 극소화시키며</p> <p>(2)또한 큰 전압, 소전류 인가가 가능함으로 전력 효율을 상승시키고,</p> <p>(3)전계는 최대화하여 oxidants발생효율은 최대로 상승시키고,</p> <p>(4)전류는 최소화하여 발열작용을 저감시켜 oxidants해리작용을 크게 저감시킨다.</p> <p>(5)제3전극을 형성시킴으로서 oxidants발생 효율을 극대화할 수 있게 하였다.</p>	
(5)장점		효율 : 100% 가격 : 100%	효율 : 120~130% 가격 : 40~60%	

제5절 결 론

본 연구에서는 초고농도의 이온수 제조장치 개발을 위하여 아래와 같이 종래의 이온수 발생장치에서 사용된 평행평판전극을 개량하고자하였으며, 이들 전극간에 인가된 맥류전압을 펄스전압으로 대치하였으며, 이들의 특성과 종래형과의 이온수 발생특성을 비교 분석하였다.

첫째, 수중 이온수 발생장치에 인가된 펄스전원의 펄스지속시간(t_{on})과 휴지시간(t_{off})이 강이온수 발생에 미치는 영향을 비교 검토하였다.

둘째, 수중 전기분해작용을 크게 증가시킬 수 있는 기포방전과 불평등전계를 형성하여 전계분포를 집중할 수 있는 유전체 소구를 이온수 발생장치 내부에 가득 충전하고 구형파펄스전압을 인가함으로써 이들이 유전체 소구가 강이온수 발생촉진에 미치는 영향과 강이온수 발생특성을 비교 검토하였다.

셋째, 이온수 발생공간에서의 수중이온들에 의한 공간전하제한작용을 제어하면서 기포방전과 전계분포를 집중시킬 수 있는 형태인 슬릿형 평행평판전극을 제안하여 슬릿개수와 전극면적 변화에 의한 강이온수 발생과 총산화성물질농도의 발생촉진특성을 비교하여 연구 검토하였다.

넷째, 종래의 이온수 발생장치에서 사용된 평행평판전극계에 유통개부인 슬릿이 형성된 3전극을 부가적으로 설정한 새로운 형태의 전극계를 제안하고 이들이 이온수 발생촉진에 미치는 영향을 연구분석하였다. 또한 평판전극에 슬릿을 형성시켜 3전극으로 사용함으로써 전계분포를 집중시키고 발생된 기포내에 방전을 유발시켜 전기분해작용을 증가시키고, 또한 전극표면에 축적된 공간전하를 제어할 수 있는 전극구조를 제안하여 이들이 강이온수발생과 강산화성물질 농도증가에 미치는 영향을 실험적으로 연구검토하였다.

이상의 연구 검토한 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 펄스지속시간에 따른 강이온수 발생특성

강이온수 발생장치에 인가된 구형파펄스전압의 펄스지속시간 0.5 [ms]에서 100.0 [ms]로 길어질수록 저전력에서 고농도의 강산성 이온수와 강알카리 이온수를 생성시킬 수 있음을 보여 주었다.

나. 유전체 소구가 충전된 전해장치의 강이온수 발생특성

- (1) 수중 이온의 분리집속 결과 강이온수 발생장치 내의 대향면적이 100×60 [mm^2]에서 200×60 [mm^2]로 길어지고 전극간격이 10.0 [mm]에서 5.0 [mm]로 축소됨에

따라 전계분포집중현상과 기포방전이 동시에 발생하여 저전력에서 강이온수를 발생시켰다. 구형과 펄스전류가 1.0 [A]이고 인입된 원료수인 수도수의 유속이 0.5 [LPM]일 때 pH 3.09 pH 10.60의 이온수를 얻었으며, 염화나트륨이 0.1 [wt%] 용해된 수도수의 경우 pH 2.78의 산성수와 pH 11.74의 알칼리수를 발생시킴을 보여주었다.

- (2) 비유전율이 10000인 BaTiO₃와 같은 유전체 소구를 충전하고 원료수인 수도수만을 인입한 경우 pH 2.70과 pH 11.69의 이온수를 얻었으며, 염화나트륨 0.1 [wt%] 용해된 수도수의 경우 pH 2.36과 pH 12.03의 효과적인 이온수를 발생시킬 수 있었다. 그리고 BaTiO₃와 같은 유전체 소구를 충전한 경우가 충전하지 않은 경우에 비해서 강알칼리 이온수의 경우 약 10배, 강산성 이온수의 경우 약 100배의 높은 이온수를 실험적으로 얻을 수 있었다.

다. 슬릿형 평행평판전극에서의 강이온수와 산화성물질 발생특성

- (1) 전극형상을 슬릿형으로 형성한 결과 슬릿 측면과 같은 날카로운 부분에서 불평등전계를 형성하여 전계분포를 집중시킬 수 있었고, 슬릿 측면등에서 발생된 산소와 수소기포에 물과 공기의 비유전율 차이로 기포내에 방전을 유발시켜 수중 전기분해작용을 크게 증가시켰다. 그리고 슬릿형 전극에 유통개부를 만들어 전극간에 공간전하효과를 크게 감소시킨 결과, 수도수를 인입수로 사용하고 구형과 펄스전류가 2.0 [A], 인입수의 유속이 0.5 [LPM]일 때 pH 3.0, pH 11.61의 강이온수를 얻었으며, 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수를 인입한 경우 pH 2.6의 강산성 이온수와 pH 12.34의 강알칼리 이온수를 발생시켰다.
- (2) 위의 슬릿형으로 전계분포를 집중시키고 공간전하효과를 크게 감소시킨 결과, 양 및 음전극측 모두에 수중 산화성물질을 효과적으로 발생시켰다. 슬릿 개수가 48개인 평행평판전극을 사용한 경우는 수도수의 경우 3.6 [ppmm]과 1.1 [ppmm]의 산화성물질 용존수를 얻었으며, 염화나트륨 0.1 [wt%] 용해된 수도수의 경우 23.2 [ppmm]과 1.5 [ppmm]의 강산화성물질 용존수를 발생시켰다.
- (3) 수도수와 0.1 [wt%] NaCl 용해수를 각각 인입수로 사용하였을 때의 방치시간에 따른 양전극측과 음전극측에서 발생된 강산화성물질의 분해특성을 보면, 수도수의 경우 발생된 산화성물질은 5시간 이내에 완전히 분해되었으며, 0.1

[wt%] NaCl 용해수의 경우 150시간 경과 후 초기농도값이 약 17 [ppmm]이었던 값이 1.50 [ppmm] 정도로 감소하였다.

라. 3전극형 평행평판전극계 이온수 장치의 강이온수 및 산화성물질 발생특성

본 연구는 첫째, 3전극을 설정하지 않고 슬릿이 형성되어 있지 않은 평행평판전극을 사용한 경우의 강이온수발생특성을 비교 조사하였다. 둘째, 수중에서 공간전하효과를 제어하면서 기포방전과 전계분포를 집중시킬 수 있는 형태인 슬릿형 3전극을 설정하고, 시비율(duty)이 50%로 고정된 펄스전원의 펄스지속시간(t_{on})을 변화시켰을 때 강이온수 발생에 미치는 영향을 비교 검토하였다. 셋째, 이온분리막을 기준으로 한 3전극의 위치변화가 강이온수 발생에 미치는 영향을 검토하였다. 넷째, 3전극상에 형성된 유통개부인 슬릿의 개수변화가 수중방전 및 강이온수 발생에 미치는 영향을 검토하였다. 다섯째, 3전극을 설정한 경우와 3전극을 설정하지 않은 경우에서의 산화성물질발생특성을 비교 검토하였다.

- (1) 슬릿형 3전극을 설정한 경우 펄스지속시간에 따른 강이온수 발생특성은 종래의 평행평판전극계에 비해 동일 전압에서 전류상승폭이 커서 소비전력면에서 우수하였으나 펄스지속시간변화에 따라서는 큰 변화를 보이지않았다.
- (2) 이온분리막으로 부터의 3전극간의 거리를 변화시킨 결과, 3전극을 이온분리막 쪽으로 가까이 설정할수록 동일 전압에서 효율적인 강이온수가 발생되었다. 이는 이온분리막에 가까이 3전극을 설정할수록 가까운 거리에서 강한 전계가 형성되고 슬릿부분에서 불평등전계에 의한 기포방전이 유도됨은 물론 반대편 이온분리막쪽의 이온들을 효과적으로 분리, 집속할 수 있었기 때문이다.
- (3) 슬릿의 개수변화가 수중방전 및 강이온수 발생에 미치는 영향을 조사한 결과 슬릿이 형성된 3전극을 설정하면 유통개부 측면등에서 발생된 산소와 수소기포에 물과 공기의 비유전을 차이로 기포내에 방전을 유발시켜 수중 전기분해작용을 크게 증가시킬 수 있었다. 또한 전극간의 공간전하효과를 제어할 수 있었다. 슬릿의 개수가 48로 가장 많은 경우에 가장 좋은 특성을 나타내었다. 원료수가 수도수인 경우 2 [A], 250 [V]부근에서 pH 2.8의 강산성수와 pH10.5의 강알칼리수를 발생시켰으며, 염화나트륨이 0.1 [wt%]용해된 수도수를 원료수로 사용한 경우 2 [A], 25 [V]부근에서 pH2.4의 강산성수와 pH11.0의 강알칼리수를 발생시킬 수 있었으며 인가전류, 전압을 5 [A], 50 [V]로 높이

면 pH2.2의 강산성수와 pH12.0의 강알칼리수까지 얻을 수 있었다.

- (4) 3전극의 전극형상을 슬릿형으로 하면 측면과 같은 날카로운 부분에서 불평등 전계를 형성하여 전계분포를 집중시킬 수 있어서 유통개부 측면등에서 발생된 산소와 수소기포에 물과 공기의 비유전을 차이로 기포내에 방전을 유발시켜 수증 전기분해작용을 크게 증가시킬 수 있게 한 결과, 양전극측에서 수증 산화성물질이 효과적으로 발생되었다. 슬릿개수가 48개인 3전극을 사용한 경우에 수도수의 경우 2.0 [A]에서 약 1 [ppm]의 산화성물질 용존수를 얻었으며, 전도성 증가를 위해 0.1 [wt%]의 염화나트륨이 용해되어있는 수도수를 원료수로 사용한 경우 5 [A], 50 [V]부근에서 약 22 [ppm]의 산화성물질을 발생시켰다.

참고 문헌

- [1] Surveillance of drinking water quality, "World Health Organization", Geneva, pp. 63, 1976
- [2] A. Addiscott, "Farmers Fertilizer and the Nitrate Flood", New Scientist, 50, October 9, 1988
- [3] B. Hileman, "The Chlorination Question", Environ. Sci. Technol., 16, 15A, 1982
- [4] R. J. Bull, "Health Effects of Drinking Water Disinfectants and Disinfectant Byproducts", Environ. Sci. Technol., 15, 554A, 1982
- [5] J. Kats, "Ozone and Chlorine Dioxide Technology for Disinfection of Drinking water", Noyes Data Corp., Park Ridge, N.J., 1980
- [6] L. W. Condie, "Toxicological Problems Associated with Chlorine Dioxide", J. Am. Water Works Assoc., June, 1986
- [7] R. L. Wolfe, "Ultraviolet Disinfection of Potable Water", Environ. Sci. Technol., Vol. 24, pp. 768-773, 1990
- [8] J. D. Moon, J. G. Kim and D. H. Lee, "Discharges of Point-to-Plate Gaps in Pure Water", Record of IEEE/IAS 1993 Annual Meeting, pp. 1611-1616, 1993
- [9] J. D. Moon, J. G. Kim and D. H. Lee, et al. "Ozone Generation from Hole Gaps in Water", Proceedings of 1994 Annual Meeting of the Institute of Electrostatics Japan, Int'l Section, 1994
- [10] 文在德, 金振圭, "水中 孔電極에 의한 效果的인 OZONE發生", 대한전기학회 논문지, Vol. 44, No. 12, 1995
- [11] J. D. Moon and J. G. Kim, "Ion Separation Characteristics of Dielectrics Pellets Bedded Parallel Plate Electrodes in Water", Proceedings of 1997 Annual Meeting of the Institute of Electrostatics Japan, Int'l Section, 1997
- [12] Hand Book of Ozone Technology and Application, edit by G. Rice & A. Netzer, Ann Arbor Science, 1982
- [13] Jae-Duk Moon, G. S. P. Castle and Senichi Masuda, "High Efficiency Ozone Generation Using a Helical Stripline Electrode and a Fast Rising Pulse Voltage," Record of IEEE/IAS 1986 Annual Meeting, pp. 1205-1210, 1986
- [14] Y. Takahasi and K. Ohtsuka, "Corona Discharge and Bubbling in Liquid Nitrogen," J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 8, pp. 165-169, 1975
- [15] Harry J. White, "Industrial Electrostatic Precipitation", 1963, Addison-Wesley
- [16] J. S. Clements, M. Sato, and R. H. Davis, "Preliminary Investigation of Prebreakdown Phenomena and Chemical Reactions Using a Pulsed High-Voltage Discharge in Water," IEEE Trans. on Industrial Application, Vol. 23, No. 2, pp. 224-235, 1987

- [17] A. H. Scarbaugh, J. C. Davins and S. J. Rzas, "Progress in the Field of Electric Breakdown in Dielectric Liquids", IEEE Trans. on Electrical Insulation, Vol. 13, No. 4, pp. 249-276, 1978
- [18] Shimizu, "Inactivation of Virus by High Oxidation Potential Water", The Medical and Test Journal, Vol. 398, p. 28, 1994.
- [19] Iwasawa, et al. "Inactivation Effects to Micrograms of Aqua Oxidation Water", Clinical diagnosis, Vol. 37, pp. 918-919, 1992.
- [20] Kisida, "Functional Water Technology to Agricultures", New Agriculture and Forest Co. pp. 97-99, 1996.
- [21] Abe, et al, "Inactivation Effects of Oxidation Potential Water to HB Virus", Journal of Dental Prevention, Vol. 37, p. 33, 1994.
- [22] A. Shiba and K. Shiba, "Applications to Dental Remedy of Aqua Oxidation Water", Medical Technology, Vol. 22, pp. 693-694, 1994.
- [23] Saito, "Disinfection of Medical Tools", Journal of the Tokyo Dentist Association, Vol. 42, pp. 25-32, 1994.
- [24] Effect of Electrolyzed Tap Water to AIDS, Yomiuri News Paper, April 23, 1993
- [25] 安倍 敏ほか, "電解強酸性水の口腔内細菌に対する殺菌作用", 日歯保誌, Vol. 36, p. 95, 1993
- [26] 安倍 敏ほか, "酸化電位水のMRSAおよび緑膿菌に対する殺菌作用", 日歯保誌, Vol. 37, p. 33, 1994
- [27] 安倍 敏ほか, "酸化電位水のHBウイルスに対する不活化作用", 日歯保誌, Vol. 37, p. 33, 1994
- [28] 一色由紀恵ほか, "アクア酸化水による消毒の効果", 医学検査, Vol. 40, pp. 787, 1991
- [29] 伊藤公一ほか, "強酸性水の歯科領域での應用", the Quintessence, Vol. 13, pp. 33-40, 1994
- [30] 岩澤篤郎, 中村良子, "アクア酸化水の抗微生物効果", The Medical & Test Journal, Vol. 398 (臨時増刊), No. 9, pp. 7-12, 1994
- [31] 岩澤篤郎, 中村良子, "アクア酸化水の抗微生物効果II-他消毒剤との併用", 日環感, Vol. 9, pp. 7-12, 1994
- [32] 岡田 淳, "注目を集める強酸性電解水の効果", The Medical & Test Journal, Vol. 388(臨時増刊), p. 251, 1994
- [33] 奥田禮一ほか, "形態変化からみた酸化電位水の殺菌効果", 日歯保誌, Vol. 37, No. 2, pp. 755-765, 1994
- [34] 奥田禮一, "酸化電位水と消毒", 日歯醫師會誌, Vol. 48, pp. 35-40, 1995
- [35] 小澤經子ほか, "アクア酸化水の消毒効果とその有用性", 臨床病理, Vol. 39(補冊), p. 36, 1991
- [36] 柏田聰明, "歯科醫院における超酸化水の臨床応用の可能性を探る(1)", 歯界展望, Vol. 85, pp. 131-143, 1995

- [37] 柏田聰明, "歯科医院における超酸化水の臨床応用の可能性を探る (2)", 歯界展望, Vol. 85, pp. 395-404, 1995
- [38] 芝 燁彦ほか, "強電解水の殺菌作用と歯科領域における應用", 歯科衛生士, Vol. 84, pp. 23-29, 1994
- [39] 芝 燁彦ほか, "強電解水, 歯科領域への應用", the Quintessence, Vol. 13, pp. 123-124, 1994
- [40] 芝 燁彦ほか, "強酸性電解水と Perio Pic™を用いたイリゲーションの臨床", DENTAL PRODUCTS NEWS, pp. 5-8, 1995
- [41] 芝紀代子, 芝 燁彦, "アクア酸化水(強酸性電解水)の医療への應用", Medical Technology, Vol. 22, pp. 693-694, 1994
- [42] 清水義信, 古澤利武, "電解による酸化電位水の殺ウイルス, 殺細菌及び殺真菌の作用", 歯科ジャーナル, Vol. 37, pp. 1055-1060, 1993
- [43] 清水義信, "強酸性水の殺ウイルス作用", The Medical & Test Journal, Vol. 398(臨時増刊), p. 28, 1994
- [44] 日本 EIW 技術資料 T-3
- [45] 日本 EIW 技術資料 T-2
- [46] 문성명 역, (日本 醫學博士 林秀光 원저) 물과 우리 생활, 제6장 알카리성 활성수를 응용하면 이렇게 변한다.
- [47] Okada, "Great Concerns to Effects of High Oxidation Potential Water", The Medical and Test Journal, Vol. 388, p. 251, 1994.
- [48] Iwasawa, et al, "What is the Aqua Oxidation Water?", Expert Nurse, Vol. 10, pp. 40-45, 1994.
- [49] 芝 燁彦, 芝 紀代子, 強電解水ハンドブック", 醫學情報社, 1995
- [50] A. H. Sharbaugh, J. C. Davins and S. J. Rzed, "Progress in the Field of Electric Breakdown in Dielectric Liquids", IEEE Insulation, Vol. EI-13, No. 4, pp. 249-276, 1978.
- [51] Nigel J. Bunce, 環境化學, 천문각, pp. 175-182, 1995
- [52] 一般化學, 慶北大學校 一般化學 教材編纂委員會, pp. 473-475, 1995
- [53] E. Gileadi, Interfacial Electrochemistry, pp. 1-27, 1945
- [54] A. K. N. Reddy, Modern Electrochemistry, pp. 714-734, 1970
- [55] Harry J. White, Industrial Electrostatic Precipitation, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., pp. 126-195, 1963
- [56] Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 13th ed., pp. 271-273, 1971
- [57] 정오진, 환경화학, 自由아카데미, pp. 382-395, 1995

제 3 장 시설채소 및 농작물의 초강이온수에 의한 발아 및 성장촉진효과와 장해작용

제1절 서론

UR 타결 및 WTO 체제 출범으로 농산물은 본격적인 국외 시장 개방화에 따라 영세한 국내 우리 농산물의 입지는 매우 미약하며, 경작 농민의 심리적 부담은 충격적인 실정이다. 이와 같은 무한 경쟁체제하에서의 우리 농산물의 경쟁력 확보를 위해서는 고품질 농작물의 효과적인 재배 기술개발이 가장 필수적이고 원천적인 것이라고 할 수 있다. 최근 외국(특히 일본)에서는 수도수 또는 지하수를 특수 전리 처리함으로써 농약과 같은 이차공해(오염)를 전혀 발생시키지 않으면서도 매우 뛰어난 살균효과가 있는 초고농도 강알카리 이온수와 발아 및 성장촉진능력을 갖는 초고농도 강산성 이온수를 제조하여 시설농작물(특히, 고추)에 관개함으로써 무농약의 청정농산물을 재배하는 것은 물론 고품질화, 저 생산비로 경쟁력도 갖게 하며, 또한 가장 안전하고 저렴한 양질의 농작물을 재배하는 기술이 연구되고 있다.

본 연구의 목적은 초강이온수의 특징인 무공해성을 이용하여 가장 효과적이면서 안전한 농작물 재배에의 응용 가능성을 연구실 차원의 실험적 검토를 수행하고자 하였다. 특히, 강산성 이온수의 최적조건의 병해방지효과와 초고농도 이온수의 pH변화에 따른 장해작용을 실험적으로 검토하였으며, 강알카리 이온수의 종자발아율과 유식물의 초기 성장촉진효과를 시설채소류와 농작물 중에서 수종(특히, 대두, 와사비, 보리, 오이, 고추 등)에 적절히 적용할 수 있는지의 가능성을 구체적으로 검토하여 앞으로 초강이온수를 농업에 실제로 적용할 수 있는지의 가능성을 검토하고자 기초실험을 수행하였다.

제2절 강이온수의 유식물 발아 및 생장 실험방법

1. 연구수행방법

가. 초고농도 이온수 생성

제 1 세부과제 책임자(과제 책임자 문재덕 교수)가 제조하여 공급한 것으로서 전압·전류 및 이온수의 생성량 비율을 임의로 조절하여, 본 실험에 필요한 pH의 이온수를 실험시마다 제조하여 사용하였다. 이때 초고농도 이온수 제조장치의 공급 원수로는 실험실의 수도수에 0.1wt%의 NaCl을 첨가하여 사용하였다.

(1) 적용 산성이온수의 수소이온 농도범위

pH 2.5, 3.0, 3.5 및 4.0

(2) 적용 알칼리이온수의 수소이온 농도범위

pH 10.0, 10.5, 11.0 및 11.5

나. 초고농도 이온수 처리

(1) 종자에 초고농도 이온수 직접 처리

① 대두(*Glycine max L.*)의 발아에 미치는 이온수의 영향

경북 농촌진흥원에서 분양받은 대두 종자 50개씩 흡습지를 샤아레에 넣어서 각 pH의 이온수를 25ml씩 첨가하였다.

샤아레는 항온실(온도 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$, 상대습도 $70\pm 5\%$)에서 연속광 아래에서 발아되는 수를 관찰하였다. 각 pH별 이온수에 대해서 3세트의 시료를 사용하였다. 발아는 종피가 파열되어서 유근이 나온 것을 발아된 것으로 간주하였다.

② 오이(*Cucumis sativus L.*)의 발아에 미치는 이온수의 영향

홍농종묘에서 분양받은 오이 종자를 실험에 사용하였다. 오이 종자 50개씩 흡습지를 칸 샤아레에 넣어서 pH의 이온수를 20ml첨가하였다. 항온실(온도 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$, 상대습도 $70\pm 5\%$)에서 연속광 아래에서 발아되는 수를 관찰하였으며 그외 조건은 ①의 대두와 동일하다.

③ 고추(*Capsicum annum L.*)의 발아에 미치는 이온수의 영향

홍농 종묘에서 분양받은 고추 종자를 앞의 ①, ②와 동일한 방법으로 발아를 측정하였다.

(2) 초고농도 이온수에 의한 대두의 초기 생장

1)-① 의 실험에 의해 발아된 대두 중에서 떡잎이 나왔을 때 각 pH에서 동일한 크기의 개체를 5개 선택하여 배양액(Hogland)을 넣은 이온수에 넣어 생장을 살펴보았다. 생장 장소는 발아한 항온실과 동일한 조건하에서 아래 그림 3.1과 같이 설치하여 실험하였고 각 생장에 따라 생장길이, 생체량, 건량, 엽록소 함량을 측정하였다.

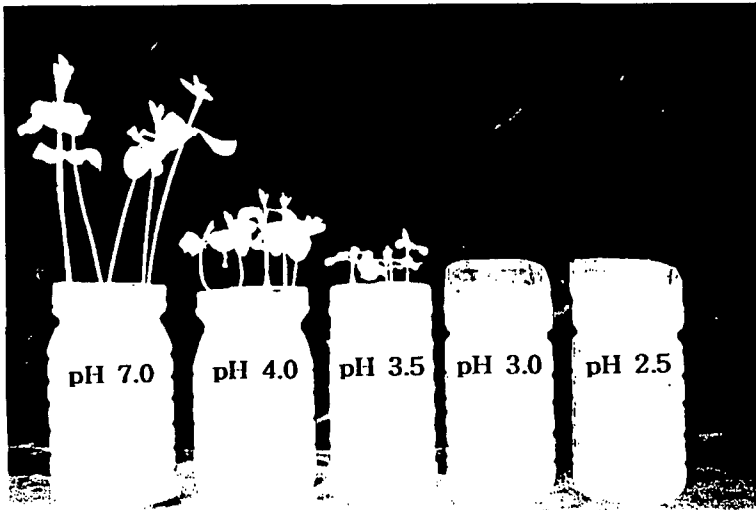


그림 3.1 강산성수가 대두의 생장에 미치는 영향

Fig. 3.1 Effect of acid water on soy bean growth

2. 연구내용 및 결과

가. 초고농도 이온수가 유식물의 발아 및 성장에 미치는 영향

(1) 초고농도 이온수에 종자 직접 처리

(가) 대두(*Glycine max L.*)의 발아율

그림 3.2와 3.3은 각각의 강산성수 및 강알칼리성수의 pH에 따른 대두의 발아율 특성을 나타낸 실험결과이다. 그림에서 보듯이 강산성수 및 강알칼리성수의 경우 비교적 초기발아가 저조하며, pH 7.0에서 발아가 가장 잘되었으며 발아 초기에는 강산성수, 강알칼리수의 발아율이 pH 7.0에 비해 낮지만 시간이 지날수록 차이가 줄어들며 pH 3.0은 40시간 이후에는 오히려 중성수인 pH 7.0보다 더 빠른 발아율을 보였다.

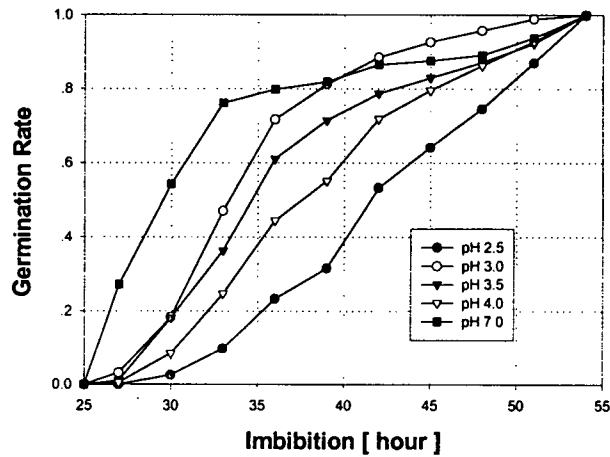


그림 3.2 강산성수의 pH에 따른 대두의 발아율 특성

Fig. 3.2 Germination rate of soy bean in different acid water

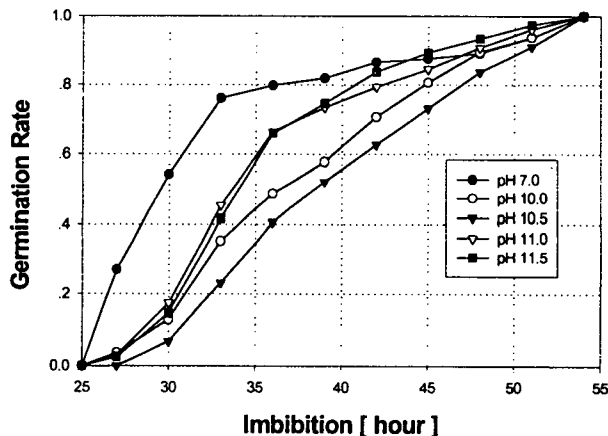


그림 3.3 강알칼리성수의 pH에 따른 대두의 발아율 특성

Fig. 3.3 Germination rate of soy bean in different alkali water

(나) 오이(*Cucumis sativus L.*)의 발아율

그림 3.4와 3.5는 pH에 따른 오이의 발아율을 나타낸 것이다. 강산성수에서의 오이종자의 발아는 pH7.0, 2.5, 3.5, 3.0, 4.0의 순으로 발아율이 높게 나타나며, 강알칼리성수에서는 pH10.0과 11.0이 오이종자의 발아율이 빠른 것을 보여주고 있다. pH10.0과 같은 경우는 초기의 발아율이 다른 이온수에 비교하면 높고 발아시간도 빠르다는 것을 알 수 있다.

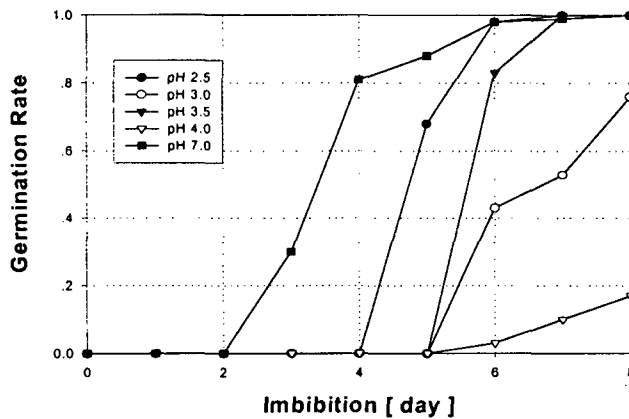


그림 3.4 강산성수의 pH에 따른 오이의 발아율 특성

Fig. 3.4 Germination rate of cucumber in different acid water

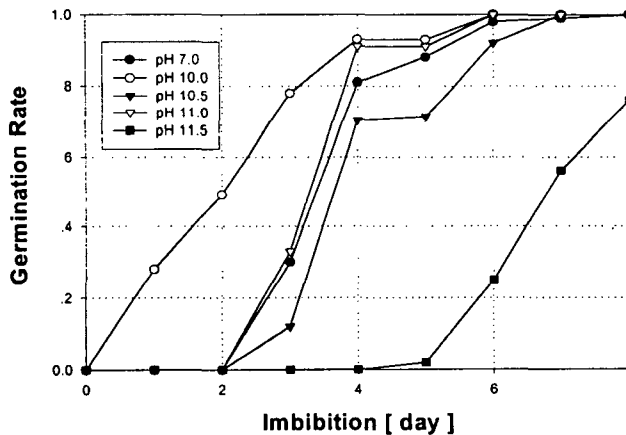


그림 3.5 강알칼리수의 pH에 따른 오이의 발아율 특성

Fig. 3.5 Germination rate of cucumber in different alkali water

(다) 고추 (*Capsicum annuum* L.)의 발아율

그림 3.6과 3.7은 pH별 이온수에 따른 고추 종자의 발아를 나타낸 실험결과이다. 고추종자의 경우 pH7.0에서 발아가 가장 잘 되며 8시간에서 10시간 사이에 고추종자의 발아율은 강산성수는 pH3.0, 3.5, 2.5의 순으로 강알칼리성수에서는 pH10.0, 10.5, 11.0의 순으로 발아가 잘 되는 것을 볼 수 있다. 강산성수에서는 고추종자의 발아율이 일정하지만 강알칼리성수에서는 고추종자의 초기보다는 후기로 갈수록 발아율이 크다는 것을 알 수 있다.

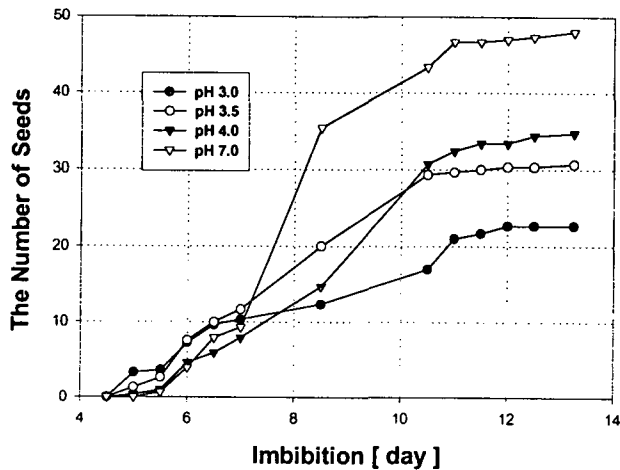


그림 3.6 강산성수의 pH에 따른 고추의 발아율 특성

Fig. 3.6 The number of germinated red pepper in different acid water

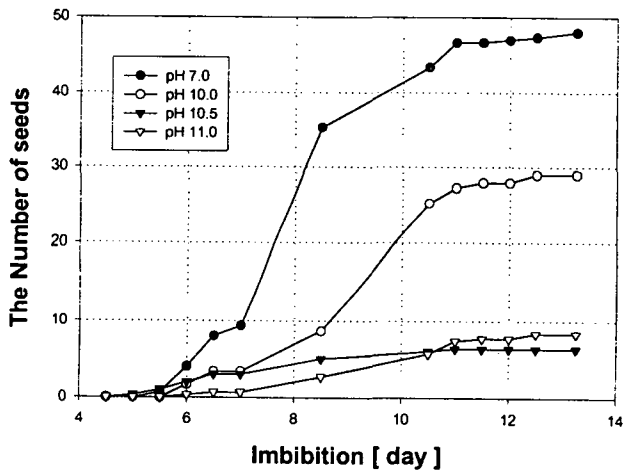


그림 3.7 강알칼리수의 pH에 따른 고추의 발아율 특성

Fig. 3.7 The number of germinated red pepper in different alkali water

나. 초고농도 이온수에 의한 대두의 초기 성장효과

(1) 대두의 성장 길이

그림 3.8은 일정 기간동안 각각의 pH에서의 대두의 초기 성장 길이를 비교한 것이다. 대두의 초기의 성장(9일)은 중성수인 pH7.0에서 성장 길이가 가장 길지만 성장시간이 경과한 후기로 갈수록 강알칼리성수, 특히, pH11.0에서 대두 유식물의 성장 길이가 가장 길었다.

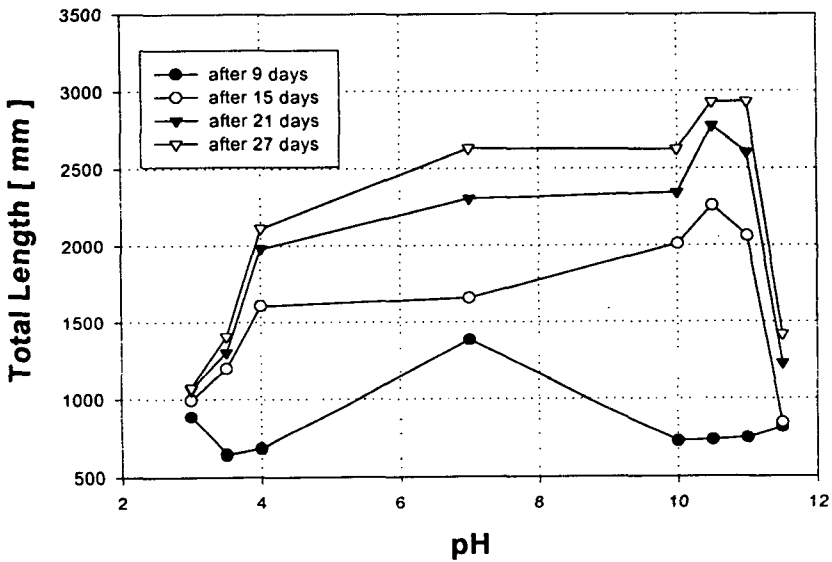


그림 3.8 pH에 따른 대두의 초기 성장특성

Fig. 3.8 The length of soy bean in different pH

(2) 생체량

그림 3.9는 강이온수 각각의 pH에서 성장시킨 대두의 일정기간 동안의 생체량을 나타낸것이다. 전체적으로 볼 때 산성수인 pH 4에서 생체량값이 가장 크고 강알칼리성수에서는 pH 11.0에서 약간의 증가 추세를 보이다가 감소한다.

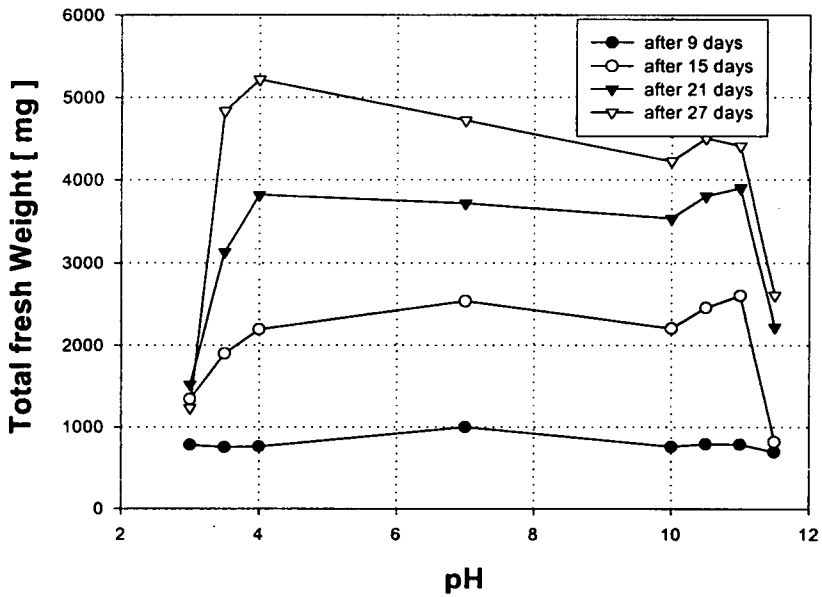


그림 3.9 pH에 따른 대두의 일정기간 생체량 특성
Fig. 3.9 Fresh weight of soy bean in different pH

(3) 대두의 엽록소 함량 변화

그림 3.10은 강이온수의 pH변화에 따른 대두의 엽록체 상대적 함량 변화를 조사한 것이다. 강산성수인 pH3.5에서 대두의 엽록소 함량이 가장 많고 중성수인 pH7.0에서 가장 적다. 강이온수의 pH변화에 따른 대두의 엽록소 함량은 전반적으로 U형의 곡선 형태로 나타내어 강이온수의 pH가 대두의 엽록소 함량변화에 매우 크게 작용함을 나타낸다.

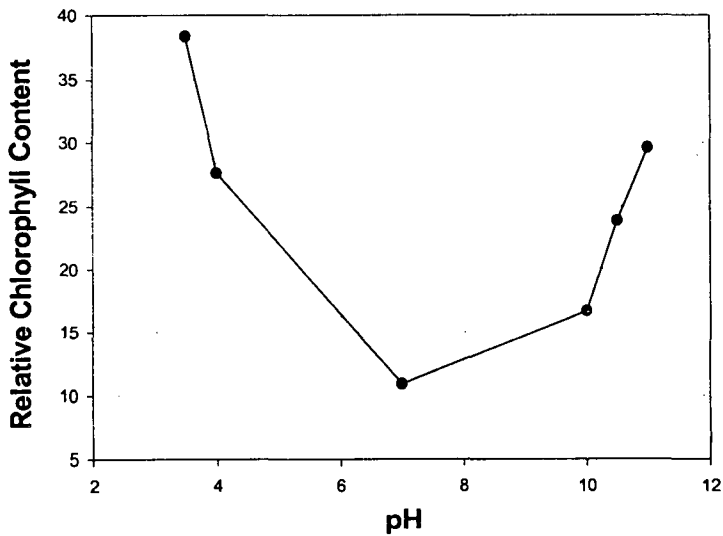


그림 3.10 pH에 따른 대두의 엽록체 상대적 함량 변화 특성

Fig. 3.10 Relative chlorophyll content of soy bean in different pH using SPAD-502

(4) 대두의 생체량, 건량 비교

그림3.11과 3.12는 27일간 성장시킨 대두를 잎, 줄기, 뿌리로 잘라서 각 부분의 생체량과 건량을 측정한 결과이다. 생체량은 잎과 줄기는 유사한 형태로 M자의 곡선형태로 나타나지만 줄기에서는 다른 형태로 나타난다. 줄기가 성장하는 데 알맞은 pH는 잎, 뿌리와는 다르다. 줄기는 pH7.0에서 가장 큰 값을 가지며 pH3.5에서도 1800mg정도의 값을 가진다. 하지만 이것은 Fig12의 건량과 비교해 보면 생체량은 큰 값을 가질지라도 건량이 작은 값을 가지므로 수분 함량이 많다는 것을 알수 있다. 건량도 생체량과 유사한 형태로 나타났으며 pH7.0은 생체량과 건량 모두 큰값을 가진다.

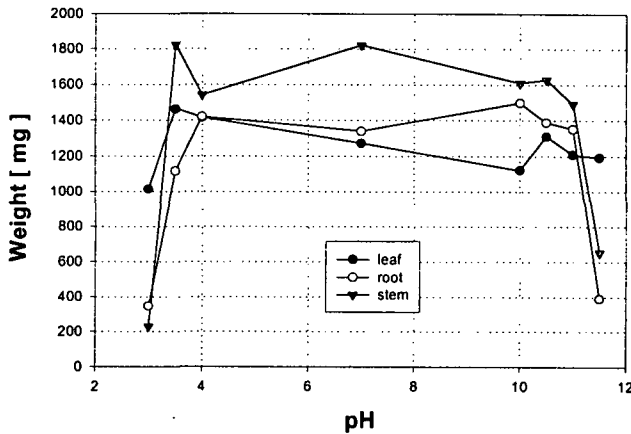


그림 3.11 pH에 따른 대두를 잎, 줄기, 뿌리 부분의 생체량

Fig. 3.11 Fresh weight of soy bean in different pH

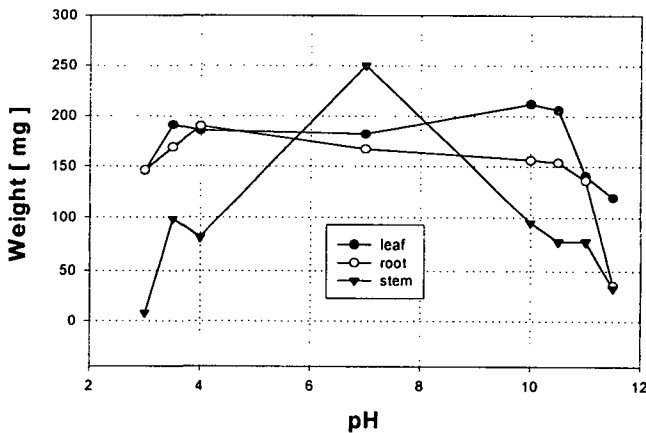


그림 3.12 pH에 따른 대두를 잎, 줄기, 뿌리 부분의 건량

Fig. 3.12 Dry weight of soy bean in different pH

이상과 같은 실험에서 보면 종자의 발아는 그 종자가 발아하는 용액의 pH에 따라 다르다는 것을 알 수 있다. 전반적으로 산성수 쪽은 발아 정도가 억제되는 것을 볼 수 있고 알칼리성수에서는 약간 촉진되는 것을 볼 수 있었다. 특히 Fig 3.4의 알칼리성수에 있어서 오이의 발아는 발아뿐 아니라 발아 시간에도 영향을 끼친다는 것을 볼 수 있다.

다음으로 pH에서의 대두의 성장과정을 살펴보면 초기의 생장은 pH7.0에서 빠르게 나타났지만 시간이 지날수록 알칼리성수 쪽에서 생장이 더 빠르게 나타남을 알 수 있었다. 최종적인 실험이 끝났을 때 pH7.0에서 알칼리성수의 pH는 모두 유사한 수치(약 6.5에서7.0)로 나타났다. 각각의 이온수에 배양액을 넣었을 때 산성수 쪽은 pH의 변화가 없었으나 알칼리성수 쪽에서는 pH의 변화가 일어났다. 그렇다면 유사한 수치에서도 생체량, 길이 및 건량에 있어서 차이가 나타나는 이유에 대해서 살펴보아야 할 것이다. 이 문제를 해결하기 위해서 다음 실험에는 배양액을 넣지 않은 상태에서 (2)번 실험을 다시 한 번 실험하여 그 차이점을 알아보려 한다.

제3절 초고농도 이온수가 유식물의 발아, 성장 및 엽록소 형광 pattern에 미치는 영향

1. 연구수행방법

가. 적용 농작물 재료

(1) 대두(*Glycine max L.*)

: 경북 농촌 진흥원에서 분양받은 대두 종자를 사용하였다.

(2) 보리(*Horheum vulgare L.*)

: 성주군 농촌지도소에서 분양받은 보리 종자를 사용하였다.

나. 초고농도 이온수 처리

(1) 대두의 발아에 미치는 초고농도 이온수의 영향

경북 농촌 진흥원에서 분양받은 대두 종자를 각 이온수 (pH2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 7.0, 10.0, 10.5, 11.0, 11.5)를 처리하였다.

종자처리 방법은 대두 20개를 각 이온수별로 침적하여 5시간을 두었으며 이렇게 처리한 것을 vermiculite에 파종하였다. 종자를 넣은 화분은 항온실 (온도 $15\pm 1^{\circ}\text{C}$, 상대습도 $70\pm 5\%$)에서 연속광 아래에서 발아되는 수를 관찰하였다. 발아는 종피가 파열되어서 유은이 나온 것을 발아된 것으로 간주하였다. 매일 pH의 이온수를 일정량 스프레이하여 수분을 공급하였다.

(2) 보리의 발아에 미치는 초고농도 이온수의 영향

성주군 농촌지도소에서 분양받은 보리 종자를 각 이온수 (pH2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 7.0, 10.0, 10.5, 11.0, 11.5)를 처리하였다.

종자처리 방법은 보리 5.0g을 각 이온수별로 5시간을 침적하였으며 이렇게 처리한 것을 vermiculite에 파종하였다. 종자를 넣은 화분은 항온실 (온도 $15\pm 1^{\circ}\text{C}$, 상대습도 $70\pm 5\%$)에서 연속광 아래에서 발아되는 수를 관찰하였다. 발아는 종피가 파열되어서 유근이 나온 것을 발아된 것으로 간주하였다. 매일 매일 각 pH의 이온수를 일정량 스프레이하여 수분을 공급하였다.

다. 유식물의 생장 측정

보리의 경우 발아에 이어서 생장 길이를 측정하였다. 생장 길이의 측정은 줄기 부분만을 측정하였다.

라. 엽록소의 형광 측정

정상적인 상태에서 자란 대두와 보리잎을 pH별로 48시간 담구어서 처리한 후 형광을 측정하였다. 측정 방법은 아래와 같다.

Chlorophyll Fluorometer를 이용하여 엽록소 형광 유도를 측정하였다. 15분간 암적응시킨 잎절편에 변조된 약한 측정광을 조사하여 F_0 (광계 II의 반응중심이 모두 열렸을 때 안테나 색소로부터 방출되는 형광)을 구하고, 포화광을 조사하고 F_m (광계 II의 반응중심이 모두 닫혀 전자 수용체 Q는 완전히 환원 상태에 있을 때의 형광)을 구하였으며 F_v 는 F_m 과 F_0 의 차이로 계산하였다. 그리고 F_v/F_m 비를 광계 II의 광화학 효율 지표로 이용하였다.

지속적인 활성광을 조사하면서 포화광을 20초 주기로 1초간 pulse 처리하여 형광 소멸 요인을 분석하였다. 형광 소멸 계수는 Oxborough와 Horton(1988)의 방법에 따라 광화학적인 형광 소멸요인인 q_P 와 비광화학적 형광 소멸인 q_{NP} 를 구하였다. q_{NP} 는 q_E (에너지-의존적 소멸)와 q_R (나머지 소멸)로 나누어 계산하였는데 q_E 는 비광화학적 형광 소멸의 주요 요인으로 틸라코이드막의 에너지화에 의한 소멸이고 q_R 은 그 외의 다른 경로를 통한 소멸이다. q_R 은 다시 단백질의 산화에 의한 q_T 와 광저해에 의해 나타나는 q_I 로 나눌수 있다.

2. 연구내용 및 결과

가. 초고농도 이온수가 대두와 보리의 발아에 미치는 영향

(1) 대두의 초고농도 이온수 중의 발아율

그림 3.13은 초고농도 이온수가 대두와 보리의 발아에 미치는 영향을 나타낸 것으로서, 각 초고농도 이온수에 따라서 전반적으로 대조구와 비교하여 처리구가 많은 차이를 나타내었다. 대조구에 비해서 전반적으로 처리구의 발아율이 낮았다. 하지만 pH 2.5는 대조구와 거의 같은 수준으로 발아가 되었으며 염기보다는 산성쪽이 조금 더 높은 발아율을 보인다. 온도를 13℃였을 때는 전반적으로 발아 시기도 늦었졌을 뿐 아니라 대조구와 비교하였을 때 처리구들의 발아율에 별로 차이가 나타나지 않았다.

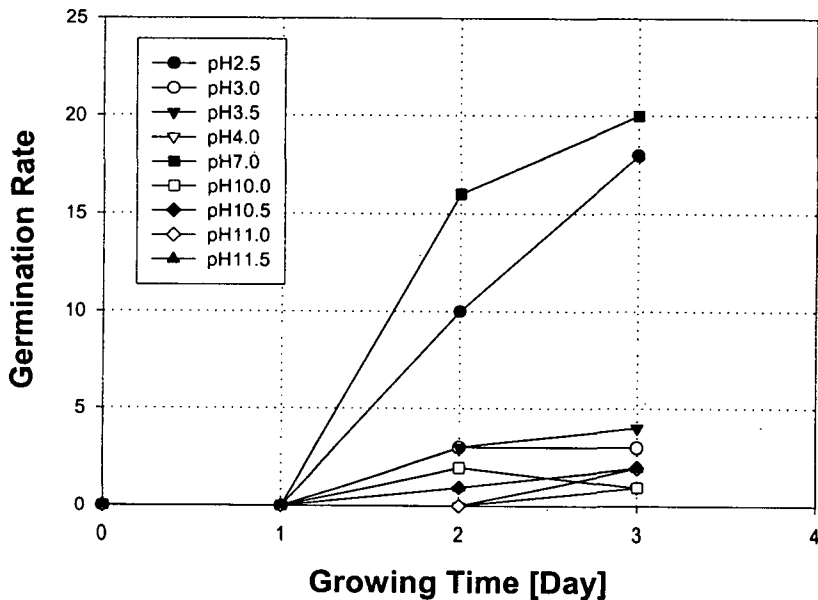


그림 3.13 pH에 따른 대두의 발아율 특성

Fig. 3.13 Germination rate of soy beans in different pH

(2) 보리의 초고농도 이온수 중의 발아율

그림 3.14는 보리의 초고농도 이온수 중의 발아율을 측정한 것으로서, 보리의 초고농도 이온수 중의 발아 초기에는 강알칼리성수인 pH 10.0 에서의 발아가 높으며 강산성수인 pH 2.5는 대조구와 비교했을 때 발아 첫째날은 발아율이 낮으나 발아 둘째 날부터 대조구에 비교하여 회복이 된다. 발아가 되어갈수록 산성쪽보다 염기쪽의 발아율이 낮다. 특히 강산성과 강염기를 비교 했을 때는 강산성 쪽이 더 발아가 잘 되었으며 pH2.5가 pH11.0에 비해서 1.6배 정도 발아가 잘 되었다.

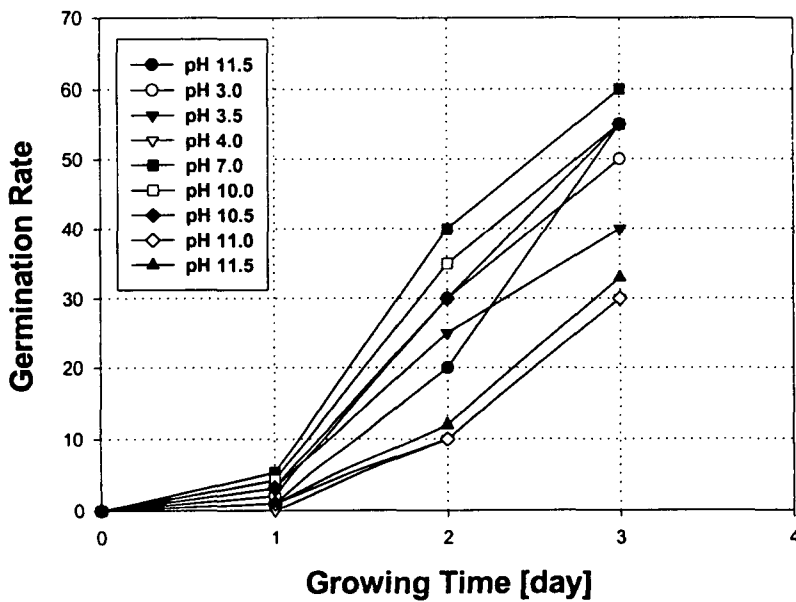


그림 3.14 pH에 따른 보리의 발아율 특성
 Fig. 3.14 Germination of Barley in different pH

나. 초고농도 이온수가 대두와 보리의 생장에 미치는 영향

(1) 대두의 성장

그림 3.15는 초고농도 이온수가 대두의 생장에 미치는 영향을 측정하기 위해 성장기일에 따라 찍은 사진으로서, 대두의 생장은 발아에 의한 차이로 인하여 생장에 약간의 차이가 났지만 실제 눈으로 보기에는 뚜렷한 차이를 얻을 수 없었다. 대조구의 생장이 가장 빨리 일어났으며 산성수인 pH4에서의 생장이 가장 저조했다. 그림 15의 (a)는 대두의 발아 3일째 사진이고 (b)는 대두 유식물이 25일간 생장이 되었을 때의 사진이다.



(a) 대두의 발아 3일째 사진

(a) 3 days after germination



(b) 대두의 발아 25일째 사진

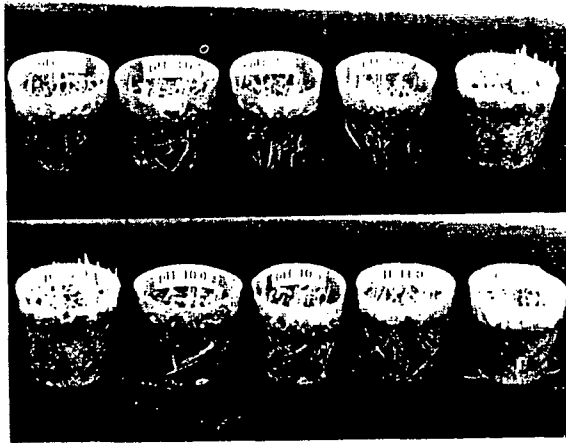
(b) 25 days after germination

그림 3.15 pH에 따른 대두의

Fig. 3.15 Photo of growing soy bean in different pH

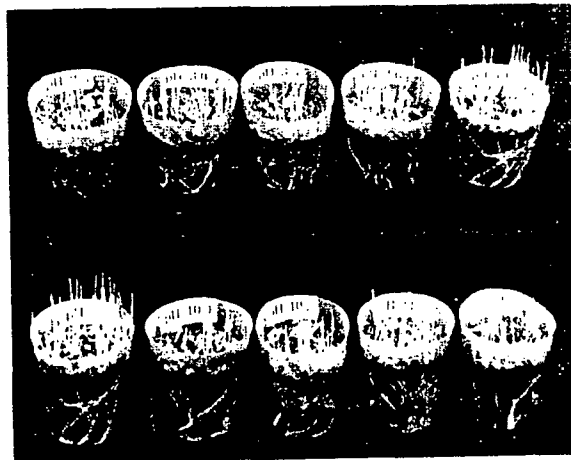
(2) 보리의 생장

그림 3.16의 산성 및 알칼리이온수중에서 생장되는 보리의 생장일수에 따라 찍은 사진으로서, 보리의 생장 길이는 대조구가 가장 잘 자랐으며 그 차이를 사진으로 보면 알 수 있듯이 알칼리성수중인 pH 10.0이 가장 작게 자랐으며 나머지 알칼리성수중의 생장은 비슷했다. 그림 3.16의 (a)는 6일째 된 것이고 (b)는 9일, (c)는 13일 째 된 것이다. 녹화가 일어나기 시적인 시기가 비슷하지만 녹화된 정도에 있어서 강산과 강염기로 갈수록 옅은 녹색을 나타낸다. 그림 3.17은 보리의 생장기간동안 줄기의 길이를 측정한 것이다. 줄기의 성장길이는 6일째부터 급격히 증가되어 가나, 산성수 및 알칼리성수중에서는 대체적으로 생장이 억제되는 것을 보여준다.



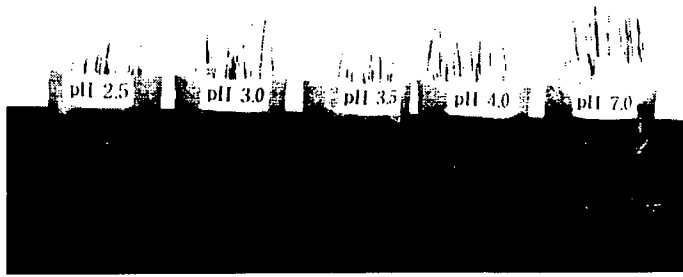
(a) 보리의 생장 6일째 사진

(a) after 6 days



(b) 보리의 생장 9일째 사진

(b) after 9 days



(c) 보리의 생장 13일째 사진

(c) after 13 days



(d) 보리의 생장 18일째 사진

(d) after 18 days

그림 3.16 pH에 따른 보리의 생장 사진

Fig. 3.16 Photo of Growing barley in different pH

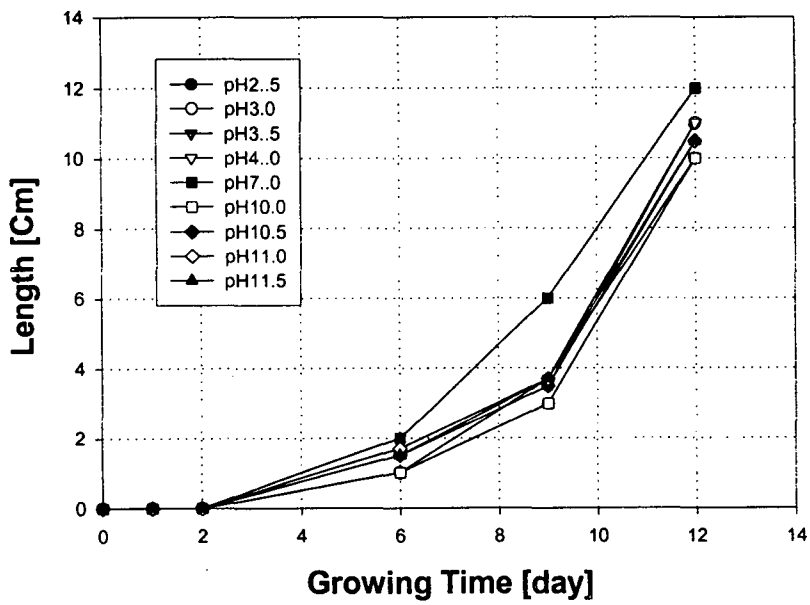


그림 3.17 pH에 따른 보리 줄기의 생장길이특성
 Fig. 3.17 The Length of barley stem in different pH

다. 초고농도 이온수의 pH가 대두와 보리의 엽록소 형광pattern에 미치는 영향

(1) 대두의 잎에 이온수의 pH가 미치는 영향

① 그림 3.18, 3.19, 3.20은 초고농도 이온수의 pH가 대두와 보리의 엽록소 형광pattern에 미치는 영향을 나타낸 것이다. HCl과 NaOH를 강이온수인 pH(2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 7.0, 10.0, 10.5, 11.0, 11.5)로 나누어 측정한 경우 Fo(광계 II의 반응중심이 모두 열렸을 때 안테나 색소로부터 방출되는 형광)는 안테나 색소에서 반응중심으로의 여기 에너지 전달을 반영하는 것으로 대조구와 비교 할 때 pH10.0에서 큰 차이를 나타내는 것으로 보아 반응 중심이 많아졌다는 것을 알 수 있다. pH10.0을 중심으로 강염기 쪽으로 갈수록 Fo값이 감소하는 것을 볼 수 있다. Quenching Coefficient의 값은 pH4에서 증가하다가 대조구에서 감소하다가 염기쪽으로 갈수록 증가하는 것을 볼 수 있다.

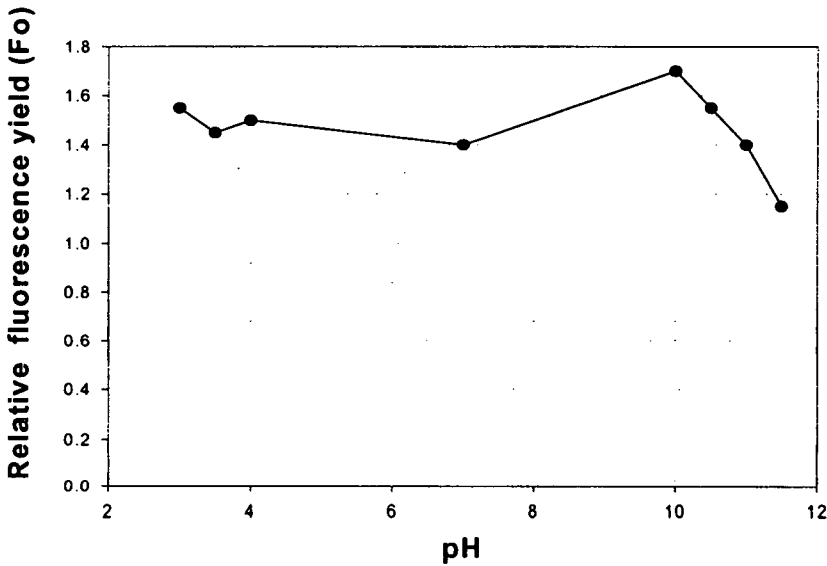


그림 3.18 pH에 따른 대두의 형광량 특성

Fig. 3.18 Relative fluorescence yield of soy bean as a function of pH

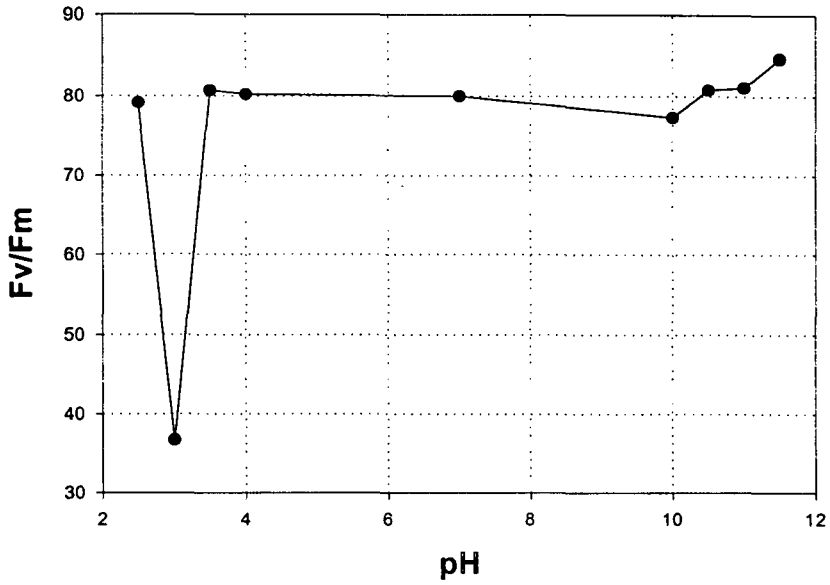


그림 3.19 pH에 따른 대두의 Fv/Fm 특성
 Fig. 3.19 Fv/Fm of soy bean as a function of pH

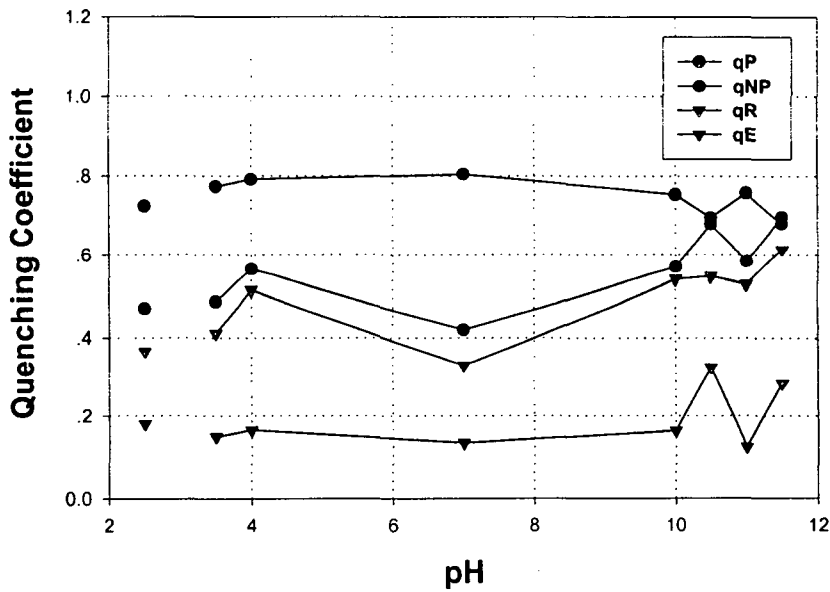


그림 3.20 pH에 따른 대두의 퀀칭 특성
 Fig. 3.20 Quenching coefficient of soy bean as a function of pH

② 그림 3.21, 3.22, 3.23은 초고농도 이온수의 pH가 대두의 엽록소형광에 미치는 영향을 조사한 결과이다. 초고농도 이온수 제조기를 통해 만든 이온수(pH 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 7.0, 10.0, 10.5, 11.0, 11.5)를 사용한 경우 ①의 경우와 비교했을 때 특성 곡선의 기울기가 급한 것을 볼 수 있다. pH2.5는 대조구에 큰 값을 가지며 pH3.0 과 pH4.0에서 값이 감소하며 대조구에서 회복하다가 염기로 갈수록 감소하는 것을 볼 수 있다. Fo(광계 II의 반응중심이 모두 열렸을 때 안테나 색소로부터 방출되는 형광)의 값이 감소하는 것으로 보아 반응 중심이 모두 감소하거나 그 수가 작다는 것을 알 수 있다.

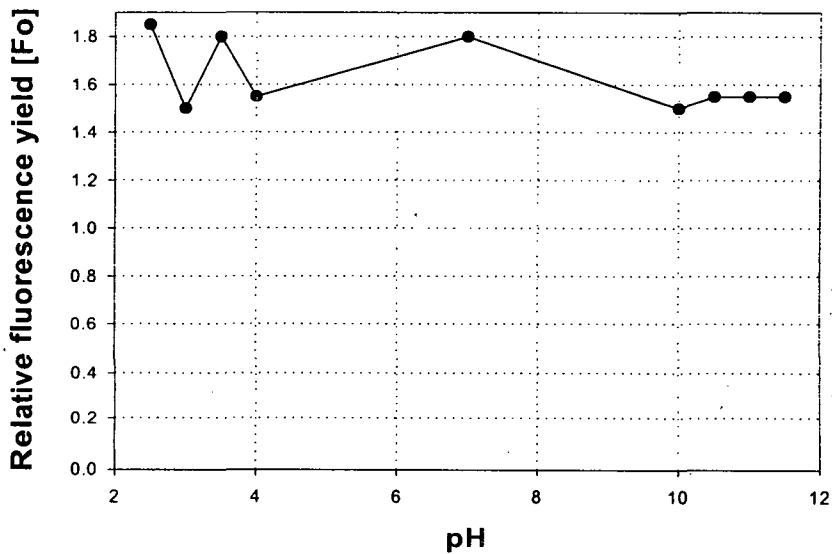


그림 3.21 pH에 따른 대두의 형광량 특성

Fig. 3.21 Relative fluorescence yield of soy bean as a function of pH

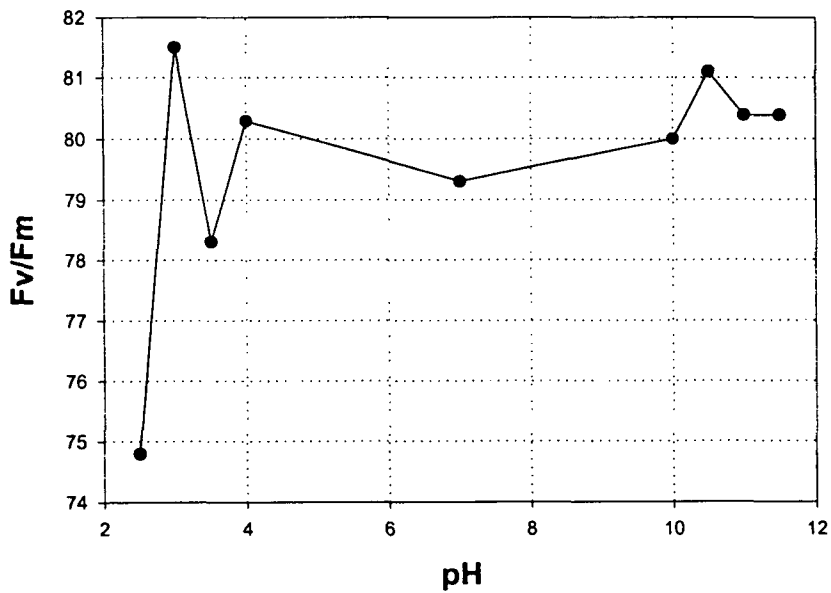


그림 3.22 pH에 따른 대두의 Fv/Fm 특성

Fig. 3.22 Fv/Fm of soy bean as a function of pH

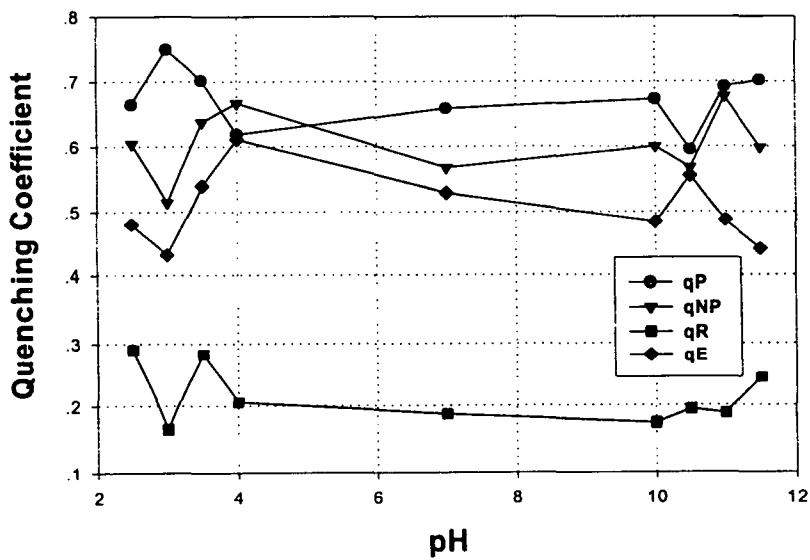


그림 3.23 pH에 따른 대두의 퀀칭 특성

Fig. 3.23 Quenching coefficient of soy bean as a function of pH

(2) 보리의 잎에 초고농도 이온수의 pH가 미치는 영향

① 그림 3.24, 3.25, 3.26은 HCl과 NaOH를 pH(2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 7.0, 10.0, 10.5, 11.0, 11.5) 로 나누어 보리의 잎에 초고농도 이온수의 pH가 미치는 영향을 측정한 것으로서, Fo(광계 II의 반응중심이 모두 열렸을 때 안테나 색소로부터 방출되는 형광)의 값은 산성 쪽에서는 pH4.0에서는 증가하는데 대조구에 비해서 0.2 정도 큰 값을 가진다. 대조구에서 Fo의 감소하는 값은 염기 쪽으로 갈수록 회복한다. Fv/Fm비는 광계II의 광화학 효율 지표로 pH10.0과 pH10.5에서 큰 값을 나타낸다. Quenching Coefficient의 값은 약간의 차이가 있으나 대조구를 중심으로 감소하며 산성과 염기쪽으로 갈수록 증가하는 것을 볼 수 있다.

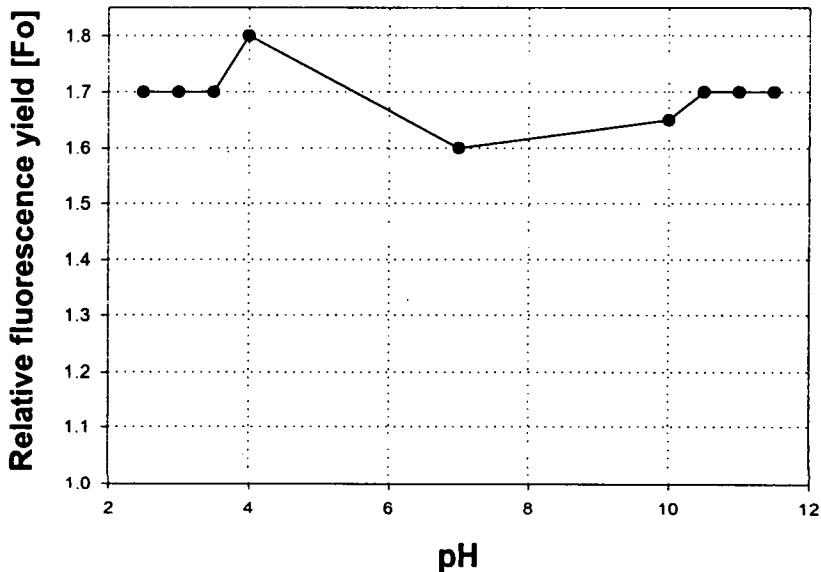


그림 3.24 pH에 따른 보리의 형광량 특성

Fig. 3.24 Relative fluorescence yield of barley as a function of pH

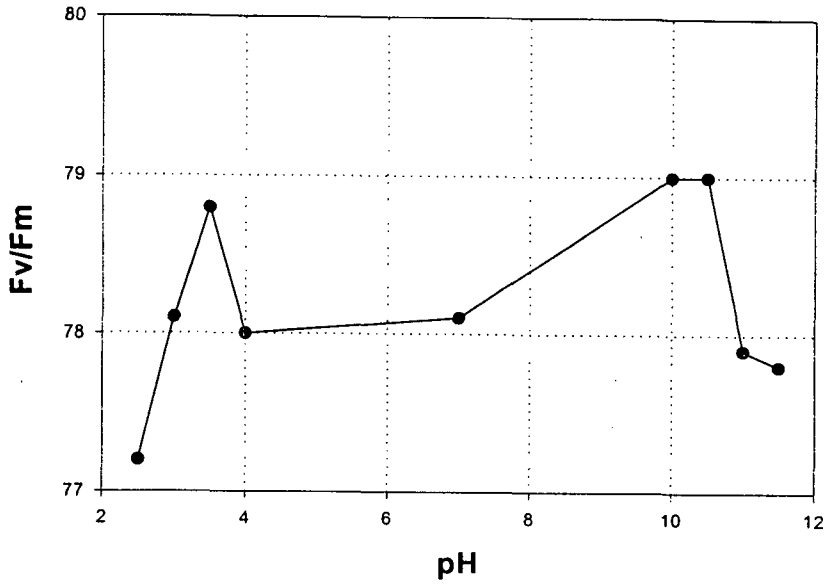


그림 3.25 pH에 따른 보리의 Fv/Fm 특성

Fig. 3.25 Fv/Fm of barley as a function of pH

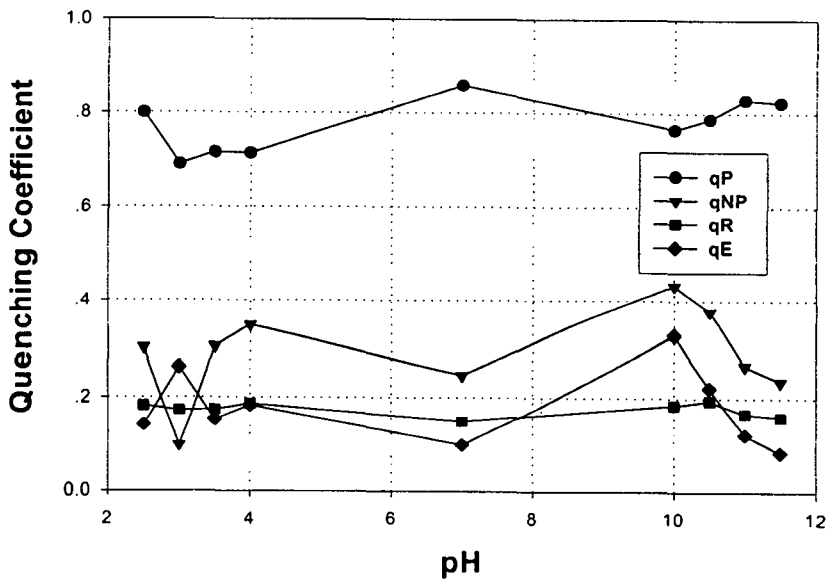


그림 3.26 pH에 따른 보리의 퀀칭 특성

Fig. 3.26 Quenching coefficient of barley as a function of pH

② 그림 3.27, 3.28, 3.29는 이온수 제조기를 통해 만든 이온수(pH 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 7.0, 10.0, 10.5, 11.0, 11.5)를 사용한 경우의 보리의 F_o , F_v/F_m , quenching coefficient를 나타낸 것이다. F_o (광계 II의 반응중심이 모두 열렸을 때 안테나 색소로부터 방출되는 형광)는 pH4.0에서 큰 값을 가지며 F_v/F_m 에 있어서는 염기쪽 특히 pH10.5에서 큰 값을 가진다. 대조구와 비교했을 때 F_o 는 서로 차이가 나는 것으로 보아서 전자전달 효율에 이온수의 pH가 약간의 영향을 주는 것을 사료된다.

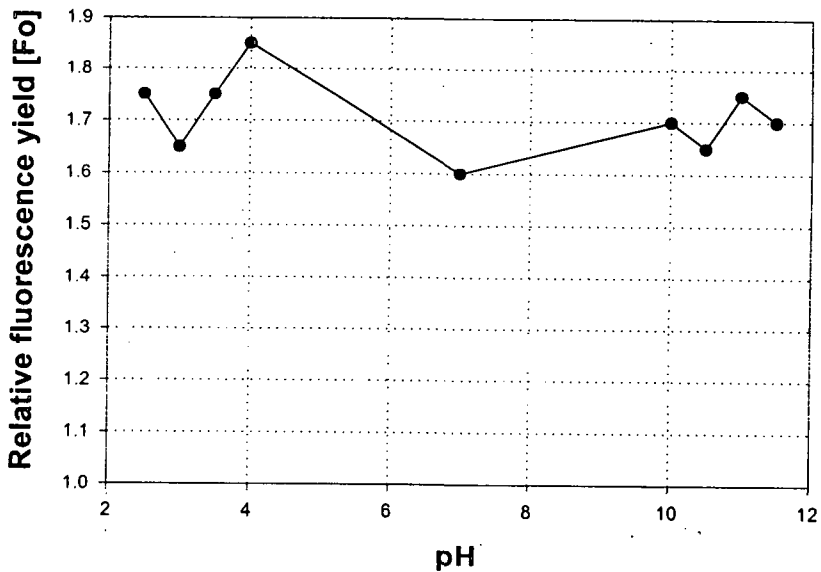


그림 3.27 pH에 따른 보리의 형광량 특성

Fig. 3.27 Relative fluorescence yield of barley as a function of pH

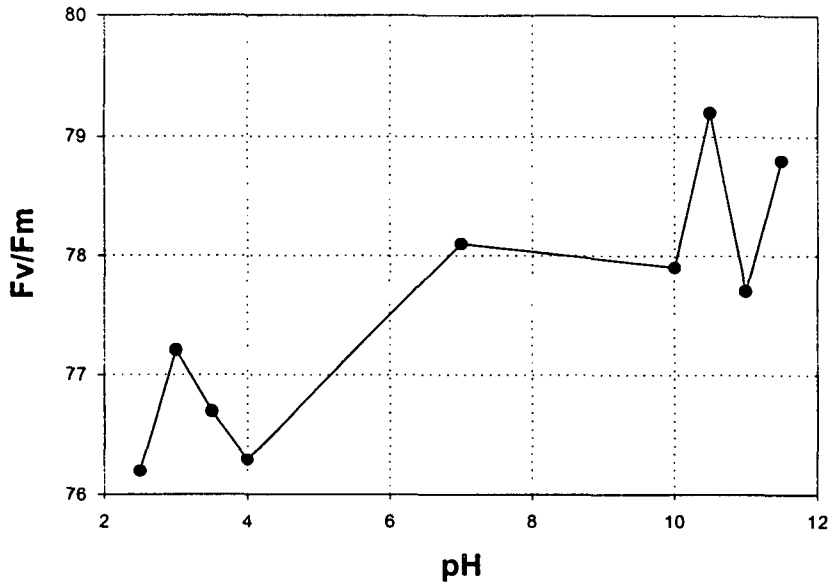


그림 3.28 pH에 따른 보리의 Fv/Fm 특성

Fig. 3.28 Fv/Fm of barley as a function of pH

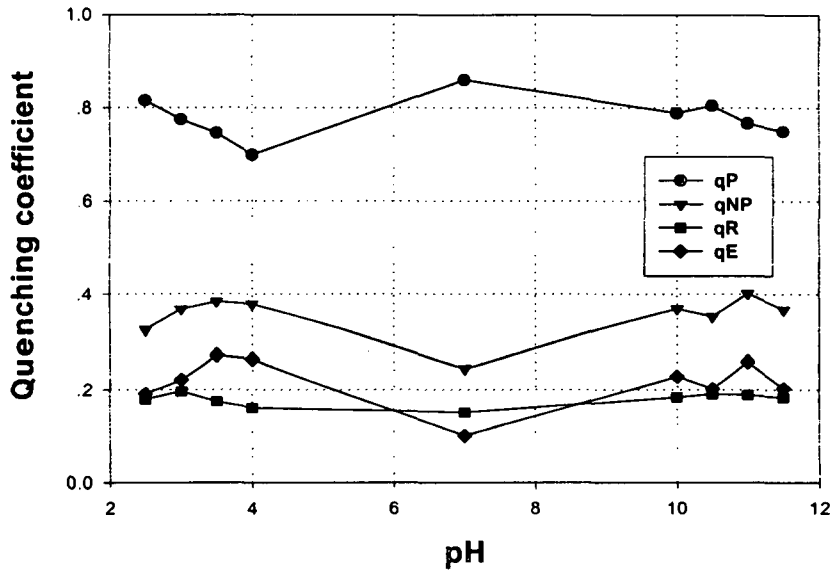


그림 3.29 pH에 따른 보리의 퀀칭 특성

Fig. 3.29 Quenching coefficient of barley as a function of pH

제4절 초고농도 이온수가 시설채소 및 농작물에 미칠 수 있는 장해작용 가능성 검토

1. 실험재료 및 방법

가. 초고농도 이온수 제조

초고농도 이온수 발생은 본 연구 제 1 세부과제 책임자(경북대학교 문재덕 교수)가 제조 공급하여 준 것으로, 원리적으로는 특수 평행전극간에 이온 투과 격막을 설치하고, 이 전극간에 특수직류 및 펄스전압을 인가하면 순수한 전기에너지만에 의해 물의 전해작용이 일어나서, 양극에 수소이온을 방출하고 또 수중의 음이온의 집전되어 강산성수(pH 2.2~4.0)가 되고, 또한 HClO, H₂O₂, O₃, O가 양전극 부근에서 생성되어서 살균력이 매우 뛰어나며 활성산소와 다량의 용존 산소가 발생되게 된다. 음전극 부근에는 양이온들이 집전되어 강한 알칼리성(pH 10.0~12.0)을 나타내는 음이온수를 얻을 수 있게 된다.

나. 실험재료

보리(*Hordeum vulgare* L.)종자를 증류수에 세척한 후 파종하여 암소에서 5일간 키운 황백화된 보리 유식물에 산성 전기 분해수를 처리하고 백색광($700\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)을 조사하여 greening 한 후 실험재료로 이용했다. 이 때 성장실의 온도는 20℃, 상대습도는 50%로 했다. 그리고, 경북 농업기술원에서 제공한 대두와 경북 농업기술원에서 제공한 와사비(고추냉이) 유식물을 본 온도제어 성장실에서 재배한 와사비를 실험 재료로써 이용하였다.

다. 가용성 단백질 함량 측정

냉각시킨 막자사발에 잎 0.1 g씩 넣고 50 mM HEPES buffer(pH 7.8) 10 ml를 첨가하여 마쇄한 후 2℃에서 26,000 g로 10분간 원심분리한 상등액을 가용성 단백질 시료로 사용하였으며, pellet는 염록체의 가용성 단백질 함량을 측정하기 위해 마쇄용 완충용액을 첨가하여 현탁한 후 300 g에서 1분간 원심분리하여 침전물은 버리고 상등액을 다시 600 g에서 10분간 원심분리한 후 마쇄용 완충용액으로 재현탁하여 1,000 g에서 10분간 원심분리하여

엽록체를 분리한 후 sucrose가 포함되지 않은 완충용액으로 삼투 shock를 주어 엽록체를 파괴하여 10,000 g에서 원심분리하여 상등액을 이용하였다. 단백질 함량은 Bradford(1976)의 방법에 따라 추출한 단백질 용액 0.3 ml에 Coomassie Brilliant Blue G-250 3 ml를 첨가하여 2분 후 595 nm에서 흡광도를 측정하였으며 bovine serum albumin을 표준곡선으로 하여 정량하였다.

라. 엽록소 함량 측정

엽록소의 추출은 Hiscox와 Israelstam(1979)의 방법에 따라 DMSO(dimethyl sulfoxide) 10 ml에 잎 0.1 g을 넣고 65 °C의 항온 수조에 3 시간 동안 두었다. 추출액의 색소 함량 측정은 Double-beam spectrophotometer UV-190(Shimadzu)를 사용하였으며 엽록소 a와 b의 함량은 Arnon(1949)의 방법에 따라 663 nm, 645 nm에서 흡광도를 측정하였고 carotenoid 함량은 Jensen과 Jensen(1971)의 방법에 따라 480 nm에서 흡광도를 측정하여 각 색소의 함량을 정량하였다.

마. 엽록소 a 형광 측정

엽록소 a의 형광 측정은 Walz 사의 PAM 101, 102, 103으로 intact 잎을 20분간 암적응 시킨 뒤 적색광($2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)을 조사하여 F_0 (광계 II의 반응중심이 모두 열려있을 때의 형광)를 구하고, 포화광($3,000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)을 조사한 뒤 F_m (광계 II의 반응중심이 모두 닫혀 전자 수용체 Q는 완전히 환원 상태에 있을 때의 형광)를 측정해서 이것을 광계 II 활성의 지표로 이용한다. $F_m - F_0$ 에 의해 F_v 를 구하여 F_v/F_m 비를 구하고 비교분석한다. 지속적인 actinic light $60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 를 조사하면서 포화광을 20초 간격으로 2초간 pulse 처리하여 형광 소멸요인을 분석한다(Christian, 1993). 형광소멸요인으로 고에너지에 기인한 형광소멸인 qE(energy-dependent fluorescence quenching), quinone의 산화환원 상태를 나타낸 것으로 광계 II 반응중심의 열림상태를 반영하는 q_p (photochemical quenching), 비광화학적 형광 소멸인 NPQ(nonphotochemical quenching)를 구한다.

2. 초고농도 이온수가 대두의 발아와 유식물에 미치는 생장 촉진 및 장애작용 검토

가. 이온수가 대두의 발아 및 초기생장에 미치는 영향

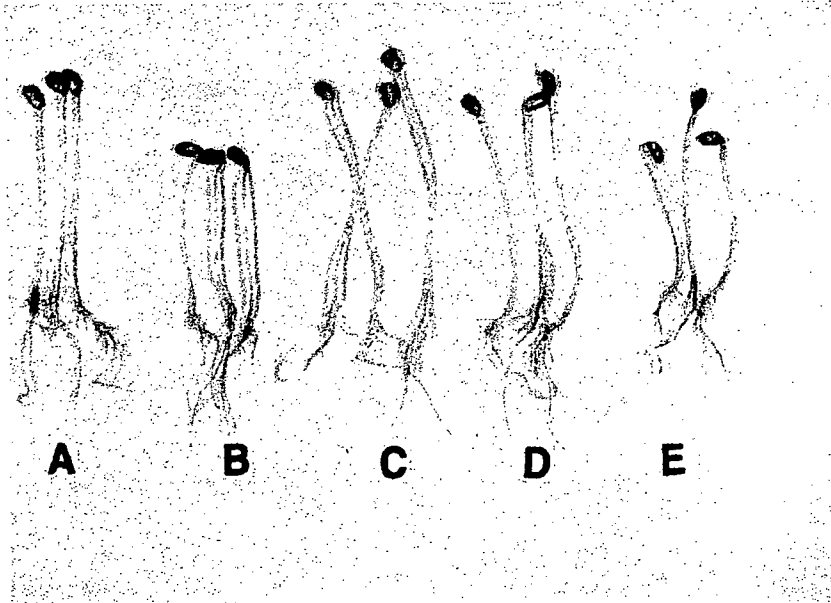
표 3.1은 0.01 M NaCl이 포함된 원수로 제조한 이온수의 pH에 따라 콩의 생장과 생장상태에 미치는 영향 조사한 결과를 나타낸 것이다. 표 1에 나타나듯이 이온수의 pH가 4.0, 3.5, 3.0, 2.5로 낮아질수록 생장은 낮아지나 pH가 3.0 이하에서도 비교적 생장상태가 양호하였다.

pH가 10.0, 10.5로 증가하면 생장속도는 매우 빨라지며, pH10.0에서 pH7을 기준할 때 생장이 112%이었다. 그러나, pH가 11.0, 11.5로 더욱 증가하면 생장속도는 저하되나, 매우 저하되지는 않았다. 그림 3.30은 0.01 M NaCl이 함유된 원수로 제조한 이온수로 재배한 콩나물의 초기생장 사진이다.

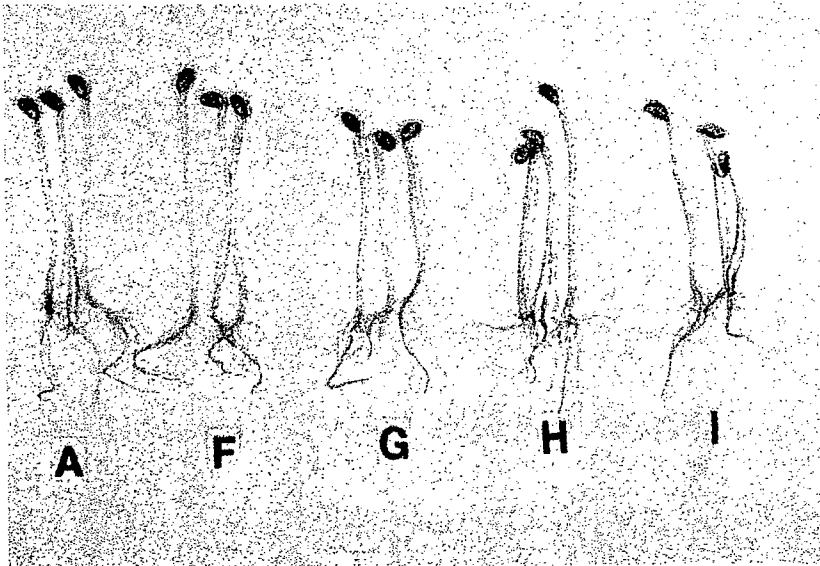
표 3.1 0.01 M NaCl이 포함된 원수로 제조한 이온수의 pH에 따라 콩의 생장과 생장상태에 미치는 영향 조사.

Table 3.1 Effect of dose and pH on seed germination and seedling growth of soy bean in 0.01 M NaCl dissolved water.

이온수(pH)	생장속도		생장상태
	생장길이(cm)	생장을(%)	
2.5	15	60	+++++
3.0	19	76	+++++
3.5	22	88	+++++
4.0	23	92	+++++
7.0	25	100	++++
10.0	28	112	+++++
10.5	26	104	++++
11.0	24	96	+++
11.5	24	96	+++



(a) 산성수에 의한 콩나물의 초기 성장 상태



(b) 알칼리수에 의한 콩나물의 초기 성장상태

그림 3.30 이온수가 콩의 초기생장에 미치는 영향.

Fig. 3.30 Effect of pH on growth of soy bean seedling
 A: control, B: pH2.5, C: pH2.5+수돗물, D: pH3.5+수돗물, E: pH3.5,
 F: pH10.0+수돗물, G: pH10.0, H: pH11.0+수돗물, I: pH 11.0.

나. 초고농도 이온수 중의 NaCl의 농도가 대두의 발아와 생장에 미치는 영향

표 3.2는 일정한 전류와 전압하에서 이온수 제조시 사용한 원수에 포함된 NaCl의 농도에 따라 생성된 이온수가 콩의 발아율과 생장율에 미치는 영향을 조사하여 나타낸 결과표이다.

200 mV, 10mA의 전류로 이온수를 제조했을 때 원수의 NaCl의 농도를 0.1 M에서 0.001 M 및 수돗물로 이온수를 제조하였으며 그 결과 아래의 pH와 같이 제조되었으며 이용액을 각각 하루에 1회 식만 주고난 후 물을 주어 세척하였으며 전체 물을 준 횟수는 1일 3회 었으며 그 결과 원수의 NaCl 농도가 높은 물로 제조한 이온수의 경우 발아율은 대조구에 비해 낮게 나타났으나 음이온수의 경우 성장속도는 대조구 보다 빠르게 나타났으며, NaCl 농도가 0.05 M 이하에서는 모든 이온수에서 발아속도가 대조구에 비해 촉진되었고 특히 0.001 M로 만든 이온수에서 생장율이 가장 촉진되었으며, 발아율도 대조구에 비해 높게 나타났다.

표 3.2 일정한 전류와 전압하에서 이온수 제조시 사용한 원수에 포함된 NaCl
 의 농도에 따라 생성된 이온수가 콩의 발아율과 생장율에 미치는 영향
 Table 3.2 Effect of pH and NaCl additives on seed germination and
 seedling growth of soy bean

NaCl의 농도	이온수(pH)		발아율	생장율(길이, cm)
대조구		7.00	81	21
0.1 M	산성이온수	2.63	74	20
	알카리이온수	11.95	80	23
0.05 M	산성이온수	2.82	82	22
	알카리이온수	11.87	72	25
0.01 M	산성이온수	3.25	75	22
	알카리이온수	11.42	73	22
0.005 M	산성이온수	3.33	71	24
	알카리이온수	11.12	71	24
0.001 M	산성이온수	3.70	83	25
	알카리이온수	10.77	90	25
수도물	산성이온수	6.21	73	23
	알카리이온수	10.40	81	24

다. 초고농도 이온수의 적용량이 대두의 발아와 성장상태에 미치는 영향

표 3.3은 강한 이온수의 급수량을 일일에 1, 2, 3회로 변화시켰을 때의 콩의 발아, 생장을, 그리고 성장상태를 조사한 결과표이다. 표 3에 나타나듯이 콩의 발아시 1일 1회 이상 이온수를 주었을 경우 발아율 및 생장이 현저히 억제되었으나, 성장상태는 그래도 비교적 양호하였다.

표 3.3 이온수의 양을 달리하여 콩의 발아 및 생장을 및 성장상태에 미치는 영향

Table 3.3 Effect of dose and pH on seed germination and seedling growth of soy bean.

이온수(pH)	횟수(1일)	발아수	생장을 (길이, cm)	성장상태
대조구		73	17	++++
2.5	1	85	16	+++++
	2	91	12	++++
	3	73	6	++++
12.0	1	57	15	+++++
	2	39	8	++++
	3	20	5	+++

라. 산성 이온수가 콩나물 콩의 생체량 증가에 미치는 영향

이온수가 콩나물 콩의 7일 까지 생체량 증가에 미치는 영향은 그림 1과 같다. 대조구인 수도물(pH 7.0)을 주었을 때 2일 까지 급격히 생체량이 증가하다가 4일 까지는 완만히 증가한 후 다시 7일 까지는 급격히 증가하여 7일 때 38.41g 증가하였다. 모든 이온수에서 대조구와 유사한 양상의 생체량 증가 pattern을 보였다. 이온수인 pH 6.40과 pH 6.50은 대조구 보다 생체량이 증가하였으며 특히 pH 6.40은 7일 때에는 43.39g으로 증가하여 대조구에 비해 약 13%나 증가하였다. 그러나 pH 3.90 와 pH 5.60 그리고 pH 6.20은 대조구에 비해 생체량이 적었으며 특히 pH 3.90은 7일 때에는 대조구에 비해 약 33%나 감소했다. 이것으로 보아 이온수 중 pH 6.40 부근의 약산성에서는 대두의 생체량 증가를 촉진하는 것을 알 수 있다.

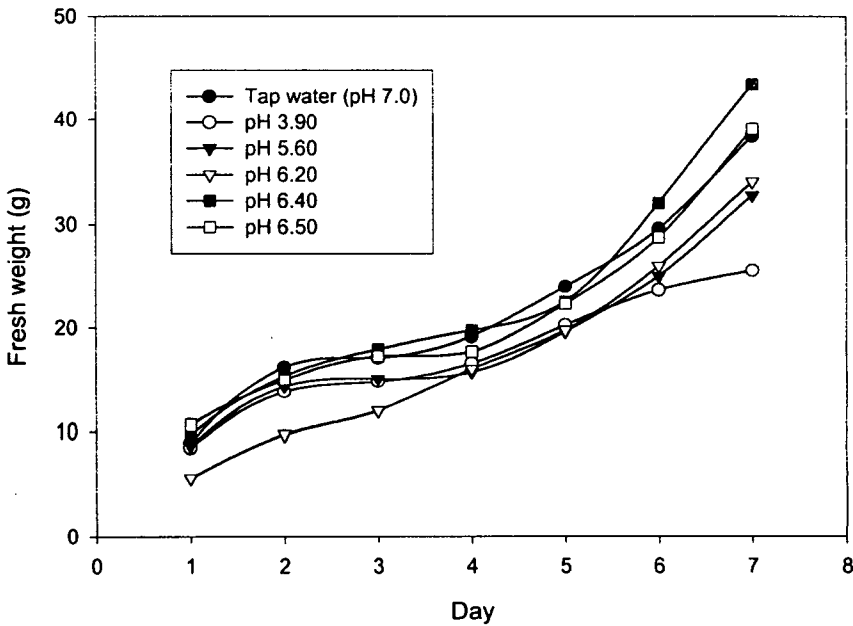


그림 3.31 산성 이온수가 콩나물 콩의 생체량 증가에 미치는 영향

Fig. 3.31 Effect of acid water of fresh weight on soy bean seedling as a function of growing days

마. 초 고농도 알칼리성 이온수가 콩나물 콩의 생체량 증가에 미치는 영향

콩나물 콩의 7일 까지 생체량 증가에 미치는 영향은 그림 3.32와 같다. 모든 이온수에서도 대조구와 유사한 양상의 생체량 증가 pattern을 보였다. 이온수인 pH 7.45와 pH 9.30은 대조구 보다 생체량이 증가하였으며 특히 pH 9.30은 7일 때에는 42.36g으로 증가하여 대조구에 비해 약 10%나 증가하였다. 그러나 pH 11.40 과 pH 10.45 그리고 pH 8.40은 대조구에 비해 생체량이 적었으며 특히 pH 11.40은 7일 때에는 대조구에 비해 약 39%나 감소했다. 이것으로 보아 이온수 중에서 약알칼리에서는 대두의 생체량 증가를 촉진하는 것으로 나타났다.

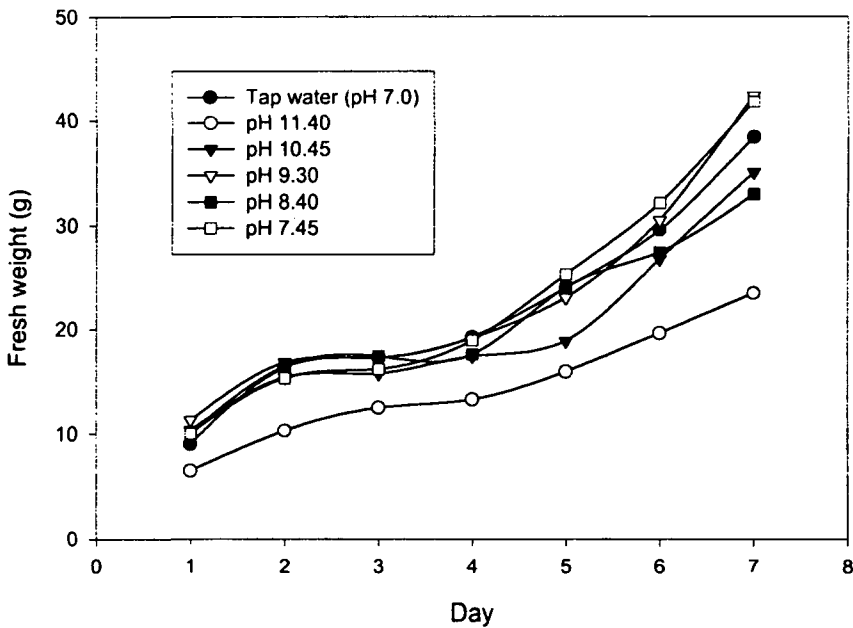


그림 3.32 알칼리 이온수가 콩나물 콩의 생체량 증가에 미치는 영향

Fig. 3.32 Effect of alkali water of fresh weight on soy bean seedling as a function of growing days

바. 초고농도 이온수가 콩나물 콩의 길이 성장에 미치는 영향

콩나물 콩의 길이 성장에 미치는 영향은 그림 3.33과 같다. 이온수의 pH가 7.0부근에서 성장 길이가 빨랐으며 강산성 쪽과 강알카리 쪽에서는 성장 속도가 느렸다. 이온수의 pH 7.45에서 대조구에 비해 약 7% 길었다. 생체량 변화에서는 약산성 이온수에서도 대조구에 비해 증가되었으나 길이 성장에서는 약 알카리 이온수에서만 촉진된 것이 나타났다.

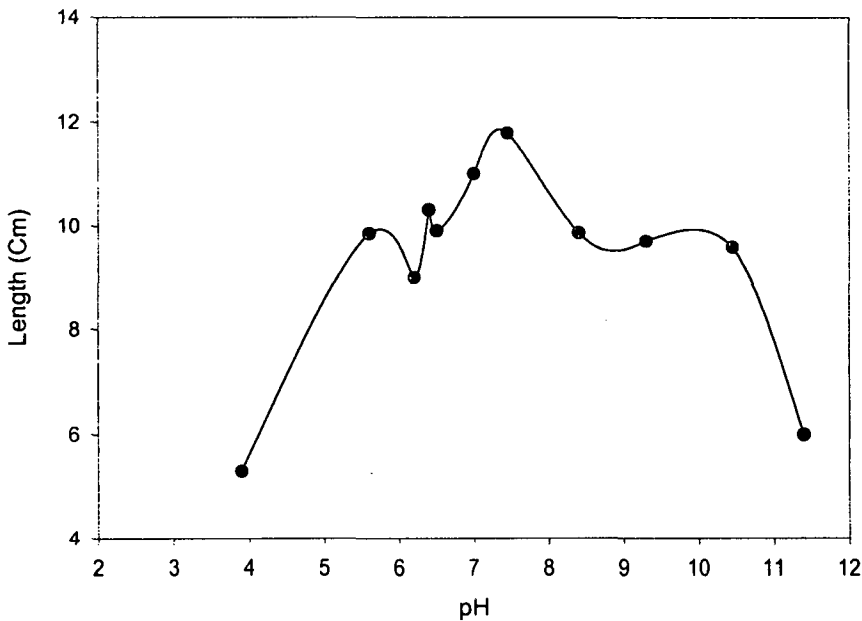


그림 3.33 이온수가 콩나물 콩의 길이 성장에 미치는 영향

Fig. 3.33 Length of soy bean seedling as a function of pH

3. 초고농도 산성이온수가 와사비 잎의 생리적 장애에 미치는 영향

가. 산성이온수의 처리시간에 따른 와사비 잎의 엽록소 함량 변화

그림 3.34는 산성이온수의 처리시간에 따른 와사비 잎의 엽록소 함량 변화를 조사한 것으로 산성이온수의 처리시간이 길어질수록 엽록소 함량, 즉, Chla, Chlb, Carotenoid, 그리고 Chla/b 모두가 매우 크게 감소되는 것을 보여준다.

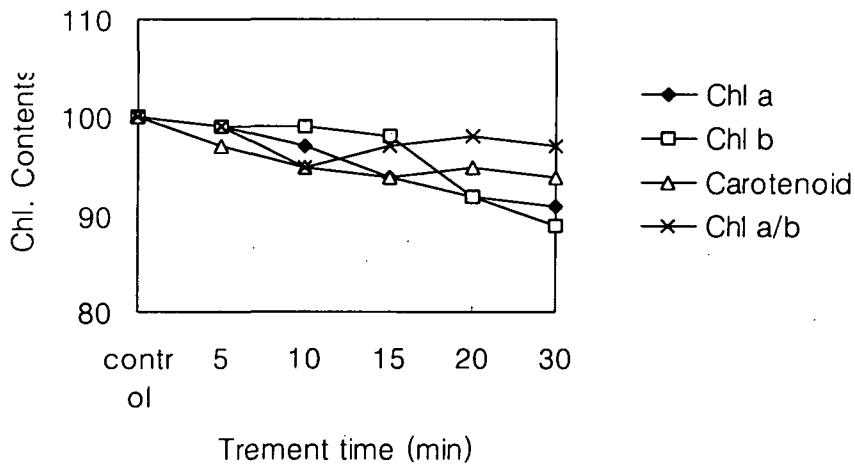


그림 3.34 산성이온수 처리시간에 따른 와사비잎의 엽록소 함량변화

Fig. 3.34 Effect of ion water on Chlorophyll content of wasabi leaves as a function of the treatment time.

나. 산성이온수의 처리시간에 따른 와사비잎의 가용성 단백질 함량 변화

그림 3.35는 산성이온수의 처리시간에 따른 와사비잎의 가용성 단백질 함량 변화를 조사한 특성 곡선으로서, 산성이온수의 처리시간이 길어질수록 가용성 단백질의 함량은 심각하게 감소되는 것을 보여준다.

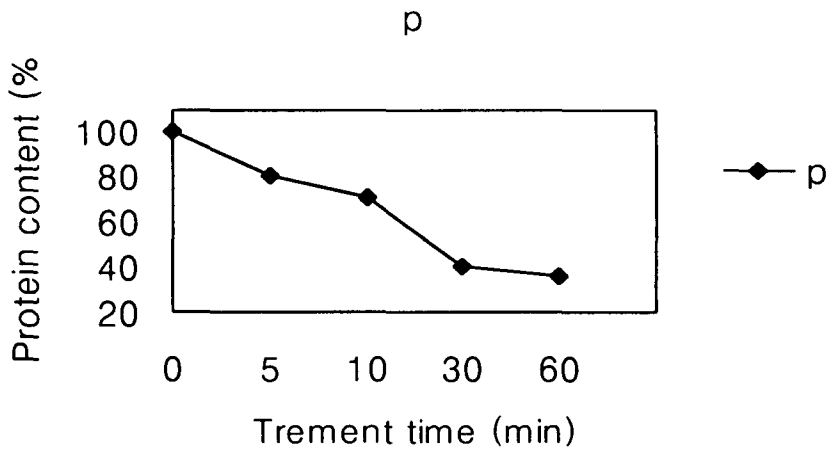


그림 3.35 산성이온수 처리시간에 따른 와사비잎의 가용성 단백질 함량변화

Fig. 3.35 Effect of ion water on soluble protein content of wasabi leaves as a function of the treatment time.

다. 일정한 전류와 전압으로 제조된 이온수 중의 NaCl, KCl, MgCl₂, MgSO₄, CaCl₂가 와사비잎의 엽록소 형광에 미치는 영향

표 3.4는 일정한 전류와 전압으로 제조된 이온수 중의 NaCl, KCl, MgCl₂, MgSO₄, CaCl₂가 와사비잎의 엽록소 형광에 미치는 영향을 나타낸 것으로, 와사비잎의 엽록소에 광계 II가 미치는 영향은 NaCl, KCl, MgCl₂, CaCl₂, MgSO₄ 순이 있으며 Cl이온이 포함된 것에서 그 영향력은 크게 나타났다.

표 3.4 일정한 전류와 전압하에서 이온수 제조시 각각 0.05 M의 NaCl, KCl, MgCl₂, MgSO₄, CaCl₂이 포함된 원수로 생성된 산성수에 와사비잎을 30분간 처리했을 때 엽록소 형광에 미치는 영향

Table 3.4 Effect of Additives in ion water on Chlorophyll fluorescence of wasabi leaves

종 류	F _o	F _m	F _v	F _v /F _m
Control	1.54	7.85	6.31	0.80
NaCl	1.70	3.10	1.40	0.45
KCl	1.69	3.20	1.51	0.47
MgCl ₂	1.67	3.80	2.13	0.56
CaCl ₂	1.65	3.90	2.25	0.58
MgSO ₄	1.54	7.60	6.06	0.80

라. 강산성이온수의 pH에 따른 와사비잎의 엽록소 형광 변화

표 3.5는 강산성이온수의 pH에 따른 와사비잎의 엽록소 형광 변화를 나타낸 것으로서, 강산성이온수의 pH가 낮을수록 와사비잎의 광합성율의 억제가 심각하게 나타났다.

표 3.5 강산성이온수의 pH에 따른 와사비잎의 엽록소 형광 변화 조사
Table 3.5 Effect of strong acid water on Chlorophyll fluorescence of wasabi leaves

pH	F _o	F _m	F _v	F _v /F _m
Control	1.54	7.85	6.31	0.80
2.50	1.70	3.10	1.40	0.45
3.00	1.49	5.10	3.61	0.71
3.50	1.51	6.20	4.69	0.76

다. 강산성이온수의 처리시간에 따른 와사비잎의 엽록소 형광 변화

표 3.5는 강산성이온수의 처리시간에 따른 와사비잎의 엽록소 형광 변화를 나타낸 것으로서, 강산성이온수의 처리시간이 길어질수록 엽록소 형광은 심각하게 억제되었다.

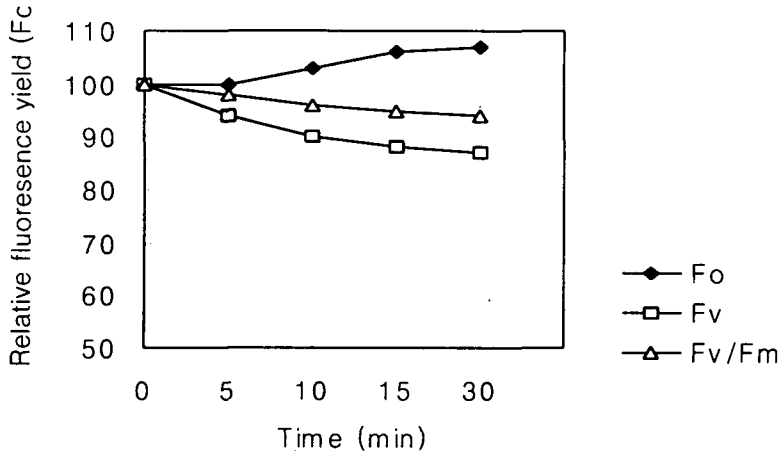


그림 3.36 산성이온수의 처리시간 변화에 따른 와사비잎의 엽록소 형광 변화

Fig. 3.36 Effect of ion water on chlorophyll fluorescence of wasabi leaves as a function of treatment time

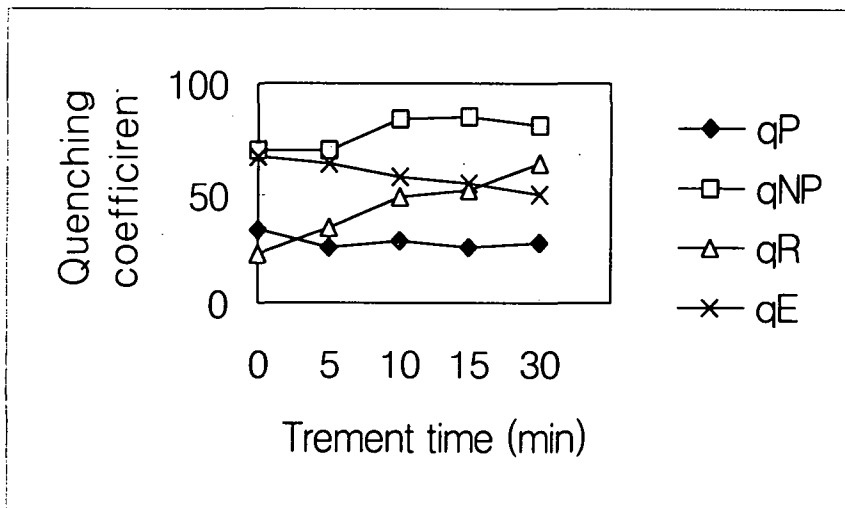


그림 3.37 산성이온수의 처리시간 변화에 따른 와사비잎의 퀘칭비 변화

Fig. 3.37 Effect of ion water on quenching coefficient of wasabi leaves as a function of treatment time

4. 초고농도 이온수가 보리 종자의 발아 및 보리 잎의 생리적 장애작용에 미치는 영향

식물 뿌리의 양분과 수분 흡수에 있어서 식물의 주위환경의 pH는 많은 영향을 준다. 대도시의 오염물질에 의해 오염이 되어 내리는 산성비가 문제되는 이유 중 NOx나 SOx 등의 산성물질에 의하여 토양이 산성화됨으로써 식물의 수분 흡수 및 양분 흡수를 저해한다. 그러나 물을 전기분해 하여 만들어진 고농도의 이온수 중 강산성수의 경우 작물의 병해방지, 병원균에 의한 감염방지, 의료기구의 살균, 대장균의 살균 및 강한 내성을 갖는 포자의 살균 등에 적용되고 있다. 알칼리수의 경우 종자 발아 촉진, 작물의 성장효과와 음용수 등으로 매우 다양하게 이용될 수 있다. 그리고 선진 외국에서도 산성, 알칼리 이온수의 병해방지, 성장촉진, 종자의 발아촉진, 배양수의 무공해살균 및 수경재배수의 무공해적 이온 발란스 조절 등에 대한 관심이 고조되고 있다.

이온수가 식물에 기생하는 바이러스나 기타 미생물을 살균하며, 발아 및 생장을 촉진하는 유익한 면도 있지만, 강산성 및 강알칼리 이온수는 보리의 발아율이나 생리작용을 억제할 가능성도 있다. 따라서 본 실험에서는 강산성 이온수가 보리 잎의 광합성 활성에 미치는 영향을 엽록소 형광을 측정하여 강산성이온수의 보리의 생리작용에 대한 장애 현상을 조사하여 결과를 보고한다.

가. 강산성이온수가 보리 종자의 발아에 미치는 영향

Fig 3.38은 이온수를 주었을 때 보리 종자의 발아율을 나타낸 것이다. 보리 종자의 발아율은 이온수의 pH가 2.5, 3.0 그리고 3.5에서 대조구 보다 높게 나타났으며 특히 pH 3.0에서는 대조구 보다 약 12% 높게 나타났다. 이온수가 보리 종자의 발아율은 촉진시킨 것은 이미 밝혀진 결과와 일치한다. 본 실험에서는 이온수가 보리 잎의 광합성 활성 저해를 엽록소 형광 측정법으로 알아보려고 한다.

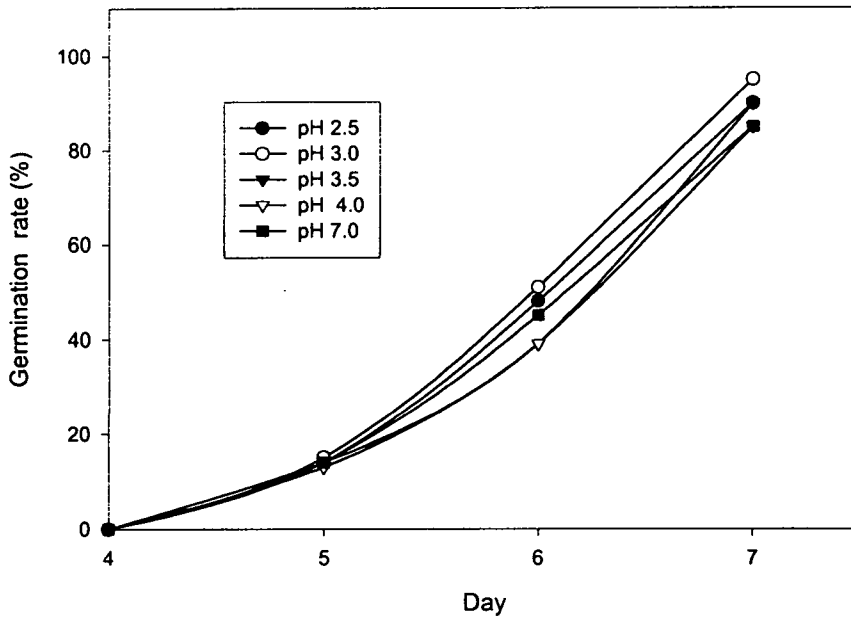


그림 3.38 발아일수 경과에 따른 보리종자발아에 미치는 강산성이온수의 영향
 Fig. 3.38 Effects of acidic ion water on germination rate of barley seed as a function of germinated days

나. 강산성 이온수가 보리잎의 엽록소 함량에 미치는 영향

그림 3.39는 보리 잎에 산성 이온수를 처리했을 때 처리 시간에 따른 엽록소 함량 변화를 나타낸 것이다. 산성 이온수를 보리 잎에 처리했을 때 엽록소 함량은 처리시간이 지속됨에 따라 감소하였으며, 10분간 처리했을 때는 엽록소 a, b 및 carotenoid 함량은 대조구에 비해 각각 약 12%, 16% 및 8% 감소하였다. 실험 데이터에는 나타나 있지 않지만 산성 이온수(pH 2.5)를 보리 잎에 처리하면 흰 반점이 나타나서 처리시간이 지속됨에 따라 그 정도가 심각한 것으로 보아 산성 이온수는 강력한 표백작용도 일으키는 것을 알 수 있다.

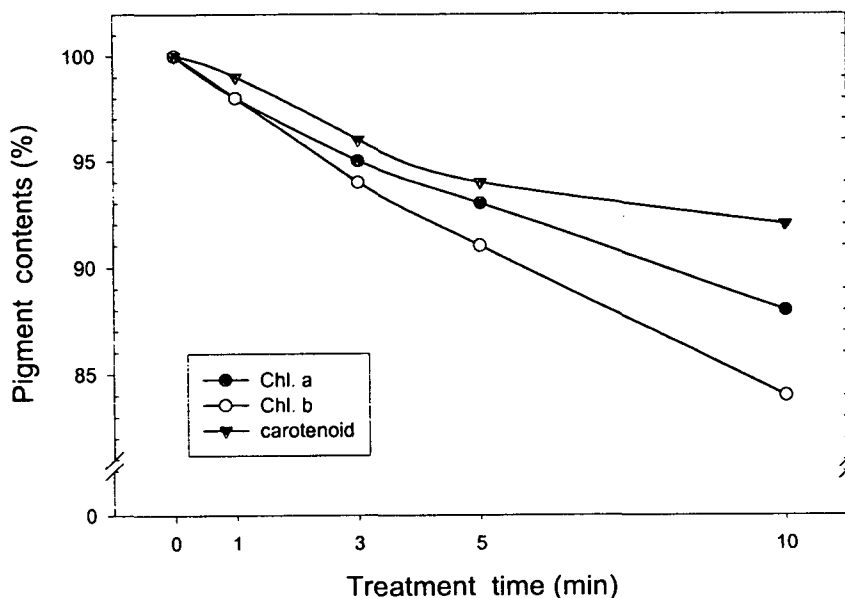


그림 3.39 처리시간변화에 따른 보리잎의 엽록소함량에 미치는 강산성이온수의 영향
 Fig. 3.39 Effects of acidic ion water (pH 2.5) on chlorophyll contents of barley leaves as a function of treatment time. The value corresponding to 100% of Chl a, Chl b and carotenoid contents were 560, 160 and 150 $\mu\text{g/g}$. fr. wt., respectively. The values are the means of three independent experiments with three measurements

다. 강산성 이온수가 보리잎의 엽록소 형광에 미치는 영향

그림 3.40은 보리잎을 산성 이온수(pH 2.5)로 처리했을 때 측정된 엽록소 형광을 나타낸 것이다. F_o (광계 II의 반응중심이 모두 열렸을 때 안테나 색소로부터 방출되는 형광)는 산성 이온수를 보리 잎에 처리한 처리시간에 따라 미세하지만 증가하여 10분간 처리했을 때 대조구 보다 7% 증가하였으나, F_v , F_m (광계 II의 반응중심이 모두 닫혀 전자 수용체 Q는 완전히 환원 상태에 있을 때의 형광) 그리고 F_v/F_m 은 처리시간에 따라 감소하여 10분간 처리했을 때 F_v/F_m 은 대조구 보다 17% 감소하였다. 엽록소 함량이 크게 감소하지 않은 것으로 보아 광수집색소의 뚜렷한 파괴없이 F_o 가 증가한 것은 광계 II 전자전달이 억제되었다는 것을 알 수 있으며 또한 F_v 와 F_v/F_m 이 감소된 것도 광계 II가 억제되었다는 것을 나타낸다. 그러므로 산성 이온수 중 특히 강산성 이온수는 보리잎의 광계 II 활성을 저해하는 것을 알 수 있다. 그리고 F_v/F_m 이 17%나 감소하였음에도 F_o 는 7% 밖에 증가하지 않은 것은 UV-B를 보리 잎에 처리했을 때 F_v/F_m 이 약 11% 감소했을 때 F_o 는 약 16% 증가한 것(박 등 1997)과는 차이가 있다.

실험 데이터에는 나타나 있지 않지만 이온수를 보리잎에 처리하면 흰 반점이 나타나며 처리시간이 지속됨에 따라 이 반점이 커져서 표백됨을 알 수 있다. 그러므로 처리시간이 지속됨에 따라 엽록소의 함량이 감소하며 F_o 의 증가폭이 적은 것을 알 수 있다.

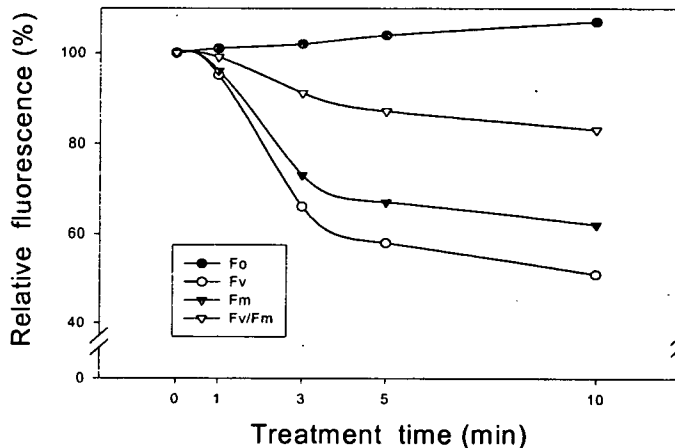


그림 3.40 처리시간변화에 따른 보리잎 엽록소 형광에 미치는 강산성수의 영향

Fig. 3.40 Effects of strong acidic ion water (pH 2.5) on chlorophyll a fluorescence of barley leaves as a function of treatment time. The value corresponding to 100% of F_o , F_v , F_m and F_v/F_m were 1.47, 6.13, 7.60 and 0.81 relative unit, respectively. The values are the means of three independent experiments with three measurements.

그림 3.41은 보리 잎에 산성이온수를 처리했을 때 변화된 엽록소 형광 소멸요인을 분석한 것이다. 광화학적 형광소멸인 qP는 이온수의 처리 시간이 지속됨에 따라 감소하여 10분간 처리했을 때 대조구에 비해 61%나 감소한 것으로 보아 quinone의 산화환원이 억제되었다는 것을 알 수 있으며, 비광화학적 형광소멸인 qNP도 처리시간이 지남에 따라 감소하여 10분간 처리했을 때 대조구에 비해 14% 감소하였다. 비광화학적 형광소멸요인 중 에너지 의존적인 형광소멸인 qE도 처리 시간이 지속됨에 따라 감소하여 10분간 처리했을 때는 대조구에 비해 90%나 감소하였다. 그리고 qI는 처리 시간이 지속됨에 따라 증가하여 10분간 처리했을 때는 대조구에 비해 70%나 증가하였다.

이와 같이 qE가 강산성 이온수에 의해 크게 감소한 것은 틸라코이드 막을 경계로 한 H⁺의 농도차이가 나지 않는다는 것을 나타내므로 광계 II의 물분해계와 plastoquinone pool의 기능이 일어나지 못한다는 것을 나타내고 있다. 그리고 qI는 광저해에 의해 나타나는 것이므로 강산성 이온수에 의해 광계 II가 억제되어 광저해가 유발되어 대조구에 비해 증가한 것으로 사료된다.

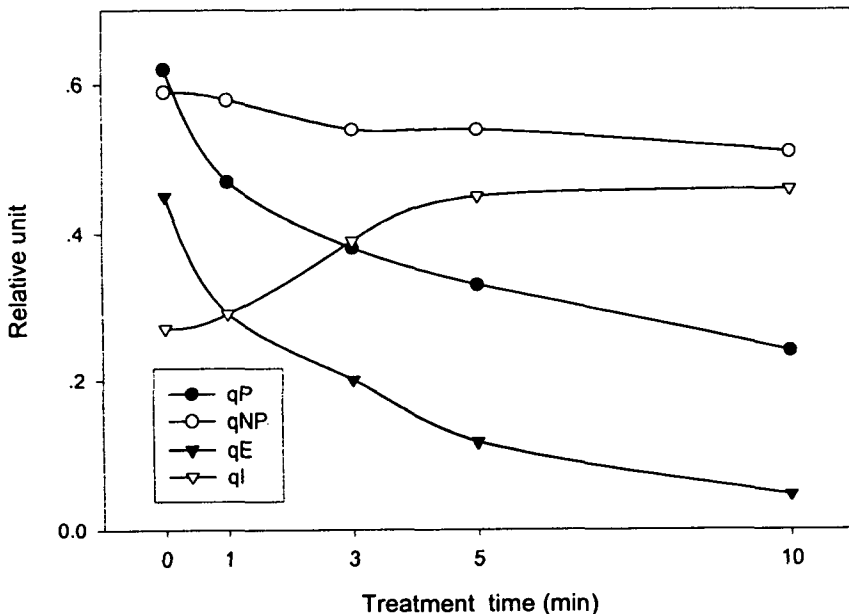


그림 3.41 처리시간변화에 따른 보리잎의 형광퀀칭계수에 미치는 강산성수의 영향
 Fig. 3.41 Effects of acidic ion water on the fluorescence quenching coefficients of barley leaves as a function of treatment time.

표3.6은 보리 잎에 이온수와 이와 pH가 같은 HCl, NaOH 그리고 이온수에 이온수로 적정하여 pH 7.0으로 한 물과 산성 이온수에 NaOH로 적정하여 pH 7.0으로 한 물을 처리하여 엽록소 형광을 측정하는 것이다. 이온수(pH 2.5)를 보리 잎에 10분간 처리했을 때 Fv/Fm은 대조구에 비해 17% 감소하였으나 pH 2.5인 HCl로 10분간 처리했을 때는 Fv/Fm 비는 대조구에 비해 약 1% 감소하였다. 그리고 이온수(pH 12.5)로 10분 처리했을 때에 Fv/Fm 비가 대조구 보다 약 3% 감소하였으며 pH 12.5인 NaOH로 10분간 처리했을 때에도 대조구에 비해 약 1% 감소하였다. 이온수(pH 2.5)에 이온수(pH 12.5)로 적정하여 pH 7.0으로 한 후 보리 잎을 10분간 처리했을 때 Fv/Fm 비가 대조구 보다 약 6% 감소하였으나 이온수(pH 2.5)에 NaOH로 적정하여 pH 7.0으로 한 것으로 보리 잎을 10분간 처리했을 때 Fv/Fm 비는 약 3% 감소하였다. 이와 같이 HCl과 NaOH 그리고 이온수로 처리한 보리 잎의 광계 II 활성은 대조구에 비해 극미한 감소만 일어났지만 이온수를 처리한 보리 잎의 광계 II 활성은 심각하게 억제되었다. 그리고 강산성 이온수에 알칼리 이온수를 적정하여 pH 7.0으로 맞추는 것이 강산성 이온수에 NaOH로 적정하여 pH 7.0으로 맞추는 것에서 보다 Fv/Fm의 비가 낮게 나타난 것으로 보아 강산성 이온수와 알칼리 이온수에 H⁺와 OH⁻ 이온 반응 이외에 다른 이온의 작용이 있다는 것을 알 수 있다.

표 3.6 보리잎의 엽록소형광, 총엽록소함량에 미치는 이온수 pH, HCl 그리고 NaCl의 영향

Table 3.6 Effects of ion water, HCl and NaOH on chlorophyll fluorescence, total chlorophyll content of barley leaves

Treatment	pH	Fluorescence parameters (relative units)				Total Chl ($\mu\text{g/g. fr. wt.}$)
		Fo	Fm	Fv	Fv/Fm	
Control	7.0	1.47	7.60	6.13	0.807(100)	670(100)
acidic water	2.5	1.57	4.70	3.13	0.666 (83)	560 (84)
HCl	2.5	1.47	7.40	5.88	0.800 (99)	660 (99)
alkali water	12.5	1.47	6.87	5.40	0.786 (97)	667(100)
NaOH	12.5	1.47	7.35	5.88	0.800 (99)	664 (99)
acidic water + alkali water	7.0	1.49	6.21	4.72	0.760 (94)	650 (97)
acidic water + NaOH	7.0	1.48	6.79	5.32	0.782 (97)	661 (99)

그림 3.42는 보리잎에 처리한 이온수의 pH에 따른 엽록소 형광 변화를 나타낸 것이다. 이온수의 pH가 낮아질수록 Fo(광계 II의 반응중심이 모두 열렸을 때 안테나 색소로부터 방출되는 형광)는 증가하였으며 Fv, Fm(광계 II의 반응중심이 모두 닫혀 전자 수용체 Q는 완전히 환원 상태에 있을 때의 형광) 그리고 Fv/Fm 비는 감소하였다. 이온수의 pH가 낮을수록 광계 II의 활성이 많이 억제되었다는 것을 알 수 있으며 또한 pH 4.0 이상에서는 10분간 보리잎을 처리해도 광합성 활성에 그의 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있다.

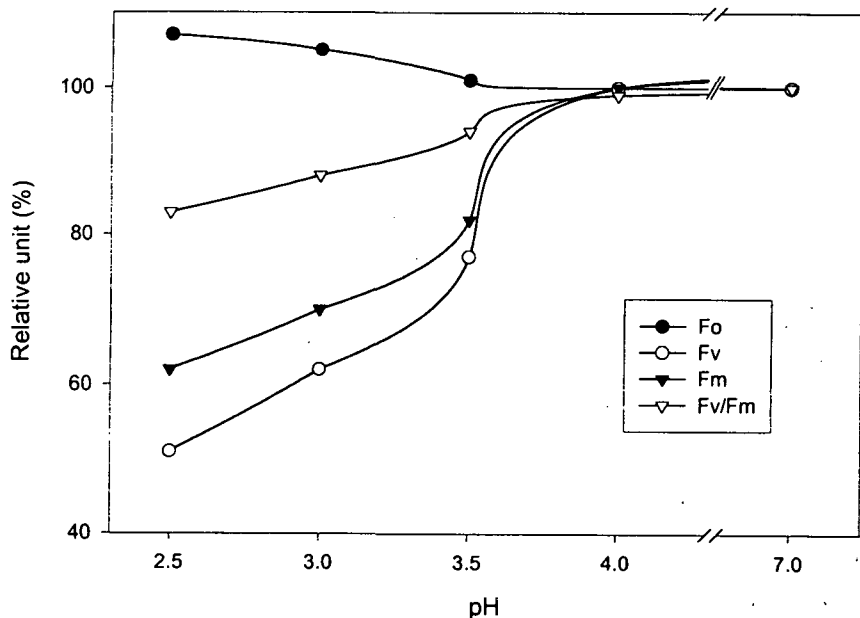


그림 3.42 보리잎의 엽록소 형광, 총엽록소함에 미치는 강산성수의 영향

Fig. 3.42 Effects of acidic ion water on chlorophyll a fluorescence, total chlorophyll content of barley leaves as a function of pH. Acidic ion water pH were 2.5, 3.0, 3.5 and 4.0

제5절 시설채소 및 농작물의 강이온수에 의한 발아 및 생장촉진효과 장해작용 실험 결론

1. 산성 및 알칼리성이온수에 의한 발아특성

- (가) 대두 : 산성, 알칼리성이온수 모두 발아율이 낮았으나, 3일후부터는 비슷한 결과를 보여 주었다.
- (나) 오이 : 알칼리이온수의 경우 발아율이 낮았으나, 산성이온수의 경우 현저히 높은 발아율(3일후는 약2.5배)을 나타내었다.
- (다) 고추 : 알칼리이온수의 경우 발아율이 낮았으나, 산성이온수의 경우 현저히 높은 발아율(9일후는 약3배)을 나타내었다.

2. 산성 및 알칼리이온수에 의한 초기생장특성

산성 및 알칼리이온수 대두의 초기생장특성으로서 생장길이, 생체량, 엽록소함량, 건량 등을 조사하였다.

조사결과 생장길이는 산성이온수의 경우가 10~30% 길었으며, 생체량은 알칼리이온수의 경우가 10~20% 높았으며, 엽록소 함량은 산성, 알칼리이온수 모두 2~3배 높았다.

건량의 경우 pH3~11의 경우는 큰 차이가 없으나 아주 높은 pH2.5나 pH11.5의 경우 현저히 감소했다.

3. 산성 및 알칼리이온수가 유식물의 생장 및 엽록소 형광패턴에 미치는 영향

(가) 대두의 발아 및 생장

대두의 경우 산성, 알칼리이온수 중의 발아율은 약간 낮았으나, 생장의 길이의 차이는 큰 차이가 없었다.

(나) 보리의 발아 및 생장

보리의 경우 산성, 알칼리이온수 중의 발아율은 약간 낮았으며, 생장은 약간 저조했다.

(다) 산성, 알칼리이온수가 엽록소 형광 패턴에 미치는 영향

대두와 보리잎에서 광합성 중 광계 II의 광화학지표를 나타내는 FV/Fm 값은 산성, 알칼리이온수 처리구에서 모두 활성이 유사하였다.

(라) 이상의 결과를 한국식물학회지에 발표

(i) 정화숙, 박강은, 임영진; 초고농도 이온수가 보리와 대두의발아, 생장 및 엽록소 형광 패턴에 미치는 영향, 한국식물학회지(발표)

4. 강산성 이온수가 보리잎의 광합성 활성에 미치는 영향

강산성 이온수가 보리잎의 광합성 활성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 엽록소 함량과 엽록소 형광을 측정하였다. 강산성이온수(pH 2.5)를 보리잎에 처리했을 때 처리시간이 지속됨에 따라 엽록소 함량은 감소하였으며, 10분간 처리했을 때는 엽록소 a, b 그리고 carotenoid 함량은 대조구에 비해 각각 약 12%, 16% 그리고 8% 감소하였다. 강산성 이온수를 10분간 처리한 보리잎의 Fo(광계 II의 반응중심이 모두 열렸을 때 안테나 색소로부터 방출되는 형광)는 대조구보다 7% 증가하였으나, Fv, Fm(광계 II의 반응중심이 모두 닫혀 전자 수용체 Q는 완전히 환원 상태에 있을 때의 형광) 그리고 Fv/Fm은 감소하였으며 특히 Fv/Fm은 대조구보다 17% 감소하였다. 이것으로 보아 강산성 이온수는 광계 II에 심각한 손상을 준다는 것을 알 수 있다.

그리고 엽록소 형광 소멸 요인을 분석했을 때 광화학적 형광소멸인 qP는 대조구에 비해 61%나 감소한 것으로 보아 quinone의 산화환원이 억제되었다는 것을 알 수 있으며, 비광화학적 형광소멸인 qNP도 대조구에 비해 14% 감소하였다. 비광화학적 형광소멸요인 중 에너지 의존적인 형광소멸인 qE도 대조구에 비해 90%나 감소하였다. 그리고 qI는 처리시간이 지속됨에 따라 증가하여 10분간 처리했을 때는 대조구에 비해 70%나 증가하였다. HCl (pH 2.5) 용액으로 보리 잎을 처리했을 때에는 엽록소 형광에 거의 변화가 없는 것으로 보아 산성 이온수에는 H⁺ 이온 이외의 물질이 작용하는 것으로 추측된다. 산성 이온수의 pH가 낮을수록 광계 II의 활성이 많이 억제되었으나 pH 4.0 이상에서는 10분간 보리 잎을 처리해도 엽록소 형광에 거의 변화가 나타나지 않았다. 이것으로 보아 pH 4.0 이상의 산성 이온수는 단시간 내에 식물체의 광합성 작용에 심각한 손상을 유발하지는 않는 것을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] A. Addiscott, "Farmers Fertilizer and the Nitrate Flood", New Scientist, 50, October 9, 1988
- [2] B. Hileman, "The Chlorianation Question", Environ. Sci. Technol., 16, 15A, 1982
- [3] R. J. Bull, "Health Effects of Drinking Water Disinfectants and Disinfectant Byproducts", Environ. Sci. Technol., 15, 554A, 1982
- [4] J. Kats, "Ozone and Chlorine Dioxide Technology for Disinfection of Drinking water", Noyes Data Corp., Park Ridge, N.J., 1980
- [5] L. W. Condie, "Toxicological Problems Associated with Chlorine Dioxide", J. Am. Water Works Assoc., June, 1986
- [6] R. L. Wolfe, "Ultraviolet Disinfection of Potable Water", Environ. Sci. Technol., Vol. 24, pp. 768-773, 1990
- [7] Shimizu, "Inactivation of Virus by High Oxidation Potential Water", The Medical and Test Journal, Vol. 398, p. 28, 1994.
- [8] Iwasawa, et al. "Inactivation Effects to Micrograms of Aqua Oxidation Water". Clinical diagnosis, Vol. 37, pp. 918-919, 1992.
- [9] Kisida, "Functional Water Technology to Agricultures", New Agriculture and Forest Co. pp. 97-99, 1996.
- [10] Abe, etal, "Inactivation Effects of Oxidation Potential Water to HB Virus", Journal of Dental Prevention, Vol. 37, p. 33, 1994.
- [11] A. Shiba and K. Shiba, "Applications to Dental Remedy of Aqua Oxidation Water", Medical Technology, Vol. 22, pp. 693-694, 1994.
- [12] Saito, "Disinfection of Medical Tools", Journal of the Tokyo Dentist Association, Vol. 42, pp. 25-32, 1994.
- [13] Effect of Electrolyzed Tap Water to AIDS, Yomiuri News Paper, April 23, 1993
- [14] 安倍 敏ほか, "電解強酸性水の口腔内細菌に対する殺菌作用", 日歯保誌, Vol. 36, p. 95, 1993

- [15] 安倍 敏ほか, "酸化電位水のMRSAおよび緑膿菌に対する殺菌作用", 日歯保誌, Vol. 37, p. 33, 1994
- [16] 安倍 敏ほか, "酸化電位水のHBウイルスに対する不活化作用", 日歯保誌, Vol. 37, p. 33, 1994
- [17] 一色由紀恵ほか, "アクア酸化水による消毒の効果", 医学検査, Vol. 40, pp. 787, 1991
- [18] 伊藤公一ほか, "強酸性水の歯科領域での應用", the Quintessence, Vol. 13, pp. 33-40, 1994
- [19] 岩澤篤郎, 中村良子, "アクア酸化水の抗微生物効果", The Medical & Test Journal, Vol. 398 (臨時増刊), No. 9, pp. 7-12, 1994
- [20] 岩澤篤郎, 中村良子, "アクア酸化水の抗微生物効果II-他消毒剤との併用", 日環感, Vol. 9, pp. 7-12, 1994
- [21] 岡田 淳, "注目を集める強酸性電解水の効果", The Medical & Test Journal, Vol. 388(臨時増刊), p. 251, 1994
- [22] 奥田禮一ほか, "形態變化からみた酸化電位水の殺菌効果", 日歯保誌, Vol. 37, No. 2, pp. 755-765, 1994
- [23] 奥田禮一, "酸化電位水と消毒", 日歯醫師會誌, Vol. 48, pp. 35-40, 1995
- [24] 小澤經子ほか, "アクア酸化水の消毒効果とその有用性", 臨床病理, Vol. 39 (補冊), p. 36, 1991
- [25] 柏田聰明, "歯科醫院における超酸化水の臨床応用の可能性を探る(1)", 歯界展望, Vol. 85, pp. 131-143, 1995
- [26] 柏田聰明, "歯科醫院における超酸化水の臨床応用の可能性を探る(2)", 歯界展望, Vol. 85, pp. 395-404, 1995
- [27] 芝 燁彦ほか, "強電解水の殺菌作用と歯科領域における應用", 歯科衛生士, Vol. 84, pp. 23-29, 1994
- [28] 芝 燁彦ほか, "強電解水, 歯科領域への應用", the Quintessence, Vol. 13, pp. 123-124, 1994
- [29] 芝 燁彦ほか, "強酸性電解水と Perio PicTMを用いたイリゲーションの臨床", DENTAL PRODUCTS NEWS, pp. 5-8, 1995
- [30] 芝紀代子, 芝 燁彦, "アクア酸化水(強酸性電解水)の醫療への應用", Medical Technology, Vol. 22, pp. 693-694, 1994

- [31] 清水義信, 古澤利武, "電解による酸化電位水の殺ウイルス, 殺細菌及び殺真菌の作用", 歯科ジャーナル, Vol. 37, pp. 1055-1060, 1993
- [32] 清水義信, "強酸性水の殺ウイルス作用", The Medical & Test Journal, Vol. 398(臨時増刊), p. 28, 1994
- [33] 日本 EIW 技術資料 T-3
- [34] 日本 EIW 技術資料 T-2
- [35] 문성명 역, (日本 醫學博士 林秀光 원저) 물과 우리 생활, 제6장 알카리성 활성수를 음용하면 이렇게 변한다.
- [36] Okada, "Great Concerns to Effects of High Oxidation Potential Water", The Medical and Test Journal, Vol. 388, p. 251, 1994.
- [37] Iwasawa, et al, "What is the Aqua Oxidation Water?", Expert Nurse, Vol. 10, pp. 40-45, 1994.
- [38] 芝 燁彦, 芝 紀代子, 強電解水ハンドブック", 醫學情報社, 1995

제 4 장 초고농도 이온수의 고추냉이의 생육 및 병해방지 효과

제1절 서론

UR 타결 및 WTO 체제 출범으로 농산물은 본격적인 국외 시장 개방화에 따라 영세한 국내 우리 농산물의 입지는 매우 미약하며, 경작 농민의 심리적 부담은 충격적인 실정이다. 이와 같은 무한 경쟁체제하에서의 우리 농산물의 경쟁력 확보를 위해서는 고품질 농작물의 효과적인 재배 기술개발이 가장 필수적이고 원천적인 것이라고 할 수 있다. 최근 외국(특히 일본)에서는 수도수 또는 지하수를 특수 전리 처리함으로써 농약과 같은 이차공해(오염)를 전혀 발생시키지 않으면서도 매우 뛰어난 살균효과가 있는 초고농도 강알칼리 이온수와 발아 및 생장촉진능력을 갖는 초고농도 강산성 이온수를 제조하여 시설농작물에 관개함으로써 무농약의 청정농산물을 재배함은 물론 고품질화, 저 생산비로 경쟁력도 갖게 하며, 또한 가장 안전하고 저렴한 양질의 농작물을 재배하는 기술이 연구되고 있다.

고추냉이(*Wasabia japonica* Mtsun)는 일본이 원산지인 상록, 속근, 다년생, 반음지성 십자화과의 초본성 작물로서 일본에서는 와사비(wasabi)라고 한다(1).

고추냉이는 일본 북쪽의 북해도(北海島)에서 남쪽의 구주(九州)에 이르기까지 전국 각지의 산간계류(山間溪流)와 지하수원(地下水源)부근에 자생 및 재배되고 있으며 대만, 한국, 뉴질랜드 등의 지역에서도 재배되고 있다(2). 고추냉이는 풍미(風味), 신미(辛味), 향미(香味)를 가지고 있어 회, 초밥, 국수 등 일본인의 식생활에 필수적으로 이용되고 있는 고급 향신료 작물이다. 이용부위는 주로 근경(根莖)과 화경(花莖)이 생식용으로 이용되지만 잎, 줄기, 잔뿌리 등 식물체 전체가 가공원료 또는 절임용으로 이용된다(1). 고추냉이는 탄수화물, 지질, 단백질, 비타민 등의 영양소가 풍부하고 식욕증진, 인체내 비타민 B₁의 합성증강, 장내에서 비타민 C의 안정화 및 항암성, 항균성 등의 기능이 있어서 향신료 및 건강식품으로 주목을 받고 있다(2).

우리나라에서 고추냉이와 이의 유사품의 소비량은 매년 증가하고 있는데 대부분 속명이 전혀 다른 겨자(*Brassica juncea* Czern) 또는 겨자무(*Cochleacia armoracia* L.)를 캐나다 등지에서 수입하여 가공한 것이다. 그러나 일부 특급호텔 등에서 사용하는 고추냉이는 일본에서 수입한 것으로 가격이 높아 우리나라에서도 고소득 작물로서 여러 해 전부터 관심의 대상이 되어 왔으며, 여러 곳에서 시험재종에 있다(3).

본 연구의 목적은 초강이온수의 특징인 무공해성과 강살균성을 이용하여 가장 효과적이면서 안전한 고추냉이 재배기술에의 초강이온수의 응용가능성을 연구실 차원의 실험적 검토를 수행하고자 하였다. 특히 강산성이온수의 병해방제효과와 초고농도 이온수의 pH변화에 따른 장해작용을 실험적으로 검토하였으며, 초고농도의 이온수가 고추냉이의 생육과 검은썩음병(*Phoma wasabiae*) 방제에 미치는 효과를 구명하여 실제로 포장에 적용할 수 있는지의 가능성을 검토하고자 기초실험을 수행하였다.

제2절 실험재료 및 방법

1. 고추냉이의 검은썩음병균살균효과 실험재료 및 방법

고추냉이 검은썩음병균(*Phoma wasabiae*)은 경북농업기술원 포장의 2년생 고추냉이 근경에서 분리한 것을 직경 90mm의 PDA배지에서 직경 5mm의 균총을 치상후 25℃ 암상태에서 배양후 생긴 포자를 현탁하여 사용하였다. 검은썩음병원균에 대한 강산성수의 살균효과는 균주를 PDA배지에 배양하여 멸균수에 포자를 희석한 후 현탁액 1ml + 이온수 9ml로 희석하여 0~30분간 처리하였다. 균 배양은 PDA배지, 25℃, 96시간 배양한후 조사하였다.

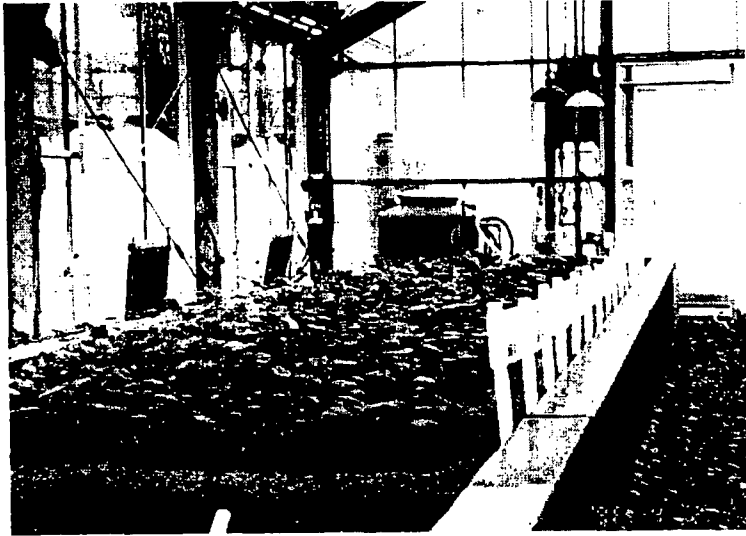
2. 고추냉이의 초고농도 이온수증의 생육 및 장애작용검토 실험재료 및 방법

본 실험은 이온수에 의한 고추냉이의 생육촉진효과와 병해방지효과를 구명하기 위하여 무처리구를 대조구로 하고 pH가 3, 5, 9, 11인 이온수를 처리하였다.

일본에서 도입한 고추냉이 달마종을 2차년도시작인 12월 23일에 육묘상자에 육묘용 상토를 2cm정도 깔고 종자를 산파한 다음 0.3mm정도 복토하고 이식할 때까지 매일 물이 고일 정도로 충분히 관수하였다.

2차년도 2월 26일에 그림4.1에서 나타낸 것과 같이 크기가 11×8×8.5cm인 비닐포트에 모래와 부산물비료퇴비(계분, 톱밥, 참깨박, 제오라이트의 혼합발효 유기질비료, 지천영농조합법인)를 3:1로 혼합한 상토를 넣고 고추냉이를 이식한 후 50% 차광막이 쳐진 유리온실에서 재배하였다. 시험구배치는 처리구당 40주를 완전임의배치 3반복으로 총 600주를 정식하였다.

주관기관에서 제작공급한 초고농도이온수장치의 처리농도(pH2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 7.0, 9.5, 10.0, 10.5, 11.5, 12.0)는 매 실험마다 임의로 조정하였고, 실제 포장에의 처리는 2차년도 3월 25일부터 매주 1회 포트당 50ml씩 관수하고 5분후에 지하수를 포트에 물이 고일정도로 충분히 관수하였다. 수확조사는 처리다음달부터 매달 20일에 7주씩 수확하여 엽, 엽병 뿌리로 나누어 생체중과 길이를 조사하였다. 생존율은 2차년도 8월 20일에 수확 조사후 남은 12포트에 대하여 생존개체의 비율을 조사하였다. 토양분석은 시험전 정식에 사용한 상토와 대조구의 토양 그리고 이온수를 처리한 토양에 대하여 양이온의 함량을 조사하였으며, 대조구와 이온수 처리 토양은 8월 15일 채취하였다.



(a) 좌측구 포장
(a) left side field



(b) 우측구 포장
(b) right side field

그림 4.1 고추냉이 실험 포장
Fig 4.1 Photos of wasabi field tested

제3절 실험결과 및 고찰

1. 초고농도 산성이온수의 고추냉이의 검은썩음병균 살균효과

표4.1은 강산성이온수 처리시간에 따른 고추냉이의 가장 치명적인 병인 검은썩음병균의 살균효과를 조사한 결과표이다. 실험결과, 고추냉이의 검은 썩음병균의 포자에 pH2.5의 산성수를 처리한 경우 5분 이내 포자의 99%가 죽었고 25분 후에는 100%사멸하였다. 이결과는 고농도이온수를 고추냉이 재배시의 검은썩음병의 방제에 적용시킬 수도 있음을 보여준다.

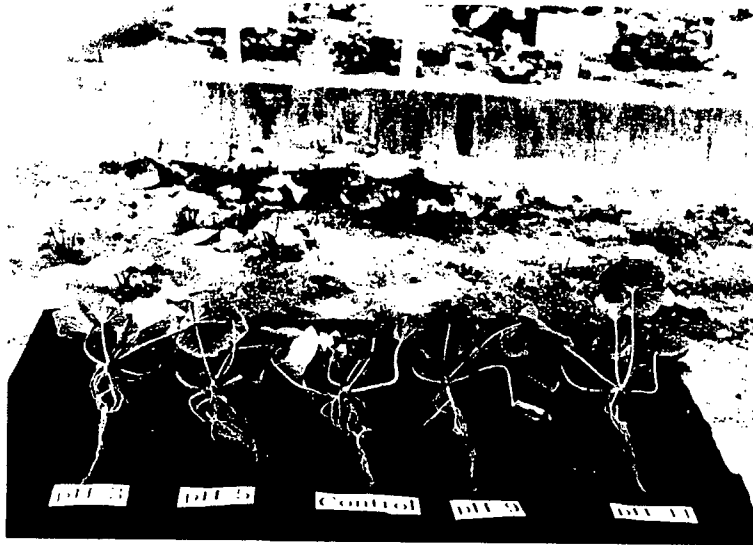
표 4.1 강산성 이온수처리시간에 따른 고추냉이 검은썩음병균의 생존율

Table 4.1 Survival rate of spores of *Phoma wasabiae* after treating strong acid water of pH2.5

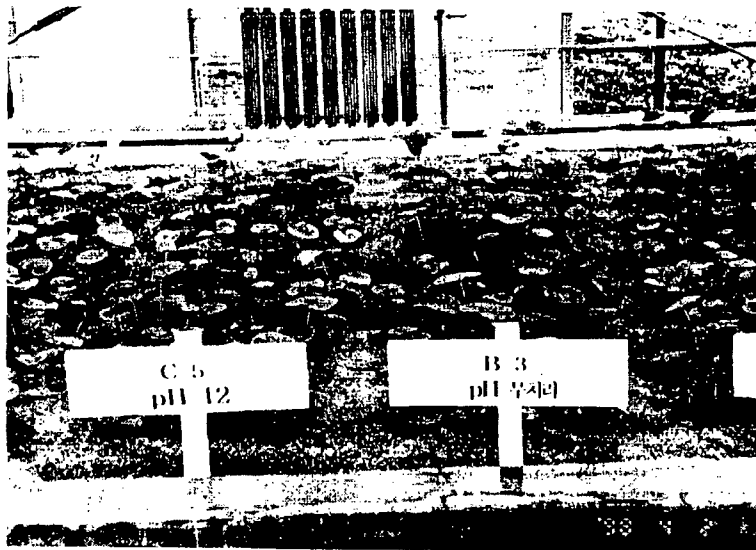
Duration of treatment(minutes)	Number of spores survived after treatment(%)	
	First experiment	Second experiment
0	557(100)	104(100)
5	-	1(1)
10	7(1)	3(3)
15	-	1(1)
20	1(0)	0(0)
25	-	1(0)
30	0(0)	0(0)

2. 초고농도이온수에 의한 고추냉이의 생육 및 장애작용의 실험적 검토

그림 4.2는 고농도이온수를 적정주기로 처리하여 풋트재배시킨 고추냉이 시료사진을 나타낸 것이다. 그림 4.3은 고농도 산성이온수, pH 3.0, 5.0과 대조구, pH 9.0, 그리고 고농도 알칼리성 이온수 pH 11.0로 적정주기로 처리하여 재배한 고추냉이 사진을 나타낸 것이다. 고추냉이 묘를 강산성수에 5~30분 침지후 정식시는 생육재생에 양호하였으며 60분이상에서는 생육이 억제되었다. 생존율은 강산성수처리후 풋트발재배하는 경우에 120분간 처리에 90%가 고사하였으나 20분에서는 80%까지 생존하였다. 이온수를 본포에 격일 간격으로 처리하였을 때 고사가 심하였다.



(a) 고농도 이온수 처리구
 (a) sample wasabi treated by strong ion water



(b) 무처리구
 (b) sample wasabi controlled

그림 4.2 고농도 이온수 처리구와 대조구 고추냉이 시험 시료
 Fig. 4.2 sample wasabi treated by strong ion water and controlled.

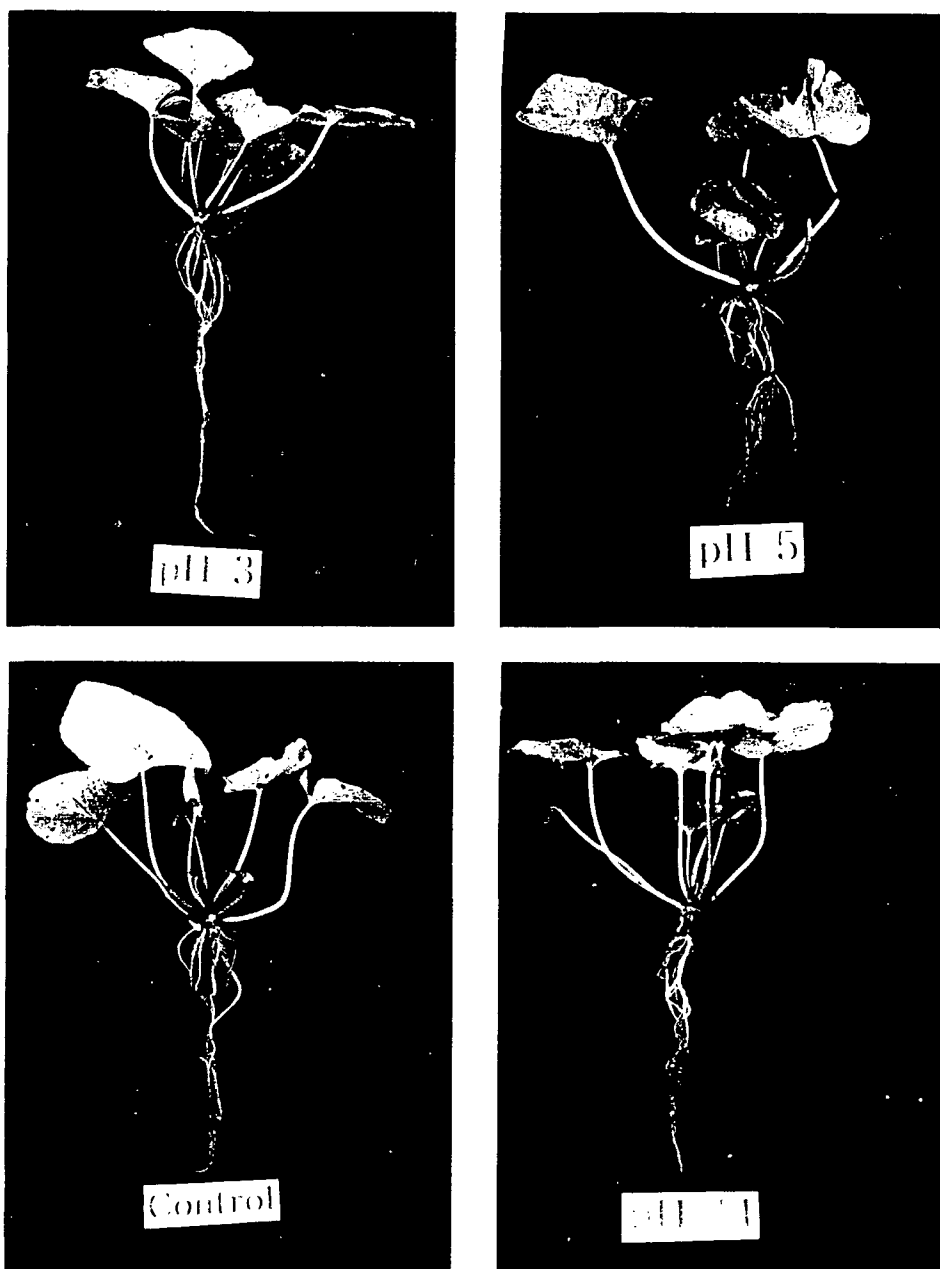


그림 4.3 강산성 및 강알칼리성수 처리하여 재배한 고추냉이 시료 비교사진
Fig. 4.3 Comparisons of wasabi treated by strong acid and alkali water

가. 엽의 성장량 비교

그림 4.4는 고추냉이의 최적성장기인 3월말에서 8월초까지의 고추냉이의 고농도 이온수 처리에 따른 포기당 잎의 무게를 나타낸 것이다. 시기별로 엽중은 5월까지 모든 처리구가 급격히 증가하였고 그 이후는 무처리구는 완만히 증가하였으며, 이온수 처리구는 모두 5월까지 증가하였으나 기온이 25℃ 이상이 되는 6월에는 고온으로 인해 생육이 위축되었다. 포기당 엽중은 무처리구가 가장 무거운 18.3g/주이었고 다음이 pH 3, 11, 5, 9 순이었으며 이온수 처리간에는 큰 차이가 없는 11.3 ~ 14.2g/주 이었다.

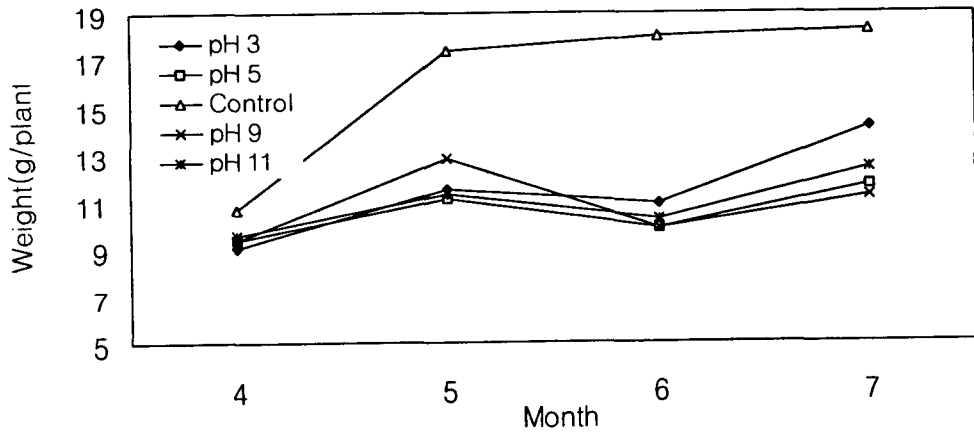


그림 4.4 시기별 엽중의 변화

Fig. 4.4 Change of leaf weight

그림 4.5는 3월말에서 8월초까지의 고농도 이온수처리에 따른 고추냉이의 포기당 엽수를 나타낸 것이다. 엽수의 변화를 보면 무처리구에서는 완만히 계속 증가하여 7월에는 주당 7.8개가 되었고, 이온수 처리구는 무처리구보다 모두 작았다. pH5와 11은 완만한 증가세를 보였고 pH3은 6월까지 감소하다가 6월부터 증가하였으며, pH9처리구는 6월에 급격히 떨어졌다가 최종적으로는 이온수처리간에 큰 차이가 없이 주당 6.8 ~ 7.3개 정도가 되었다.

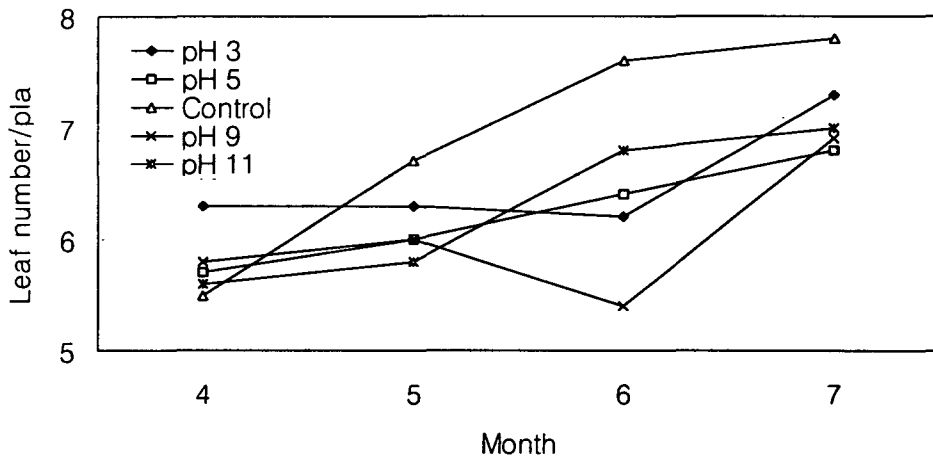


그림 4.5 시기별 엽수의 변화

Fig. 4.5 Change of leaf number per plant

그림 4.6은 3월말에서 8월초까지의 고농도 이온수처리에 따른 고추냉이의 엽폭을 나타낸 것으로, 엽폭은 모든 처리구가 5월까지 증가하다가 그 이후 6월까지의 감소하였으며 6월부터 7월까지는 무처리구만 급격히 증가하여 19.6cm가 되었다. 그러나 이온수 처리구는 처리 고농도 이온수 pH에 관계없이 모두 큰 변화가 없이 11.5cm ~ 12.9cm가 되어 성장이 잘 되지 못하는 것을 보여준다.

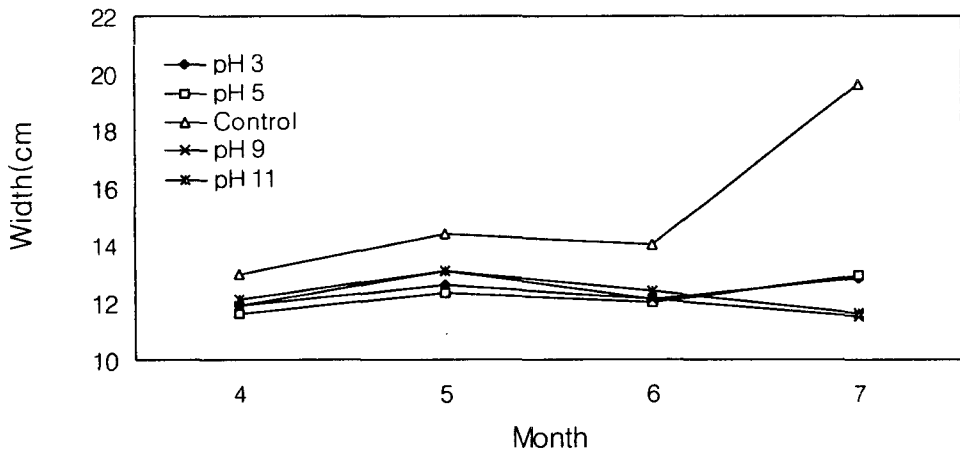


그림 4.6 시기별 엽폭의 변화

Fig. 4.6 Change of leaf width

나. 줄기의 성장량 변화

그림 4.7은 3월말에서 8월초까지의 고농도 이온수처리에 따른 고추냉이의 엽병의 길이를 나타낸 것으로, 엽병의 길이는 무처리구가 가장 컸고, 각 시기에 따른 변화는 모두 비슷한 경향을 보였다. 시료고추냉이의 엽병의 길이는 4월초부터 5월까지는 증가하다가 그 이후 감소하는 경향을 보였으며, 7월에는 무처리구는 최장경이 20.9cm, 고농도 이온수 처리구는 17.1 ~ 18.8cm가 되었다.

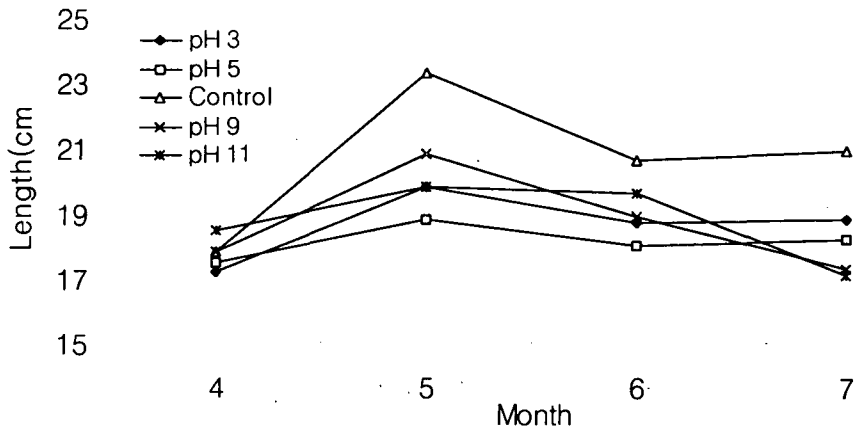


그림 4.7 시기별 엽병의 길이변화

Fig. 4.7 Change of petiole length

그림 4.8은 3월말에서 8월초까지의 고농도 이온수처리에 따른 고추냉이의 포기당 엽병의 무게를 나타낸 것으로서, 엽병의 무게는 무처리구가 가장 무거운 주당 29.7g 이 되었고, 이온수 처리구의 엽병 무게는 주당 17.2~20.0g이 되었다. 엽병 무게의 시기에 따른 변화는 고농도 이온수 처리구나 대조구 모두 비슷한 경향을 보였다.

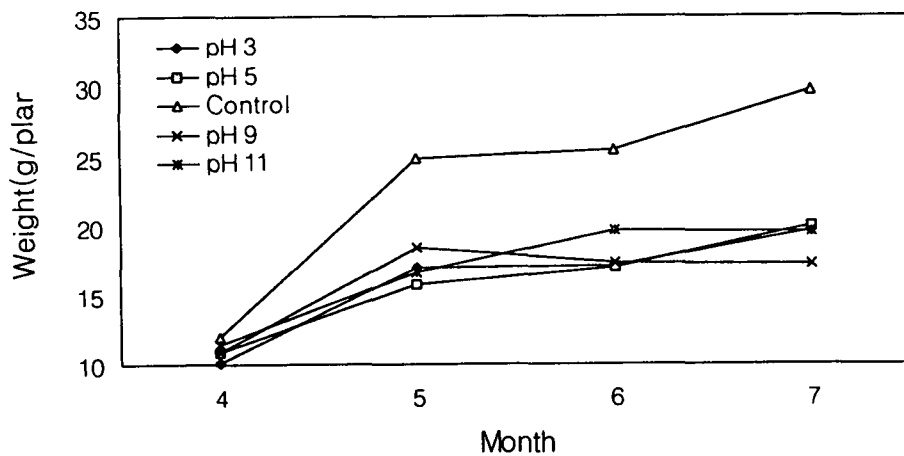


그림 4.8 시기별 엽병의 무게 변화

Fig. 4.8 Change of petiole weight

다. 뿌리 성장량의 변화

그림 4.9는 3월말에서 8월초까지의 고농도 이온수처리에 따른 고추냉이의 포기당 뿌리의 무게를 나타낸 것으로서, 뿌리무게는 무처리구와 고농도 이온수처리구간에 4월부터 6월까지의 큰 차이가 없었다. 6~7월 사이에 고추냉이의 뿌리의 무게는 무처리구는 급격히 증가하여 주당 13.7g이 된 반면, 이온수 처리구는 모두 완만한 증가세를 보여 주당 6.5~7.9g이 되어 처리간에 차이가 없었다.

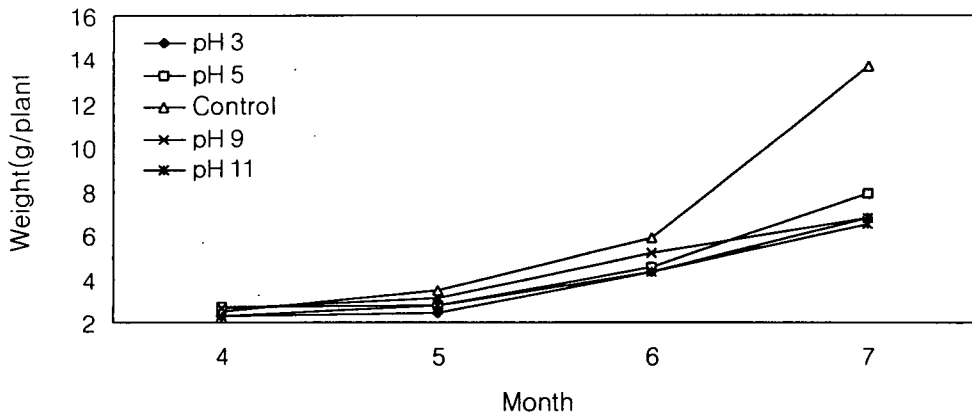


그림 4.9 시기별 뿌리의 무게 변화

Fig. 4.9 Change of root weight

라. 생존율 비교

그림 4.10은 고농도 산성 및 알칼리성 이온수(pH 3.0, 5.0, 7.0, 9.0, 11.0)를 처리한 실험 사진이다. 그림 4.10의 사진에서 보듯이, 초고농도 이온수를 처리한 고추냉이의 생육과 생존이 좋지 못함을 보여준다. 이는 고추냉이는 생육조건이 까다로와 년중 평균 20℃ 내외로 저온 다습하고 반음지 식물이기 때문에 생육환경도 좋지 못했기 때문이라고 사료된다.



그림 4.10 고농도이온수에 의한 고추냉이의 생육실험 사진

Fig. 4.10 Photos of wasabi treated by strong acid and alkali water

표 4.2는 고추냉이를 수확한 후 남은 고농도 이온수 처리구의 생존율을 나타낸 것으로서, 수확조사후 남은 처리구당 12포인트에 대한 생존율을 8월 20일에 조사한 결과 무처리구의 생존율이 가장 높은 97%였고 다음이 pH 11의 이온수 처리구가 89%였으며, 다른 처리구는 50% 내외로 비슷하였다.

표 4.2 수확조사후 남은 처리구에 대한 생존율

Table 4.2 Proportion of alive plants at 20th August

Treatment	pH3	pH5	Control	pH9	pH11
Rate of survival plants(%)	54	52	97	54	89

마. 토양무기성분의 변화

표 4.3은 강이온수 처리구의 토양의 무기물 성분을 분석한 결과로서, 각 처리별 토양을 8월 17일 채취하여 무기성분을 분석한 결과를 표 4.3에서 보면 K^+ , Ca^{++} 그리고 Mg^{++} 은 처리전 채취한 토양에서는 높았으나 처리후에는 모두 낮아졌으며 특히 이온수 처리에서 현저히 낮아졌다. Na^+ 는 대조구에서 함량이 가장 적었고 이온수 처리구는 대조구보다 월등히 많았는데 특히 pH 3처리구가 가장 많은 3.31me/100g이었다. 재배 후 각 양이온은 식물체의 흡수와 관주에 의한 유실로 현저히 줄어들었으며 특히 이온수 처리구는 이온수 관주에 의해 Na^+ 이 집적되고 이에 따라 다른 양이온이 흡착되지 못하고 유실이 많은 것으로 보인다.

표 4.3 각 처리별 토양의 무기성분 분석 결과

Table 4.3 Chemical composition of soil(me/100g)

Treatment	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+
pH 3	1.85	4.69	1.34	3.31
pH 5	1.87	5.37	1.89	2.84
Control	2.00	5.44	2.76	1.32
pH 9	1.48	4.25	1.78	2.63
pH 11	1.49	4.31	1.87	2.58
Before-treatment	2.73	5.93	3.53	2.37

표 4.4는 고농도산성이온수(pH2.5)를 적정처리시간을 무처리에서 5,10,20,30,60,120분간으로 변화시키면서 16일간 포트에 수경재배한 고추냉이의 생육특성, 즉 포기당의 생체량과 잎수, 그리고 체고와 엽병폭을 종합적으로 재실험하여 구체적으로 조사하여 나타낸 것이다.

표 4.4에서 나타내듯이, pH 2.5의 강산성수를 처리하는 경우 처리시간이 20분 이내로 짧은 경우에는 생육을 활발하게 하나, 60분 이상으로 처리시간이 길어지면 고추냉이의 생육이 매우 억제되는 것을 보여준다. 따라서, 처리시간은 20분 정도가 적당함을 보여준다.

표 4.4 강산성이온수중에 포트재배한 고추냉이 유식물의 생육특성

Table 4.4 Growth characteristics of wasabi according to duration of treatment of strong acid water of pH2.5 when cultivated in pot by water-cultivation method.

Duration of treatment (minutes)	Fresh weight before treatment per plant(g)	Growth characteristics at 16 days after treatment			
		Fresh weight per plant(g)	Number of leaves per plant	Plant height (cm)	width of a largest leaf(cm)
0	5.6	7.3	1.5	8.9	3.6
5	7.2	7.1	1.4	11.3	4.2
10	6.9	6.8	1.5	11.5	4.6
20	6.6	6.5	1.3	11.8	4.5
30	5.3	5.8	1.6	11.2	4.0
60	7.5	6.0	1.5	8.1	3.4
120	6.0	5.0	1.6	7.3	2.6

표 4.5는 강산성이온수(pH2.5)의 처리시간변화(무처리에서 5, 10, 20, 30, 60, 120 분간)에 따른 고추냉이 묘의 뿌리를 강산성수에 침지후 생존율을 조사한 결과표이다. 표 4.5에서 보듯이, 강산성인 pH2.5의 처리에도 불구하고 정식시 고추냉이의 생육이 양호하였다. 그러나, 강산성수의 처리시간이 60분 이상으로 길어지는 경우에는 고추냉이의 생육이 매우 크게 억제되는 것을 보여준다. 그림 4.11은 강산성이온수(pH2.5)의 처리시간변화(무처리에서 5, 10, 20, 30, 60, 120분간)에 따른 고추냉이 묘의 뿌리를 강산성수에 침지후 고추냉이의 생존율 변화를 보여주는 실험사진이다.

표 4.5 강산성수중에 풋트재배한 고추냉이 유식물의 생존율

Table 4.5 Survival rate of wasabi according to duration of treatment of strong acid water of pH2.5 when cultivated in pot by upland-cultivation method.

Duration of treatment(minutes)	0	5	10	20	30	60	120
Survival rate(%)	80	60	80	80	60	30	10

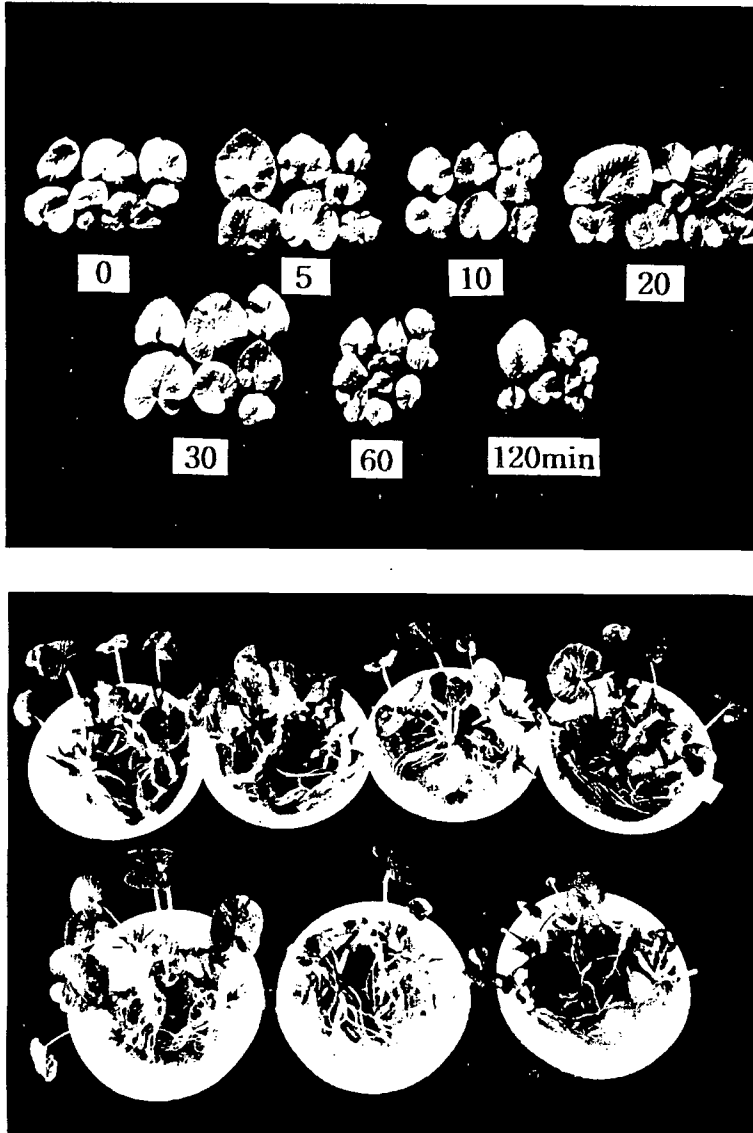


그림 4.11 강산성수중(pH2.5)에 쫄트재배한 고추냉이 유식물의 생존특성
 Fig. 4.11 Survival characteristics of wasabi according to duration of treatment
 of strong acid water of pH2.5 when cultivated in pot by
 upland-cultivation method.

표 4.6은 고추냉이유식물을 본포에 정식한 후 지하수와 고농도산성수(pH2.5), 고농도알칼리수 그리고 고농도산성수와 고농도알칼리수(pH11.5)를 교대로 본포에 격일간격으로 처리하였을 때의 고사율을 조사한 결과표이다. 표 4.6에서 보듯이 고추냉이묘의 뿌리를 강산성수에 처리후 풋트발재배하는 경우 120분간 강산성(pH2.5)와 강알칼리성(pH11.5)로 처리한 경우에는 90%가 고사하였으나 20분에서는 80%까지 생존하였다. 이는 비록 pH2.5 또는 pH11.5의 고농도이온수라도 5분이내의 처리에는 큰 장애작용이 없을 것으로 사료된다.

표 4.6 고농도 산성수 및 알칼리수로 120 min/day로 처리한 고추냉이 유식물의 생육특성
 Table 4.6 Survival rate of wasabi when treated 120 min/day by ion water after transplanted.

Treatment	Underground water	Acid water (pH2.5)	Alkali water (pH11.5)	acid and alkali water rotation (pH2.5/11.5)
Survival rate(%)	83	8	25	8

제4절 실험 결론

고추냉이의 검은썩음병은 pH2.5의 산성수로 처리한 경우 5분이내에 포자의 99%가 죽었고 25분 후에는 100%사멸되었다. 고농도 이온수는 고추냉이의 생육을 촉진시키는 효과는 크게 인정되지는 않았으나, 초강이온수를 30 min/day 이상의 처리는 식물의 생육을 다소 억제시킨 것으로 보이고 pH간에 그 억제정도는 차이가 크게 인정되지 않았다. 강이온수(pH 2.5)로 처리시간을 30 min/day 이상 처리한 경우, 고추냉이의 생육억제에 있어서 엽증과 엽수보다 엽폭의 감소가 컸고 엽병은 길이보다 엽병중의 감소가 컸으며 뿌리는 초기보다 후기에 생육억제 정도가 컸다. 생육후기에 고추냉이 생존율은 무처리가 가장 높은 97%였고 다음이 pH 11의 강알카리 이온수 처리구가 89%였으며, 다른 처리구는 50% 내외로 비슷하였다.

시험종료후 토양시료를 분석한 결과 이온수를 관주한 토양은 Na⁺이 집적되고 다른 이온이 유실되는 현상이 관찰되었다. 따라서 이온수 처리는 고추냉이의 병해방지 및 생육촉진효과 보다는 이온수에 포함된 Na⁺ 및 NaOCl 등의 물질에 의하여 식물체에 직접적인 장애를 일으켰거나 Na⁺의 과다 흡수에 의한 K⁺의 흡수장애 등으로 식물체내 영양대사에 영향을 미쳐 생육장애가 일어난 것으로 보아진다.

고농도 이온수의 농업적 이용은 1차 시험에서 *Erwinia aroideae* (Townsend) Holland와 *Phoma wasabiae* Yokogi 같은 병원균의 살균력은 인정되나, 적절한 처리시간과 빈도, 그리고 처리 pH와 처리량 등이 매우 중요한 요인이 되는 것을 알 수 있다. 따라서 작물과 병의 종류에 최적 조건이 조사되어야 할 것으로 사료된다. 또한, 고추냉이와 같은 생육조건이 까다롭고 장기간(2년) 성장 후에 수확하는 작물에서의 이온수 살포는 이온수 제조 과정 중에서 Na⁺ 물질이 배제되지 않는 한 위험성이 따를 것 같다. 그래서, 초고농도 이온수의 실적에 있어서는 다년생(2년)으로 생육이 까다롭고 저온(년 중 20℃ 전후), 그리고 반음지 식물인 고추냉이보다는 고온의 국내 환경에서도 생육이 왕성한 작물 특히 딸기나 토마토 등의 원예작물에서 지상부에 발생하는 병을 엽면살포로 방제하는 방향으로 이용성이 고려되면 좋을 것 같다.

참고 문헌

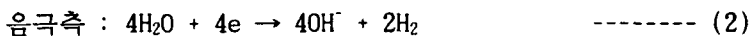
- [1] Adachi, S. 1987. Wasabi saibai. Shizuoka Prefecture Agricultural Experiment Station. Pub., Shizuoka, Japan.
- [2] Chadwick, C.I., T.A. Lumpkin, and L.R. ElberSon. 1993. The botany, uses and production of Wasabia japonica(Miq)(Cruciferae) Matsum. Economic Botany 47(2):113-135.
- [3] 윤용권. 1995. 수출작목 개발을 위한 고추냉이 분석. 한국 농업과학기술 전산정보망(KASTINS)
- [4] Shimizu, "Inactivation of Virus by High Oxidation Potential Water", The Medical and Test Journal, Vol. 398, p. 28, 1994.
- [5] Iwasawa, et al. "Inactivation Effects to Micrograms of Aqua Oxidation Water", Clinical diagnosis, Vol. 37, pp. 918-919, 1992.
- [6] Kisida, "Functional Water Technology to Agricultures", New Agriculture and Forest Co. pp. 97-99, 1996.
- [7] Abe, etal, "Inactivation Effects of Oxidation Potential Water to HB Virus", Journal of Dental Prevention, Vol. 37, p. 33, 1994.
- [8] Effect of Electrolyzed Tap Water to AIDS, Yomiuri News Paper, April 23, 1993
- [9] 安倍 敏ほか, "電解強酸性水の口腔内細菌に對する殺菌作用", 日齒保誌, Vol. 36, p. 95, 1993
- [10] 安倍 敏ほか, "酸化電位水のMRSAおよび綠膿菌に對する殺菌作用", 日齒保誌, Vol. 37, p. 33, 1994
- [11] 安倍 敏ほか, "酸化電位水のHBウイルスに對する不活化作用", 日齒保誌, Vol. 37, p. 33, 1994
- [12] 一色由紀恵ほか, "アクア酸化水による消毒の效果", 醫學検査, Vol. 40, pp. 787, 1991
- [13] 岩澤篤郎, 中村良子, "アクア酸化水の抗微生物效果", The Medical & Test Journal, Vol. 398 (臨時増刊), No. 9, pp. 7-12, 1994
- [14] 岩澤篤郎, 中村良子, "アクア酸化水の抗微生物效果II-他消毒劑との併用", 日環感, Vol. 9, pp. 7-12, 1994
- [15] 岡田 淳, "注目を集める強酸性電解水の效果", The Medical & Test Journal, Vol. 388(臨時増刊), p. 251, 1994
- [16] 奥田禮一ほか, "形態變化からみた酸化電位水の殺菌効果", 日齒保誌, Vol. 37, No. 2, pp. 755-765, 1994
- [17] 清水義信, 古澤利武, "電解のよる酸化電位水の殺ウイルス, 殺細菌及び殺真菌の作用", 齒科ジャーナル, Vol. 37, pp. 1055-1060, 1993
- [18] 清水義信, "強酸性水の殺ウイルス作用", The Medical & Test Journal, Vol. 398(臨時増刊), p. 28, 1994

제 5 장 초고농도 이온수의 고추 병해방지 효과

제1절 서 론

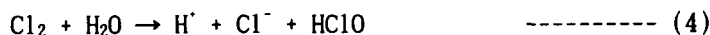
고추는 재배면적이 91,000 ha이며, 연간 생산량도 187,000 ton에 이르는 우리나라에서 가장 중요한 채소작물로서 탄저병, 역병, 세균성점무늬병 등의 병해에 의한 피해가 해마다 심각한 것으로 보고되고 있다[11,15]. 특히 역병은 토양전염병으로서 고추를 연작할 경우 심하게 발생하고, 장마기에 물에 의해서 전파되며, 배수가 불량하면 그 피해가 더욱 심각한 병으로 전국적으로 고추 수확량을 결정하는 매우 중요한 요인으로 작용하고 있다[4,11,14,15]. 그러나 아직까지 이에 대한 안전하고 환경친화적인 방제대책이 없는 실정이다. 종래의 역병 방제체계는 6월 상순부터 10일 간격으로 농약을 6회 살포할 것을 권장하고 있으나 농약 값에 의한 방제비용과 잔류농약에 의한 환경오염 문제가 대두되고 있는 실정이다. 특히 최근에는 소비자들의 무공해 작물에 대한 욕구가 매우 높아지고 있기 때문에 길항미생물을 이용한 병해방제와 같은 생물학적인 병해 방제법이 현재 많이 연구되고 있다[5,16].

이온수는 특수 합금된 평판형 전극간에 이온투과격막(membrane)을 설치하고, 이 전극간에 펄스고전압을 인가하면 양쪽 전극(+극, -극)에서는 식(1), (2)와 같이 순수한 전기에너지에 의해 물의 전기분해작용이 일어난다[14].



양전극(+극)에는 수소이온을 방출하여 산성수가 되며, 특히 살균력이 매우 뛰어난 활성산소(O, O₃, H₂O₂)와 다량의 용존산소(O₂)가 발생되게 된다. 그리고 음전극(-극)에서는 수소와 수산이온이 발생되어 알카리수가 된다.

한편, 수도물 중에 염분이나 염소가 존재하게 되면, 양전극(+극)측에는 식(3)과 같은 반응이 일어나서, 식(4)와 같은 반응을 유발하여 살균력이 매우 뛰어난 활성염소(HClO)가 생성된다[6~10].



또한 이온수는 강력한 펄스 전계를 인가하여 수도물이나 미량 [0.1%(w/v)] 이하 미량의 염화나트륨(NaCl)이 용존된 지하수를 이용하여 이온분리작용과 전기분해작용에 의해 만들어지므로[13] 인체에 대한 안전성과 무해성의 장점을 가지면서 매우 뛰어난 살균효과와 생장효과를 가지고 있는 것으로 알려져 있어[6~10] 최근 일본에서는 큰 관심을 불러일으키고 있다. 특히 살균효과를 가진 산성이온수의 경우, 기존의 살균소독제보다 20배 정도의 살균력을 가지고 수 초 이내에 병원균을 살균시키고, 바이러스 까지도 불활성화 시키는 것으로 알려져 있어[19] 병원균 감염방지, 의료기구의 살균이나 작물의 병해방제 등에 적용되고 있고, 알카리이온수의 경우 종자의 발아촉진, 작물에 대한 생장효과 및 음용수 등에도 이용 가능하다고 알려져 있다[7, 8].

그러나 현재까지 이온수를 이용한 고추 병해방제에 대한 자료는 전무한 상태로 본 연구에서는 이와 같은 이온수가 식물 생육촉진과 병해 방제에도 효과적으로 이용될 수 있을 것으로 생각되어 강력한 펄스전계에 의해 생성된 산성 및 알카리이온수를 이용하여 고추의 주요 병해를 안전하고 무공해 한 방제방법을 얻기 위한 기초 자료를 얻고자 실험을 수행하였다.

제2절 재료 및 방법

1. 공시균주

공시균주는 경북 영양에서 수집하여 분리배양한 역병균(*Phytophthora capsici*)을 potato dextrose agar(PDA) 배지에 7일간 배양한 후 직경 5mm의 균총을 Petri dish에 분주한 V8배지(V8주스 200ml + agar 20g + 증류수 800ml)에 이식하여 28℃에서 14시간 배양하였으며, 유주자낭을 형성하기 위해 실내(약 20℃)에 7일간 두었다가, 배지 표면에 살균수를 가하여 유주자낭 현탁액을 만든 다음, 7℃에서 1시간, 실온에서 3시간 경과시킨 후에 유주자낭으로부터 방출된 유주자를 혈구계측기로 계수하여 유주자 현탁액을 $10^2 \sim 10^5$ 개/ml 농도로 조정하여 사용하였다.

탄저병(*Colletotrichum gloeosporioides*)은 영양지방의 푸른고추에서 분리한 G 계통을 직경 90mm PDA배지에 직경 5mm의 균총을 치상 후 27℃ 암상태에서 7일간 배양한 후 생긴 포자를 혈구계측기를 이용하여 10^4 개/ml로 현탁하여 사용하였다.

2. 산성이온수 제조

본 실험에 사용된 이온수 발생장치는 경북대학교 공과대학 전자전기공학부에서 직접 제작한 것으로 사용된 물은 증류수에 0.5%(w/v)의 소금을 용해시켜서 사용하였으며 이온수 발생 장치의 양극(+)측에서 출력된 산성이온수의 pH와 전체 산화성 물질(O_3 , H_2O_2 , HClO)의 농도는 인가된 펄스 전류를 조절하여 조정할 수 있었다. pH의 경우 인가전류의 세기가 0.2A에서 약 3.5로 조정할 수 있었으며, 인가전류의 세기가 높을수록 낮은 pH의 이온수를 생성할 수 있어 인가전류가 0.7A에서 pH가 약 2.5인 강산성 이온수를 생성할 수 있었고, KI 적정법[1]으로 측정된 산화성 물질의 총량은 전류의 세기와 비례하여 증가하였는데 인가전류의 세기가 0.2A에서 산화성 물질의 총량이 약 4 ppm 정도, 0.7A에서 약 20 ppm 정도로 조정된 것을 본 실험에서 사용하였다(그림 5.1).

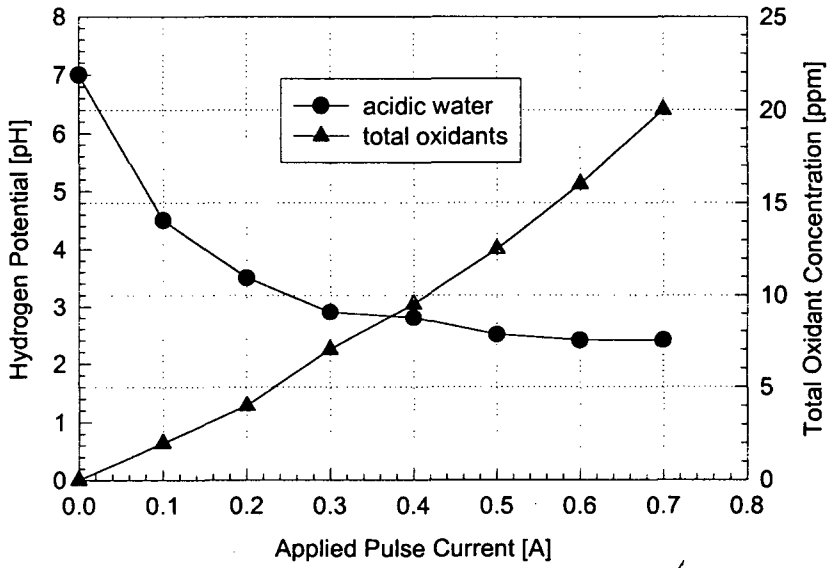


그림 5.1 펄스전류에 따른 전해수의 pH 및 총산화성물질량 특성
 Fig. 5.1 Output pH and total oxidants in electrolytic water according to the function of applied pulse current.

3. 산성이온수 처리에 의한 유주자 및 포자의 발육

고추 역병균(*P. capsici*) 및 탄저병(*C. gloeosporioides*)에 대한 산성이온수의 살균력을 조사하기 위한 예비실험에서 pH 2.5에서 11.5까지 0.5간격으로 살균력을 조사하였으나 pH 4.0 이상에서는 대조구와 차이를 볼 수 없어 본 실험에서는 pH 2.5, 3.0, 3.5의 산성이온수를 사용하였다.

이온수 제조기에서 전류를 0.2A이상 흐르게 하여 이온수를 pH 2.5, 3.0, 3.5로 조정하고, 역병균의 유주자현탁액(10^5 개/ml) 및 탄저병 포자 현탁액(10^7 개/ml)를 각각의 pH별 산성이온수 9ml에 희석한 다음, 1분, 3분, 5분, 10분간씩 각각 처리하였고, 처리된 역병균 유주자현탁액 및 탄저병 포자현탁액 1ml을 PDA배지에 각각 분주한 후 28°C의 항온기에서 48시간 배양하여 성장정도를 조사하였다. 대조구로는 멸균 증류수를 0.5N HCl로 조정한 pH 2.5, 3.0, 3.5의 액과 멸균수(pH 6.5)를 사용하였다. 모든 조사는 10반복 실시하여 평균을 구하였다.

4. 산성이온수 처리에 의한 고추역병 발병억제

산성이온수 관주에 의한 역병 방제효과를 구명하기 위하여 직경 10cm의 흑색 비닐 포트에 파종 후 50일된 고추묘의 땅가 부위에 각 농도($10^2 \sim 10^5$ 개/ml)의 유주자 현탁액을 주당 5ml씩 접종하고, pH 2.5, 3.0, 3.5의 산성이온수 100ml씩을 비닐포트에 관주 하였으며, 대조구로는 멸균수(약 22°C)를 100ml씩 관주 하였다. 처리 후 5일, 10일, 15일, 20일 후에 발병 정도를 조사하였다.

역병은 지상부 줄기의 발병정도를 다음과 같이 4등급으로 나누어 조사하였다. 즉 1) 땅가 부위에 병반이 보이지 않은 것, 2) 땅가 부위에 병반이 있으나 시들지 않는 것, 3) 땅가 부위에 병반과 함께 시드는 것, 4) 고사하는 것 등으로 발병정도의 등급을 정하였다.

한편, 식물체 뿌리의 감염상태를 알아보기 위하여 접종 20일 후에 화분에서 식물체를 뽑아내어 뿌리의 발병 정도를 다음과 같이 5 등급으로 나누어 조사하였다. 즉 1) 뿌리가 갈변되지 않는 것, 2) 약간의 갈변 내지 약 25% 정도의 뿌리가 갈변된 것, 3) 약 50% 정도의 뿌리가 갈변된 것, 4) 약 75%의 뿌리가 갈변된 것, 5) 뿌리가 완전히 갈변된 것 등으로 등급을 나누었다.

5. 이온수 처리에 의한 고추 발아 촉진효과

초고농도 이온수가 고추종자의 발아에 미치는 효과를 보고자 시판종인 금탑을 공시하여 이온수의 pH 수준을 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 7.0, 10.0, 10.5, 11.0, 11.5로 조정하여 직경 9cm 1회용 pertri dish에 50립씩 3반복으로 파종하였다. 이온수는 역삼투압 방식에 의해 정수된 지하수에 NaCl 0.1%(w/v)를 용해하여 pH 메타로 조정하였다. 발아온도는 25℃, 광조건은 10W 형광등이 설치된 항온기내에서 1일 12시간 조명하여 발아시켰다. pH별 이온수 공급은 2일간격으로 petri dish 당 5ml을 주사하였고, 발아는 2일간격으로 유근이 육안으로 보이는 것을 계속하여 조사하였다. 조사항목은 발아일수, 발아율, 발아기, 발아종 등을 조사하였다.

6. 이온수 처리에 의한 고추 양액재배시 초기생장 촉진효과

이온수를 이용한 고추 양액재배시 초기생장에 미치는 영향을 알아보려고 1999년 3월 12일 시판종인 금탑과 재래종인 수비초를 공시하여 이온수의 pH 수준을 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 7.0, 10.0, 10.5, 11.0, 11.5로 조정하여 1차 양액재배 시험을 수행하였다. 양액재배상은 각각 가로 43.5cm, 세로 27cm, 높이 19cm 플라스틱 상자에 사용하였으며 정식시 묘령은 본엽 2-3매로 5×6cm 간격으로 상자당 30주씩 정식하였다.

1차 양액시험이 끝난 후 고추의 생장에 미치는 이온수의 시기별 생육효과를 알아보려고 1999년 4월 13일 이온수+양액 및 이온수+상토를 처리하여 성장해석을 위한 2차 재배시험을 수행하였다.

이온수+상토재배는 직경 9cm P.E 포트에 처리당 30주를 공시하였다. 양액재배시 양분은 1차, 2차 모두 복합비료인 한방 A제 및 B제(주식회사 코셀)를 이온수 교환시 공급하였으며, 1차, 2차 모두 이온수는 pH 수준별로 상자당 15ℓ씩 1주일 간격으로 공급하였다. 양액상자내에는 기포발생기를 설치하여 양분흡수 및 뿌리 활력을 높이고자 하였다. 상토재배는 1주일간격으로 포트를 이온수에 침지하였으며 양분은 공급하지 않았다. 시험구배치는 완전임의배치 2반복으로 하였으며, 생육조사 1차 양액재배는 생육최성기 1회, 2차 양액 및 상토재배시험은 이식한 후 20일 간격으로 생육, 엽면적, 생·건물중, 식물체분석과 상대생장율을 조사하였다.

7. 고추의 주요 병에 대한 이온수 효과

고추의 주요 병에 대한 이온수 농도별 효과를 구명하기 위한 1년차 시험은 1998년 금담(시판종)과 수비초(재래종)를 재료로 하여 파종은 2월 12일, 화분정식은 5월 2일에 직경 29cm 화분에 정식하여 비가림하우스에서 재배하였다. 공시균주로 역병(*P. capsici*)균은 경북대학교에서 분양받은 균주를, 영양고추시험장 포장에서 수집한 탄저병(*Colletotrichum gloeosporioides*), 흰가루병(*Oidiopsis sicula*)균주를 사용하였다. 1998년 1년차 시험의 처리내용은 이온수농도 pH 3.0, 7.0 3.0/11.0의 3수준으로 하여 접종전1회, 접종후1회+5일간격 3회, 접종후 5일간격으로 관주 또는 살포하였다.

파종 및 정식은 1, 2년 모두 2월 23일 파종하여 5월 6일 화분에 정식하였다. 정식 방법은 1년차의 경우 직경 29cm 화분에 정식하였고, 2년차는 역병시험만 화분에 정식하고 탄저병 및 흰가루병시험은 비가림하우스에 정식하였다. 1999년 2년차 시험은 1년차의 처리와는 다르게 역병균을 접종한 후 이온수 pH3.0 5일간격 5회 및 10일간격 5회, pH3.0/11.0 5일간격 5회 및 10일간격 5회, 관행방제, 무방제구를 두어 가능한 일반 고추재배 농가의 농약 살포기간과 비슷하게 하였다. 탄저병 및 흰가루병 방제 역시 역병과 동일하게 처리하였다.

접종시기는 1년차의 경우 역병 7월 4일, 탄저병 및 흰가루병은 7월 15일로 하였고 2년차는 역병 6월 25일, 탄저병 7월 23일로 다발되는 발생시기를 기준으로 하였다. 균주농도는 역병 10^5 개/㎖로 현탁하여 땅가 부분에 20ml을 관주하였고, 탄저병 10^5 개/㎖을 현탁액으로 고압분무 하였다. 흰가루병균의 경우 1년차에는 포자를 채취하여 가루로 만들어 각각 잎에 살포하였으나, 2년차는 하우스내에서 자연발병시켜 수행하였다.

이온수의 처리방법은 역병시험은 관주한 후 지상부에 살포하였고, 탄저병, 흰가루병시험은 배무식 분무기를 이용하여 이온수가 잎에서 흐를 정도로 분무하였다. pH3.0/11.0 혼합처리구는 pH3.0 살포 후 15분이 경과한 뒤 pH11.0를 포기당 200ml을 관주한 후 지상부에 살포하였다.

주요병조사는 역병은 이병주율, 탄저병은 이병과율, 흰가루병은 피해 엽면적율을 조사하여 0~9등급으로 조사하였다. 시험구배치는 난괴법 3반복으로 하였다.

8. 재배형태에 따른 이온수의 고추 병 방지 효과

재배형태에 따른 이온수의 고추 병 방지 효과를 알아보려고 1998년 1년차 시험은 시판종인 금탑과 재래종인 수비초 등 2품종을 비가림 하우스재배용은 2월12일, 노지 재배용은 2월 22일 파종하여 각각 5월 2일과 5월 12일에 정식하였다. 이온수 처리는 pH 3.0, 7.0, 3.0/11.0으로 하였다.

1999년 2년차 시험은 시판종인 금탑을 공시하여 파종 및 정식은 1년차와 동일하게 수행하였고 이온수 pH 3.0, 3.0/11.0, 관행방제, 무방제구로 하였다. 시험구배치는 난괴법 3반복으로 하였다. 이온수의 살포방법은 배부식 분무기로 주당 200ml을 관주한 후 지상부에 충분히 흐를 정도로 살포하였으며, pH 3.0/11.0 처리구는 pH 3.0 살포 후 15분 경과 뒤 pH 11.0을 살포하였다.

살포시기 및 횟수는 1년차는 7월15일부터 5일간격으로 8회, 2년차는 6월 11일부터 1주일 간격으로 8월 23일까지 12회 살포하였다.

작형별 재배방법은 농촌진흥청 표준재배법에 준하였고, 병해는 역병, 탄저병, 흰가루병 및 세균성점무늬병을 농사시험 연구조사 기준표에 준하여 조사하였다.

9. 역병 및 탄저병 발생 상승지 실증시험

1, 2년차 시험에서 얻어진 결과를 역병 및 탄저병 발생상승지에의 이온수의 효과를 검증하고자 영양군에 위치한 농가포장에 시판종인 금탑을 공시하여 수행하였다. 처리내용은 이온수 pH3.0, 3.0/11.0, 관행방제, 무처리를 두었다. 처리시기 및 살포방법은 재배형태에 따른 이온수의 병 방지효과 시험과 동일하게 수행하였다.

제3절 실험결과 및 고찰

1. 산성이온수 처리에 의한 역병 유주자 및 탄저병포자 발육

역병균의 유주자 및 탄저병균의 포자는 pH2.5 ~ pH3.5의 산성이온수를 처리하였을 경우에는 처리 시간에 관계없이 전혀 발육되지 않았으나, 대조구인 0.5N HCl을 이용하여 pH2.5, 3.0, 3.5로 조정한 처리구 및 멸균수 처리구에서는 역병균 유주자 및 탄저병균 포자의 발육이 현저하였다(표 5.1, 5.2, 그림5.2). 위의 결과에서 산성이온수가 역병균의 유주자 및 탄저병균에 1분만 작용하여도 충분한 살균력을 가진다는 것을 알 수 있었으며 이것은 산성이온수가 식물이나 동물에 강한 살균소독 효과가 있다는 色由紀惠[6]의 보고 및 강이온수가 수초 이내에 병원균을 살균시키고, 바이러스까지도 불활성화시킨다는 芝 燁彦[17]의 보고와 같은 결과이다. 그러나 0.5 N HCl로 조정된 동일한 pH 농도에서 역병균 및 탄저병균이 모두 pH 6.5의 멸균수 처리구에서와 별 차이 없이 발육이 왕성하였는데 이것은 산성이온수가 pH에 의해 살균력을 가지는 것이 아니라 산성이온수에 용존하는 산화성 물질(O, O₃, H₂O₂, HClO 등)에 의한 살균효과라 생각된다.

표 5.1 역병 유주자의 발육에 미치는 강이온수의 영향

Table 5.1 Effect of electrolytic water on growth of *Phytophthora capsici* on PDA

Treatment	pH	Treated time of zoospore suspension in electrolytic water (minutes)			
		1	3	5	10
Electrolytic water	2.5	0 ^{a)}	0	0	0
	3.0	0	0	0	0
	3.5	0	0	0	0
0.5 N HCl	2.5	885	900	921	891
	3.0	917	941	923	910
	3.5	1,053	988	1,090	997
Sterilized water	6.5	1,092	1,010	1,009	992

^{a)} Mycerial Colony numbers after 48 hours incubation on PDA.

표 5.2 탄저병 포자의 발육에 미치는 강이온수의 영향

Table 5.2 Effect of electrolytic water on growth of *Colletotrichum gloeosporioides* on PDA

Treatment	pH	Treated time of zoospore suspension in electrolytic water (minutes)			
		1	3	5	10
Electrolytic water	2.5	0 ^{a)}	0	0	0
	3.0	0	0	0	0
	3.5	0	0	0	0
0.5 N HCl	2.5	1,001	980	991	1,080
	3.0	899	998	991	997
	3.5	1,122	1,121	1,199	1,309
Sterilized water	6.5	1,231	1,130	1,290	1,660

^{a)} Mycerial Colony numbers after 48 hours incubation on PDA.

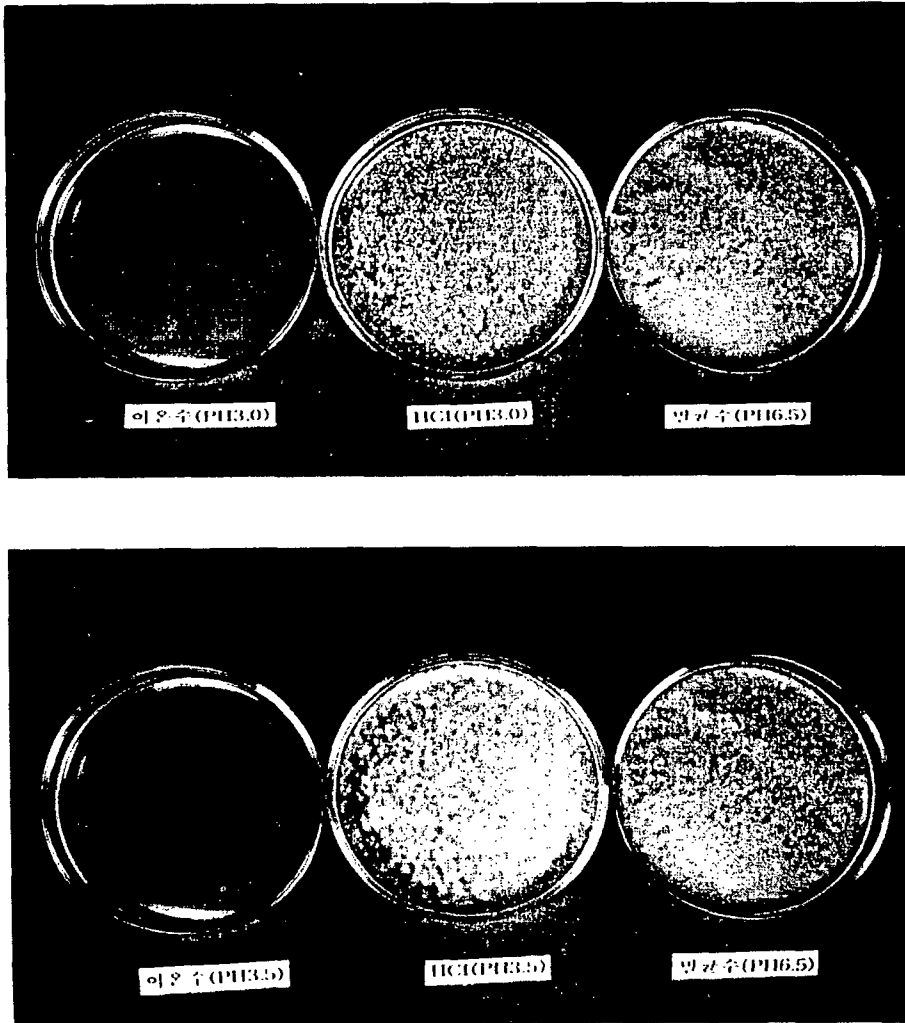


그림 5.2 역병 유주자의 발육에 있어서 강이온수의 48시간 처리시의 영향
 Fig. 5.2 Effect of electrolytic water on zoospores growth of *Phytophthora capsici* after 48 hours incubation on PDA.

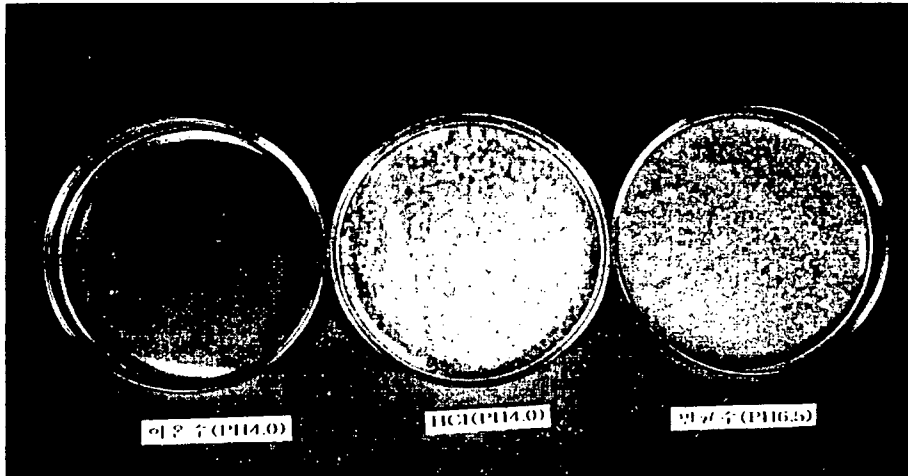


그림 5.2 역병 유주자의 발육에 있어서 강이온수의 48시간 처리시의 영향
 Fig. 5.2 Effect of electrolytic water on zoospores growth of *Phytophthora capsici* after 48 hours incubation on PDA.

2. 산성이온수 처리에 의한 고추역병 발병억제.

고추 역병균 유주자 농도를 $10^2 \sim 10^5$ 개/ml로 조정하여 주당 5ml씩 유묘에 접종한 후 산성이온수(pH 2.5, 3.0, 3.5)를 100ml씩 관주한 결과, 접종농도가 10^2 개/ml, 10^3 개/ml일때 산성이온수 처리구에서는 발병이 전혀 되지 않았으나, 대조구인 멸균수 처리구는 10^2 개/ml에서 2.4, 10^3 개/ml에서 3.2의 발병정도를 나타내었다(표 5.3). 그러나 접종농도가 10^4 개/ml 이상일 때는 산성이온수 처리구에서도 1.8이상의 발병을 보였다. 이것은 산성이온수에서 살균효과를 나타내는 산화성 물질이 모든 유주자에 직접 작용하지 못해 살아남은 균에 의한 감염이라 생각된다.

각 처리구의 뿌리에 병원균의 감염상태를 조사하기 위해 역병균 접종 20일 후 비닐 pot에서 고추묘를 뽑아내어, 흐르는 수도물에 고추묘의 뿌리를 깨끗이 씻은 후 뿌리의 감염상태를 조사한 결과, 대조구인 멸균수 처리구에서는 접종한 병원균 현탁액 농도가 10^3 개/ml 이하에서도 뿌리에 갈변현상이 나타났다. 접종한 병원균 현탁액의 농도가 10^3 개/ml 이하일때 산성이온수 처리구에서는 뿌리에서 전혀 병징이 나타나지 않았으나, 10^4 개/ml 이상에서는 뿌리에 발병하였다. (표 5.4, 그림 5.3).

표 5.3 고추역병 발병에 미치는 강이온수의 영향

Table 5.3 Effect of electrolytic water on occurrence of *phytophthora* blight of red pepper on pot

Treatment	pH	Inoculum concentration ^{a)}	Degrees of symptom on infected plants ^{b)}			
			Days after inoculation			
			5	10	15	20
Electrolytic water	2.5	10 ²	1.0	1.0	1.0	1.0
		10 ³	1.0	1.0	1.0	1.0
		10 ⁴	1.0	1.0	1.8	1.8
		10 ⁵	2.4	2.6	3.2	3.2
"	3.0	10 ²	1.0	1.0	1.0	1.0
		10 ³	1.0	1.0	1.0	1.0
		10 ⁴	2.0	2.2	2.4	3.0
		10 ⁵	2.4	2.6	3.0	3.5
"	3.5	10 ²	1.0	1.0	1.0	1.0
		10 ³	1.0	1.0	1.0	1.0
		10 ⁴	2.2	2.4	3.0	3.5
		10 ⁵	2.6	2.8	3.5	3.8
Sterilized water	6.5	10 ²	1.4	1.6	1.8	2.4
		10 ³	1.8	2.0	2.4	3.2
		10 ⁴	2.2	2.4	3.0	3.4
		10 ⁵	2.2	2.4	3.0	4.0

a) Numbers of zoospore/ml

b) 1:No infection, 2:Partly infected but surviving plants,
3:Infected and wilting, 4:Completely killed and dried.

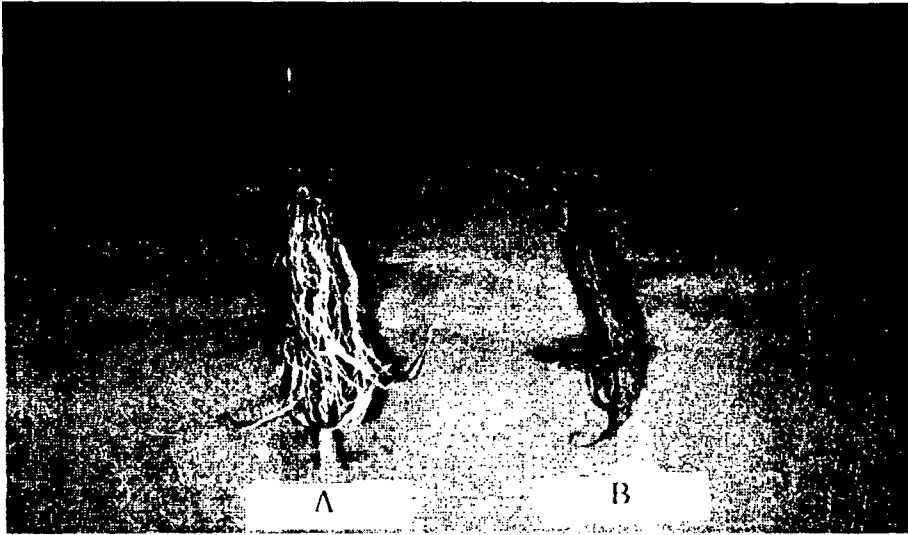


그림 5.3 역병원 접종 20일 후 고추뿌리의 감염에 미치는 산성이온수의 영향
 Fig. 5.3 Effect of electrolytic water on root rot of red pepper plants at 20 days after inoculation with *Phytophthora capsici* (10^3 zoospores/ml).
 A: Electrolytic water (pH 2.5), B: Sterilized water (pH 6.5).

표 5.4 역병원 접종 20일 후 고추뿌리의 감염에 미치는 산성이온수의 영향
 Table 5.4 Effect of electrolytic water on root rot of red pepper plants at 20 days after inoculation with *Phytophthora capsici*

Treatment	pH	Degree of root rot ^{a)}			
		Inoculum concentration ^{b)}			
		10^2	10^3	10^4	10^5
Electrolytic water	2.5	1.0	1.0	2.2	4.0
	3.0	1.0	1.0	3.0	4.4
	3.5	1.0	1.0	4.0	4.6
Sterilized water	6.5	2.4	4.6	5.0	5.0

^{a)} 1: Healthy, 2: About 25% of root rot, 3: About 50% of root rot, 4: About 75% of root rot, 5: complete root rot.

^{b)} Numbers of zoospore/ml.

현재 우리 나라의 고추 역병 방제체계는 주로 농약살포에 의한 화학적인 방제만이 이루어지고 있어 인축에 대한 증독, 농작물 잔류독성 및 농약의 하천유입에 의한 환경오염이 문제로 되고 있다. 그리하여 일부에서는 길항미생물을 이용한 생물학적 방제가 활발히 연구되고 있으나 이온수를 이용한 병해 방제에 대한 연구는 아직까지 국내에는 보고된 바 없다. 岩澤篤郎 등[9, 11]은 산화수가 항균작용이 있다고 하였으며, 芝 燁彦 등[18]은 강산성이온수중의 oxidants가 강력한 살균효과가 있다고 하였고, 김 등[7]은 고농도 이온수 발생장치에서 이온수 발생시 양극(+)측에서 강한 산성을 가지면서 살균력을 가지는 활성산소(O , O_3 , H_2O_2)와 활성염소 ($HClO$)가 다량 용존하게 된다고 하였다. 본 연구에서도 고추 역병균에 대한 산성이온수의 강한 살균력을 확인할 수 있었으며, 토양처리에서도 어느 정도까지는 병원균의 밀도를 떨어뜨릴 수 있었다. 그러나 산성이온수의 살균력을 농업에 응용하기 위해서는 산성이온수의 처리시기, 처리량 및 식물의 생육반응 등 많은 연구가 필요하다고 생각된다.

3. 이온수 처리에 의한 고추 발아 촉진효과

이온수의 pH 수준에 따른 고추종자 발아는(표 5.5) 산성이온수 처리시 pH 7.0에 비해 파종 후 6일째부터 급속히 촉진되었다(그림 5.4, 5.6). 알카리이온수를 처리하였을 경우 산성 이온수 처리에 비해 발아는 완만하게 진행되었으며 pH 10.0에서 가장 효과가 좋았다. 이온수의 pH 수준이 높아질수록 유근의 생육이 양호하였다(그림 5.5, 5.6). 산성 또는 알카리성 이온수 처리시 최종적인 발아율은 pH 11.5수준의 86%를 제외한 처리구에서는 90%이상으로 pH 수준에 따른 차이는 없었으나, 발아에 소요되는 기간은 산성이온수 처리에서 발아시 1-2일, 발아기 2일, 발아종은 3-5일 정도 빠른 경향으로 발아에 촉진적으로 영향을 미쳤으나, 알카리이온수 처리구에서는 pH7.0에 비해 늦어지는 경향이였다. 산성이온수 pH2.5, 3.0에서는 발아후 생장이 되지 않았고, pH 10.0이상에서는 생육촉진효과가 현저하였다.

표 5.5 이온수 pH 수준에 따른 고추종자 발아 특성

Table 5.5 Germination characteristics as affected by different pH levels

pH level	Germination				Fresh wt. (g/50seeds)
	Initiation ^{z)}	Period ^{y)}	Final ^{x)}	Rate (%)	
2.5	3	5	6	98.6	0.40
3.0	2	5	6	98.0	0.45
3.5	1	5	6	97.2	0.90
4.0	1	5	8	96.0	1.48
7.0	3	7	11	94.0	1.98
10.0	3	7	11	91.2	1.98
10.5	5	7	11	91.2	2.03
11.0	5	11	12	91.2	1.71
11.5	6	8	11	86.0	1.75

x: germinating rate was 80%; y: 40% ; z: first germinating days.

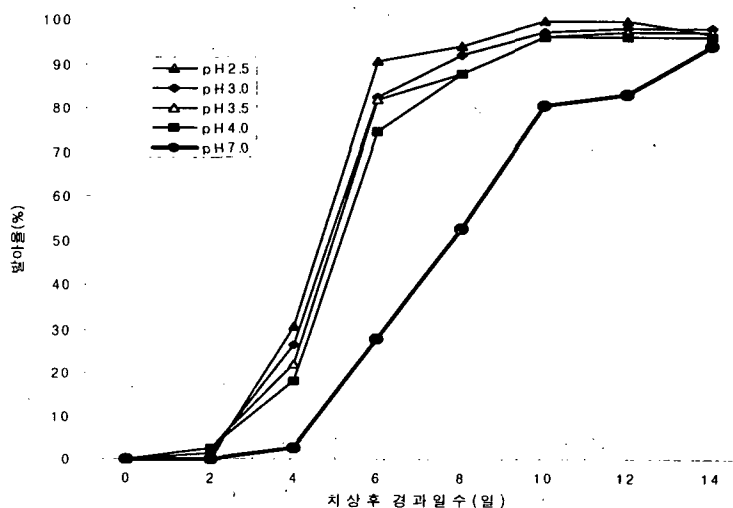


그림 5.4 산성이온수의 pH 따른 고추종자 발아율의 변화

Fig. 5.4 Changes of seed germination as affected by acidic electrolytic water in hot pepper (*C. annuum*)

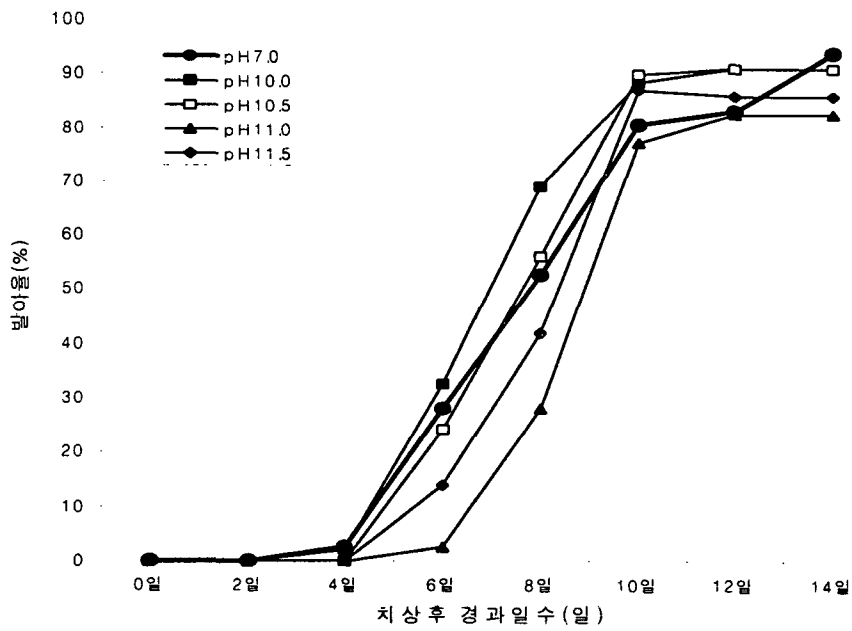


그림 5.5 알칼리 이온수의 pH 따른 고추종자 발아율의 변화

Fig. 5.5 Changes of seed germination as affected by alkali electrolytic water in hot pepper (*C. annuum*)

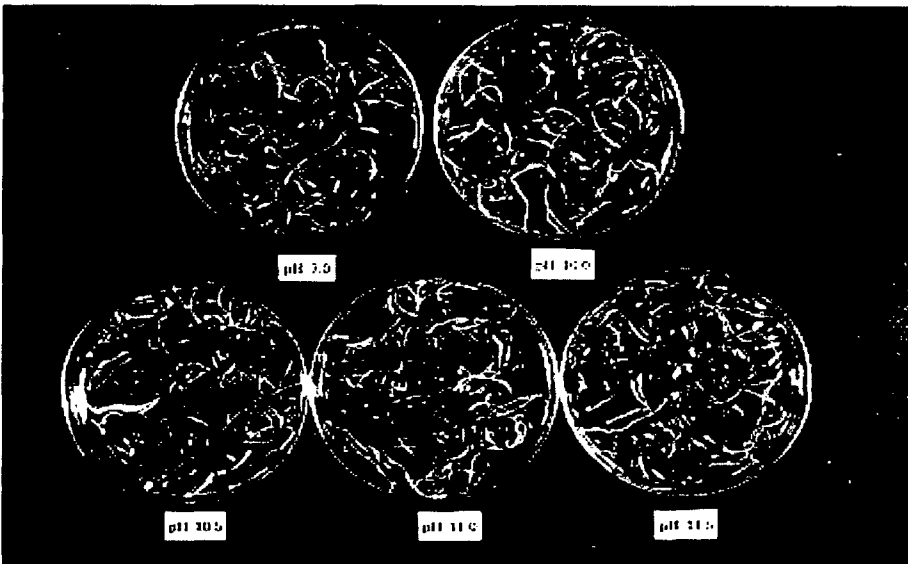
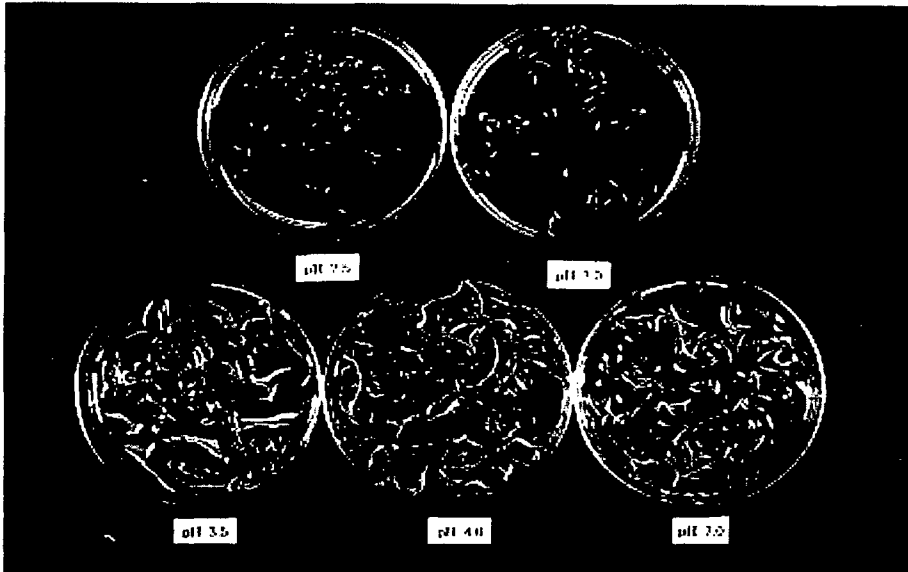


그림 5.6 19일 후 pH 수준에 따른 강이온수의 고추종자 발아특성

Fig. 5.6 Changes of seed germination on different pH levels of electrolytic water in hot pepper(*C. annuum*) for nineteen days.

4. 이온수 처리에 의한 고추 양액재배시 초기생장 촉진효과

이온수 처리시 초장, 엽면적, 건물중 등 묘생육은(그림 5.7) 금탑, 수비초 모두 알카리이온수인 pH10.5 - 11.0이 산성이온수 pH3.0 처리에 비해 양호하였으나 pH11.5에서는 떨어지는 경향이였다. 경경은 pH 수준간에 차이가 적으나 중성인 pH 7.0에서 굵은 경향을 보였으며, 산성이온수는 pH가 낮을수록 알카리이온수는 pH가 높아질수록 작아지는 경향이였다. 건묘지수를 나타내는 T/R율은 지상부의 생육이 떨어지는 산성이온수 처리시 낮은 경향을 보였다.

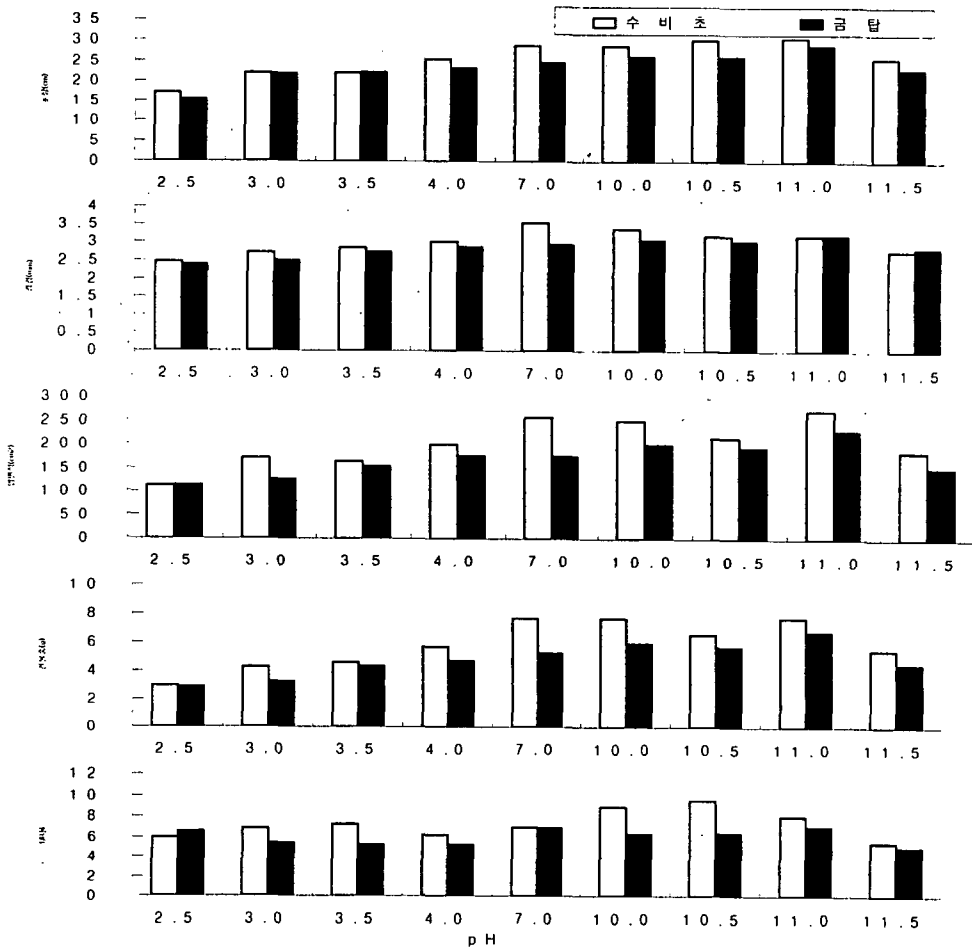


그림 5.7 이온수 처리에 의한 고추 양액재배시 초기생장 촉진효과

Fig. 5.7 Early growth responses of seedlings as affected by different electrolytic waters for thirty days after transplanting.

산성이온수 pH 수준별 처리에 따른 고추의 생장해석을 보면(표 5.6, 그림 5.8) 이온수에 양액을 공급하였을 때 산성이온수에 비해 알카리이온수 처리구가 전반적으로 초장 및 엽면적 증가효과가 현저하였으며 상대생장율도 높은 경향이었다. 그러나 상토에 이온수를 처리하였을 경우 처리간 일정한 경향이 없었으며 pot에 이식후 40일이 상 경과시 상토내 양분소모로 초장신장과 엽면적이 증가가 둔화되었다. 이온수의 pH 수준별로 고추 양액재배시 식물체내 무기성분의 흡수율을 보면(그림 5.9) 전질소 및 인산함량은 20DAT에서 높고 일수가 경과될수록 흡수율이 낮아지는 경향을 보였다. 이온수 pH 수준별로 보면 pH7.0에서 가장 높고 강산성이온수 또는 알카리이온수를 공급할수록 흡수율이 저하되는 경향을 보였다. K함량은 산성이온수에 비해 알카리이온수로 갈수록 흡수율이 높아지는 경향으로 60DAT에서 흡수율이 높은 것으로 나타났다. Ca의 흡수율은 이온수의 pH 수준간에는 차이가 없는 것으로 보여지며 흡수되는 시기는 20DAT에서 가장 높고 후기로 갈수록 흡수율이 낮아졌다. Mg함량은 강산성수 pH2.5와 알카리 이온수 pH11.5에서 흡수율이 높았다. 이온수+상토 재배시 pH 수준에 따른 식물체내 무기성분 흡수율을 보면(그림 5.10) T-N 및 K함량은 양액재배와 같은 경향을 보였으며 K의 경우는 pH2.5의 강산성이온수나 pH10.5이상인 알카리이온수 공급시 흡수율이 저하되는 경향이었다. Ca함량은 pH 수준간에 있어 산성이온수 공급시 흡수율이 높았다.

이온수를 이용한 양액재배에서 T-N 및 K, Ca 흡수율은 생장일수가 경과 할수록 흡수율이 저하되는 경향이었고 K함량은 정식후 일수가 경과할수록 높아졌다가 서서히 떨어지는 경향을 보였다. 상토재배의 경우 T-N 및 P 함량은 양액재배와 같은 경향이 나 K, Ca, Mg 는 생장일수가 경과되어도 흡수율의 변화가 적은 경향을 나타내었다.

표 5.6 이온수 pH 수준별 처리에 따른 고추의 생장 해석

Table 5.6 Growth analysis as affected by different electrolytic water.

Treatment	Plant height (cm)			Leaf area (cm ²)			RGR(g/g/day) ²⁾		
	20DAT	40	60	20DAT ^{y)}	40	60	40DAT	60	
Electrolytic water +Solution	pH 2.5	7.7	7.3	5.6	12.3	19.9	12.1	0.003	-0.010
	3.0	9.4	17.2	23.8	27.9	158.0	250.8	0.074	0.074
	3.5	9.6	16.6	20.6	39.4	111.8	178.5	0.047	0.080
	4.0	10.0	19.3	22.9	40.5	165.8	239.1	0.070	0.098
	7.0	10.0	25.8	33.6	56.5	351.1	406.7	0.080	0.100
	10.0	11.3	28.1	38.4	53.6	293.2	453.6	0.079	0.114
	10.5	11.6	26.8	40.0	61.7	254.1	431.3	0.072	0.108
	11.0	11.5	25.4	42.1	58.4	241.2	490.8	0.071	0.089
	11.5	10.1	22.9	31.8	39.1	192.7	343.0	0.077	0.134
Electrolytic water +Bed soil	pH 2.5	9.1	19.6	20.9	38.8	144.8	99.4	0.067	0.070
	3.0	10.6	24.7	27.2	59.8	193.0	124.5	0.062	0.061
	3.5	10.4	22.7	27.1	58.2	164.0	185.3	0.059	0.069
	4.0	9.6	19.4	26.9	50.2	137.3	153.5	0.056	0.064
	7.0	9.2	23.8	28.3	46.3	175.7	210.1	0.067	0.086
	10.0	9.0	20.8	25.4	45.3	119.8	108.9	0.051	0.062
	10.5	9.5	23.6	27.6	49.4	176.4	164.8	0.069	0.077
	11.0	8.8	19.9	20.0	44.1	127.0	119.3	0.052	0.061
	11.5	8.9	19.4	25.3	36.8	120.7	176.5	0.063	0.086

^{y)} DAT : Days After Transplanting ^{z)} RGR : Relative Growth Rate



그림 5.8 이식후 30일경과시 이온수의 pH에 따른 고추의 초기생장

Fig. 5.8 Early growth of seedlings as affected by different electrolytic waters for thirty days after transplanting.

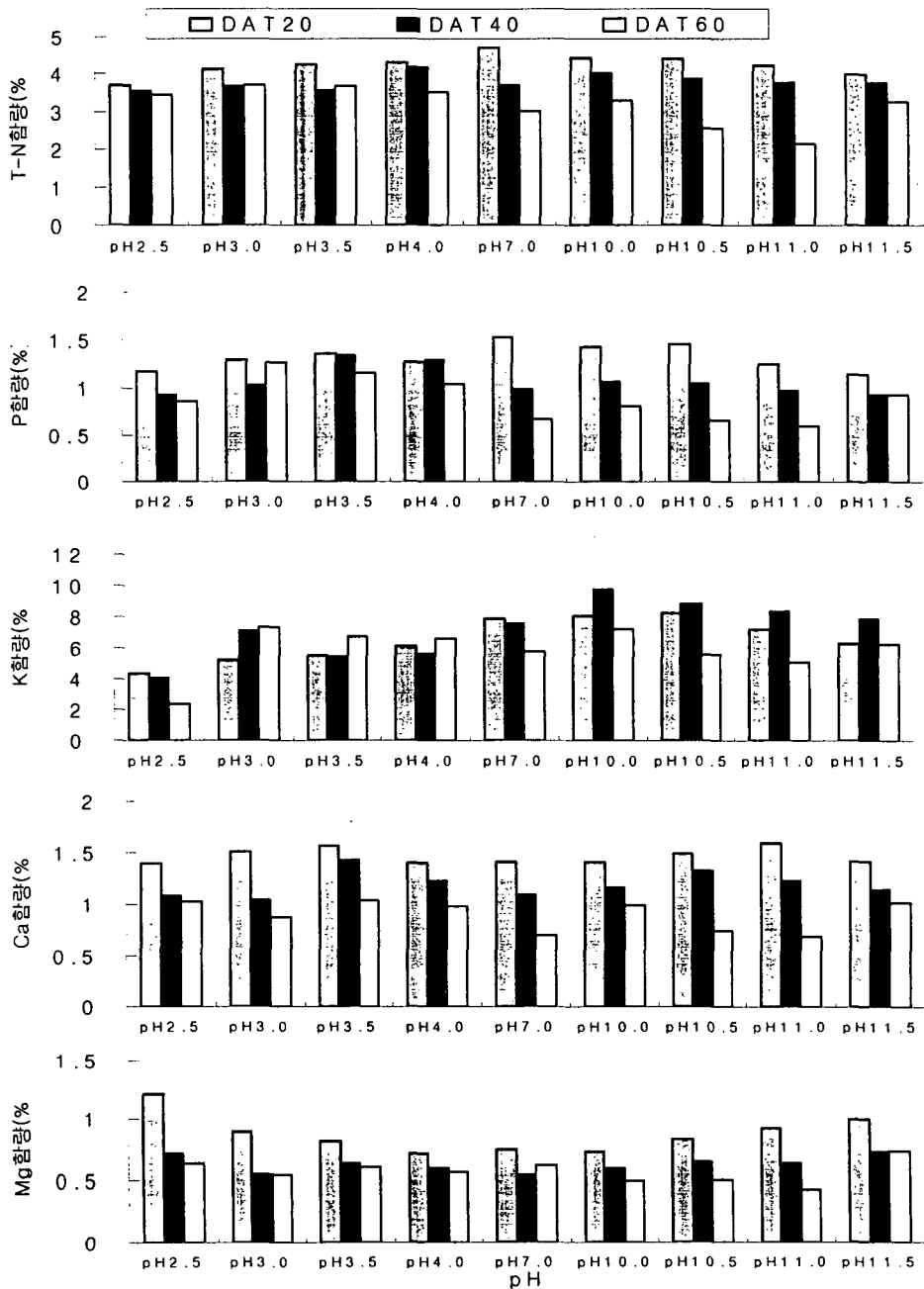


그림 5.9 이온수의 pH 수준별 고추 양액재배시 식물체내 무기성분의 흡수율
 Fig. 5.9 Composition of inorganic elements at different pH levels of electrolytic water in solution culture.

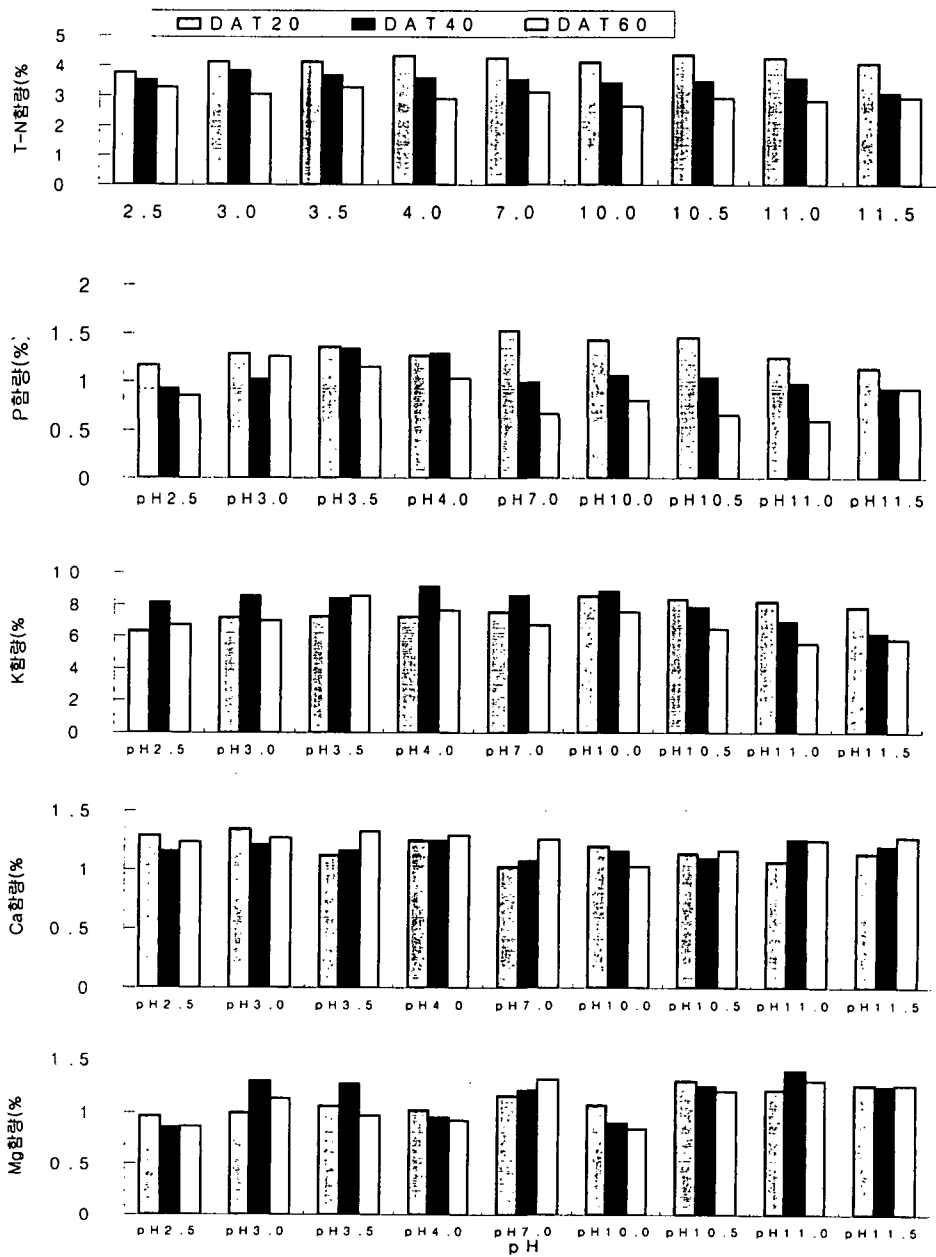


그림 5.10 이온수+상토 재배시 pH 수준에 따른 식물체내 무기성분 흡수율
 Fig. 5.10 Composition of inorganic elements at different pH levels of electrolytic water in bed soil.

5. 고추 주요 병에 대한 이온수의 효과

1998년도 1년차 이온수의 농도별 처리방법에 따른 고추의 역병방제효과를 보면 표 5.7과 같다. 처리농도 및 방법에 따른 역병 발병율이 저조하여 시판종인 금탑의 경우 방제효과에는 큰차이가 없었으나, 역병에 약한 수비초의 경우는 pH3.0농도의 이온수를 관주하였을 때 접종전 1회 또는 접종후 1회 + 5일간격 3회관주보다 접종후 5일간격으로 계속 관주하여 주는 것이 발병율이 낮은 경향이였다. 또한 pH3.0/11.0 농도의 이온수 처리시 발병율이 높게 나타났는데 이는 산성이온수 관주 후 알카리이온수를 관주하여 주므로 방제효과가 떨어진 것으로 생각된다. 처리농도 및 방법에 따른 생육은 뚜렷한 차이가 없었다. 1년차 시험에서 전반적으로 역병 발병율이 낮은 이유는 비가림하우스 재배시 역병 균주를 처리하고 난 후 고온 및 건조 등으로 인해 역병균 활성이 떨어진 것으로 생각된다.

처리방법을 달리한 1999년도에 수정한 이온수의 pH 수준 및 처리방법에 따른 방제효과를 보면(표 5.8) 초장은 산성이온수 또는 무방제구에서 작은 경향이였고, 과중은 pH3.0 또는 pH3.0/11.0처리구에서 살포간격이 짧을수록 무거운 경향이였다. 병발생 정도는 재식주 모두에서 역병이 발병하여 토양내 관주시 토양의 완충능으로 인한 급격한 pH의 변화로 이온수의 살균력이 저하되는 것으로 보여진다. 산성이온수를 이용한 역병 방제시 포장내 유주자의 밀도가 높아짐에 따라 토양이 충분히 젖도록 관주량을 늘려야 할 것으로 생각된다.

표 5.7 1998년도 1년차 이온수의 농도별 처리방법에 따른 고추의 역병방제효과
 Table 5.7 Controlling effects of *Phytophthora capsici*, as affected
 by different pH levels of electrolytic water and application
 methods(1998).

Cultivars	Treatments		Plant height(cm)	Stem diameter (mm)	No. of branches	Infected plants (%)
Kumtap	pH 3.0	A	69.5	9.9	10.1	20
		B	83.6	10.2	9.8	13
		C	73.1	9.7	9.7	20
	pH 7.0	A	79.7	10.4	10.2	13
		B	80.2	8.8	10.2	27
		C	75.7	9.9	10.0	20
	pH 3.0/11.0	A	75.6	10.8	10.2	20
		B	79.3	10.3	9.9	0
		C	77.1	9.8	9.8	27
Subicho	pH 3.0	A	76.8	9.7	10.9	27
		B	79.3	8.9	11.7	27
		C	86.7	10.0	11.9	13
	pH 7.0	A	79.0	9.5	11.4	20
		B	85.1	8.5	11.7	20
		C	76.5	9.1	12.1	13
	pH 3.0/11.0	A	69.4	9.0	11.8	40
		B	83.7	8.7	12.1	33
		C	82.3	8.9	12.0	33

A : One time before inoculation.

B : One time after inoculation/ 3times with five intervals.

C : Five intervals after inoculation.

표 5.8 1999년도에 수정한 이온수의 pH 수준 및 처리방법에 따른 방제 효과

Table 5.8 Controlling effects of *Phytophthora capsici*, as affected by different pH levels of electrolytic water and application methods(1999).

Treatment (after inoculation)	Plant height (cm)	Stem dia. (mm)	Node of branches	Fruit			Infected <i>P. capsici</i> . (%) ^y	Infected <i>C. gloeosp</i> <i>orioides</i> (%) ^z	Yield (kg/10a)	
				length (cm)	Dia. (mm)	fresh wt. (g)				
pH3.0	A	76.1	11.3	10.4	11.2	18.3	9.6	100	5.6	180
	B	77.9	10.7	10.7	11.2	18.9	7.7	100	4.8	161
pH3.0/ 11.0	A	82.8	11.1	10.1	11.0	20.1	8.4	100	4.2	189
	B	84.8	11.6	11.0	10.2	19.8	7.6	100	4.8	153
Conventional		83.2	10.9	10.7	10.8	18.6	8.6	100	4.5	181
Untreated control		79.7	11.1	10.7	11.0	17.1	7.5	100	4.3	159

^{y)} Rate of infected plant : infected plant/total plant×100,

^{z)} Rate of infected fruit : infected fruit/ total fruit×100

A : 3 times/5day interval, B: 3times/10day interval.

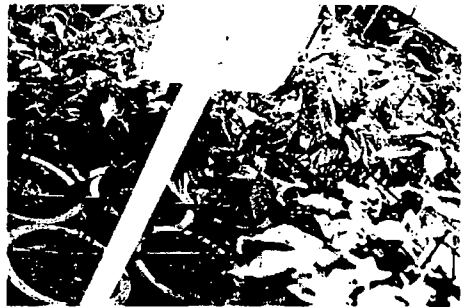


그림 5.11 비닐하우스 내의 고추의 역병발병 상태

Fig. 5.11 Overview of green house for *phytophthora* blight in hot pepper.

1998년도 1년차 시험 결과 이온수의 처리농도 및 처리방법에 따라 탄저병방제효과가 인정되었다(표 5.9). 금탑의 경우 pH3.0, 3.0/11.0처리에서 탄저병균 접종전 1회 이온수만 처리하였을 때 이병주율이 10~20%인데 비해 접종후 1회+5일간격으로 3회 또는 접종후 5일간격으로 계속 살포하였을때 전혀 이병주가 발생되지 않았으며 pH7.0농도를 살포했을 때 처리방법에 관계없이 이병주가 나타났다. 수비초의 경우는 재래종으로서 탄저병에 약하여 전반적으로 이병율이 높은 경향이었으나, 산성이온수를 처리에서 이병주율이 감소하는 경향을 나타내어 이온수처리가 고추 탄저병방제에 이용가능성이 있는 것으로 생각된다. 처리농도 및 방법에 따른 생육정도는 강산성수 살포후 알카리수를 살포하여 주었을 때 생육이 좋은 편이었으며, 산성수 살포에 의한 장해는 나타나지 않았다.

1999년도 2년차 시험에서 탄저병균을 고압분무 접종후 이온수의 방제효과를 보면(표 5.10, 그림 5.12) 생육 및 과특성은 관행방제구가 가장 좋았고, 이온수처리가 무방제구에 비해 양호한 경향을 보였다. 탄저병 이병과율은 무방제구 44.2%에 비해 이온수처리구가 30.7-32.6%로 이병과율이 낮았으나 통계적인 유의성은 없었으며 관행방제구에서 9.5%로 가장 낮았다. 수량성은 이병과발생율이 낮은 관행방제구에서 가장 높았으며 이온수 처리구가 무방제에 비해서 높은 경향을 보였다.



그림 5. 12 탄저병의 접종

Fig. 5.12 Inoculation of *C.gloeosporioides*



(a) acid water (pH 3.0)



(b) acid/alkali water (pH 3.0/11.0)



(c) control (pH 7.0)

그림 5.13 이온수의 농도별 처리방법에 따라 탄저병방제효과

Fig. 5.13 Photos of controlling effects of *C. gloeosporioides* as affected by different pH levels of electrolytic water

표 5.9 1998년도 1년차 이온수의 농도별 처리방법에 따른 탄저병방제효과

Table 5.9 Controlling effects of *C.gloeosporioides* as affected by different pH levels of electrolytic water and application methods(1998).

Cultivars	Treatments		Plant height (cm)	Stem dia. (mm)	No. of branches	Infected <i>C.gloeosporioides</i> (%)
Kumtap	pH 3.0	A	80.5	10.6	11.0	20
		B	73.8	9.6	9.7	0
		C	75.7	9.1	10.5	0
	pH 7.0	A	82.3	9.7	10.0	20
		B	74.7	9.6	10.7	20
		C	79.7	9.4	10.5	10
	pH 3.0/11.0	A	81.7	9.8	10.8	30
		B	79.3	9.7	10.5	0
		C	86.5	9.1	11.0	0
Subicho	pH 3.0	A	89.8	8.6	13.1	40
		B	82.5	9.7	12.5	20
		C	84.8	9.6	12.8	20
	pH 7.0	A	84.0	8.9	11.8	60
		B	85.7	9.4	13.0	90
		C	87.8	12.2	13.0	30
	pH 3.0/11.0	A	75.3	8.9	12.5	70
		B	85.8	9.5	13.2	50
		C	85.3	9.3	12.5	40

A : One time before inoculation.

B : One time after inoculation/ 3times with five intervals.

C : Five intervals after inoculation.

표 5.10 1999년도 2년차 이온수의 농도별 처리방법에 따른 탄저병방제효과

Table 5.10 Controlling effects of *C. gloeosporioides* as affected by different pH levels of electrolytic water and application methods(1999).

Treatment (after inoculation)	Plant height (cm)	Stem dia. (mm)	Node of branches	Fruit			Infected <i>C. gloeosporioides</i> (%) ^{y)}	Infected <i>O. sicula</i> (%) ^{x)}	Yield (kg/10a)	
				length (cm)	Dia. (mm)	fresh wt. (g)				
pH3.0	A	125.7	10.0	12.2	11.0	19.2	14.1	30.4 ab	3.9	146
	B	128.3	10.5	12.0	11.0	19.1	13.6	32.6 a	4.7	112
pH3.0/ 11.0	A	132.3	10.7	12.3	10.9	19.4	13.5	30.7 ab	4.5	131
	B	126.5	10.2	12.3	11.1	16.8	12.3	26.9 ab	5.4	125
Conventional		133.8	10.4	12.2	13.0	19.5	14.4	9.5 b	4.3	172
Untreated control		127.1	10.4	12.5	10.6	18.2	11.8	44.2 a	6.9	111

^{x)} Disease occurred degrees(0-9) = 0: perfect, 1: below 10% of leaf area, 3 : 11 ~ 30%, 5 : 31 ~ 60%, 7 : 61 ~ 80%, 9 : above 81%.

^{y)} Rate of infected fruit : infected fruit/ total fruit×100

A : 3 times/5day interval, B: 3times/10day interval.

DMRT 0.05

이온수의 농도 및 처리방법에 따른 흰가루병 방제효과를 보면 표 5.11과 같다. 흰가루병 역시 품종간에 발병차이가 심하였다. 금탑의 경우 pH7.0농도에서는 발병정도가 매우 심하였고 pH 3.0처리구가 pH 3.0/11.0처리구보다 발병정도가 낮아 강산성수 살포 후 알카리수를 살포하므로 방제효과가 떨어지는 것으로 보인다. 수비초의 경우는 흰가루병 발병정도가 낮았으나 산성수를 처리하므로 역시 발병정도가 감소하는 하는 경향이였다. 생육상황을 보면 흰가루병은 잎뒷면에 발병하여 광합성에 직접적인 장애를 주고 진전정도에 따라 낙엽이 되므로 발병정도가 심한 pH7.0처리구의 생육이 매우 저조한 경향이였다. 이온수의 처리방법을 달리한 1999년 2년차 시험에서의 흰가루병의 발생정도를 보면(표 5.12, 그림 5.14) 무방제구에 비해 이온수와 관행방제구에서 낮은 경향을 보였고 통계적인 유의성이 인정되었으나 전반적으로 발병정도가 높은 경향이였다.

표 5.11 1998년도 1년차 이온수의 농도별 처리방법에 따른 흰가루병방제효과

Table 5.11 Controlling effects of *O. sicula* as affected by different pH levels of electrolytic water and application methods(1998)

Cultivars	Treatments		Plant height (cm)	stem dia. (mm)	No. of branches	Infected <i>O. sicula</i> (0-9)*
Kumtap	pH 3.0	A	74.3	8.9	9.7	3
		B	70.0	9.1	11.0	3
		C	77.0	11.5	10.3	3
	pH 7.0	A	67.5	8.3	10.0	9
		B	62.2	9.5	10.2	7
		C	61.3	8.5	10.2	7
	pH 3.0/11.0	A	66.5	9.3	10.8	5
		B	66.7	9.3	10.0	5
		C	73.3	9.3	10.7	5
Subicho	pH 3.0	A	81.2	9.5	11.3	3
		B	78.3	9.8	11.8	1
		C	82.3	9.7	12.3	1
	pH 7.0	A	78.8	9.0	11.7	3
		B	82.9	9.8	13.0	3
		C	71.7	8.1	11.3	3
	pH 3.0/11.0	A	65.7	8.4	11.1	1
		B	59.5	8.3	10.7	1
		C	68.8	7.8	9.8	1

A : One time before inoculation.

B : One time after inoculation/ 3times with five intervals.

C : Five intervals after inoculation.

* Disease occurred degrees(0-9) = 0: perfect, 1: below 10% of leaf area, 3 : 11 ~ 30%, 5 : 31 ~ 60%, 7 : 61 ~ 80%, 9 : above 81%.

표 5.12 1999년도 2년차 이온수의 농도별 처리방법에 따른 흰가루병방제효과

Table 5.12 Controlling effects of *O. sicula* as affected by different pH levels of electrolytic water and application methods(1999)

Treatment (after inoculation)	Plant height (cm)	Stem dia. (mm)	Node of branches	Fruit			Infected <i>C. gloeosp</i> <i>orioides</i> (%) ^{y)}	Infected <i>O. sicula</i> (%) ^{x)}	Yield (kg/10a)	
				length (cm)	Dia. (mm)	fresh wt. (g)				
pH3. 0	A	129.0	11.7	13.5	10.8	19.0	11.9	5.6	5.5bc	176
	B	129.1	10.8	13.5	11.0	19.1	11.7	7.1	6.2b	167
pH3. 0/11 .0	A	142.2	11.1	14.2	11.1	18.9	13.0	6.6	6.1b	191
	B	133.8	11.5	13.7	11.1	19.6	13.8	6.5	6.5b	203
Conventional	149.3	11.2	14.1	11.1	19.5	12.6	9.2	4.5c	185	
Untreated control	147.3	11.6	13.8	11.3	20.2	13.8	7.5	8.2a	202	

^{x)} Disease occurred degrees(0-9) = 0: perfect, 1: below 10% of leaf area, 3 : 11 ~ 30%, 5 : 31 ~ 60%, 7 : 61 ~ 80%, 9 : above 81%.

^{y)} Rate of infected fruit : infected fruit/ total fruit×100

A : 3 times/5day interval, B: 3times/10day interval.

DMRT 0.05

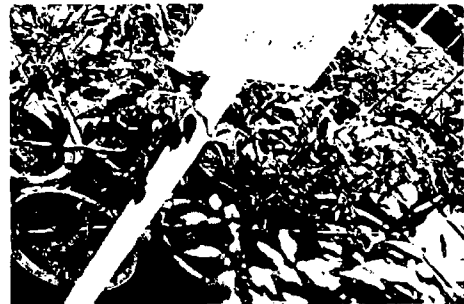


그림 5.14 비닐하우스 내의 고추의 흰가루병발병 상태

Fig. 5.14 Overview of green house for powdery mildew in hot pepper.

6. 재배형태에 따른 고추 병해 방지 효과

1998년 1년차 비가림 하우스재배의 경우 전반적인 생육상황은 산성이온수 또는 알카리수처리구에서 pH7.0처리구에 비해 생육이 양호한 경향이였다(표 5.13). 주요 병해 발생정도는 비가림하우스에서는 흰가루병 발병이 심하였으며, 역병 및 탄저병의 경우는 발병율이 약하여 처리간 경향을 알 수 없으나 이온수를 살포하여 줌으로 발병율이 저하되는 것으로 생각된다. 흰가루병의 방제 효과는 산성이온수 또는 산성수/알카리이온수를 살포하므로 발병정도가 저하되는 경향에서 고추 병해방제시 적용이 기대된다.

표 5.13 1년차 하우스재배 시험에서 재배형태별 이온수 처리에 따른 생육 및 병발생정도

Table 5.13 Major disease controlling effects as affected by different pH levels of electrolytic water and application methods in green house(1998)

Cultivars	Treatments	plant height (cm)	Stem length (cm)	Stem dia. (mm)	No. of branches	Yield (g/plant)	Disease injury		
							<i>P. capsici</i> (%)	<i>C. gloeosporioides</i> (%)	<i>O. sicura</i> (0-9)*
Kumtap	pH 3.0	121.0	31.4	12.6	12.1	132	0	0	5
	pH 7.0	117.0	30.3	13.3	12.3	146	0	10	7
	pH 3.0/11.0	128.0	29.7	13.3	12.9	160	10	0	5
Subicho	pH 3.0	105.0	31.1	10.9	12.2	34	0	0	1
	pH 7.0	93.0	32.0	10.3	12.0	44	0	0	1
	pH 3.0/11.0	97.0	32.0	10.3	12.0	32	0	0	1

* Disease occurred degrees(0-9) = 0: perfect, 1: below 10% of leaf area, 3 : 11 ~ 30%, 5 : 31 ~ 60%, 7 : 61 ~ 80%, 9 : above 81%.

2년차 하우스재배 시험에서 재배형태별 이온수 처리에 따른 생육 및 병발생정도를 보면(표 5.14) 하우스재배에서는 생육 및 과특성간에 차이가 없었으며 탄저병이병을 은 무방제구에 비해 이온수와 관행방제구에서 이병과율이 낮은 경향이나 통계적인 유의성이 없었으며 흰가루병은 무방제구에서 발병정도가 높아 이온수처리구 및 관행방제구와의 유의성이 있었다. 10a당 수량성은 무방제구에 비해 pH 3.0처리구에서 조금 높은 경향을 보였다. 따라서 1,2년차 시험결과로 보면 하우스 재배에서 이온수를 살포함으로써 흰가루병 방제에는 효과가 있는 것으로 판단된다.

표 5.14 2년차 하우스재배 시험에서 재배형태별 이온수 처리에 따른 생육 및 병발생정도

Table 5.14 Major disease controlling effects as affected by different pH levels of electrolytic water and application methods in green house(1999)

Treatment	Plant height (cm)	Stem dia. (mm)	Node no of branches	Fruit			<i>C. gloeosporioides</i> (%) ^y	<i>O. sicula</i> (0-9) ^z	Yield (kg/10a)
				length (cm)	dia. (mm)	fresh wt. (g)			
pH 3.0	152.3	13.5	14.5	10.4	19.6	13.8	1.4a	3.5b	216
pH 3.0/11.0	157.4	13.2	14.2	10.2	19.7	13.4	0.8a	3.8b	187
Conventional	152.5	13.3	14.3	10.3	19.8	13.4	2.0a	3.0b	203
Untreated control	151.7	14.0	14.7	10.5	20.6	13.0	4.4a	7.3a	203

^{x)} Disease occurred degrees(0-9) = 0: perfect, 1: below 10% of leaf area, 3 : 11 ~ 30%, 5 : 31 ~ 60%, 7 : 61 ~ 80%, 9 : above 81%.

^{y)} Rate of infected fruit : infected fruit/ total fruit×100

DMRT 0.05

노지재배에서의 이온수 처리효과를 보면 (표 5.15) 이온수의 pH 수준에 따른 고추 생육은 pH3.0, pH3.0/11.0 처리구에서 전반적인 생육이 양호하였으며 강산성이온수 처리구에서 탄저병이 병과율이 낮은 경향을 보였고, 흰가루병의 경우에도 같은 경향을 보였다. 특히 1998년을 시험 수행 포장에서 흰가루병 발생이 심하여 이온수 처리에 의한 흰가루병 방제효과를 얻을 수 있었다.

1999년 2년차 시험 결과를 보면 (표 5.16) 전반적인 생육 상태 및 과 특성이 강이온수 처리구가 무방제구에 비해 좋은 편이나 관행방제에 비해서는 떨어지는 경향이며 주요병 발병율은 관행 방제구에 비해 높은 경향을 보였다.

이상의 결과로 볼 때 초고농도 이온수를 이용한 고추 병해 방제에 도입시 역병의 경우 발병억제 효과가 기대되나 토양내의 완충능을 고려한 관주량이 검토가 필요할 것으로 생각되며, 탄저병이나 흰가루병은 방제효과가 인정되어 적용가능성이 높은 것으로 생각된다. 따라서 실제 농가에 적용할 경우에는 신속하고 다량의 이온수를 생산할 수 있는 장치의 공급이 전제되어야 할 것으로 생각된다.

노지재배 작형에서도 생육 및 과특성은 하우스재배와 비슷한 경향을 보였고 역병 및 탄저병 발병율도 처리간 차이가 없었다. 수량성은 관행방제구와 pH3.0처리구에서 높은 경향이었다.

표 5.15 1년차 노지재배 시험에서 재배형태별 이온수 처리에 따른 생육 및 병발생정도

Table 5.15 Major disease controlling effects as affected by different pH levels of electrolytic water and application methods in open fields(1998)

Cultivar	Treatment	Plant height (cm)	Stem length (cm)	Stem dia. (mm)	No. of branches	Yield (g/plant)	Disease injury		
							<i>P. capsici</i> (%)	<i>C. gloeosporioides</i> (%)	<i>O. sicular</i> (0-9)*
Kumtap	pH 3.0	77.0	23.2	12.1	9.7	80	45	30.0	5
	pH 7.0	72.0	25.1	11.5	9.6	67	25	48.0	7
	pH 3.0/11.0	78.0	25.5	13.2	10.3	65	16	33.3	3
Subicho	pH 3.0	94.0	28.5	13.8	10.8	-	3	13.0	1
	pH 7.0	87.0	30.5	12.2	10.5	-	5	27.0	1
	pH 3.0/11.0	94.0	31.5	13.8	10.8	-	16	18.3	1

* Disease occurred degrees(0-9) = 0: perfect, 1: below 10% of leaf area, 3 : 11 ~ 30%, 5 : 31 ~ 60%, 7 : 61 ~ 80%, 9 : above 81%.

표 5.16 2년차 노지재배 시험에서 재배형태별 이온수 처리에 따른 생육 및 병발생정도

Table 5.16 Major disease controlling effects as affected by different pH levels of electrolytic water and application methods in open fields(1999)

Treatment	Plant height (cm)	Stem dia. (mm)	Node no of branches	Fruit			<i>C. gloeosporioides</i> (%) ^y	<i>O. sicula</i> (0-9) ^z	Yield (kg/10a)
				length (cm)	dia. (mm)	fresh wt. (g)			
pH 3.0	70.5	15.2	9.2	9.5	17.2	7.2	20.8a	3.3	238
pH 3.0/11.0	76.3	16.2	9.7	9.7	17.8	8.3	16.7a	3.5	225
Conventional	75.3	14.9	9.2	9.9	17.3	7.5	12.5a	3.2	255
Untreated control	73.2	15.5	9.3	9.4	17.4	7.3	18.1a	3.8	237

^{x)} Disease occurred degrees(0-9) = 0: perfect, 1: below 10% of leaf area, 3 : 11 ~ 30%, 5 : 31 ~ 60%, 7 : 61 ~ 80%, 9 : above 81%.

^{y)} Rate of infected fruit : infected fruit/ total fruit×100

DMRT 0.05

7. 역병 및 탄저병 발생 상습지 실증시험

역병상습지에서의 이온수처리시 생육은(표 5.17, 그림 5.15) 처리간 큰 차이가 없었으며 과특성은 pH3.0처리구와 관행방제구에서 무방제구에 비해 과장이 길고 과중이 무거운 경향이였다. 역병이병주율은 이온수 처리구에서 21.8- 24.0%로 관행방제구 및 무방제구에서 47.9-55.2%보다 낮은 경향이나 반복간 차가 커 통계적인 유의성은 없었으며 탄저병이병과율도 처리간 일정한 경향이 없었다.

표 5.17 역병상습지에서의 이온수 처리에 따른 생육 및 병발생정도

Table 5.17 Major disease controlling effects as affected by different pH levels of electrolytic water and application methods in habitual region

Treatment	Plant height (cm)	Stem dia. (mm)	Node no of branches	Fruit			<i>P. capsici</i> (%) ^{y)}	<i>C. gloeosporioides</i> (%) ^{x)}
				length (cm)	dia. (mm)	fresh wt. (g)		
pH 3.0	99.1	18.4	10.3	13.3	17.8	16.4	24.0a	6.2
pH 3.0/11.0	101.1	19.2	10.1	12.3	15.8	12.6	21.8a	3.1
Conventional	97.8	18.6	9.8	12.9	17.0	15.3	47.9a	3.0
Untreated control	99.4	19.1	10.9	12.3	16.5	13.9	55.2a	6.1

^{z)} Rate of infected fruit : infected fruit/ total fruit×100

^{y)} Rate of infected plant : infected plant/total plant×100,

DMRT 0.05

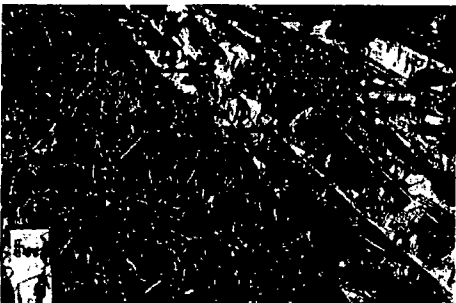
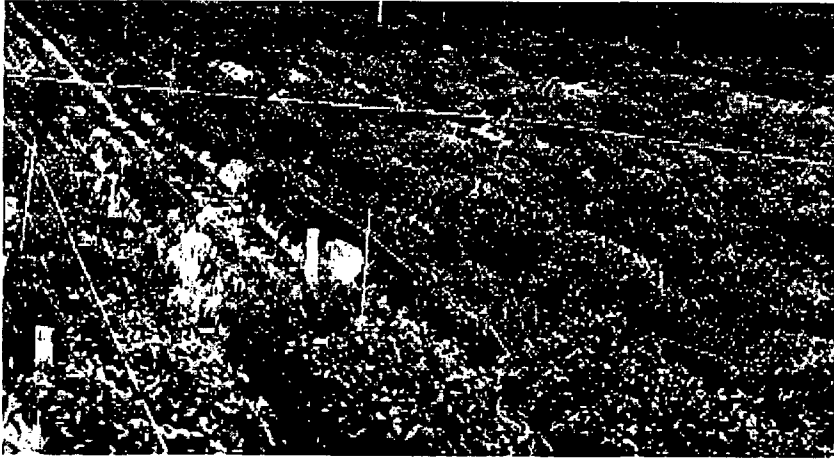


그림 5.15 역병 및 탄저병 상습지에서의 실증 시험

Fig. 5.15 Overview of habitual field *Phytophthora capsici*.

제4절 실험결과 및 결론

초고농도 이온수가 고추 주요 병해 및 생육에 미치는 효과를 구명한 시험결과는 다음과 같다.

고추 역병균(*Phytophthora capsici*)의 발육과 감염에 미치는 산성 이온수의 영향을 구명하기 위해 수행한 결과, 이온수의 pH를 2.5, 3.0, 3.5로 조정하여 역병균 유주자를 현탁한 후, 현탁액을 potato dextrose agar 배지에 1ml씩 분주했을 때 역병균은 발육하지 못하였으나, 멸균 증류수 pH를 0.5N HCl로 2.5, 3.0 3.5로 조정한 대조구에서는 역병균의 발육이 양호 하였다. 실제 토양에서 산성이온수의 처리시 역병균에 대한 살균력을 조사하기 위해 직경 10cm의 흑색 비닐 pot에서 50일 육묘한 고추묘에 유주자 현탁액의 농도를 $10^2 \sim 10^5$ 개/ml로 조정하여 5ml씩 접종한 후 산성이온수를 100ml씩 관주하여 20일 후에 조사한 결과, 산성이온수 처리구에서는 접종된 유주자 현탁액의 농도가 10^3 개/ml 이하일 경우에는 고추 뿌리에 발병이 되지 않았으나, 10^4 개/ml 이상 처리구에서는 발병이 진전되었고, 대조구인 멸균수 관주구에서는 유주자 현탁액 농도가 10^3 개/ml 이하에서도 뿌리가 갈변하여 심하게 발병되었다.

이온수 수준별 처리에 따른 고추 발아는 pH4.0이하에서 발아시가 빠르고 발아종도 5~6일 단축되었으나 유근의 생장이 알카리전해수인 pH7.0이상에 비해 저하되었다. 양액재배시 초장, 엽면적, 건물중은 pH4.0이하로 갈수록 낮아질수록 감소하였고, 알카리이온수인 pH7.0이상에서는 증가하는 경향이였다. 이온수 + 양액 재배시 산성이온수에서는 초장, 엽면적 등의 증가가 느리나 알카리이온수인 pH7.0이상에서는 성장속도가 빠르고 상대성장율도 증가하였다. 상토 + 이온수 재배시 이온수의 pH 수준간에 생육차가 적었으며 포트 정식후 40일 경과시 엽면적이 감소하였다. 이온수를 이용한 양액 재배시 식물체내 전질소 및 인산 함량은 20PAT에서 가장 높고 후기로 갈수록 감소하였다. 이온수 pH 수준에 따른 K 흡수율은 산성이온수에 비해 pH7.0이상인 알카리이온수에서 높은 경향을 보였다. Ca는 처리간 함량차가 적었으며, Mg는 강산성인 pH2.5와 알카리 전해수인 pH11.5에서 높았다.

상토+양액재배시 전질소 및 인산 흡수율은 양액재배와 같은 경향이나 K는 pH7.0이하 약산성이온수에서 흡수율이 높았고, Ca는 이온수 pH수준간에 차이가 없었으나 20DAT 이후 감소하는 경향이였으며, Mg은 양액재배에 비해 흡수율이 높은 경향이였다.

화분(역병) 또는 포장에서(탄저병, 흰가루병)에서의 고추 주요 병 접종후 산성이온수의 방제효과는 역병의 경우 100% 고사하였으며, 탄저병은 무방제에 비해 이병과율이 낮으나 통계학적 유의성이 없었으며, 관행방제(약제방제)효과에 미치지 못하였다.

흰가루병의 경우에도 전반적으로 발병정도가 높은 경향이나 관행방제에서 발병정도가 가장 낮았으며, 산성이온수, 관행방제, 무처리간 통계학적 유의성이 인정되었다.

재배형태별 산성이온수 처리시에도 흰가루병을 제외하고는 처리농도 및 방법간 유의성이 인정되지 않았다.

따라서 산성이온수만으로 고추에 발생하는 주요 병을 방제하기에는 어려울 것으로 생각되며 농약과 교호살포, 살포간격의 조절 등 이온수의 효과를 높이기 위한 다각적인 시험이 수행되어야 될 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Arnold, E. G. 1971. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 13th ed. pp. 271-273. Amer. Public Health Assn.
2. 浅井昭土郎. 1995. 酸化電位水による殺菌効果と変異原性の検討. 菌基礎誌 37 : 152-161.
3. Barksdale, T. H., Papavizas, G. S., and Johnston, S. A. 1984. Resistance to foliar blight and crown rot of pepper caused by *Phytophthora capsici*. *Plant Disease* 68 : 506-509.
4. 최우직, 박창석. 1982 비닐하우스내 채소재배의 생육기별 역병 발생 상태에 관하여. 경상대학교 논문집 21 : 87-93.
5. 홍순성. 1990. 고추역병균 길항균 *Pseudomonas cepacia*의 입제제형 및 활성. 한국식물병리학회지 6(4) : 434-439.
6. 一色由紀恵. 1991. アクア酸化水による消癘の効果. 醫學検査 40 : 787.
7. 岩澤篤郎. 1993. アクア酸化水の抗菌生物効果. 臨床検査 37 : 918-919.
8. 岩澤篤郎. 1993. 臨床分離株の對するアクア酸化水の效果. 日環感 8:11-16.
9. 岩澤篤郎, 中村郎子. 1993. アクア酸化水の抗菌生物効果 I -エソテウイルス, 抗酸菌, 真菌に對よる作用-. 臨床と微生物 20 : 469-473.
10. 岩澤篤郎, 中村郎子. 1993. アクア酸化水の抗菌生物効果 II - 他消毒藥との 竝用-. 日環感 9 : 7-12.
11. 김충희, 김병수, 김승철. 1979. 고추역병에 대한 저항성 검정과 방제에 관한 시험. 농기연시험연구보고서 pp. 219-240.
12. 김진규, 문재덕. 1997. Pulse 전압에 의한 수중이온 분리특성. 전기학회 방전 고전압연구회 pp. 202-212.
13. 김수순, 박창석, 최진식. 1985. 전염원의 농도 고추묘령 및 온도가 고추역병 발생에 미치는 영향. 한국식물보호학회지 24(3) : 117-121.
14. 경북농촌진흥원 1997. 경북의 농업주요지표 pp. 2-3.
15. 농촌진흥청. 1995. 농작물 병해충 발생예찰 요강 p 77.
16. 박경석, 장성완, 김충희, 이은중. 1989. 고추역병에 대한 생물학적 방제 연구 III, *Phytophthora capsici*의 길항균 *Trichoderma harzianum*과 *Pseudomonas cepacia*제형 및 보존. 한국식물병리학회지 5(2) : 131-138.
17. 芝燁彦, 芝紀代子. 1996. 強電解水ハソドブツク. 菌學情報社 pp. 23- 33.
18. 유연현, 박성구, 최관순. 1981. 고추역병균(*Phytophthora capsici* Leo- nian)의 유주자낭 형성 및 균사 생장에 미치는 몇가지 요인. 한국식물보호학회지 20(2) : 107-111.

제 6 장 연구결과 종합결론

1. 이온수 장치 개발 및 농작물 실증연구 결과

가. 고효율 초고농도 이온수제조장치 설계제작 및 개발

종래형의 강이온수 발생장치는 이온집속 및 전해작용을 일으키는 전극이 매우 좁은 편평형이며, 직류전압을 인가하는 것이다. 따라서 이온분리집속 능력이 부족하여 전해작용도 작고, 따라서 효율이 높지 못한 단점이 있는 것이다.

본 연구에서는 수류속도와 공간전하제한 작용을 완화하고, 이온집속전계를 높이며, 수중 산소기포방전을 유발시켜서 이온분리집속능력과 전해효율은 크게 올릴수 있는 구조를 제안하고 이를 실험적으로 확인하여서 아래와 같은 결과를 얻었다.

(1) 유전체 소구가 충전된 전해장치의 강이온수 발생특성

강이온수 발생면적이 $20 \times 6 \times 0.5 \text{cm}^3$ 인 장치내에 비유전율이 10000인 BaTiO_3 유전체 소구를 충전하고 수도수만을 인입한 경우 pH 2.70과 pH 11.69의 이온수를 얻었으며, 염화나트륨 0.1 [wt%] 용해된 수도수의 경우 pH 2.36과 pH 12.03의 효과적인 이온수를 발생시킬 수 있었다. 그리고 BaTiO_3 와 같은 유전체 소구를 충전한 경우가 충전하지 않은 경우에 비해서 강알카리 이온수의 경우 약 10배, 강산성 이온수의 경우 약 100배의 높은 이온수를 실험적으로 얻을 수 있었다.

(2) 슬릿형 평행평판전극계에서의 강이온수와 산화성물질 발생특성

전극형상을 슬릿형으로 형성한 결과 슬릿 측면에서 전계분포를 집중시킬 수 있었고, 슬릿 측면등에서 발생된 산소방전을 유발시켜 수중 전기분해작용을 크게 증가시켰다. 그리고 슬릿형 전극에 유통개부를 만들어 전극간에 공간전하효과를 크게 감소시킨 결과, 수도수를 인입수로 사용하고 구형파 펄스전류가 2.0 [A], 인입수의 유속이 0.5 [LPM]일 때 pH 3.0, 3.6[ppmm], pH 11.61, 1.1[ppmm]의 강이온수를 얻었으며, 염화나트륨 0.1 [wt%]가 용해된 수도수를 인입한 경우 pH 2.6, 23.2[ppmm]의 강산화성물질 용존 강산성 이온수와 pH 12.34, 1.5[ppmm]의 강산화성물질 용존 강알카리 이온수를 발생시켰다.

(3) 3전극형 평행평판전극계 이온수 장치의 강이온수 및 산화성물질 발생특성

슬릿형 3전극을 설정하고, 시비율(duty)이 50%로 고정된 펄스전원의 펄스지속시간(t_{on})을 변화시켰을 때, 원료수가 수도수인 경우 2 [A], 250 [V]부근에서 pH 2.8의 강산성수와 pH10.5의 강칼리수를 발생시켰으며, 염화나트륨이 0.1

[wt%]용해된 수도수를 원료수로 사용한 경우 2 [A], 25 [V]부근에서 pH2.4의 강산성수와 pH11.0의 강알칼리수를 발생시킬 수 있었으며 인가전류, 전압을 5 [A], 50 [V]로 높이면 pH 2.2, 약 22[ppmm]의 강산성수와 pH 12.0의 강알칼리수까지 얻을 수 있었다.

나. 시설채소 및 농작물의 초고농도 이온수에 의한 발아 및 성장촉진효과와 장애작용

(1) 산성 및 알칼리성이온수에 의한 발아특성

오이와 고추의 강산성이온수중의 발아율이 각각 2.5배 및 3배정도 매우 높았으나, 강알칼리성 수중에는 비교적 낮은 발아율을 나타내었다. 그러나, 대두의 경우는 강산성 및 알칼리성수 모두 발아율이 높지 못했다.

(2) 산성 및 알칼리이온수에 의한 초기생장특성

산성 및 알칼리이온수 대두의 초기생장특성으로서 생장길이, 생체량, 엽록소함량, 건량 등을 조사결과, 생장길이는 산성이온수의 경우가 10~30% 길었으며, 생체량은 알칼리이온수의 경우가 10~20% 높았으며, 엽록소 함량은 산성, 알칼리이온수 모두 2~3배 높았다. 건량의 경우 pH3~11의 경우는 큰 차이가 없으나 아주 높은 pH2.5나 pH11.5의 경우 현저히 감소했다.

(3) 산성 및 알칼리이온수가 유식물의 엽록소 형광패턴에 미치는 영향

산성, 알칼리이온수가 엽록소 형광 패턴에 미치는 영향을 조사한 결과, 대두와 보리잎에서 광합성 중 광계 II의 광화학지표를 나타내는 Fv/Fm 값은 산성, 알칼리이온수 처리구에서 모두 활성이 유사하였다

(4) 강산성 이온수가 보리잎의 광합성 활성에 미치는 영향

강산성 이온수가 보리잎의 광합성 활성에 미치는 영향을 알아보려고 강산성이온수(pH 2.5)를 보리잎에 10분간 처리했을 때는 엽록소 a, b 그리고 carotenoid함량은 대조구에 비해 각각 약 12%, 16% 그리고 8% 감소하였다. 강산성 이온수(pH 2.5)를 10분간 처리한 보리잎의 Fo(광계 II의 반응중심이 모두 열렸을 때 안테나 색소로부터 방출되는 형광)는 대조구보다 7% 증가하였으나, Fv, Fm(광계 II의 반응중심이 모두 닫혀 전자 수용체 Q는 완전히 환원 상태에 있을 때의 형광) 그리고 Fv/Fm은 감소하였으며 특히 Fv/Fm은 대조구보다 17% 감소하였다. 이것으로 보아 강산성 이온수(pH 2.5)는 광계II에 심각한 손상을 줄 수 있다는 것을 알 수 있다.

그리고 엽록소 형광 소멸 요인을 분석했을 때 광화학적 형광소멸인 qP는 대조

구에 비해 61%나 감소한 것으로 보아 quinone의 산화환원이 억제되었다는 것을 알 수 있으며, 비광화학적 형광소멸인 qNP도 대조구에 비해 14% 감소하였다. 그리고 qI는 처리시간이 지속됨에 따라 증가하여 10분간 처리했을 때는 대조구에 비해 70%나 증가하였다. HCl (pH2.5) 용액으로 보리 잎을 처리했을 때에는 엽록소 형광에 거의 변화가 없는 것으로 보아 산성 이온수에는 H⁺ 이온 이외의 물질이 작용하는 것으로 추측된다. 그러나, 산성 이온수의 pH가 낮을수록 광계 II의 활성이 많이 억제되었으나 pH 4.0 이상에서는 10분간 보리 잎을 처리해도 엽록소 형광에 거의 변화가 나타나지 않았다. 이것으로 보아 pH 4.0이상의 산성 이온수는 단시간 내에 식물체의 광합성 작용에 심각한 손상을 유발하지는 않는 것을 알 수 있다. 따라서 농약등의 대용으로 사용하는 경우 pH 2.5 정도로 높을수록 10분 이하의 짧은 시간에 적정량을 주거나, 또는 pH 4 이상을 장시간 많은량을 투여하는등, 작물에 따라 적정한 조건이 설정되어야 하겠다.

다. 초고농도 이온수의 고추냉이의 생육 및 병해방지 효과

고농도 이온수의 농업적 이용은 1차 시험에서 *Erwinia aroideae* (Townsend) Holland 와 *Phoma wasabiae* Yokogi 같은 병원균의 살균력은 인정되나, 적절한 처리시간과 빈도, 그리고 처리 pH와 처리량등이 매우 중요한 요인이 되는 것을 알 수 있다. 따라서, 작물과 병의 종류에 최적조건이 조사되어야 할 것으로 사료된다. 또한, 고추냉이와 같은 생육조건이 까다롭고, 장기간(2년) 성장후에 수확하는 작물에서의 강이온수 살포는 이온수 제조과정중에서 Na⁺ 물질이 배제되지 않는 한 위험성이 따를 것 같다. 그래서, 고온의 국내 환경에서도 초고농도 이온수의 실적에 있어서는 다년생(2년)으로 생육이 까다롭고 저온(년중 20℃ 전후), 그리고 반음지 식물인 고추냉이 보다는 생육이 왕성한 작물, 즉 딸기나 토마토 등의 원예작물에서 지상부에 발생하는 병을 엽면살포로 방제하는 방향으로 이용성이 고려되면 좋을 것 같다.

라. 초고농도 이온수의 고추 병해방지 효과

고추 역병균(*Phytophthora capsici*)의 발육과 감염에 미치는 산성 이온수의 영향을 구명하기 위해 수행한 결과, 이온수의 pH를 2.5, 3.0, 3.5로 조정하여 1ml씩 분주했을 때 역병균은 발육하지 못하였으나, 멸균 증류수 pH를 0.5N HCl로 2.5, 3.0 3.5로 조정한 대조구에서는 역병균의 발육이 양호 하였다. 실제 토양에서 직경 10cm의 흑색 비닐 pot에서 50일 육묘한 고추묘에 유주자 현탁액의 농도를 10²~10⁵개/ml로 조정하여 5ml씩 접종한 후 산성이온수를 100ml씩 관주하여 20일 후에 조사한 결과, 산성이온수 처리구에서는 접종된 유주자 현탁액의 농도가 10³개/ml 이하일 경우에는 고추

뿌리에 발병이 되지 않았으나, 10^4 개/ml 이상 처리구에서는 발병이 진전되었고, 대조구인 멸균수 관주구에서는 유주자 현탁액 농도가 10^3 개/ml 이하에서도 뿌리가 갈변하여 심하게 발병되었다.

흰가루병의 경우에도 전반적으로 발병정도가 높은 경향이나 관행방제에서 발병정도가 가장 낮았으며, 산성이온수, 관행방제, 무처리간 통계학적 유의성이 인정되었다.

이온수 수준별 처리에 따른 고추 발아는 pH4.0이하에서 발아시가 빠르고 발아종도 5~6일 단축되었으나 유근의 생장이 알카리전해수인 pH7.0이상에 비해 저하되었다. 양액재배시 초장, 엽면적, 건물중은 pH4.0이하로 갈수록 낮아질수록 감소하였고, 알카리이온수인 pH7.0이상에서는 증가하는 경향이었다. 이온수 + 양액 재배시 산성이온수에서는 초장, 엽면적 등의 증가가 느리나 알카리이온수인 pH7.0이상에서는 성장속도가 빠르고 상대성장율도 증가하였다.

따라서 산성이온수만으로 고추에 발생하는 주요 병을 완전히 방제하기에는 무리가 있는 것으로 생각되며 농약과 교호살포, 살포간격의 조절 등 이온수의 효과를 높이기 위한 다각적인 시험이 수행되어야 될 것으로 사료된다. 다만 일본의 경우 살포농약을 1/3~1/3 정도로 농약 사용을 줄일 수 있는 장점을 이용해 작물을 재배에 적용되고 있는 것으로 알려져 있다.

2. 연구결과의 활용검토

가. 고효율 초고농도 이온수제조장치 설계제작 및 개발

본 연구에서 설계제작 및 개발된 초고농도 이온수 장치는 원리적으로 개선 했기 때문에 효율이 매우 높고 에너지 절약이 가능하여 즉시 산업화가 가능하므로, 조속히 상품화가 되어 시설채소 농민이나 화훼단지 등에 매우 유용하게 쓰일 수 있을 것으로 사료된다.

종래형의 강이온수 발생장치는 전극이 편판형이며, 직류전압을 인가하는 것으로 이온 분리집속 능력과 전해작용이 작고, 효율이 높지 못한 것이다.

그러나, 본 연구에서는 수류속도와 공간전하제한 작용을 완화하고, 이온집속전계를 높이며, 수중 산소기포방전을 유발시켜서 이온분리집속능력과 전해효율은 크게 올릴 수 있는 구조를 제안하여서 아래와 같은 결과를 얻었기 때문이다.

(1) 유전체 소구가 충전된 전해장치의 강이온수 발생특성

강이온수 장치내에 비유전율이 10000인 $BaTiO_3$ 유전체 소구를 충전하고 수도수만을 인입한 경우 pH 2.70과 pH 11.69의 이온수를 얻었으며, 염수의 경우 pH 2.36과 pH 12.03의 효과적인 이온수를 발생시킬 수 있었다.

(2) 슬릿형 평행평판전극계에서의 강이온수와 산화성물질 발생특성

전극형상을 슬릿형으로 형성한 결과 수도수로 구형과 펄스전류가 2.0[A], 인입수의 유속이 0.5 [LPM]일 때 pH 3.0, 3.6[ppmm], pH 11.61, 1.1[ppmm]의 강이온수를 얻었으며, 염수를 인입한 경우 pH 2.6, 23.2[ppmm]와 pH 12.34, 1.5[ppmm]의 강산화성물질 용존 이온수를 발생시켰다.

(3) 3전극형 평행평판전극계 이온수 장치의 강이온수 및 산화성물질 발생특성

슬릿형 3전극을 설정하고, 시비율(duty)이 50%, 펄스지속시간(t_{on})을 변화시켰을때, 수도수인 경우 2 [A], 250 [V]부근에서 pH 2.8와 pH10.5의 이온수를 발생시켰으며, 염수를 사용한 경우 2 [A], 25 [V]부근에서 pH2.4와 pH11.0의 이온수를 발생시킬 수 있었으며, 5[A], 50 [V]로 높이면 pH 2.2, 약 22[ppmm]와 pH 12.0의 이온수까지 얻을 수 있었다.

나. 시설채소 및 농작물의 초고농도 이온수에 의한 발아 및 성장촉진효과와 장해작용

초고농도 산성 이온수는 거의 모든 virus와 bacteria, 포자까지도 살균하는 특성을 가지면서도 이차공해를 유발시키지 않기 때문에 일본 등의 선진국에서 농약등으로 연구검토 및 일부 실적용 중에 있는 것으로 알려져 있다.

금번 실험 결과 PH 2.5로, 10분 이상 처리시 식물체에 손상을 줄 수 있는 결과가 나왔으나, 식물체에 따른 적정처리시간, 처리량, 처리주기를 적절히 조절하여 최적조건이 주어진다면 본 이온수 장치는 유효하게 발아 및 초기성장촉진, 농약대신 또는 일부 대체용으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

(1) 산성 및 알칼리성이온수에 의한 발아특성

오이와 고추의 강산성이온수중의 발아율이 각각 2.5배 및 3배정도 매우 높았으나, 대두의 경우는 강산성 및 알칼리성수 모두 발아율이 높지 못했다.

(2) 산성 및 알칼리이온수에 의한 초기성장특성

산성 및 알칼리이온수 대두의 초기성장특성으로서 생장길이는 산성이온수의 경우가 10~30% 길었으며, 생체량은 알칼리이온수의 경우가 10~20% 높았으며, 엽록소 함량은 산성, 알칼리이온수 모두 2~3배 높았다. 건량의 경우 pH2.5나 pH11.5의 경우 현저히 감소했다.

(3) 산성 및 알칼리이온수가 유식물의 엽록소 형광패턴에 미치는 영향

대두와 보리잎에서 광합성 중 광계 II의 광화학지표를 나타내는 FV/Fm 값은 산성, 알칼리이온수 처리구에서 모두 활성이 유사하였다

(4) 강산성 이온수가 보리잎의 광합성 활성에 미치는 영향

강산성이온수(pH 2.5)를 보리잎에 10분간 처리했을 때는 엽록소 a, b 그리고

carotenoid함량은 대조구에 비해 각각 약 12%, 16% 그리고 8% 감소하였다. 강산성 이온수(pH 2.5)를 10분간 처리한 보리잎의 Fo는 대조구보다 7% 증가하였으나, Fv, Fm 그리고 Fv/Fm은 감소하였으며 특히 Fv/Fm은 대조구보다 17% 감소하였다. 이것으로 보아 강산성 이온수(pH 2.5)는 광계II에 심각한 손상을 줄 수 있다는 것을 알 수 있다. 그리고 엽록소 형광 소멸 요인 qP는 대조구에 비해 61%나 감소한 것으로 보아 quinone의 산화환원이 억제되었다는 것을 알 수 있으며, 비광화학적 형광소멸인 qNP도 대조구에 비해 14% 감소하였고, qI는 처리시간이 증가했을 때는 대조구에 비해 70%나 증가하였다. 그러나, 산성 pH가 낮을수록 광계 II의 활성이 억제되고 pH 4.0 이상에서는 엽록소 형광에 거의 변화가 나타나지 않았다. 이것으로 보아 pH 4.0이상의 산성 이온수는 식물체의 광합성 작용에 손상을 유발하지는 않는 것을 알 수 있다.

다. 초고농도 이온수의 고추냉이의 생육 및 병해방지 효과

고농도 이온수의 농업적 이용은 1차 시험에서 *Erwinia aroideae* (Townsend) Holland 와 *Phoma wasabiae* Yokogi 같은 병원균의 살균력은 인정되나, 적절한 처리시간과 빈도, 그리고 처리 pH와 처리량등이 매우 중요한 요인이 되는 것을 알 수 있다. 따라서, 작물과 병의 종류에 최적조건이 조사되어야 할 것으로 사료된다. 또한, 고추냉이와 같은 생육조건이 까다롭고, 장기간(2년) 성장후에 수확하는 작물에서의 강이온수 살포는 이온수 제조과정중에서 Na⁺ 물질이 배제되지 않는 한 위험성이 따를 것 같다. 그래서, 고온의 국내 환경에서도 초고농도 이온수의 실적에 있어서는 다년생(2년)으로 생육이 까다롭고 저온(년중 20℃ 전후), 그리고 반음지 식물인 고추냉이 보다는 생육이 왕성한 작물, 즉 딸기나 토마토 등의 원예작물에서 지상부에 발생하는 병을 엽면살포로 방제하는 방향으로 이용성이 고려되면 좋을 것 같다.

라. 초고농도 이온수의 고추 병해방지 효과

고추 역병균(*Phytophthora capsici*)은 이온수의 pH를 2.5, 3.0, 3.5로 1ml씩 분주했을 때 발육하지 못하였으나, 멸균 증류수 pH를 0.5N HCl로 2.5, 3.0 3.5로 조정하면 대조구에서는 발육이 양호 하였다. 실제 토양에서 50일 육묘한 고추묘에 유주자 농도를 10²~10⁵개/ml로 5ml씩 접종한 후 산성이온수를 100ml씩 관주하여 20일 후에 조사한 결과, 산성이온수 처리구에서는 고추 뿌리에 발병이 되지 않았으나, 대조구인 멸균수 관주구에서는 뿌리가 갈변하여 심하게 발병되었다.

흰가루병의 경우에도 산성이온수, 관행방제, 무처리간 통계학적 유의성이 인정되었다.

따라서 산성이온수만으로 고추에 발생하는 주요 병을 완전히 방제하기에는 무리가 있는 것으로 생각되며 농약과 교호살포, 살포간격의 조절 등 이온수의 효과를 높이기 위한 다각적인 시험이 수행되어야 될 것으로 사료된다. 다만 일본의 경우 살포농약을 1/3~1/3 정도로 농약 사용을 줄일 수 있는 장점을 이용해 작물을 재배에 적용되고 있는 것으로 알려져 있기 때문에 국내에서 이와같은 방법이 고려되어 적용되면 효과 적일 것이라고 사료된다.