



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

제주지역 농업용수의 이온성분
특성평가

제주대학교 산업대학원

건설환경공학과

환경공학 전공

양 두 호

2010년 8월

碩士學位論文

제주지역 농업용수의 이온성분
특성평가

지도교수 조 은 일

제주대학교 산업대학원

건설환경공학과

양 두 호

2010

제주지역 농업용수의 이온성분 특성평가

지도교수 조 은 일

이 논문을 공학 석사학위 논문으로 제출함.

2010년 7월

제주대학교 산업대학원

건설환경공학과 환경공학 전공

양 두 호

양두호의 공학석사 논문을 인준함.

2010년 7월

위원장 허 철 구 ㉠

위 원 감 상 규 ㉠

위 원 조 은 일 ㉠

목 차

목 차	i
Summary	v
I. 서 론	1
II. 이론적 고찰	3
1. 제주도 지하수의 기본환경과 이용특성	3
2. 제주도 토양과 농업용수	8
3. 농업용수의 수질기준	13
4. 관개용수 수질 및 작물의 생육에 미치는 영향의 정도	20
III. 자료조사 및 연구방법	24
1. 대상지역의 선정	24
2. 검토항목의 선정	25
IV. 결과 및 고찰	27
1. 이온의 특성(양·음이온)	27
2. 영양소	41
3. EC와 SAR	45
4. 작물의 생육에 미치는 잠재적 영향	47
V. 결 론	54
참 고 문 헌	56

List of Table

Table 1. The amount of use by type of groundwater	6
Table 2. Trend of groundwater quantity per unit area by regions	6
Table 3. Number of Livestock, Poultry and Feeders	8
Table 4. Standards for agricultural water quality	13
Table 5. Laboratory determinations needed to evaluate common irrigation water quality problems	15
Table 6. Guidelines for interpretations of water quality for irrigation	15
Table 7. Agriculture used groundwater quality data	28
Table 8. Statistic data for Agriculture groundwater samples	32
Table 9. Correlation between the EC and ion	46
Table 10. EC and SAR data	48
Table 11. Affects infiltration rate of water into the soil	50

List of Figures

Fig. 1. Groundwater forms and schematic	3
Fig. 2. The amount of use by type of groundwater	5
Fig. 3. Soil map of Jeju Area	9
Fig. 4. Review the selection of points	24
Fig. 5. Regional mean value of Na^+ ion concentration	33
Fig. 6. Seasonal mean value of Na^+ ion concentration	33
Fig. 7. Regional mean value of Mg^{2+} ion concentration	34
Fig. 8. Seasonal mean value of Mg^{2+} ion concentration	35
Fig. 9. Regional mean value of Ca^{2+} ion concentration	36
Fig. 10. Seasonal mean value of Ca^{2+} ion concentration	36
Fig. 11. Regional mean value of HCO_3^- ion concentration	37
Fig. 12. Seasonal mean value of HCO_3^- ion concentration	37
Fig. 13. Regional mean value of Cl^- ion concentration	38
Fig. 14. Seasonal mean value of Cl^- ion concentration	38
Fig. 15. Regional mean value of SO_4^{2-} ion concentration	39
Fig. 16. Seasonal mean value of SO_4^{2-} ion concentration	40
Fig. 17. Regional mean value of K^+ concentration	42
Fig. 18. Seasonal mean value of K^+ concentration	42
Fig. 19. Regional mean value of NO_3^- -N concentration	43
Fig. 20. Seasonal mean value of NO_3^- -N concentration	43
Fig. 21. Regional mean value of EC concentration	45
Fig. 22. Regional mean value of SAR concentration	46
Fig. 23. Concentration ratio Na^+ ion and Ca^{2+} ion	47

Fig. 24. Electrical conductivity of soil penetration of SAR relationship 50

Fig. 25. Regions of the relationship between EC and SAR 51

Fig. 26. Seasonal relationship of EC and SAR 52



The Characteristics of Ionic Constituents in Agricultural Water of Jeju Areas

Doo-Ho Yang

*Department of Construction and Environmental Engineering
Graduate School of Industry
Jeju National University*

Supervised by Professor Eun – Il Cho

Summary

A well is developed and used for an agricultural water in most areas of Jeju Island. In this study, the characteristics of ionic constituents and nutrients, and the potential effect on the growth and development of upland field crops with the relationship between EC(electric conductivity) and SAR(sodium adsorption ratio), were evaluated, with the comparison of FAO's water quality guidelines for irrigation, for groundwater of public 28 wells which were developed for an agricultural water and irrigated for the upland field crops. The results obtained were as follows:

1. For the cationic(Ca^{2+} , Mg^{2+} and Na^+) and anionic(HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) constituents, their concentrations were in the range of the guidelines, indicating that their water quality is available for an agricultural water. Considering the concentrations of ionic constituents with area, the concentration of Cl^- was higher at the eastern area and the concentrations of the other ions were at the western areas.

2. For the nutrients(K^+ , NO_3^- -N), the concentrations of the former were in the range of the guidelines at the groundwaters of 26 wells except those of for 2 wells(SS-2, SS-6), and the average concentrations of the latter with season and well were also in the range of the guidelines, although the concentrations of the 4 samples among 112 samples analyzed, exceeded the guidelines.

3. With the relationship between EC and SAR, the groundwaters of 22 wells got the values($\text{EC} < 0.2 \text{ dS/m}$) that cause severe problems for their infiltration rate into the soil, and the groundwaters of 6 wells got the values($0.2 \text{ dS/m} < \text{EC} < 0.7 \text{ dS/m}$) that cause slight to moderate Problem for those.

In addition, it is reported that the physicochemical properties of soils(e.g. soil type, the morphology of soil surface, moisture content, CEC(Cationic exchange capacity), etc) got a great effect on the infiltration rate of water into the soil.

I. 서 론

물은 모든 생명체의 필수 구성요소이며, 생명의 유지와 일상생활에 아주 중요한 기본적 요소이다. 대부분 세계문명의 발상지는 물의 취수가 용이한 강가 지역에서 발전해 왔다. 제주지역도 마찬가지로 물이 풍부한 지역에 마을이 형성되었으나 하천형성이 미약한 제주지역의 마을 대부분은 지하수가 풍부하게 솟아나는 곳에 형성되었다. 그러나 최근 들어 제주지역의 지하수들은 미처리된 하수나 산업폐수 등으로 오염이 되고 있다.

제주도의 수질오염원은 타 지방에 비해 산업시설(제조업)이 적어 주 오염물질은 농업활동과 일상 활동에서 발생하는 것을 알 수 있다. 제주지역에서 중요한 지하수에 관한 연구들은 많이 이루어지고 있다. 그 중에 윤과 박(1998, 2000)은 제주도 용천수의 고도별에 따른 수리화학적 특성에 관한 연구와 한라산 지역 용천수의 수리지화학적 특성에서 고도별 용천수에 대한 수질특성과 진화과정에 대한 연구를 하였고, 이와 함(2000)은 제주도 중산간 지역의 지하수위 변동 특성, 이(2001)는 고도에 따른 지하수의 수질특성, 이 등(2003)은 제주도 용천수의 지구과학적 특성, 고 등(2005)은 주성분 분석과 지구통계법을 이용한 제주도 지하수의 수리지구학적 특성 연구 그리고 정 등(2006)은 제주도 어승생담 소유역의 지하수 함양량 산정 등 많은 제주도의 지하수와 용천수에 대한 연구가 수행되어졌다. 또한 농업용수로 이용되는 지하수에 관한 연구를 보면, 현 등(1998)이 농업용 지하수의 이화학적 특성과 이 등(2002)이 농업용수 수질조사, 문(2004)이 우리나라 농업용수 수질 변화 특성에 관한 연구에서 내륙지방에서 농업용수로 사용하는 저수지에 대한 수질 인자에 대한 상관관계에 대한 고찰 그리고 박 등(2006)은 제주도의 지역별 농업용수 개발·이용방안에 관한 연구 등 농업용수 수원의 수질관리와 개발과 이용실태 등에 관한 연구가 수행되어져 왔다.

위와 같이 다수의 연구가 진행되었으나, 농업용수의 사용에 의한 토양과 작물의 생육에 미칠 수 있는 영향에 대한 연구는 드문 실정이다. 토양 오염과 관련된 지하수의 오염은 인간과 동식물의 생장에 영향을 미치게 된다. 오염된 토양에서 생육된 작물에는 오염물질이 축적되며 이를 섭취하는 경우 오염성분에 의해 피해를 입을 수 있다.

따라서 본 연구는 제주도에서 개발·이용되어지는 지하수 중 농업용으로 이용되는 지하수를 대상으로 연구를 행하였으며 대상 자료는 제주지역에서 농업용수에 대한 모니터링 수질검사 자료를 이용하여 수질특성을 분석하였다. 또한 농업용수 이용으로 작물의 생육에 영향을 미칠 수 있는 인자를 파악하기 위하여 R.S. Ayers와 D.W. Westcot가 제시한 관개수의 수질지침을 사용하여 평가하였으며, 평가항목으로는 농업용수의 EC와 SAR의 상호관계를 이용하여 제주지역에서 이용되고 있는 농업용 지하수 수질과 토양 침투율에 미치는 영향을 평가하였다.

II. 이론적 고찰

1. 제주도 지하수 기본 환경 및 이용특성

제주도의 지하수는 아아 용암이 만든 크링커를 따라 흐르거나 저장되어 있다. 크링커 층의 하부에 치밀한 암석이 분포하거나, 불 투수 내지 저투수성의 암석이 분포해 있을 때 더 많은 지하수를 저장하거나 흐르게 된다(과학기술부, 2006). 지하수의 부존형태는 담-염수 경계면의 형성 및 변동특성, 서귀포 층의 분포상태, 지하수의 수리경사, 지하수 분포 및 변동특성, 지하수의 수질 지하 지질분포 등을 고려하여, 기저지하수, 준기저지하수(상부 및 하부 준기저지하수), 상위 지하수, 기반암 지하수의 4가지 형태(Fig. 1)로 분류할 수 있다(제주도발전연구원, 2006).

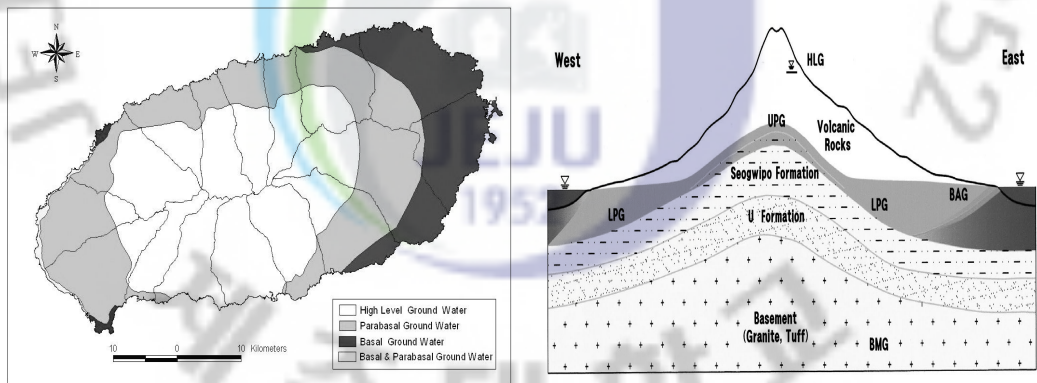


Fig. 1. Groundwater forms and schematic.

지하수의 수질은 자연적인 강우, 지표수로부터 함양되어진 물이 대수층내의 지질매체와 지구화학적으로 반응하면서 변화하게 되고 인위적인 영향으로 인해 수질이 변화되기도 한다. 제주지역은 내륙지방과 달리 수권이 독립적으로 형성되어 있고 구성암석의 종류와 암석 화학적인 특징이 달라 지하수의 수질에

많은 차이를 보인다. 제주도는 토양층이 얇고 배수성이 크며 대수성을 이루는 화산암류의 투수성이 크며, 강수량 또한 내륙지방에 비해 상대적으로 많아 지하수의 용존 성분 변화가 다른 수리지질적인 조건을 갖는 지역보다 적다(제주발전연구원, 2006).

지하수의 함양량에 영향을 미치는 강수량은 연평균 강수량이 우리나라 내륙지방보다 약 600 mm나 많은 다우지이다. 그렇지만 섬의 중앙에 위치한 한라산의 지형적 영향으로 인하여 지역별 연평균 강수량의 편차는 심하다. 지역별 연평균 강수량 분포를 보면, 남부지역이 2,339 mm로 가장 많은 반면, 서부지역은 1,299 mm로 남부지역의 55.5 %에 불과한 강수량을 보이고 있다. 동부지역은 남부지역 다음으로 강수량이 많으며(2,077 mm) 북부지역은 2,027 mm를 나타내고 있다. 주요 관측소별 연평균 강수량을 살펴보면, 성판악이 3,593 mm로 최대이며, 한림은 1,060 mm로 가장 적다.

최순학(1989)에 의하면 제주지역의 지하수의 부존형태는 강수가 첫째 중력에 의해 투수성의 2차 균열을 통해 지하로 침투 연속성의 이차균열을 따라 유하하여 하부에 발달한 불투수층인 치밀한 암석이나 점토층에 의해 수직강하를 방해받아 부존하는 기저지하수가 형성되고, 둘째 강수가 지하로 침투하는 과정에서 불투수층에 의해 차단되지 않고 기저로 유입되어 바다에 접하여 해안면에서 해안용출수로, 하부에서 lens상태로 부존하는 기저지하수가 있다.

지하수의 기능으로는 수자원으로 활용(농업, 공업, 생활용수), 생태계 유지(식생유지, 유기체 서식지), 토양기능의 촉진(물리, 화학, 생물학적 작용 촉진, 영양분의 용매작용), 지반침하 방지 등으로 볼 수 있다(김, 2008).

1) 지하수 이용현황

수문 순환계가 파괴되지 않고 지하수 장애를 일으키지 않는 범위 내에서 지속적으로 대수층으로부터 양수할 수 있는 지하수량을 의미하는 지하수 개발 가능량 대비 이용량은 전국평균(34.9 %)보다 다소 낮은 30.3 %($195 \times 10^6 / 645 \times 10^6$)

m³/년)로서 향후 이용할 수 있는 지하수자원이 타 지역의 비해 풍부함을 알 수 있다. 제주도의 지역별 지하수 함양량 및 적정 개발량은 2003년 한국수자원공사가 “제주도 수문지질 및 지하수자원 종합 조사(3차)” 에서 하와이주에서 개발된 산출 공식을 적용하여 계산한 결과, 동부지역이 401,000 m³/일, 서부지역 312,000 m³/일, 남부지역 502,000 m³/일, 북부지역 553,000 m³/일이며, 제주도 전체적으로는 지하수 함양량의 41.8%인 1,768,000 m³/일이다(제주도, 2008).

제주도에서는 5,419개소의 관정에서 연간 195,270,202 m³의 지하수를 이용하고 있으며 Table 1(Fig. 2)에서와 같이 3,459개(63.8%)의 관정에서 연간 51,403,544 m³(26.3%)가 농업용으로 이용되어진다.

제주도의 지하수의 개발밀도는 단위면적당 2.9 개/km²로서 전국평균(13.4 개/km²)의 21.8 %, 가장 밀집되어 개발되어진 대전광역시 39.4 개/km²의 7.4 %에 불과하며 이는 제주지역의 지하수 함양량이 풍부함을 알 수 있다. 단위 면적당 지하수의 이용량은 105,637 m³/년/km²으로서 전국 평균(37,791 m³/년/km²)의 2.79배(Table 2)로서 가장 낮은 강원도(12,579 m³/년/km²)의 무려 11.9 배로서 제주지역의 단위 면적당 지하수 이용현황은 전국에서 가장 높게 나타나고 있다(2009 지하수조사연보).

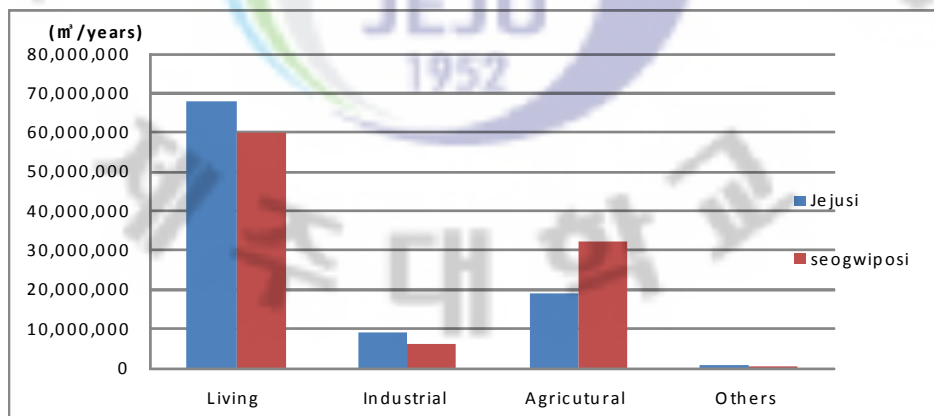


Fig. 2. The amount of use by type of groundwater.

Table 1. The amount of use by type of groundwater.

	Total		Living		Industrial		Agriculture		Other	
	EA	m ³ /years	EA	m ³ /years	EA	m ³ /years	EA	m ³ /years	EA	m ³ /years
Total	5,419	195,270,202	1,547	127,848,357	211	15,223,696	3,459	51,403,544	202	794,605
	100.0 %	100.0 %	28.5 %	65.5 %	3.9 %	7.8 %	63.8 %	26.3 %	3.7 %	0.4 %
Jeju si	2,123	96,684,991	1,021	67,828,545	128	8,965,996	857	19,134,900	117	755,550
	100.0 %	100.0 %	48.1 %	70.2 %	6.0 %	9.3 %	40.4 %	19.8 %	5.5 %	0.8 %
Seogwipo si	3,296	98,585,211	526	60,019,812	83	6,257,700	2,602	32,268,644	85	39,055
	100.0 %	100.0 %	16.0 %	60.9 %	2.5 %	6.3 %	78.9 %	32.7 %	2.6 %	0.04%

Table 2. Trend of groundwater quantity per unit area by regions

(Unit: m³/years.km²)

Mean	Seoul	Busan	Daegu	Incheon	Guangzhou	Daejon	Ulsan	Gyeonggi
	43,270	45,584	27,259	45,755	50,038	73,282	47,600	55,689
37,791	Kangwon	Chungbuk	Chungnam	Jeonbuk	Jeonnam	Gyeongbuk	Gyeongnam	Jeju
	12,579	52,755	58,743	43,767	43,079	22,154	34,691	105,637

출처 : 2009 지하수조사연보

2) 오염원 현황

제주도의 면적은 1,848.44 km², 인구는 2008년 말 기준 565,520 명이며, 경지면적은 56,693 ha로 제주시 28,954 ha, 서귀포시 27,739 ha(제주도, 2009)이며, 농림어업에 20.6%가 종사자하고 가축·가금 사육량은 제주시 한림읍이 가장 많다.

대부분의 농가는 밭작물을 경작하면서 농작물의 품질향상과 생산성 향상을 위하여 농약, 화학비료, 가축분뇨 등을 사용하고 있는데 이것들의 주성분은 주로 질소화합물, 인산염, 박테리아, 염화물, 중금속 등이 포함되어 있어 지하수 오염의 주요한 비점오염이라고 할 수 있다(김 등, 2002). 또한 생활폐기물의 배출량은 602.7 톤/일이며 처리현황은 재활용 341.6 톤(57%), 소각 160.1 톤(26%), 매립 101 톤(17%)으로 주로 재활용이 이루어고 있다. 폐수(수질) 배출 사업장은 687 개소(2009 통계연보)로 관리대상별로는 제주도 24 개소, 제주시 506 개소, 서귀포시 157 개소이며, 제주도의 지하수 수질에 미치는 영향이 가장 크다고 보는 가축사육현황은 Table 3에서와 같이 소(한·육우, 젖소)와 돼지는 207,696 두(36.9%)로 한림읍이 가장 많고 다음 대정읍 95,489 두이며, 가금류(닭)의 경우는 구좌읍이 455,300 수(29.5%), 한림읍이 425,500 수(27.5%)순으로 나타났다(제주특별자치도 친환경농축산국 측정과). 오염원 중 농업 오염원을 고려할 때 가축가금 사육이 동·서부지역에 집중되어 질소화합물이 다량 포함되어 있는 축산폐수에 의한 지하수오염이 다른 지역에 비해 상대적으로 높을 가능성이 있고, 경지면적에 대한 비점오염원 발생량은 제주 전역이 지역특색의 농작물을 재배하므로 오염정도에 큰 편차가 없을 것으로 보인다.

지하수의 오염은 산성비, 폐기물 매립지, 가축의 사육 등이 잠재오염원에 의해 오염되어질 수도 있다. 한편 제주지역에는 제조업의 생산 활동으로 인한 공장 폐수, 화학물질에 의한 지하수오염은 거의 없을 것으로 판단된다.

Table 3. Number of Livestock, Poultry and Feeders

	Native & beef cattle		Pigs		Chicken		Horses	
	Heads	Percentage(%)	Heads	Percentage(%)	Heads	Percentage(%)	Heads	Percentage(%)
Total	40,277	100.0	502,356	100.0	1,541,352	100.0	20,946	100.0
Halliim-eup	8,072	20.0	197,472	39.3	424,500	27.5	2,152	10.3
Aewol-eup	3,867	9.6	39,899	7.9	118,500	7.7	2,935	14.0
Gujwa-eup	4,238	10.5	43,791	8.7	455,300	29.5	2,550	12.2
Jocheon-eup	4,062	10.1	18,583	3.7	266,200	17.3	2,790	13.3
Hangyeong-myeon	2,002	5.0	22,624	4.5	25,000	1.6	479	2.3
Udo-myeon	80	0.2	700	0.1	0	0.0	36	0.2
Jeju-si	3,579	8.9	13,078	2.6	976	0.1	3,718	17.8
Daejeong-eup	2,866	7.1	92,228	18.4	22,000	1.4	395	1.9
Namwon-eup	2,588	6.4	18,000	3.6	25,000	1.6	612	2.9
Seongsan-eup	1,610	4.0	11,820	2.4	122,300	7.9	1,405	6.7
Andeok-myeon	3,810	9.5	6,079	1.2	1,180	0.1	985	4.7
Pyoseon-myeon	1,812	4.5	14,792	2.9	64,564	4.2	2,284	10.9
Seogwipo-si	1,691	4.2	23,290	4.6	15,832	1.0	605	2.9

2. 제주도 토양과 농업용수

식물뿐 아니라 모든 생물은 물이 없는 상태에서는 생명을 유지할 수 없다. 물은 당이 생성되는 광합성과정에서 반응물질의 하나로 작용하고, 식물체내의 모든 생화학적 반응의 매질로서 물은 식물생장을 제한하는 중요 인자이며, 물이 과잉 공급 되거나 부족상태에서는 작물의 생육 억제, 병해 발생, 영양소 흡수의 불균형 등의 부작용을 초래할 수 있다. 집중강우 또는 과도한 관개에 의해 유거, 침투형상을 통한 물의 유실이 많은 경우에는 사용한 비료와 토양의 유실을 초래할 수 있으므로, 작물이 필요로 하는 물이 공급되어야 한다(김 등, 2007).

1) 제주의 토양

제주도 토양의 유형을 토색에 따라 암갈색토, 농암갈색토, 흑색토 및 갈색삼림토로 구분하고, 암갈색토를 비 화산회토, 그 외의 토양을 화산회토로 관행적으로 명명하고 있다. 비 화산회토는 제주도 토양도 대부분 화산회를 모재로 하고 있으며 육지의 일반토양과 다른 특성을 지니고 있다. 제주도 화산회토는 자연비옥도가 낮아 문제의 토양으로 분류하나 인산 고정능력이 매우 커서 작물생육에 제한인자로 작용하지만 화학비료의 사용으로 문제가 되지 않는다.

오히려 유기물 함량이 높고, 보수력과 통기성이 동시에 좋으며 양이온 교환 용량이 높은 등 장점이 부각되고 있다. 전 세계의 토양을 분류할 때 화산회토는 비교적 비옥한 토양으로 분류된다(농촌진흥청, 2008).

식물생육과 작물재배에 불리한 이 화산회토를 제주도에서는 ‘뜯땅’이라고 부르며, 화산회토가 변하여 일반토양에 가까워진 ‘된땅’ 또는 ‘관땅’과 구분하고 있다. 정밀토양조사(농촌진흥청, 1976)에 따르면 제주도에는 63개의 토양통이 분포한다. 화산회토에 속하는 토양통은 36개로 제주도 면적의 80%를 차지한다. 일반적으로 제주도의 토양은 토색에 의해 암갈색토, 농암갈색토, 흑색토 및 갈색삼림토로 구분한다(Fig. 3) 암갈색토를 제외한 세 유형의 토양이 화산회토로 취급되는데, 농암갈색토는 14개통, 흑색토는 16개통, 갈색삼림토는 6개통의 토양을 포함한다. 토양의 분포지역을 보면 27개통으로 구성된 암갈색토는 제주, 조천, 애월, 한림, 한경, 대정 등 주로 북부와 서부지역의 해발고도 200 m 이하 해안지대에 분포한다. 가장 넓은 분포면적을 보이는 농암갈색토는 동부지역을 제외한 중산간 지대 전역과 남부지역 대부분의 해안지대에 분포한다. 흑색토는 구좌, 성산, 표선 등 주로 동부지역의 중산간 지대에 분포하며, 갈색삼림토는 해발고도 700 m 이상의 한라산 산악지역에 나타난다(건설교통부, 2004).

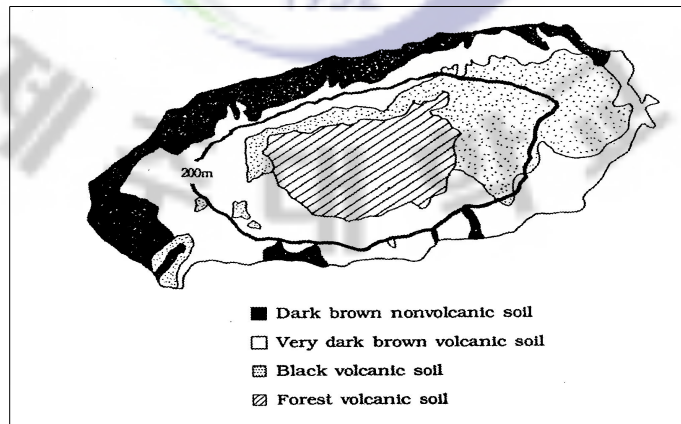


Fig. 3. Soil map of Jeju Area.

토양의 형태론적 분류(Soil Taxonomy)에서 토양단면에 나타나 있는 특징적인 층위의 존재여부에 의한 분류단위로서 목(order)은 토양생성과정의 기후요인의 종류와 세기에 의해서 형성되는 진단층위의 유무를 근거로 분류하고, 아목(suborder)은 토양 수분상, 토양 온도상, 진단층위 등으로 구분, 대군(great group)은 여러 가지로 분화된 토층과 기타성질을 근거로 나누며, 아군(subgroup)은 대군을 가장 잘 나타내는 중심적인 토양(Typic), 다른 목, 아목, 대군이 가지는 성질을 약간 공통적으로 소유하는 토양, 전형적인 토양도 아니고, 다른 대군의 어떤 공통점도 있지 않은 토양이며, 속(family)은 식물 성장면에 입각해서 아군을 다시 세분(토성, 광물학적 조성, 토양온도, 토양반응 등을 표시하고, 통(series)은 토양 생성작용과는 하등의 관련이 없고, 다만 그 통이 처음 조사된 곳의 지명(동네, 산 등)을 나타낸다(현, 2007).

토양의 기능으로는 식물의 생육과 생산기능, 환경보호기능(분해기능 및 오염물질 저감기능으로 수질정화 등), 수원유지 및 홍수방지, 지표온도습도 변화의 완화 등이 있다.

2) 농업용수

농업용수의 정의는 농어촌정비법에서 농어촌 지역에서 필요한 생활용수, 농업용수, 공업용수, 수산용수와 환경오염의 방지를 위한 용수라고 정의하고 있다. 농촌지역에서 농업경영에 필요한 모든 용수를 의미하고 일반적으로 벼 등의 작물생육에 필요한 관개수를 의미한다(건설교통부, 한국수자원공사, 2006).

작물을 주 대상으로 하기 때문에 자연조건, 작물의 종류, 생육조건 등과 매우 밀접한 관계가 있는 농업용수의 이용 특성은 첫째, 경작지로 공급된 용수는 논으로 연속적으로 공급되므로 흙과 물이 끊임없이 접촉하게 되며 기타 생물 및 미생물과 어울려 순환되므로 친환경성이 크다. 둘째, 수계 및 유역특성, 농업용수 이용형태, 경지면적의 크기 등 지역적 요건과 기상요인에 의한 계절적 편차가 크며, 못자리, 이랑 등 작부체계에 따른 용수이용의 집중도가 매우 크다.

셋째, 수리관행에 따른 취수량은 이론적 필요수량과는 다르며 실제로 취수에 있어서는 수리관행에 지배되는 경우가 많다. 넷째, 논으로 공급된 용수는 관리 용수량이 배수로나 하천으로 회귀되므로 물을 재이용할 수 있는 기회가 많으며, 용·배수로 겸용 수로나 간단한 수위조절 물막이 등으로 재이용하는데 비용이 적게 들고 이용효율이 높다. 다섯째, 농업용수는 기상, 토양, 작물의 종류, 생육조건, 수원공의 종류 등 복잡하고 다양한 인자들의 영향을 받는다. 여섯째, 수자원 총 이용량 중 농업용수가 차지하는 비율이 50 % 이상으로 다른 용수보다 이용율이 매우 높으며, 농업용수의 공익적 기능은 본래의 기능 이외에도 홍수방지기능, 지하수 함양기능, 대기정화기능, 토양유실방지기능, 수질정화기능, 농촌경관기능 등이 있다(건설교통부, 한국수자원공사, 2006).

밭 토양의 경우 토양 내 수분의 이동과 분포는 일정치 않으며, 토피의 내부에서는 수분의 침투가 거의 일어나지 않는 반면, 퇴피 사이와 구조의 절단부분 또는 입단사이에서 대부분의 침투가 일어난다(김 등, 2007).

마시는 물과 작물생육에 이로운 물은 그 개념과 기준은 다를 수 있다. 작물 재배과정에서까지 음용수 기준 적용은 무리일 수 있다. 질소·인 성분은 음용수에서는 오염물질로 취급되지만 작물생육에는 필수 영양성분이다. 이런 작물에 이로운 성분을 활용하는 합리적인 농업용수 기준 제정은 비료의 과다 사용을 막는 효과도 가져올 수 있을 것이다.

농업용수는 농작물 생육의 안전을 기하고 농업경영의 합리화를 위하여 농경지에 체계적으로 공급하는 물을 말하며, 농작물의 생육과 이를 섭취하는 인간의 건강에도 영향을 미칠 수 있다. 농업용수는 인간이 직접 사용하기보다는 식물의 생육에 도움을 주기위한 관개수로서 사용이 목적이라 할 수 있을 것이다. 현재 농업용수의 수질기준은 관개수로서 이용목적이 아닌 수원관리 목적으로 설정되어있어 각 목적별 실질적인 용수이용에는 적절하지 않다는 지적(안 등, 2006)이 있다.

3) 관개수의 수질과 작물의 관계

관개의 정의는 작물을 재배하는데 있어서 작물의 생육에 필요한 물의 일부 또는 전부를 농지에 인위적으로 공급하는 것이며, 그 목적은 작물생육에 필요한 물을 인위적으로 공급하여 수분환경을 조절하고, 관개시설의 다목적 이용에 의해 물 이용의 고도화를 도모하여 계획지역의 토지 생산성 및 노동생산성을 높이는 데 있다. 관개수에는 여러 가지 성분을 함유하고 있으며, 부유물질과 이온의 형태로 물에 녹아있는 용해물질로 대별할 수 있다. 용해물질의 성분은 수원의 종류와 하수 등 유입에 따라 달라진다. 용해물질에는 양이온(Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+)과 음이온(HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , CO_3^{2-} 등)이 있다.

관개수가 함유하고 있는 물질은 첫째, 중금속류와 유해·독 물질로 병을 유발시키는 건강항목으로 분류되는 수은, 카드뮴과 같은 중금속과 시안, PCB가 있다. 둘째, 유기물 또는 생활관련 항목으로서 유기물을 들 수 있으며, 함량을 나타내는 대는 유기물을 분해시키는 산소의 양으로 표시한다. BOD, COD 등으로 나타낸다. 셋째, 질소와 인 등의 영양염류이다. 그 자체가 유해한 것은 아니나 과다하게 함유할 때 문제가 발생할 수 있다. 넷째, 염분은 관개수 수질의 중요한 요소이다. 특히 해면 간척지와 하구 부근의 용수를 이용의 경우와 강우가 적은 건조지대에서 중요한 문제를 일으킬 수 있다. 염도의 농도로 표시하기 보다는 관측이 용이한 전기전도도(EC; Electrical Conductivity)를 이용하여 나타내어진다.

소금의 구성성분인 나트륨은 점토구조를 파괴시켜 토양에 나쁜 영향을 미치게 된다. 토양수의 나트륨 함량이 높아지면 알칼리성 토양이 되어 투수성이 감소한다. 농업용수의 오염에 의한 피해를 분류하면, 작물생육에 직접적인 피해를 주는 산, 알칼리, 염류 및 질소과잉 등에 의한 피해와 생산물의 품질에 해를 주는 카드뮴(이따이이따이 병), 수은에 의해 오염과 농업용 시설에 미치는 해로서 쓰레기, 비닐류에 의한 통수시설 장애와 산성, 알칼리성 폐수에 의한 콘크리트나 금속류의 부식에 의한 피해 그리고 농사에 종사하는 사람에 대한 피해로서 악취로

인한 작업 장애와 피부병 발생 등의 피해 및 용수시설 주변 환경에 대한 피해로서 오수 유입시의 악취, 경관의 악화 및 영양과다에 의한 부영양화의 발생 등의 문제가 발생할 수 있다(정, 1999).

3. 농업용수의 수질기준

1) 우리나라의 농업용수 수질기준

우리나라의 농업용수의 수질기준은 수원관리 법령에 따라 하천·호소수는 환경정책기본법 10조 수질 및 수생태계의 하천, 호소의 생활환경기준의 IV(약간 나쁨) 급수를 농업용수의 수질기준으로 정하고 있다. 또한 지하수는 지하수법 제20조제2항의 지하수 수질기준에 따라 농업용수의 수질기준이 설정되어있다. 현 법령상 수원별로 법령이 다르므로 인해 농업용수에 대한 수질기준 항목과 기준값이 다르다. 현행(2010년) 수원별 농업용수의 수질 기준은 Table 4와 같다.

Table 4. Standards for agricultural water quality [unit : mg/L]

	Groundwater	Environmental Policy	
		Rivers	Lake
pH	6.0~8.5	6.0~8.5	6.0~8.5
BOD	-	8 and less	
COD	-	9 and less	8 and less
SS	-	100 and less	15 and less
DO	-	2.0 and less	2.0 and less
T-P	-	0.3 and less	0.1 and less
T-N			1.0 and less
Chlorophyll-a			35 and less
NO ₃ ⁻ - N	20 and less	-	
Cl ⁻	250 and less	-	
Cd	0.01 and less		
As	0.05 and less		
CN	0.01 and less		
Hg	0.001 and less		
Organic P	0.0005 and less		
Phenol	0.005 and less		
Pb	0.1 and less		
Cr ⁶⁺	0.05 and less		
TCE	0.03 and less		
TeCE	0.01 and less		
1.1.1-TCE	0.3 and less		

2) FAO 농업용수 수질해석 기준

FAO에서는 작물의 생육에 미치는 영향의 정도와 일반적인 관개수의 수질 악화로 인한 문제에 대하여 개략적으로 적용할 수 있는 Guideline(권고치)을 제시하고 있다. FAO의 권고치는 범용적, 개략적이라 각 나라의 수질·토양특성, 재배작물과 기후, 영농방법 및 용수관리 등을 감안하여 적용하는 것이 바람직하다.

FAO에서는 미국서부지역의 농업자료를 기초로 하여 발관개수의 수질에 대한 농업용수 지침을 제시하고 있다. 지침서는 용수사용에 있어 발생할 수 있는 문제점과 제한점에 대해 설명하고 있으며, 용수사용 시 특정한 조건이나 사용자의 관리능력에 의해 영향을 미친다고 언급하고 있다. 주요항목은 염도(Salinity), 토양 침투율(Soil infiltration rate), 특정이온의 독성(Specific ion toxicity), 기타 원소(질소, 인, 칼슘, 나트륨 등)등이 있다. 항목 중 염소와 기타원소는 농작물의 수분흡수율과 양분공급에 관련하는 항목이다. 토양 침투율은 SAR(Sodium adsorption ratio)과 전기전도도(Electric conductivity, EC)에 의해 결정되며, SAR를 5가지로 분류하고 EC값과의 관계에 의해 제시하고 있다.

(1) 관개수 수질평가 기준

FAO에서 관개수로 사용할 수 있는 용수의 화학적 특성을 Table 5에 성분별 범위를 나타내었다.

(2) 작물의 생육에 미치는 영향의 정도에 따른 권고치

FAO에서는 발관개를 위한 농업용수 중심으로 평가항목으로 염 농도, 토양의 침투율과 기타 물리성과 관계되는 SAR, 식물의 양분이 되는 질소, 인산, 칼리와 Na, Cl, B 및 미량의 원소의 독성한계이며, 관개수에 의한 작물 및 토양에 미치는 영향별로 등급으로 구분하고 있다(Table 6).

Table 5. Laboratory determinations needed to evaluate common irrigation water quality problems

Water parameter	Symbol	Unit	Usual range in irrigation water	
SALINITY				
<u>Salt Content</u>	Electrical Conductivity	EC	dS/m	0 - 3
	Total Dissolved Solids	TDS	mg/L	0 - 2000
<u>Cations and Anions</u>	Calcium	Ca ⁺⁺	me/L	0 - 20
	Magnesium	Mg ⁺⁺	me/L	0 - 5
	Sodium	Na ⁺	me/L	0 - 40
	Carbonate	CO ₃ ⁻⁻	me/L	0 - 0.1
	Bicarbonate	HCO ₃ ⁻	me/L	0 - 10
	Chloride	Cl ⁻	me/L	0 - 30
	Sulphate	SO ₄ ⁻⁻	me/L	0 - 20
NUTRIENTS				
	Nitrate-Nitrogen	NO ₃ -N	mg/L	0 - 10
	Potassium	K ⁺	mg/L	0 - 2
MISCELLANEOUS				
	Acid/Basicity	pH	1-14	6.0 - 8.5
	Sodium Adsorption Ratio	SAR	(me/L)	0 - 15

Table 6. Guidelines for interpretations of water quality for irrigation

Potential Irrigation Problem	Degree of Restriction on Use		
	None	Slight to Moderate	Severe
Salinity (<i>affects crop water availability</i>)			
(or) EC [dS/m]	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
TDS [mg/l]	< 450	450 - 2000	> 2000
Infiltration (<i>affects infiltration rate of water into the soil. Evaluate using EC and SAR together</i>)			
SAR = 0 - 3	and EC = > 0.7	0.7 - 0.2	< 0.2
= 3 - 6	= > 1.2	1.2 - 0.3	< 0.3
= 6 - 12	= > 1.9	1.9 - 0.5	< 0.5
= 12 - 20	= > 2.9	2.9 - 1.3	< 1.3
= 20 - 40	= > 5.0	5.0 - 2.9	< 2.9
Specific Ion Toxicity (<i>affects sensitive crops</i>)			
Sodium (Na)			
surface irrigation [SAR]	< 3	3 - 9	> 9
sprinkler irrigation [me/l]	< 3	> 3	
Chloride (Cl)			
surface irrigation [me/l]	< 4	4 - 10	> 10
sprinkler irrigation [me/l]	< 3	> 3	
Boron (B)			
	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
Miscellaneous Effects (<i>affects susceptible crops</i>)			
Nitrogen (NO ₃ - N) [mg/l]	< 5	5 - 30	> 30
Bicarbonate (HCO ₃) (<i>overhead sprinkling only</i>) [me/l]	< 1.5	1.5 - 8.5	> 8.5
pH	Normal Range 6.5 - 8.4		

3) 수질항목에 대한 작물의 피해증상

관개수의 주요항목의 특성에 다른 작물의 피해증상에 대해 살펴보면 다음과 같다(김, 2006).

(1) 수소이온농도(pH)

물속에 함유된 유리탄산과 탄산염의 비율에 따라 결정되며, 물의 산성, 중성, 알칼리성의 세기를 편의상 수산화이온의 농도로 간단하게 나타나는 지수로서 자연적인 pH의 변화는 농업용수 수질에 큰 문제가 되지 않지만 폐산, 폐알칼리에 의해 오염된 경우에는 큰 문제가 된다. 정도에 따라 양분의 유효도에 큰 영향을 미치며, 작물의 양분흡수를 저해한다.

산성이 강할 경우에 염기 용탈이 일어나 노후화된다. 토양 중 각종 중금속의 용해도 증가로 인한 유독작용이 발생한다. 알칼리성이 강할 경우에는 철 결핍에 의한 황화현상을 일으킨다.

(2) 전기전도도(EC)

관개수에 함유되어 있는 염류의 지표인 EC가 높아지면 작물은 염해(농도장해)를 받으며, 토양에 공급된 염류는 토양입자를 분산시켜 토양 공극을 감소시키고 투수성이 저하와 통기성을 불량하게 한다. 염류가 작물 근근에 과하게 집적되면 식물뿌리의 신장을 저해하고 발아율 저해와 식물체의 생육의 불균형을 초래하게 된다. 또한 관개수 중의 염류농도가 높으면 삼투압이 증가로 작물뿌리의 흡수저해가 일어나며, 염류의 조성성분, 농도의 불균형에 의한 작물의 양분흡수 이상을 일으켜 영양과 대사 작용이 저하되어 심하면 고사하게 된다.

미국 농림부에서 농업용수 평가를 위한 중요한 항목으로서 염해문제를 일으키지 않고 사용할 수 있는 양질의 관개수, 염해에 매우 약한 작물 이외의 대부분 작물의 사용할 수 있는 관개수와 염해에 강한 일부작물에 제한적 사용할 수 있는 관개수 및 특수목적 이외에는 사용할 수 없는 관개수로 구분하고 있다.

또한 FAO에서도 작물에 대한 농업용수 중 EC에 의한 영향을 평가하는데 0.7 dS/m 이하면 작물 생산에 큰 영향이 없고, 3.0 dS/m 이상이면 작물의 생장에 악영향이 크다고 한다.

(3) 질산성 질소(NO_3^- -N)

단백질과 같은 복잡한 질소 화합물이 부패, 발효, 산화 등의 과정에서 최종적 생성물질이며 물의 오염지표, 수역에서의 부영양화 지표로 사용되어진다. 화학적으로 불활성이지만 미생물 작용에 의해 환원될 수도 있다. 일반적으로 $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$ 의 과정으로 진행 중 아질산(NO_2^-)은 불안정한 물질로서 쉽게 변환되며, 질산화 과정의 최종산화물이다. 지하수 중 NO_3^- -N의 오염원으로 농작물 생산을 위한 활동 중 비료 사용이 주요한 부분을 차지한다. NO_3^- -N의 고농도화는 작물의 생산 활동과 함께 가축의 사육, 생활 오수와 산업폐수 등 인위적인 영향과 지질광물 등 자연적 원인이 복합되어 오염 경로가 매우 복잡하다.

(4) 염소이온(Cl^-)

수중에 녹아있는 염화물중의 염소분을 말하며, 물에 녹기 쉬운 성질이 있어 자연수에도 함유된다. 염소이온은 미량원소로 식물생육에 필요하나 과도한 양이 관개수에 함유될 경우 식물체의 광합성률의 감소, 탄수화물의 이동 저해, 호흡과 수분 흡수를 저해하는 등의 장애를 일으킨다. 염소이온은 불활성으로 형태변화가 없고 독성이 없으며 토양과도 흡착을 하지 않는다. 관개수 내 염소는 토양에 흡착되거나 고정되지 않아 토양수분에 의해 빠르게 이동하고 이후 작물에 흡수되어 잎에 축적된다. 잎에서 염소농도가 한계치를 초과하면 잎이 변색되거나 표면이 마르는 등의 장애증상이 생긴다.

(5) 황산이온(SO_4^{2-})

수중의 SO_4^{2-} 는 황산염 중의 이온화된 황산성분을 말한다. 주로 지하수의 경우 지질광물에서 유래되나, 하천수의 경우에는 하수나 폐수의 오염에서 유래되기도 한다. 이런 황산염은 환원상태에서 난용성 ZnS를 형성하여 식물체의 미량원소인 아연 결핍을 초래하며, Ca^{2+} 흡수저해와 Na^+ 흡수촉진 및 엽록체의 광인산화 반응을 저해하는데 관개수 중 유의성 있는 감수농도는 54.9 mg/L로 보고되어 있다.

(6) 카드뮴(Cd)

다듬질 면이 아름답고 내식성이 있어 통신기 재료의 도금에 사용되어 진다. 비스무트와 가용합금, 은·니켈·구리와 혼합하여 베어링합금을 만드는데 사용되고, 땀납, 치과용 아말감 등으로 사용되고 황화물은 인광체로 사용되고 안료로서도 사용되어진다. 카드뮴염, 카드뮴 증기는 유독하며 사람에게 중독 증상을 일으킨다. 산화상태가 +2인 금속으로 화학적 아연과 비슷하여 자연계에서는 아연과 함께 존재하며, 금속 중 작물에 가장 흡수·축적이 잘된다. 일본의 이따이이따이병의 원인물질이다.

(7) 수 은(Hg)

은백색의 금속이며, 정상온도와 압력에서 액체상태의 금속이며 원소상태의 수증기는 불요성이며, 질산에 쉽게 녹으며 철, 니켈, 백금을 제외한 다른 금속과 합금하여 아말감을 만든다. 모든 생명체에 독성이 있다.

금속상태로 한란계, 기업계와 여러 가지 이화학 기계, 수은등·정류기·펌프 등에 넓게 사용된다. 유독하며 소량의 증기를 장기간 흡입할 경우 중독 증상이 나타난다. 화합물에도 유독한 것이 많으며 치사량은 0.6 g이며, 미나마타 병의 원인이며 환경오염 관련 중요한 문제로 되어 있다.

(8) 비 소(As)

금속과 비금속의 중간 성격으로서 황비철광 등 황화물로 산출되며, 금속 상회백색의 금속광택과 부서지기 쉬운 결정구조이다. 합금의 첨가제로 사용되며, 구리에 소량 가하면 내열성이 증가하고, 납에 소량을 가하면 굳기가 증가하는 특징을 보이며 주로 납-안티몬계의 베어링합금 등에 첨가한다.

비소가 과량으로 공급되어지면 엽맥부위를 제외하고는 황화현상이 발생하고 더 진행되면 백엽화 현상이 나타나며 황화현상은 신엽에서 시작 뿌리가 썩게 되고 신근의 발생억제와 전엽의 황화 및 고사가 일어난다.

(9) 페놀

염료, 살리실산, 피크르산 등 중요한 유기물질의 원료로 사용되고, 페놀수지를 비롯 에폭시수지 카보네이트 수지의 원료로 사용되어지며 극약이다. 자연 상태로는 존재하지 않으며 소독제, 방부제, 의약품, 합성수지, 폭약 및 염료 등의 제조 원료로 사용된다. 인체의 유해성은 발암성이며 염소 처리 시 강한 냄새 유발한다.

(10) 6가 크롬(Cr6+)

은백색의 광택과 단단하고 크롬은 생체에 필수원소로서 글루코스나 지방질의 대사, 단백질합성에 관여한다. 산소와 결합하여 2, 3, 6가 산화크롬을 만들며 CrO_3 의 경우 크롬의 산화수가 6이므로 6가 크롬이라 한다. 접촉하면 피부, 점막에 궤양을 일으키고, 체내에 유입되어지면 장, 간, 신장 등에 축적되어 장애를 유발시킨다.

(11) 유기인

인산, 포스폰산, 포스핀산의 에스테르 및 아미드로 되어있다. 1983년경 TEPP의 살충작용이 인정되어 파라치온, DEP, DDVP, 다이아지논 등 차례로 우수한 살충제가 발견되었다. 살충작용은 콜린에스테라제 저해작용에 의하며, IBP, EDDP와 같은 살균제, 아미프로포스메틸과 같은 제초제도 실용화 되어 있다. 지금까지 농약중독의 가장 중요한 원인이 되지만, 강독성 유기인계 농약은 대부분 사용금지 되어 감소하고 있다.

(12) 트리클로로에틸렌(TCE, C_2HCl_3)

유기염소계 용제로서 휘발성 물질이며 무색투명의 액체로 물에 난용이며 (1.07 mg/L , 25°C) 클로로포름과 비슷한 냄새가 난다. 용제로서 용해력은 가솔린의 5~7배 크며 금속기계 부품의 세정, 유기용제, 살충제, 프레온 가스의 제조 등에 쓰인다.

(13) 테트라클로로에틸렌(TPCE: PCE, C₂Cl₄)

유기염소계 용제로 휘발성 물질이며 무색투명의 액체, 불연성, 물에 난용(150 mg/L, 25℃)으로 금속산업의 탈지 용매, 드라이클리닝 용매로 쓰인다.

(14) 1,1,1-트리클로로에틸렌

휘발성이며 오존층 파괴물질의 하나이며 금속의 상온세척이나, 증기세척과 드라이클리닝 용제로 사용한다. 중추신경 억제, 간장에 유해, 마취성, 돌연변이 등이 발생된다.

4. 관개수 수질 및 작물의 생육에 미치는 영향의 정도

관개수의 수질을 평가할 때는 관개수의 성분의 화학적 반응성, 토양의 물리화학적 특성, 기후관계 조절요인 등의 지역적 요인을 고려해야 한다. 또한 관개의 영향과 작물의 수확물의 질과 관련된 인간과 동물에 대한 영향 등이 고려되어야 한다. 관개수의 수질은 염류도와 나트륨의 염성, 물의 침투율과 미량 원소와 독성에 따라 영향을 받는다(정 외, 2002).

토양에 수분이 너무 많으면 토양공기의 양이 감소되어 뿌리의 정상적인 기능을 다하지 못하게 되고 부패하며, 수분이 너무 적으면 토양이 건조해지고 단단해지며 식물은 위조하거나 고사하게 될 뿐만 아니라 토양의 이화학적 성질을 악화시킨다. 일반적으로 파이프호스(pipe hose)로 관수하는 경우가 많은데, 이 경우 지표면에 떨어지는 물줄기나 굵은 물방울은 표토를 굳어지게 하며 토양층으로의 침투를 어렵게 한다. 이상적인 관수 방법은 토양이 갖는 수분의 침투율을 감안한 스프링클러의 이용이다(농림부, 2002).

1) 관개수의 수질기준

관개수의 적합성은 염의 함유와 종류에 의해 결정되어진다. 총 염류의 양에 따라 토양과 작물의 수확량에 영향을 미친다. 수질의 적합성은 장기간 사용할

때 잠재적인 영향을 판단할 수 있다.

토양에 문제를 일으킬 수 있는 농업용 관개수의 수질은 염류도, 물의 침투율, 특정 이온의 독성에 의해 영향을 받는다.

2) 관개수 수질이 작물 생육에 미치는 영향요인(정 등, 2002)

(1) 염류도

관개수의 염류도는 녹아있는 염류의 총합으로서 주된 구성 원소는 양이온 Ca^+ , Mg^{2+} , Na^+ 와 음이온 Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- 이다. K^+ , NO_3^- 이온은 대체로 부수적인 염류의 구성 원소이고 기타 소량으로 용해된 원소들은 염류도 평가에서 제외된다. 염류도는 식물의 뿌리가 수분을 흡수하는 능력을 감소시켜 작물의 성장을 저해한다. 가용성 이온과 분자들은 삼투압현상으로 알려진 식물의 수분 흡수율을 감소시키는 결과를 초래한다.

물의 염류도를 평가하는 방법은 지역별로 다르다. 관개수의 적합성은 토양의 용탈정도, 작물에 대한 염의 내성, 관개시설, 그리고 기후 등의 지역적인 근거를 두고 평가되어진다. 스프링클러를 이용할 경우 관개수의 염에 대한 잎의 피해는 각각의 이온 농도, 작물의 민감성, 관개의 빈도, 환경요인(온도, 상대습도 등)과 관개 전 수분 스트레스의 영향을 받는다.

(2) 나트륨의 염성

염해도와 달리 과도한 Na^+ 은 수분의 흡수를 저해하지는 않으나 물의 토양으로 침투하는 것을 저해한다. 이런 이유로 식물의 생장은 토양수의 비 유용성에 영향을 받는다. 물의 침투성 감소는 보통 표면의 경화, 토양 공극내 점토의 분산과 이동과 팽창형 점토 팽창을 야기한다.

(3) 물의 침투율

토양으로 물이 들어가는 것을 침투라 하고, 물이 들어가는 속도를 침투율이라 한다. 침투율이 3 mm/hr이하이면 느리며, 12 mm/hr이상이면 비교적 빠른 것으로 본다. 물의 침투 문제는 공급된 물 또는 강수의 침투율이 감소되거나

나 물이 지표에 오래 머물러 있어 침투되는 속도가 너무 느려 작물의 생육에 필요한 물을 적기에 공급할 수 없는 상태에서 일어난다. 물의 침투율이 수질과 관련 있지만 토양의 구조, 압밀도, 식생, 유기물 함량 등 토양의 물리적 요인과 밀접하고, 치환성양이온 등의 화학적 특성에도 영향을 받는다.

정상적인 침투율의 수질요인은 염류도와 칼슘 및 마그네슘의 함량과 관련된 나트륨의 비율이다. 고염류의 관개수는 침투율을 증가시키고, 저염류 관개수 또는 나트륨 비율이 높은 관개수는 침투율을 감소시킨다. 침투율에 영향요인은 동시에 작용한다. 적절한 침투가 이루어지도록 관개가 장시간 행해질 때 부차적인 문제(모기, 곤충 등 매개충의 서식) 발생할 수 있다.

수질에 의한 침투율 문제는 토양의 표면에서 일어나고, 토양의 구조 안정성과 관계하며, 나트륨에 대한 낮은 칼슘의 비율과도 관련이 있다. Na^+ 함량이 높은 관개수를 토양에 관수하면, 토양의 구조가 약해진다. 토양 표면의 입단이 파괴되어 분산되고, 분산된 입자는 투수되는 물과 이동 공극을 메우게 된다. 입단의 분산 문제는 토양 중 낮은 칼슘 함량으로 발생할 수도 있다.

염류도가 높아지면 토양 침투율이 높아지며, 염류도가 낮아지거나 칼슘과 마그네슘에 대한 나트륨 비율이 높아지면 침투율은 낮아진다. 그러므로 침투율을 다룰 때에는 염류도와 SAR을 동시에 다루어져야 한다.

염농도와 SAR를 함께 고려하면 잠재적인 관개상의 문제점을 예측할 수 있다.

(4) 농업용 지하수의 SAR값의 의미

SAR값이 높은 지하수를 장기간 사용 시 토양에 나트륨이 축적되어 식물에게는 해를 미칠 수 있다. 지하수 중 나트륨함량이 칼슘함량보다 많으면(>3:1) 토양분산을 촉진하고 토양구조를 파괴 한다. SAR값이 높으면 강우나 관개의 경우 토양에서 물의 침투력이 약하고 유거수량이 증가하며 종자발아율이 저하되고 토양표면에 딱딱한 껍질이 형성된다.

관개수의 용해염류는 삼투압을 증가시켜 식물의 영양분을 흡수를 방해한다. 토양과 평형을 이루는 토양용액 중의 Ca^{2+} 과 Mg^{2+} 에 대한 Na^+ 의 농도비에

기준해서 토양에 흡착되어 있는 Na^+ 의 양이온교환용량 점유율을 추정하기 위한 값이다. 농업용수 내에 Na^+ 의 양이 Ca^{2+} 와 Mg^{2+} 의 양과 비교하여 과다할 때는 Na^+ 가 Ca^{2+} 와 치환되어 배수가 불량하게 되어 경작하기 어려운 토양으로 변한다. 토양은 Na^+ 에 의하여 일시적으로 알칼리성이 되지만 물속의 H^+ 에 의하여 치환되어 산성이 된다. 나트륨의 흡착비는 $\text{SAR} = \text{Na} / \sqrt{((\text{Ca} + \text{Mg}) / 2)}$ 으로 구한다.



Ⅲ. 자료조사 및 연구방법

1. 대상지역의 선정

본 연구에서 수질자료는 제주지역에서 개발·이용되고 있는 지하수 중 2008년 4회(매 분기)에 걸쳐 제주특별자치도 환경자원연구원에서 지하수의 수질 특성과 계절적·경년적 변화를 지속적이고 합리적으로 오염예방 대책을 강구하기 위해 검사 실시된 지하수의 모니터링(제주특별자치도 설치 및 국제자유도시 조성을 위한 특별법 제314조 "지하수 관측망의 설치·운영 등") 자료를 활용하였다.

제주특별자치도 환경자원연구원에서 2008년 182 개 관정을 대상으로 지하수의 오염특성과 계절적 변화에 대한 모니터링을 실시하였다. 그 중 66개 지점의 농업용 지하수의 연 평균값을 선정 할 수 있는 제주시와 서귀포시 각각 4개 지점과 10개 읍·면지역에서 각 2개 지점을 선정 총 28개소의 관정을 대상으로 하였다. 위 대상지역은 행정구역(시·읍·면)내에 위치한 공공용 관정을 대상으로 농업용으로 허가된 지역이며, 수질자료는 비음용의 시설에 대하여 연평균 값으로 년 4회에 걸쳐 채수된 지점을 대상으로 한 112건의 지하수 모니터링 자료이다.

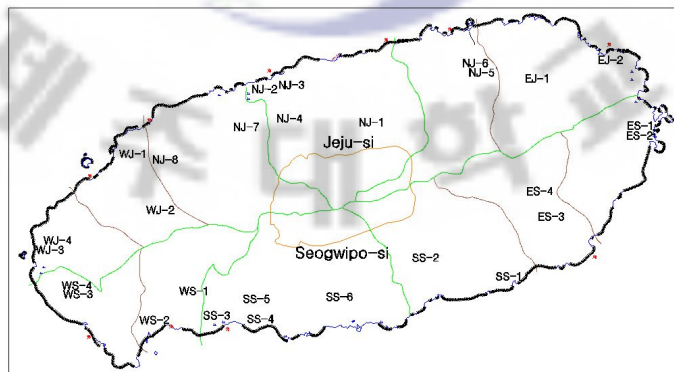


Fig. 4. Review the selection of points.

2. 검토항목의 선정

지하수 Monitoring은 기본항목(pH, 전기전도도, 음·양이온 8개 항목)과 휘발성물질 TCE, PCE, TCA, BTEX 등 7개 항목 농약성분 다이아지논, 페니트로치온, 파라치온, 카바릴 4개 항목에 대하여 이루어지고 있다.

휘발성물질 및 농약성분은 전 지역에서 불 검출되어 대상에서 제외하고, 본 연구에서는 먹는 물의 수질기준의 심미적 영향물질 3개 항목과 지하수의 특성을 알아볼 수 있는 이온성분 6개 항목 및 전기전도도에 대한 수질검사 자료를 활용하였다.

수질검토 항목은 농업용수의 일반적 특성을 알아보기 위해 양·음이온 성분인 칼륨(K^+), 마그네슘(Mg^{2+}), 칼슘(Ca^{2+})과 염소이온(Cl^-), 황산이온(SO_4^{2-})과 중탄산이온(HCO_3^-)의 농도를 검토하였다. 영양소 성분으로 칼륨(K^+)과 인위적인 오염영향을 알 수 있는 질산성질소($NO_3^- - N$)에 대해 검토하고, 기타항목으로 염류도의 검토를 위한 전기전도도(EC)와 나트륨흡착비율(SAR, Sodium Adsorption Ratio)을 검토하였다.

토양 침투율에 미치는 농업(관개)용수의 잠재적인 영향 검토를 위해 EC와 SAR의 상호관계의 검토를 위해 양이온의 자료를 검토항목으로 선정하였다.

제주도에서 용수사용은 전량 지하수에 의존하고 있어 농업용수로 사용되어지는 지하수의 함유 성분으로 인한 침투율에 영향을 주는 수질요인인 염류도와 칼슘, 마그네슘의 함량과 관련된 나트륨의 비율(SAR)을 EC를 자료를 활용하여, FAO에서 미국서부지역의 농업자료를 기초로 하여 밭 관개수 수질에 대한 농업용수 지침(Table 5)과 비교, 제주지역의 농업용수에 의한 잠재적인 관개상의 문제점을 예측할 수 있는 토양 침투율을 조사하였다.

수질에 대한 검토방법은 모니터링 기간에 따라 1차 조사기간(2008. 4. 11~6. 13)을 춘계, 2차 조사기간(2008. 7. 1~8. 18)을 하계, 3차 조사기간(2008. 9. 1~10. 13)을 추계, 4차 조사기간(2008. 11. 1~12. 13)을 동계로 구분

하여 계절적으로 구분하고, 수질자료의 통계는 28지점의 계절적인 평균값을 이용하여 수질의 특성을 검토하였다.

지역적인 검토를 위해 동부지역(구좌읍, 성산읍, 표선면 6개 지점), 서부지역(한림읍, 한경면, 안덕면, 대정읍 8개 지점), 남부지역(남원읍, 서귀포시 6개 지점), 북부지역(제주시, 조천읍, 애월읍 8개 지점)으로 구분, 지역의 지점별 연 평균값을 이용하여 지역적인 검토를 병행하였다.



IV. 결과 및 고찰

1. 이온의 특성 (양·음이온)

본 연구대상 지역에서 농업용수로 사용되어지는 지하수의 전체 분석 자료는 Table 7과 Table 8에 나타내었다.

관개수의 염류도의 구성은 양이온 Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} 와 음이온 HCO_3^{-} , Cl^{-} , SO_4^{2-} 의 총합으로서 양·음이온 항목별 특성에 대한 검토결과는 다음과 같다.

Na^{+} 이온의 지역별 수질현황은 Fig. 5에 그리고 계절별 수질현황은 Fig. 6에 나타내었다. 대상지역 연간 농도는 4.6~61.0 mg/L을 보였으며, 지역적으로는 동부지역 6.60~60.10 mg/L, 서부지역 9.20~39.90 mg/L, 남부지역 4.60~26.70 mg/L, 북부지역 4.70~61.00 mg/L을 보였다. 지역의 연평균 값은 서부지역에서 17.32 mg/L로 가장 높고, 동부 15.13 mg/L, 남부 12.15 mg/L, 북부 11.35 mg/L 순으로 나타났다.

계절별 평균농도는 춘계에 11.88~15.71 mg/L, 하계 8.89~17.54 mg/L, 추계 12.23~17.33 mg/L, 동계 9.14~19.79 mg/L을 보였고, 총 28개 지점의 평균은 추계에 15.35 mg/L로 계절적 가장 높은 값을 나타내고, 동계 15.13 mg/L, 춘계 13.04 mg/L, 하계 12.57 mg/L로 농도가 낮게 나타났다.

제주지역의 농업용 지하수의 Na^{+} 이온성분은 0.2~2.65 me/L(최소~최대)로 분포되어 FAO의 관개수의 수질평가 기준범위(0~40 me/L)내에 전 지역이 초과하지 않았다. Na^{+} 이온의 지역 및 계절적인 수질현황을 종합해보면 동부, 서부와 남부지역은 동계에 높게 나타나고, 북부지역의 경우는 추계에 높게 나타났다.

Table 7. Agriculture used groundwater quality data

2008. 4. 11 ~ 6. 13

Point	EC	pH	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ -N	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SAR
EJ-1	92	8	28.8	10	1.6	3	8.3	2.6	3.4	4.4	0.72
EJ-2	170	7.7	34.9	18	6	5	11.7	3	6.6	8.5	0.73
ES-1	169	7.9	28	23	5.5	5	14.7	3.3	6.3	6.4	0.99
ES-2	230	7.7	34.9	43	4.2	7	20.9	3.6	8.7	8.1	1.21
ES-3	90	7.6	34.9	7	0.4	2	6.6	2.2	3.7	4.6	0.56
ES-4	126	7.8	45.2	11	1.7	2	9.1	2.7	5.6	6.4	0.63
WJ-1	191	7.3	43.1	16	6.6	6	11.5	3.4	8.8	10.2	0.64
WJ-2	138	7.9	30.8	20	1.5	3	9.2	11.6	4	4.1	0.77
WJ-3	201	8.3	64.4	24	0.8	5	19.4	8.2	3.9	11.8	1.25
WJ-4	201	8.4	66.8	22	1.5	5	20.8	7	3.6	12.6	1.33
WS-1	157	7.2	43.2	14	4	3	13.4	3.5	4.5	8.8	0.92
WS-2	178	8.2	83.6	10	0.1	5	23	5.4	2.9	9.3	1.69
WS-3	150	7.5	45.1	15	2.7	7	11.5	3.1	5.9	7.4	0.76
WS-4	261	7	55.5	29	4.7	9	16.9	13.4	9.8	10.8	0.90
SS-1	69	7.4	22.6	6	1.1	1	5.2	1.4	2.4	3.8	0.51
SS-2	65	7.2	22.6	5	1.3	2	4.9	1.1	2.2	3.8	0.49
SS-3	150	7	26.7	14	6.1	3	10.7	2	4.9	9.4	0.70
SS-4	173	8	75.6	9	2.1	2	21.8	5.6	2.5	8.9	1.66
SS-5	183	8.3	98	10	0.2	2	24.2	5.5	5.2	8	1.64
SS-6	59	7	20.5	5	0.7	1	4.6	1.9	2.1	3	0.50
NJ-1	61	7.8	18.5	5	0.3	1	5	2	1.7	2.3	0.61
NJ-2	114	7.6	24.6	11	3.2	4	8.1	2.5	3.9	6	0.63
NJ-3	162	8.1	67.8	13	1	3	14.8	3.4	4.1	11.6	0.95
NJ-4	188	8.3	45.8	36	1	1	31	2.6	2.9	3.6	2.95
NJ-5	103	8	28.8	13	1.7	3	9.2	2.2	3.7	4.6	0.77
NJ-6	99	8	37	9	0.8	2	8.5	2.7	3.8	4.5	0.71
NJ-7	110	7.8	55.5	6	0.2	2	11.4	6.3	4.2	3.5	0.97
NJ-8	99	7.9	45.8	6	0.2	2	8.6	3.7	3.4	4.6	0.74

Table 7. Continued

2008. 7. 01 ~ 8. 18

Point	EC	pH	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ -N	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SAR
EJ-1	97	7.5	28	9	1.2	2	7.8	2.4	3.3	3.8	0.71
EJ-2	181	7.2	31	17	6	4	11.6	3.1	6.8	8.4	0.72
ES-1	187	7.4	23	22	5.6	4	14.6	3.2	6.4	6.2	0.98
ES-2	228	7.3	33	35	3.9	6	19.4	3.5	8.1	7.3	1.17
ES-3	101	7.4	35	7	0.8	2	6.9	2.2	3.9	4.7	0.57
ES-4	118	7.3	43	10	1.9	2	9.2	2.8	5.7	6.1	0.64
WJ-1	272	7.6	49	20	9.6	9	13.4	4	11.9	14	0.64
WJ-2	195	7.5	27	13	7.3	12	13.5	3.9	7.6	6.7	0.85
WJ-3	187	8.6	66	18	0.8	4	20.3	4	3.1	11.7	1.36
WJ-4	328	7.4	111	33	1.9	6	28.1	5	13.4	14.5	1.28
WS-1	238	6.9	31	20	12.3	4	13.4	2.9	8.1	14.4	0.70
WS-2	190	8.3	80	10	0.2	5	22.4	5.1	3.1	9.1	1.63
WS-3	172	7	27	15	5.2	9	11.8	3	6.3	6.9	0.78
WS-4	363	7.1	35	31	17.6	20	17.4	3.8	16.6	17.2	0.72
SS-1	89	7.5	25	7	1.4	2	6.4	2.6	2.6	4.3	0.60
SS-2	87	7	21	6	2.7	1	5.6	1.3	2.9	4.9	0.50
SS-3	199	7.4	29	17	9.3	3	11.9	1.8	6.1	11.9	0.70
SS-4	180	8.2	62	8	1.8	2	19.4	5	2.2	8	1.56
SS-5	190	8.2	88	9	0.1	2	22.6	4.9	4.8	7.2	1.60
SS-6	74	7.3	21	5	1.1	1	5.1	2	2.4	3.4	0.52
NJ-1	59	7.1	16	5	0.3	1	4.7	2	1.7	2.3	0.57
NJ-2	146	6.4	29	13	4.3	5	9.4	2.4	5	7.7	0.65
NJ-3	190	7.8	59	15	2.7	6	14.5	3.3	5	13.2	0.86
NJ-4	91	6.9	27	8	1	1	7.3	2.2	3	3.8	0.68
NJ-5	109	7.7	31	10	1.4	3	9.1	2.2	3.8	4.6	0.76
NJ-6	96	7.9	35	7	0.5	2	7.7	2.7	3.6	4.1	0.67
NJ-7	106	7.6	43	5	0.1	2	9.8	4.9	3.7	2.9	0.90
NJ-8	103	7.9	39	6	0.3	2	8.6	3.6	3.2	4.4	0.76

Table 7. Continued

2008. 9. 01 ~ 10. 13

Point	EC	pH	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ -N	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SAR
EJ-1	98	7.7	29	9	1.4	2.3	8	2.4	3.4	4	0.71
EJ-2	180	7.4	35	16.6	5.8	4.1	11.6	3	6.7	8.4	0.72
ES-1	401	7.4	40	82.8	1.9	12.1	48.6	3.9	9.9	7.2	2.76
ES-2	218	7.5	35	31.6	3.9	5.2	19.1	3.3	7.7	7.1	1.18
ES-3	111	7.4	33	8.4	2.2	1.9	7.4	2.1	4.3	5.7	0.57
ES-4	134	7.5	45	10.2	2.1	1.7	9.3	2.9	5.7	6.3	0.65
WJ-1	233	7.2	51	17.5	8.1	7.8	13	3.9	10.6	12.5	0.65
WJ-2	107	7.9	32	10.8	1.3	2.3	9.4	3.2	3.8	3.9	0.81
WJ-3	187	8.5	68	18.1	0.7	4.2	20.3	4.1	3.1	11.9	1.35
WJ-4	206	8.4	70	19.3	1.5	4.8	21.7	4.1	4	12.4	1.37
WS-1	186	7.3	37	15.4	6.6	3.4	13.1	3.2	5.3	10.3	0.83
WS-2	186	8.2	84	9.6	0.1	2.4	22.1	5	3.1	9.1	1.61
WS-3	132	7.3	29	12.3	2.9	6.7	10.7	2.9	5	5.5	0.79
WS-4	343	7	46	28.8	15.1	17.5	19.6	3.9	16	17.1	0.82
SS-1	86	7.8	27	6.7	1.4	1.4	6.6	2.7	2.6	4.4	0.62
SS-2	73	7	23	5.5	1.6	1.3	5.1	1.2	2.5	4.2	0.49
SS-3	164	6.9	30	14.3	6.4	3	11	2.1	5.2	10	0.70
SS-4	177	7.9	76	8.3	1.6	1.9	21.5	5.7	2.4	8.7	1.66
SS-5	196	7.9	99	8.9	0.1	1.4	24.3	5.5	5	7.5	1.68
SS-6	68	6.9	22	4.9	0.7	1.3	4.9	2	2.1	3.1	0.53
NJ-1	57	7.3	18	5.3	0.4	1.5	4.8	2.1	1.8	2.3	0.58
NJ-2	106	6.9	35	8.6	1.9	0.7	7.3	4.4	3.5	5.3	0.60
NJ-3	166	8	63	10.2	0.5	0.9	12.3	4.5	3.2	10.5	0.85
NJ-4	342	8.7	58	69.8	1	1.3	61	2.2	2.8	3.5	5.89
NJ-5	112	7.6	31	10.4	1.5	2.6	9.3	2.3	3.8	4.7	0.77
NJ-6	99	7.5	37	7.4	0.5	1.8	7.7	2.6	3.9	4.4	0.64
NJ-7	118	7.7	55	5.4	0.1	1.6	11.4	5.6	4.2	3.4	0.98
NJ-8	103	8	43	6.4	0.3	1.8	8.7	3.7	3.4	4.6	0.75

Table 7. Continued

2008. 11. 01 ~ 12. 13

Point	EC	pH	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ -N	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SAR
EJ-1	96	8.3	34	9.3	1.5	2.4	8.8	2.6	3.9	4.6	0.73
EJ-2	175	8.1	39	16.4	5.5	3.9	11.4	2.9	6.5	8.3	0.72
ES-1	431	7.9	49	97	1.6	13.6	60.1	4.5	11.9	8.4	3.12
ES-2	221	8.1	39	33.2	3.8	5	20.1	3.4	8.1	7.4	1.21
ES-3	93	7.9	44	6.4	0.4	1.5	6.8	2.3	3.9	4.8	0.56
ES-4	130	8.3	49	9.9	1.4	1.6	9.1	2.7	5.7	6.2	0.63
WJ-1	218	7.6	59	16	7.2	6.6	13.7	3.8	10.1	11.7	0.71
WJ-2	119	8	39	11.7	2.4	3.7	10.5	3.4	5	5.1	0.79
WJ-3	237	8.2	93	25	0.7	4.5	23.6	4.3	7.4	14.3	1.26
WJ-4	478	7.8	217	40.8	0.3	3.9	39.9	6.2	24.3	15.1	1.48
WS-1	163	7.6	51	14.2	4.5	2.9	14.6	3.8	5	10	0.94
WS-2	182	8.3	90	9	0.3	4.6	24	5.4	2.9	9.9	1.72
WS-3	133	7.6	37	14.3	3.1	6.5	12.5	3.8	5.5	6.5	0.87
WS-4	331	7.2	55	27.8	14.6	16.5	19.5	4	16.4	17.9	0.80
SS-1	86	8.1	31	7	1.6	1.5	6.7	2.8	2.9	4.7	0.60
SS-2	69	7.8	24	4.9	1.3	1.2	4.8	1.2	2.4	4	0.47
SS-3	122	7.6	39	10.8	2.8	2.3	10.7	2.4	4	7.8	0.78
SS-4	171	8.4	82	8.2	1.5	1.7	21.8	5.6	2.4	8.7	1.69
SS-5	204	8.4	107	8.9	0.2	1.6	26.7	5.8	5.3	7.8	1.81
SS-6	63	8	27	4.8	0.8	1.3	5.2	2.1	2.3	3.4	0.53
NJ-1	55	7.9	21	4.9	0.2	1.2	4.7	2	1.7	2.2	0.58
NJ-2	90	7.3	31	8.1	1.5	1.8	7.2	2.1	3.2	4.9	0.62
NJ-3	166	8.4	74	11.1	0.7	3.3	14.2	3.4	3.6	12.1	0.92
NJ-4	78	7.8	31	8.1	0.5	1.3	6.1	3.7	2.8	3.4	0.59
NJ-5	110	8.3	37	11.2	1.3	2.5	10.3	2.4	4	4.8	0.84
NJ-6	105	8.2	42	9.1	0.6	1.6	9.2	2.7	3.9	4.5	0.77
NJ-7	116	8.2	62	7.4	0.5	2.1	12.1	5.8	4.5	4.3	0.97
NJ-8	103	8.1	51	6.6	0.4	1.9	9.3	4	3.6	5.1	0.77

Table 8. Statistic data for Agriculture groundwater samples

	2008				First Sample (08. 4. 11 ~ 6. 13)				Second Sample (08. 7. 01 ~ 8. 18)				Third Sample (08. 9. 01 ~ 10. 13)				Fourth Sample (08. 11. 01 ~ 12. 13)			
	Min	Max	Aver.	S.D	Min	Max	Aver.	S.D	Min	Max	Aver.	S.D	Min	Max	Aver.	S.D	Min	Max	Aver.	S.D
EC	55	478	158.0	80.9	59	261	142.5	53.3	59	363	163.4	75.8	57	401	163.9	85.2	55	478	162.3	103.5
pH	6.4	8.7	7.7	0.5	7	8.4	7.8	51.9	6.4	8.6	7.5	74.4	6.9	8.7	7.6	0.5	7.2	8.4	8.0	0.3
Na ⁺	4.6	61	14.0	9.8	4.6	31	13.0	6.8	4.7	28.1	12.6	6.1	4.8	61	15.4	12.7	4.7	60.1	15.1	11.9
Cl ⁻	4.8	97	15.1	14.2	5	43	14.6	9.5	5	35	13.6	8.5	4.9	82.8	16.5	18.2	4.8	97	15.8	18.2
K ⁺	1.1	13.4	3.6	1.8	1.1	13.4	4.1	2.9	1.3	5.1	3.2	1.1	1.2	5.7	3.4	1.2	1.2	6.2	3.5	1.3
Ca ²⁺	2.2	17.9	7.2	3.6	2.3	12.6	6.8	3.0	2.3	17.2	7.6	4.1	2.3	17.1	7.1	3.6	2.2	17.9	7.4	3.9
Mg ²⁺	1.7	24.3	5.2	3.5	1.7	9.8	4.5	2.1	1.7	16.6	5.5	3.6	1.8	16	4.8	3.1	1.7	24.3	5.8	4.8
HCO ₃ ⁻	16	217	46.2	26.7	18.5	98	43.9	20.4	16	111	40.9	22.5	18	99	44.7	20.1	21	217	55.5	38.4
SO ₄ ²⁻	0.7	20	3.7	3.4	1	9	3.4	2.1	1	20	4.4	4.1	0.7	17.5	3.5	3.7	1.2	16.5	3.7	3.6
NO ₃ ⁻ -N	0.1	17.6	2.6	3.2	0.1	6.6	2.2	2.0	0.1	17.6	3.6	4.3	0.1	15.1	2.6	3.3	0.2	14.6	2.2	3.0
SAR	0.5	5.9	0.98	0.67	0.5	2.9	0.96	0.52	0.5	1.6	0.86	0.33	0.5	5.9	1.13	1.06	0.5	3.1	0.98	0.56

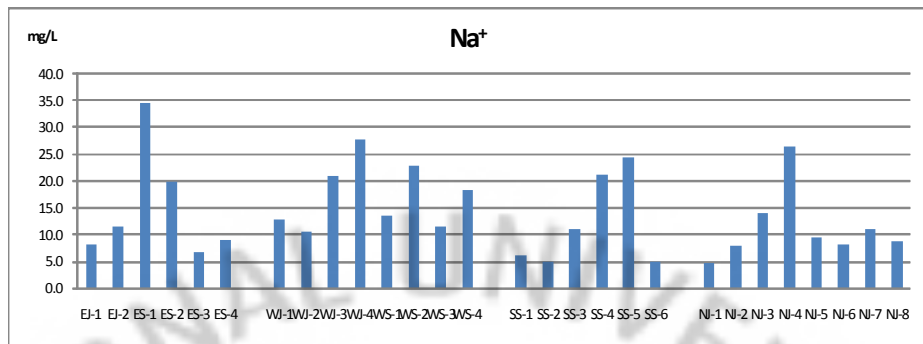


Fig. 5. Regional mean value of Na⁺ ion concentration.

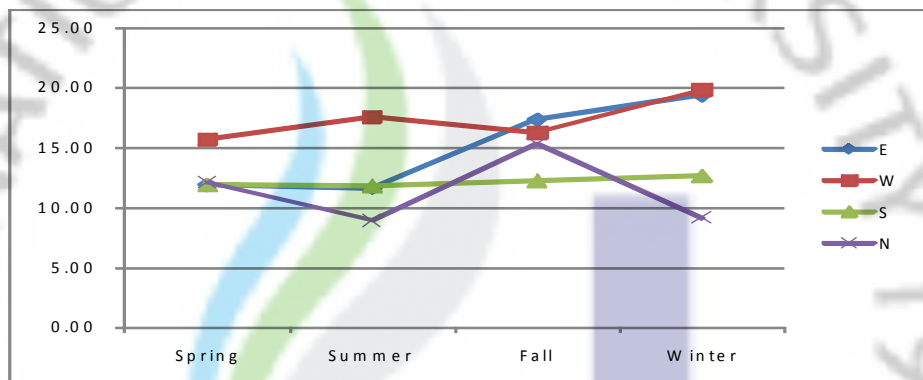


Fig. 6. Seasonal mean value of Na⁺ ion concentration(mg/L).

일반적으로 Na⁺과 Cl⁻의 성분비율은 Na⁺값이 Cl⁻보다 적어야 정상적인 지하수라 할 수 있으며 그 값이 비슷할수록 low mineralization(광화작용: 광상과 광물이 암석 속에 형성되는 작용으로, 가스체에 의한 기성작용, 용류(溶流)에 의한 열수작용, 광화유체에 의한 교대작용 또는 변성작용으로 발생한다.)을 받는 것으로 본다(최와 김, 1989). 그러나 제주지역의 조사지점에서 28개 지점 중 11개 지점(112회 중 34회)에서 Na⁺의 연 평균농도가 Cl⁻농도보다 높게 나타났다.

용존Mg²⁺이온의 지역별 수질현황은 Fig. 7에 그리고 계절별 수질현황은 Fig. 8에 나타내었다. 용존Mg²⁺의 주요한 기원은 백운석 또는 Mg를 포함한 방해석 등의 용해 및 Mg⁻산화광물이나 규산염광물의 용해에 의한 것이 일반적인 으로

여기며(이종운 등, 1997), 각섬석, 녹니석과 흑운모 등의 용해로 유래되는 것으로 알려져 있다. Mg^{2+} 이온의 대상지역 연간 농도는 1.7~24.3 mg/L을 나타내며, 동부지역 3.30~11.90 mg/L, 서부지역 2.90~24.30 mg/L, 남부지역 2.10~6.10 mg/L 그리고 북부지역 1.70~5.00 mg/L을 나타내고 있다. 지역의 연평균 값을 보면 서부지역에서 7.53 mg/L이고, 동부 6.09 mg/L, 북부 3.46 mg/L, 남부 3.31 mg/L 순으로 나타났다.

계절별 평균농도는 춘계에 3.22~5.72 mg/L, 하계 3.50~8.76 mg/L, 추계 3.30~6.36 mg/L, 동계 3.22~9.58 mg/L이고, 총 28개 지점의 평균은 동계에 5.83 mg/L로 가장 높은 값을 나타내고, 하계 5.51 mg/L, 추계 4.82 mg/L, 춘계 4.45 mg/L로 농도가 낮게 나타났다.

Mg^{2+} 이온성분의 0.14~2.0 me/L로 분포되어 FAO의 관개수의 수질평가 기준 범위(0~5 me/L)내에 분포함을 알 수 있었다. Mg^{2+} 이온의 지역 및 계절적인 수질현황은 Fig. 8에서와 같이 동부, 서부지역은 동계에 높은 값을 남부와 북부지역은 하계에 높게 나타났다.

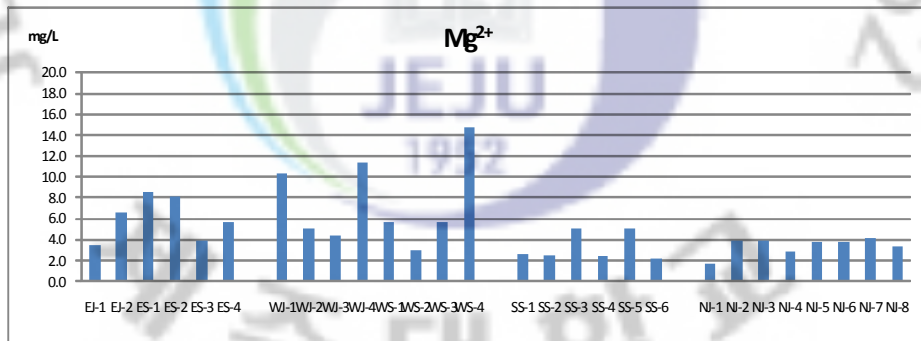


Fig. 7. Regional mean value of Mg^{2+} ion concentration.

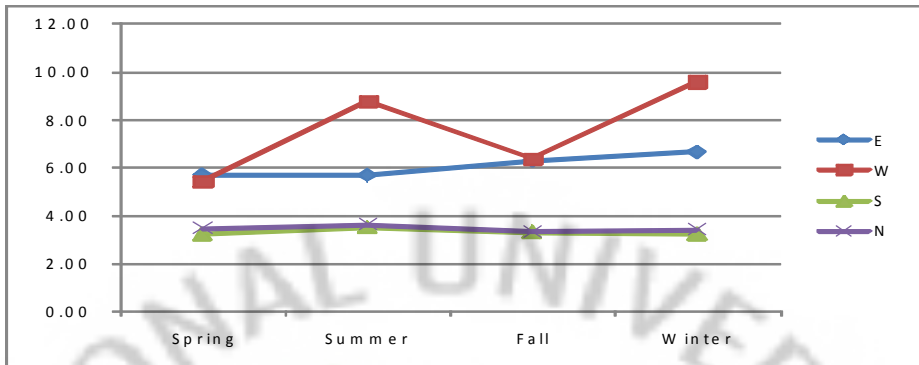


Fig. 8. Seasonal mean value of Mg²⁺ ion concentration(mg/L).

Ca²⁺이온의 지역별 수질현황은 Fig. 9에 그리고 계절별 수질현황은 Fig. 10에 나타내었다. Ca²⁺이온의 대상지역 연간 농도는 2.2~17.9mg/L의 범위이며, 지역별로는 동부지역 3.80~8.50 mg/L, 서부지역 3.90~17.90 mg/L, 남부지역 3.00~11.90 mg/L 그리고 북부지역 2.20~13.20 mg/L을 나타내었다. 그리고 지역의 연평균 값은 서부지역에서 10.71 mg/L, 동부 6.39 mg/L, 남부 6.29 mg/L, 북부 5.12 mg/L을 나타냈다.

계절별 평균농도는 춘계에 5.09~9.38 mg/L, 하계 5.38~11.81 mg/L, 추계 4.84~10.34 mg/L, 동계 5.16~11.31 mg/L이고, 총 28개 지점의 평균은 7.63 mg/L로 하계에 가장 높은 값을 나타내고, 동계 7.43 mg/L, 추계 7.07 mg/L, 춘계 6.82 mg/L로 농도가 낮게 나타났다.

Ca²⁺이온성분은 0.11~0.90 me/L로 분포되어 FAO의 관개수의 수질평가 기준범위(0~20me/L)내에 분포함을 알 수 있었다. Ca²⁺이온의 지역 및 계절적인 수질현황은 서부, 남부 및 북부지역은 하계에 높은 값을 동부지역은 동계에 높게 나타났다.

양이온의 지역(12개 행정구역)별 검출 농도(연평균)는 그 지역 토양통의 치환성양이온(me/100g)양의 평균과 대부분 지역에서 반대로 검출되어, 토양의 양이온치환능력이 클수록 지하수로 유입되는 양이온성분이 상대적으로 적어짐을 알 수 있었다.

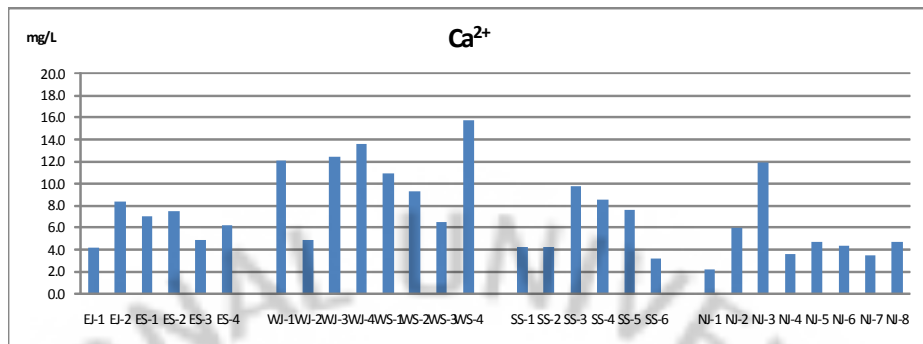


Fig. 9. Regional mean value of Ca²⁺ ion concentration.

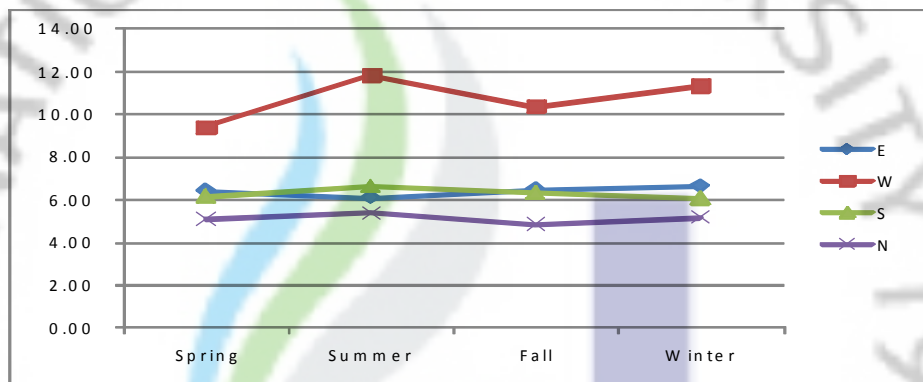


Fig. 10. Seasonal mean value of Ca²⁺ ion concentration(mg/L).

HCO₃⁻이온의 지역별 수질현황은 Fig. 11에 그리고 계절별 수질현황은 Fig. 12에 나타내었다. HCO₃⁻이온의 대상지역 연간 농도는 16.0~217.0mg/L이며, 지역별로는 동부지역 23.0~49.0 mg/L, 서부지역 27.0~217.0 mg/L, 남부지역 20.5~107.0 mg/L, 북부지역 16.0~74.0 mg/L을 나타내며, 지역의 연평균 값은 서부지역에서 59.89 mg/L로 가장 높고, 남부 45.79 mg/L, 북부 40.37 mg/L, 동부 36.28 mg/L의 순으로 나타났다.

계절별 평균농도는 춘계에 34.45~54.06 mg/L, 하계 32.17~53.25 mg/L, 추계 36.17~52.13 mg/L, 동계 42.33~80.13 mg/L이고, 총 28개 지점의 평균은 동계에 55.50 mg/L로 가장 높은 값을 나타내고, 추계 44.68 mg/L, 춘계 43.89 mg/L, 하계 40.86mg/L 순으로 나타났다.

HCO₃⁻이온성분은 0.26~3.56 me/L로 분포되어 FAO의 관개수의 수질평가 기준범위(0~10 me/L)내에 분포함을 알 수 있었다. HCO₃⁻이온의 지역 및 계절적인 수질현황은 전 지역이 동계에 높게 나타났다.

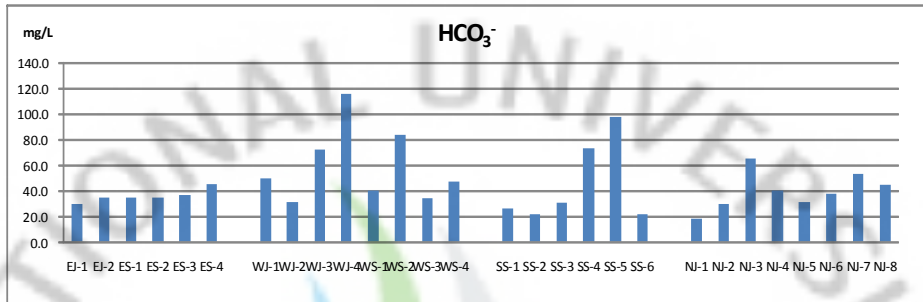


Fig. 11. Regional mean value of HCO₃⁻ ion concentration.

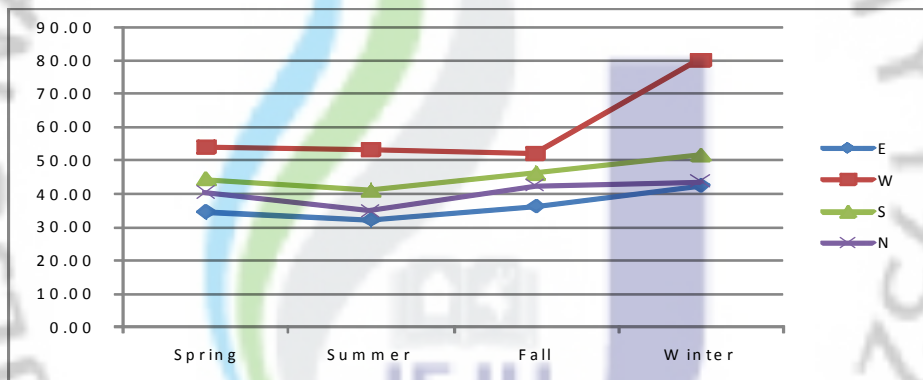


Fig. 12. Seasonal mean value of HCO₃⁻ ion concentration(mg/L).

Cl⁻이온의 지역별 수질현황은 Fig. 13에 그리고 계절별 수질현황은 Fig. 14에 나타내었다. Cl⁻이온의 대상지역 연간 농도는 4.8~97.0mg/L로 나타났으며, 동부지역 6.4~97.0 mg/L, 서부지역 9.0~40.8 mg/L, 남부지역 4.8~17.0 mg/L, 북부지역 4.9~69.8 mg/L을 나타내며, 지역의 연평균 값은 동부지역에서 22.62 mg/L, 서부 18.77 mg/L, 북부 11.19 mg/L, 남부 8.09 mg/L,의 순으로 나타났다.

계절별 평균농도는 춘계에 8.17~18.75 mg/L, 하계 8.63~20.00 mg/L, 추계 8.10~26.43 mg/L, 동계 7.43~28.70 mg/L이고, 총 28개 지점의 평균은 추계에

16.52 mg/L로 가장 높은 값을 나타내고, 동계 15.79 mg/L, 춘계 14.64 mg/L, 하계 13.61mg/L 순으로 나타났다. ES-1지점에서 동계에 최고의 농도인 97.0 mg/L가 나타났다. 상대적으로 타 지역보다 Cl^- 이온농도가 높은 지역은 농업오염원보다 해수의 지하유입으로 인한 영향으로 사료된다. Cl^- 이온의 지역 및 계절적인 수질현황을 보면 동부지역이 동계에 서부와 남부지역은 하계에 북부지역은 추계에 높게 나타났다.

Cl^- 이온농도를 보면 농업용 지하수 수질기준 250 mg/L를 초과하는 지점은 없으며, 동부지역에서 수질기준의 2.6%(ES-3)~38.8%(ES-1)범위, 서부지역 3.6%(WS-2)~16.3%(WJ-4), 남부지역 1.9%(SS- 6)~6.8%(SS- 3), 북부지역 2.0%(NJ-1)~27.9%(NJ-4)의 범위를 나타났다. Cl^- 이온성분은 0.14~2.74 me/L로 분포되어 FAO의 관개수의 수질평가 기준범위(0~30 me/L)내에 분포함을 알 수 있었다.

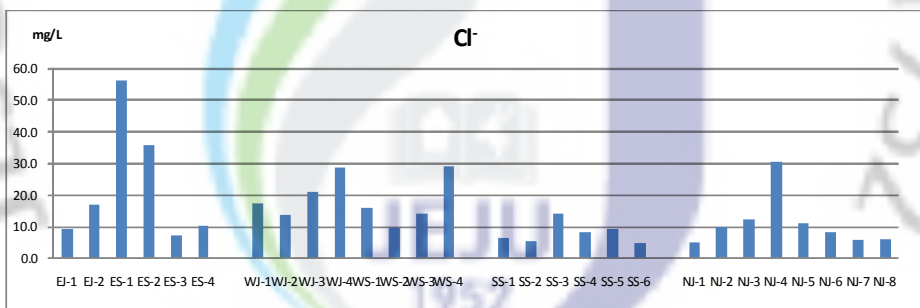


Fig. 13. Regional mean value of Cl^- ion concentration.

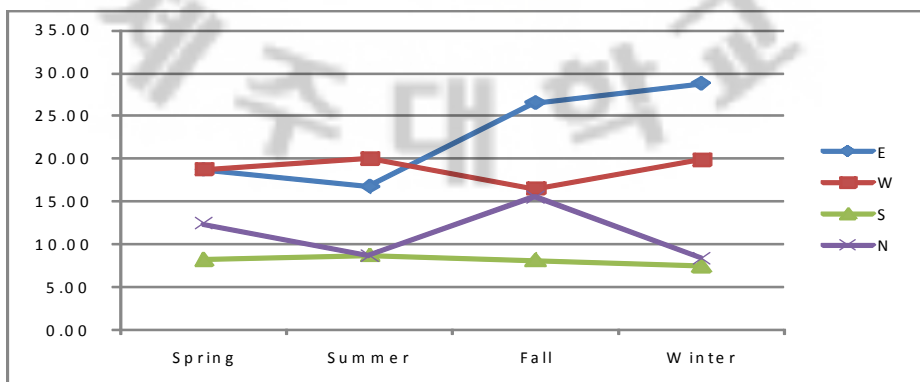


Fig. 14. Seasonal mean value of Cl^- ion concentration(mg/L).

SO₄²⁻이온의 지역별 수질현황은 Fig. 15에 그리고 계절별 수질현황은 Fig. 16에 나타내었다. SO₄²⁻이온은 가장 독성이 작은 음이온 중의 하나이고 물속에 많이 함유되어 있으면 미네랄 성분인 Ca의 함량을 감소시켜 물맛을 나빠지게 한다. 황화광물(황철석, 황동석)의 산화작용 및 용해에 의해서 또는 대기 중의 SO₄²⁻로 의해서도 공급된다(이 등 1997). SO₄²⁻이온의 대상지역 연간 농도는 0.7~20.0 mg/L로 나타났으며, 지역별로는 동부지역 1.5~13.6 mg/L, 서부지역 2.3~20.0 mg/L, 남부지역 1.0~3.0 mg/L, 북부지역 0.7~6.0 mg/L을 나타내며, 지역의 연평균 값은 서부지역에서 6.57 mg/L로 동부4.14 mg/L, 북부2.12 mg/L, 남부 1.75 mg/L로 나타났다.

계절별 평균농도는 춘계에 1.83~5.38 mg/L, 하계 1.83~8.63 mg/L, 추계 1.53~6.14mg/L, 동계 1.60~6.15 mg/L이고, 총 28개 지점의 평균은 하계에 4.36 mg/L로 높은 값을 나타내고, 동계 3.66 mg/L, 추계 3.53 mg/L, 춘계 3.43mg/L 순으로 나타났다.

SO₄²⁻이온의 지역 및 계절적인 수질현황은 Fig. 16에서와 같이 동부지역은 동계에 서부와 북부지역은 하계에 높으며, 남부지역은 춘계와 하계에 같은 값이 나타났다. SO₄²⁻이온성분은 0.01~0.42 me/L로 분포되어 FAO의 관개수의 수질평가 기준범위(0~20 me/L)내에 분포함을 알 수 있었다.

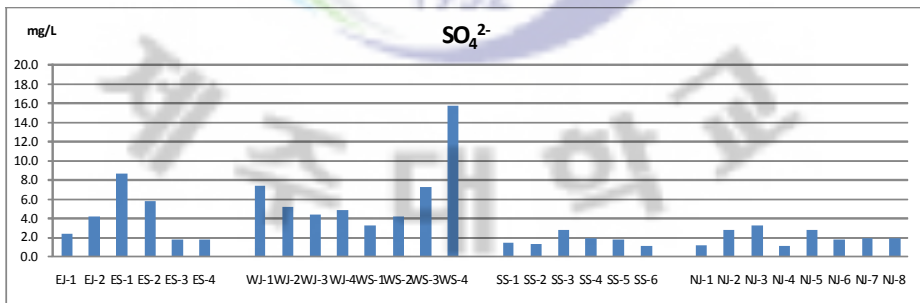


Fig. 15. Regional mean value of SO₄²⁻ ion concentration.

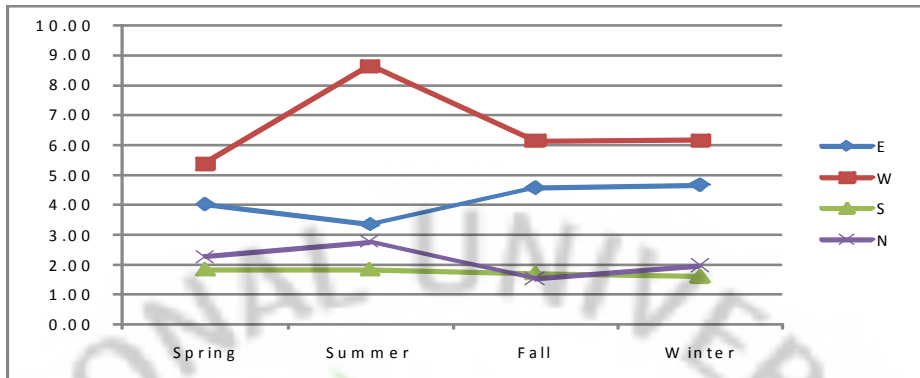


Fig. 16. Seasonal mean value of SO_4^{2-} ion concentration (mg/L).

일반적인 지하수에서는 중탄산과 황산이온이 지배적인 음이온인 반면, 해수가 침투한 지역에서는 염소이온이 지배적인 음이온 원소이다(김과 박, 1997). 제주지역 농업용지하수의 음이온 분포현황은 HCO_3^- 71.0%, Cl^- 23.2%, SO_4^{2-} 5.8%이고, 제주시는 HCO_3^- 73.1%, Cl^- 21.8%, SO_4^{2-} 5.1%, 서귀포시에서는 HCO_3^- 68.9%, Cl^- 24.6%, SO_4^{2-} 6.4%를 나타내어, 제주시 보다는 서귀포시 지역의 농업용지하수가 해수에 의한 영향이 있을 것으로 사료된다.

제주시에서 NJ-4와 EJ-2지점에서 Cl^- 이온이 42.3%, 30.2%로 농업용수에 대한 지배력이 가장 크게 나타났으며, 서귀포시에서는 ES-1, ES-2, WS-4 지점에서 56.3%, 46.4%, 31.4%순으로 농업용수에 대한 Cl^- 이온의 지배하여 해수의 침투로 인한 영향이 있는 것으로 볼 수 있을 것이다.

작물에 따라 피해정도는 다르지만, 물의 특정 성분(이온)이 높은 농도로 작물에 축적될 경우 농작물의 피해, 또는 수확량 감소를 일으키는 독성 문제가 발생할 수 있다.

2. 영양소

K^+ , NO_3^- -N이온은 부수적인 염류의 구성 원소로 구분하여 영양소 성분으로 분류하여 검토하였다.

K^+ 이온의 지역별 수질현황은 Fig. 17에 그리고 계절별 수질현황은 Fig. 18에 나타내었다. K^+ 의 대상지역 연간 농도는 1.1~13.4 mg/L로서 지역별로는 동부지역 2.1~4.5 mg/L, 서부지역 2.9~13.4 mg/L, 남부지역 1.1~5.8 mg/L, 북부지역 2.0~6.3 mg/L을 나타내며, 지역의 연평균 값은 서부지역에서 4.76 mg/L, 북부 3.19 mg/L, 남부 3.09 mg/L, 동부지역 2.94 mg/L 순으로 나타났다.

계절별 평균농도는 춘계에 2.90~6.95 mg/L, 하계 2.87~3.96 mg/L, 추계 2.93~3.79mg/L, 동계 3.07~4.34 mg/L를 나타내고, 총 28개 지점의 평균은 춘계에 4.14 mg/L로 높은 값을 동계 3.54 mg/L, 추계 3.38 mg/L, 하계 3.21mg/L 순으로 나타났다.

지점별 값을 보면 WS-4지점에서 6.28 mg/L로 가장 높게 나타나고, NJ-7, WJ-2, WJ-3, WJ-4, WS-2, SS-4, SS-5(8개 지점)에서 5.15~6.28 mg/L를 나타내어 5 mg/L이상의 값을 나타냈다. 최와 김(1989)에 의하면, 일반적으로 정상적인 지하수에서 K^+ 은 5 mg/L미만이며, 5 mg/L이상이 존재하면 해수의 침입, 비료 또는 폐기물에 의한 오염의 가능성이 있는 것이다.

K^+ 이온 성분은 1.1~13.4 mg/L로 분포되어 FAO의 관개수의 수질평가 기준에 제시된 영양소에 대한 기준범위(0~2 mg/L)와 비교결과 55~670% 분포하여 수질평가 범위를 26개 지점에서 1.01~6.7(2.03~13.4 mg/L)배 이상으로 나타났다. SS-2(평균 1.20 mg/L)과 SS-6(평균 2.0 mg/L)지점을 제외한 다른 지점에서는 2 mg/L를 초과하고 있었다. K^+ 이온의 지역 및 계절적인 수질현황을 보면 동부지역은 동계에 서부와 북부지역은 하계에 높으며, 동부지역은 동계, 서부지역은 춘계, 남부지역은 동계, 북부지역은 추계에 높은 값이 나타났다.

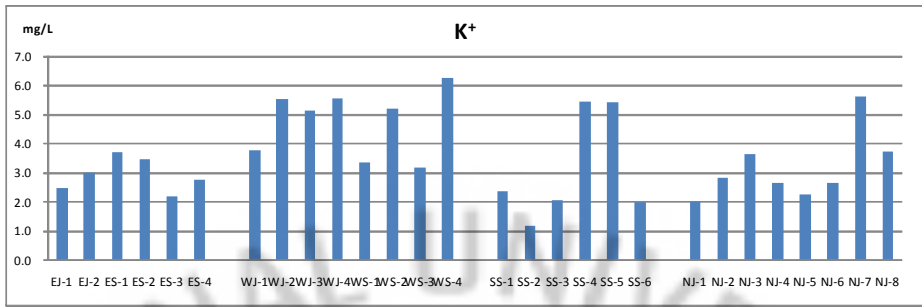


Fig. 17. Regional mean value of K⁺ concentration.

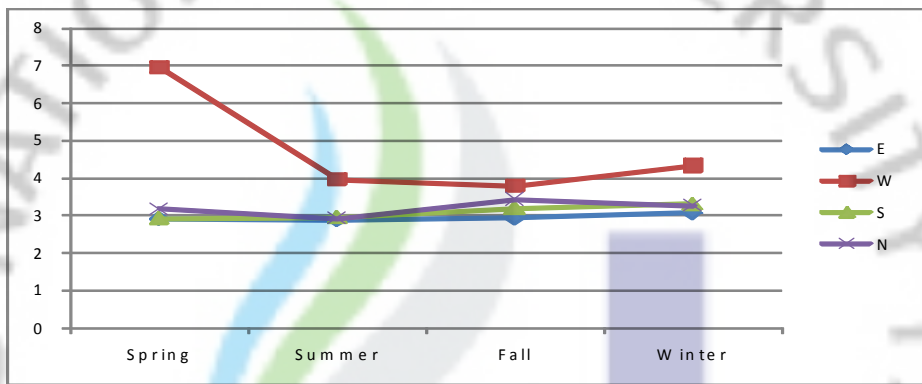


Fig. 18. Seasonal mean value of K⁺ concentration(mg/L).

K⁺은 비료의 주 구성요소이므로 농업활동에 의한 비료의 사용 등 인위적인 요인으로 유(투)입 될 수도 있다. K⁺의 생리작용은 탄수화물의 합성, 이동촉적, 세포액 중에서 이온상태 혹은 유기산염 형태로 존재, 증산작용을 조절하고 체내의 수분생리에 관계, 단백질 합성에 관계, 뿌리나 줄기를 강하게 하고 병해충 저항성을 증대 시킨다. 결핍 증상으로는 늙은 잎의 선단부터 황화 하여 엽면에 퍼지고 그 부분이 갈색으로 고사된다. 어린잎은 암록색으로 되고 신장이 나쁘며 소엽이 되나, 뿌리는 주근의 부근에만 형성되고 측방의 생장이 제한되며 뿌리 썩음병이 일어나기 쉽다. 과잉증상은 마그네슘과 칼슘의 흡수를 억제하여 양분의 결핍을 초래한다(농촌진흥청, 2002).

질산성질소(NO₃⁻-N)의 지역별 수질현황은 Fig. 19에 그리고 계절별 수질현황은 Fig. 20에 나타내었다. 질산성질소(NO₃⁻-N)의 대상지역 연간 농도는 0.1~17.6 mg/L로 나타났으며, 지역별로는 동부지역 0.4~6.0 mg/L, 서부지역

0.1~17.6 mg/L, 남부지역 0.1~9.3 mg/L, 북부지역 0.1~4.3 mg/L을 나타내며, 지역의 연평균 값은 서부지역에서 4.57 mg/L이고, 동부지역 2.93 mg/L, 남부지역 2.00 mg/L, 북부지역 0.97 mg/L로 검토되었다.

계절별 평균농도는 춘계에 1.05~3.23 mg/L, 하계 1.33~6.86 mg/L, 추계 0.78~4.54 mg/L, 동계 0.71~4.14 mg/L로 나타내고, 총 28개 지점의 평균은 하계에 3.62 mg/L로 높은 값을 추계 2.56 mg/L, 춘계와 동계에 2.19 mg/L를 나타냈다.

농업용수 지하수의 NO_3^- -N의 농도를 FAO의 관개수의 수질평가 기준에 제시된 영양소에 대한 기준범위(0 ~10 mg/L)와 지역 평균은 10 mg/L미만으로 존재하며, WS-1에서 1회, WS-4 지점에서 3회에 걸쳐 10 mg/L인 관개수 수질평가 기준을 초과하고 있었다. NO_3^- -N의 지역 및 계절적인 수질현황을 보면 전 지역에서 하계에 높게 나타났다.

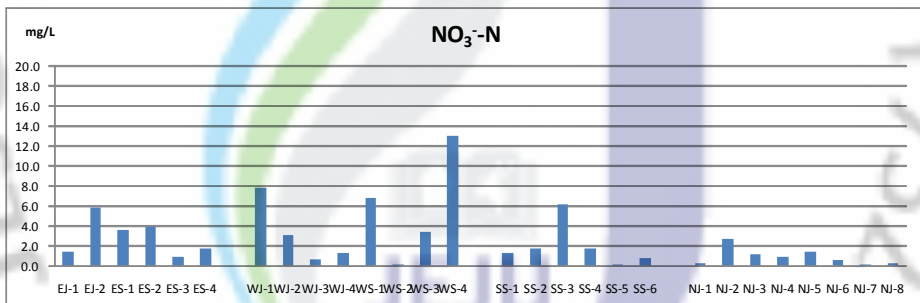


Fig. 19. Regional mean value of NO_3^- -N concentration.

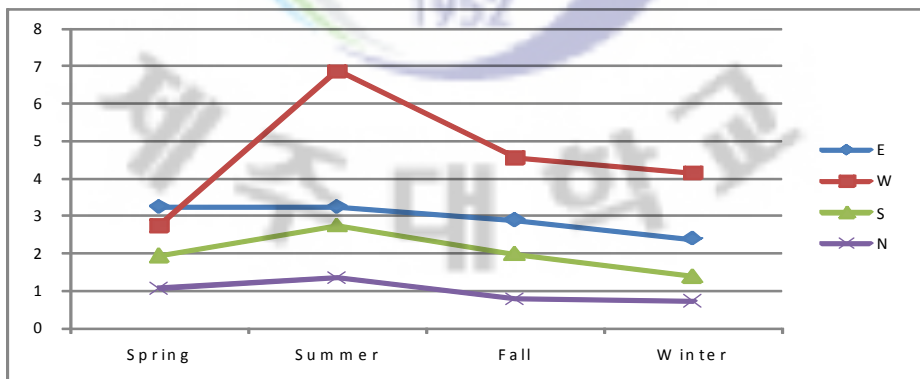


Fig. 20. Seasonal mean value of NO_3^- -N concentration(mg/L).

NO_3^- -N을 농업용 지하수 수질기준(20 mg/L이하)과 비교하면, 수질기준을 초과한 지역(점)은 없으나, 기준에 육박하는 17.6 mg/L가 검출된 지역 및 인근 지역에 오염원(농업, 축산업 등)에 의한 영향도 무시할 수 없다고 사료된다.

대상지역에서 질산성질소의 농도가 높은 지역은 서부지역으로서 지역적인 농업오염원인 발작물의 재배와 Table 3에서와 같이 인근지역과 당 지역의 가축 사육두수 등이 집약되어 이로 인해 유출되는 비점오염원에 의한 것으로 사료된다. 우 등(2001)의 연구에서도 대정지역의 경우 양돈장, 밀감 과수원, 채소류 재배 전답 및 거주생활 지역이 좁은 지역에 혼재되어있는 특성을 지니고 있어, 질산성질소의 오염발생 가능성이 높은 지역이라고 명시하고 있다.

3. EC와 SAR

염류도의 평가를 위한 전기전도도(EC)의 지점별 평균값은 Fig. 21에 나타내었다. 대상지역에서 농도를 보면 연간 55~478 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (0.055~0.478 dS/m)로 매우 넓은 범위의 값을 나타내었다. 동부지역 90~431 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (0.09~0.431 dS/m), 서부지역 107~478 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (0.107~0.478 dS/m), 남부지역에서 59~204 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (0.059~0.204 dS/m), 북부지역은 55~342 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (0.055~0.342 dS/m)를 나타내어, 전 지역에서 FAO의 관개수의 수질평가 기준범위(0~3 dS/m, Table 5)내에 분포함을 알 수 있다.

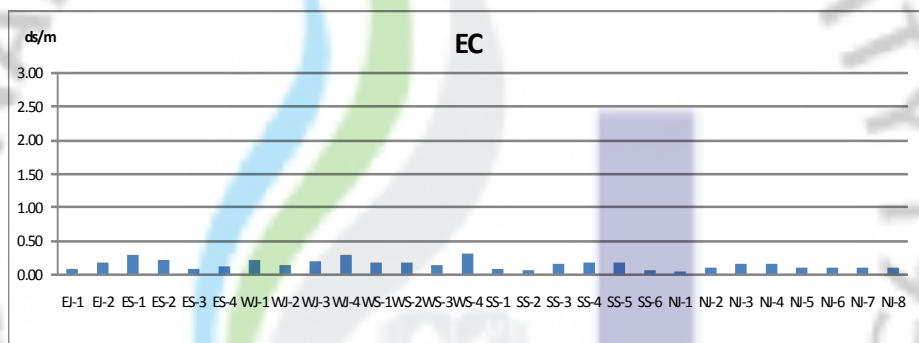


Fig. 21. Regional mean value of EC concentration.

지하수의 전기전도도에 미치는 이온 중 해수성분(Na^+ , Cl^-)과 기타 이온종(K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} 등)의 상관관계(Table 9)를 보면 전기전도도가 높아질수록 Na^+ , Cl^- 성분의 상관도가 커지는 것을 알 수 있다. 전하를 띤 이온이 많을수록 물의 전기전도도는 커진다. 즉 용액 내에서 이온농도가 증가할수록 용액의 전기전도도는 증가하기 때문에 전기전도도는 물속에 존재하는 이온농도의 지시인자이다.

Table 9. Correlation between the EC and ion

	EC	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻ -N	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
EC	1								
HCO ₃ ⁻	0.5597	1							
Cl ⁻	0.8111	0.1892	1						
NO ₃ ⁻ -N	0.4725	-0.1835	0.2464	1					
SO ₄ ²⁻	0.7069	0.0569	0.5630	0.7291	1				
Na ⁺	0.8283	0.5774	0.8371	0.0260	0.3826	1			
K ⁺	0.3982	0.5221	0.1920	-0.0371	0.2241	0.3567	1		
Mg ²⁺	0.8178	0.4095	0.5570	0.6319	0.7394	0.4223	0.2404	1	
Ca ²⁺	0.7468	0.5179	0.3450	0.6127	0.6335	0.4068	0.3432	0.6743	1

SAR(Sodium Adsorption Rate)의 지점별 평균값을 Fig. 22에 나타내었다. 그리고 SAR에 대한 판정을 위하여 Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺(me/L)에 의해 대상지역에 대한 계산결과(연간)는 0.47~5.89이며, 동부지역 0.56~3.12, 서부지역 0.64~1.72, 남부지역에서 0.47~1.81, 북부지역은 0.57~5.89를 나타내었다. 춘계에 0.49~2.95, 하계 0.50~1.63, 추계 0.49~5.89이고 동계에는 0.47~3.12로 나타났다. 지점별 연 평균농도에 대한 SAR은 NJ-4지점에서 2.51로 가장 높은값을 SS-2지점에서 0.49로 가장 낮은값을 나타내었다. FAO의 관개수의 수질평가 기준범위(0~15, Table 5)와 비교결과 나트륨 흡착 비율은 관개수의 수질범위 내에 있었다.

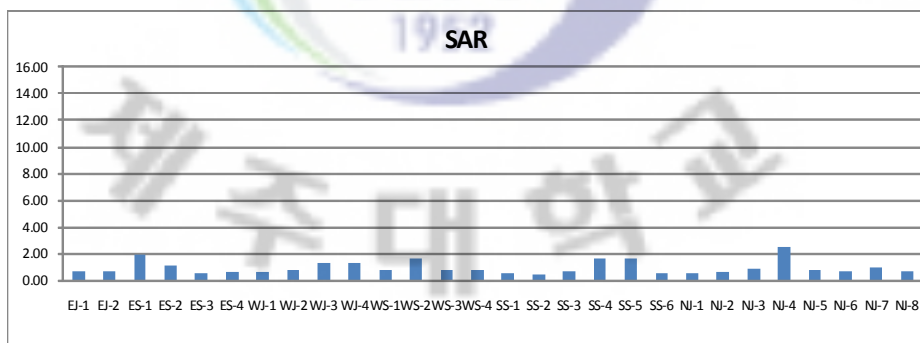


Fig. 22. Regional mean value of SAR.

4. 작물의 생육에 미치는 잠재적 영향

관개수의 성분으로 토양의 분산과 구조의 파괴 촉진시킬 수 있는 나트륨과 칼슘 성분의 비율을 확인하여 보았는데 그것은 Fig. 23에 나타내었다. 토양의 분산과 구조의 파괴는 농업용수(관개수) 중의 나트륨과 칼슘의 함량 비율을 비교함으로써 그 영향을 판단할 수 있다.

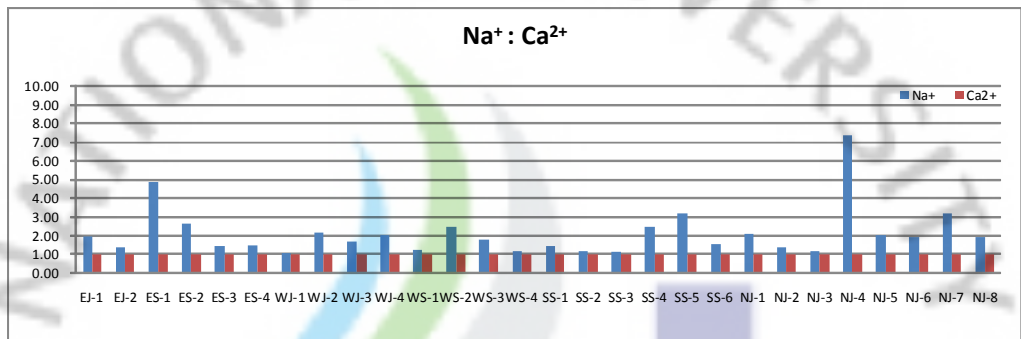


Fig. 23. Concentration ratio Na⁺ ion and Ca²⁺ ion.

토양의 분산과 작은 공극의 막힘 현상으로 인하여 염류도가 매우 낮은 관개수의 사용에서 일어나는 것과 같은 심각한 침투율 문제를 일으킬 수 있는 Na⁺와 Ca²⁺의 비율은 제주시는 1.0 ~ 7.4 : 1.0, 서귀포시에서는 1.1~4.9 : 1.0의 범위로 나타났다. Na과 Ca 비율이 농업용수에 3 : 1를 초과하여 나트륨이 과잉으로 함유된 지점은 제주시(NJ-4, NJ-7) 2곳과 서귀포시(SS-1, SS-3) 2 곳으로 총 4개 지점으로 나타났다. 과잉의 나트륨에 의한 낮은 침투율은 작물에 충분한 물을 공급할 수 없게 된다. 침투율 불량과 관련한 다른 문제는 토양 피각형성, 작물의 출아 방해, 통기 부족, 작물과 뿌리의 병해 발생 조장, 잡초와 모기 등의 해충의 제어 문제 등이 있어 작물관리를 어렵게 한다(농림부, 2002).

FAO지침에서 농업용수의 토양 침투율은 SAR과 전기전도도(EC)와의 상호 관계에 의해 결정되며, SAR (Sodium adsorption ratio)에 따라 5가지로 분류하고 EC값을 구분하여 제시하고 있다. 염류도가 높아지면, 토양의 침투율이

높아지며 염류도가 낮아지면 칼슘과 마그네슘에 대한 나트륨 비율이 높아져 침투율이 낮아지므로 침투율의 문제를 다룰 때는 염류도와 SAR을 동시에 검토하였을 때 잠재적인 관개상의 문제점을 예측할 수 있다. 관개에 미치는 잠재적인 영향요인에 대한 FAO의 작물생육에 미치는 영향을 알아보기 위하여 관련 항목에 대하여 검토하였고 SAR의 값(Table 10)을 이용하여 토양의 침투율에 미치는 잠재적 영향을 판정하였다.

Table 10. EC and SAR data

point	EC(dS/m)				SAR				
	Spring	Summer	Fall	Winter	Spring	Summer	Fall	Winter	
East	EJ- 1	0.09	0.10	0.10	0.10	0.72	0.71	0.71	0.73
	EJ- 2	0.17	0.18	0.18	0.18	0.73	0.72	0.72	0.72
	ES- 1	0.17	0.19	0.40	0.43	0.99	0.98	2.76	3.12
	ES- 2	0.23	0.23	0.22	0.22	1.21	1.17	1.18	1.21
	ES- 3	0.09	0.10	0.11	0.09	0.56	0.57	0.57	0.56
	ES- 4	0.13	0.12	0.13	0.13	0.63	0.64	0.65	0.63
West	WJ- 1	0.19	0.27	0.23	0.22	0.64	0.64	0.65	0.71
	WJ- 2	0.14	0.20	0.11	0.12	0.77	0.85	0.81	0.79
	WJ- 3	0.20	0.19	0.19	0.24	1.25	1.36	1.35	1.26
	WJ- 4	0.20	0.33	0.21	0.48	1.33	1.28	1.37	1.48
	WS- 1	0.16	0.24	0.19	0.16	0.92	0.70	0.83	0.94
	WS- 2	0.18	0.19	0.19	0.18	1.69	1.63	1.61	1.72
	WS- 3	0.15	0.17	0.13	0.13	0.76	0.78	0.79	0.87
	WS- 4	0.26	0.36	0.34	0.33	0.90	0.72	0.82	0.80
South	SS- 1	0.07	0.09	0.09	0.09	0.51	0.60	0.62	0.60
	SS- 2	0.07	0.09	0.07	0.07	0.49	0.50	0.49	0.47
	SS- 3	0.15	0.20	0.16	0.12	0.70	0.70	0.70	0.78
	SS- 4	0.17	0.18	0.18	0.17	1.66	1.56	1.66	1.69
	SS- 5	0.18	0.19	0.20	0.20	1.64	1.60	1.68	1.81
	SS- 6	0.06	0.07	0.07	0.06	0.50	0.52	0.53	0.53
North	NJ- 1	0.06	0.06	0.06	0.06	0.61	0.57	0.58	0.58
	NJ- 2	0.11	0.15	0.11	0.09	0.63	0.65	0.60	0.62
	NJ- 3	0.16	0.19	0.17	0.17	0.95	0.86	0.85	0.92
	NJ- 4	0.19	0.09	0.34	0.08	2.95	0.68	5.89	0.59
	NJ- 5	0.10	0.11	0.11	0.11	0.77	0.76	0.77	0.84
	NJ- 6	0.10	0.10	0.10	0.11	0.71	0.67	0.64	0.77
	NJ- 7	0.11	0.11	0.12	0.12	0.97	0.90	0.98	0.97
	NJ- 8	0.10	0.10	0.10	0.10	0.74	0.76	0.75	0.77

염류도(EC)의 계절별 평균농도는 춘계에 59~261 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (0.059~0.261 dS/m), 하계 59~363 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (0.059~0.363 dS/m), 추계 57~401 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (0.057~0.401 dS/m)이며 동계에는 55~478 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (0.055~0.478 dS/m)의 값을 나타냈다. 제주도 전 지역에서 농업용수의 수질과 작물생육에 미치는 잠재적 영향 항목 중 염류도(전기전도도) 단일 항목으로는 작물 관개에 문제가 없는 범위(0.7 dS/m 이하) 내이며, 농업활동이 주 밭작물을 재배하기 위한 염류도로서는 제주지역의 농업용수가 작물의 관개수로 사용되어도 특별한 영향을 주지 않는 것으로 검토되었다.

농업용수의 Na^+ , Mg^{2+} 및 Ca^{2+} 이온에 의해 SAR을 대상지역에서 산출결과(연간)는 0.47~5.89의 값을 보이며, 계절별로는 춘계에 0.49~2.95, 하계 0.50~1.63, 추계 0.49~5.89이며 동계에는 0.47~3.12의 값을 나타냈다.

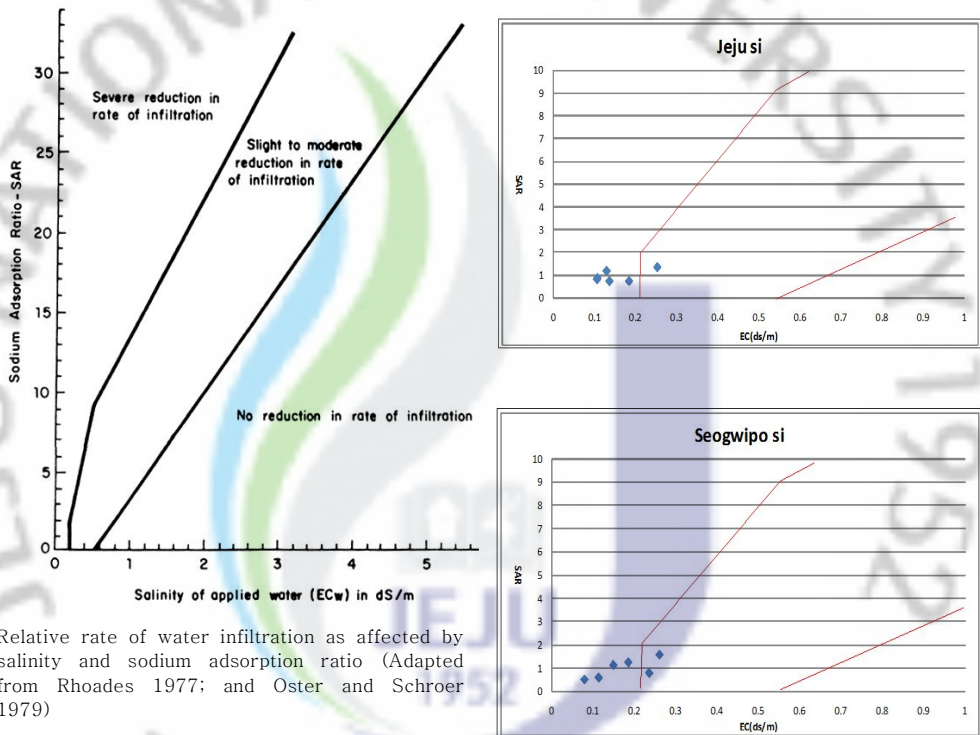
정상적인 침투율에 영향을 주는 요인으로 관개수의 염류도와 SAR(Sodium Adsorption Rate)의 비율을 검토하기 위하여 캘리포니아 대학 위원회의 적용(Adapted from University of California Committee of Consultants 1974. Table 6)기준과 제주지역 농업용수(지점)의 SAR과 전기전도도(EC)의 관계에 의해 잠재적으로 관계에 미치는 영향인 토양 침투율 관계를 Fig. 24에 나타내었다. 미국 ASCE(American Society of Civil Engineers 미국 토목 학회)에서 조사된 토양의 종류별 침투율은 사질토 토양군이 0.5~1.0 inch/hr, 양토, 점토, 실트 토양군이 0.1~0.5 inch/hr, 점토, 점토질양토 토양군이 0.01~0.1 inch/hr로 제시하고 있다(과학기술부, 2007). 매우 낮은 염류도(EC= 0.2 dS/m이하)의 관개수는 SAR에 관계없이 침투율 문제가 발생한다. 강우는 염류도가 매우 낮으며, 관개 지역의 강수의 침투속도가 매우 느린 것을 볼 수 있으며, 유거율이 높다.

농업용수로 이용되는 제주지역의 지하수에 대하여 토양의 물 침투에 영향을 주는 SAR과 염류도(EC)에 대한 농업용수 수질을 지역별로 비교하면 Table 11와 같으며, 각 지점별 연평균 SAR은 0.53~1.58, 연평균 염류도(EC)는 0.08~0.26 dS/m로 나타나 대부분 지역에 침투율에 잠재적으로 문제가 있는 수질이므로 작물작황에 제한적인 영향 또는 문제가 있을 수 있다(Fig. 24).

Table 11. Affects infiltration rate of water into the soil

Region	Potential Irrigation Problem					Data (Min./Max.)	
	SAR		EC (dS/m)			SAR	EC
	0~3	3~6	> 0.7	0.7 - 0.2	< 0.2		
Jeju	12	0	0	3	9	0.53 / 1.58	0.08 / 0.26
Jeju-si	6	0	0	1	5	0.72 / 1.34	0.11 / 0.25
Seogwipo-si	6	0	0	2	4	0.53 / 1.58	0.08 / 0.26

EC : > 0.7 No reduction 0.7~0.2 Slight to moderate reduction < 0.2 Severe reduction



출처: Water quality for agriculture

Fig. 24. Electrical conductivity of soil penetration of SAR relationship.

조사 지역별로 검토하면 SAR은 0.47~5.89의 값을 동부지역 0.56~3.12, 서부지역 0.64~1.72, 남부지역에서 0.47~1.81, 북부지역은 0.57~5.89를 나타내었다. 북부지역의 NJ-4지점에서 추계에 5.89로 가장 높은 값을 남부지역의 SS-2지점에서 동계에 0.47로서 가장 낮게 나타났다. EC는 0.06~0.48 dS/m로서 동부지역 0.09~0.431 dS/m, 서부지역 0.11~0.48 dS/m, 남부지역 0.06~0.20 dS/m, 북부지역 0.06~0.34 dS/m를 나타내고, 0.06 dS/m을

보인 북부지역의 NJ-1지점에서 가장 낮은 값을 반면 서부지역의 WJ-4지점에서는 0.48 dS/m로서 가장 높게 나타났다.

SAR과 전기전도도(EC)에 의한 제주지역의 농업용수의 관개수로서의 잠재적인 영향을 알아보기 위하여 토양 침투율 효과를 검토하면, 제주도의 전 지역에서 SAR의 연평균 값이 3이상인 지점은 없었다. EC의 지점별 연 평균값은 0.06~0.32 dS/m의 범위에 있으며, 제주시(EJ-1, EJ-2, WJ-2, NJ-1, NJ-2, NJ-3, NJ-4, NJ-5, NJ-6, NJ-7, NJ-8), 서귀포시(ES-3, ES-4, WS-1, WS-2, WS-3, SS-1, SS-2, SS-3, SS-4, SS-5, SS-6) 각 11 지점(총 22개 지점)에서 0.2 dS/m이하로서 작물의 생육에 영향을 줄수 있는 토양에 대한 침투율에 잠재적 영향을 줄 수 있는 것으로 나타났다. EC값이 0.2 dS/m 이상인 지점은 6개(ES-1, ES-2, WJ-1, WJ-3, WJ-4, WS-4) 지점에서 0.2~0.32 dS/m의 값으로 사용함에 있어 제한적인 영향(0.2~0.7 dS/m)이 있는 범위에 속한다. 지역별 SAR과 EC의 관계에 의한 잠재적 영향은 Fig. 25에 지역별로 나타내었다.

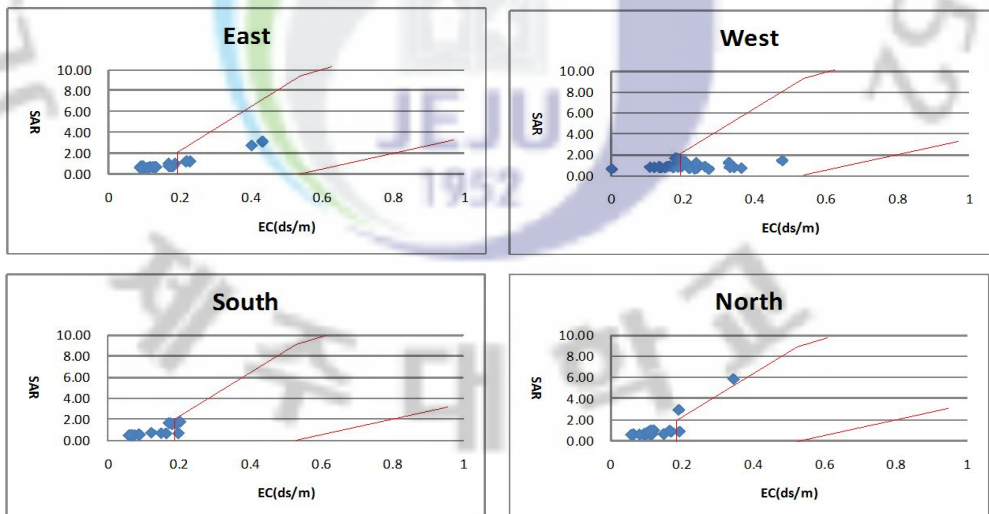


Fig. 25. Regions of the relationship between EC and SAR.

계절별 SAR과 EC의 관계에 의한 잠재적 영향은 Fig. 26에 나타내었다. 계절별 토양 침투율이 작물의 생육에 미칠 수 있는 잠재적인 영향의 정도를 확인

해 보면 춘계에는 SAR이 0.49~2.95, EC 0.06~0.26 dS/m(0.2 dS/m이하 24개 지점, 0.2~0.7 dS/m 4개 지점), 하계 SAR 0.5~1.63, EC 0.06~0.36 dS/m(0.2 dS/m이하 23개 지점, 0.2~0.7 dS/m 5개 지점), 추계 SAR 0.49~5.89(0~3 27지점, 3~6 1개 지점), EC는 0.06~0.40 dS/m(0.2 dS/m 이하 22개 지점, 0.2~0.7 dS/m 6개 지점)이고 NJ-4지점은 SAR 5.89, EC 0.34 dS/m를 나타냈으며, 동계에는 SAR 0.47~3.12(0~3 27개 지점, 3~6 1개 지점), EC 0.06~0.48 dS/m (0.2 dS/m 이하 21개 지점, 0.2~0.7 dS/m 7개 지점)이며 ES-1지점에서 SAR이 3.12, EC가 0.43 dS/m으로 나타났다.

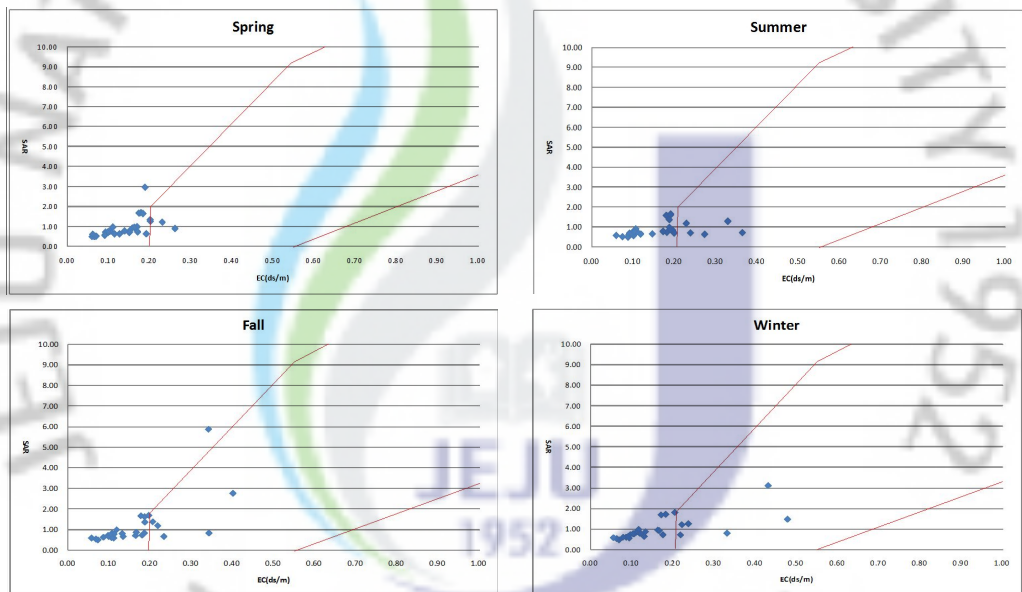


Fig. 26. Seasonal relationship of EC and SAR.

계절별 농업용수로 인한 침투율이 작물생육에 미치는 영향(잠재적) 정도는 춘계에는 심각한 영향 24개 지점이고, 제한적인 영향 지점이 4개 지점이고, 하계에는 심각한 영향 23개 지점과 제한적인 영향이 5개 지점이다. 추계에 영향정도는 심각한 영향 22개 지점과 제한적인 영향 지점이 6개 지점이며, 동계에는 심각한 영향은 21개 지점과 제한적인 영향을 주는 지점은 7개 지점으로 나타났다.

지역과 계절에 따라 농업용수로 인한 침투율이 작물생육에 미치는 영향(잠재적) 정도는 동부지역의 6개 지점(24회)에서 2개 지점(ES-1 2회, ES-2 4회) 춘계와 하계에 각 1회, 추계와 동계에 각 2회, 서부지역의 8개 지점(32회)에서 5개 지점(WJ-1 3회, WJ-3 2회, WJ-4 4회, WS-1 1회, WS-4 4회) 춘계와 추계에 각 3회, 하계와 동계 각 4회, 남부지역 6개 지점(24회)에서 1개 지점(SS-5 1회) 동계 1회, 북부지역 8개 지점(32회)에서 1개 지점(NJ-4 1회)에서 추계 1회, 제한적인 영향이 있는 수질로 검토 되었다. 그 외 지역의 지점은 관개로 인하여 침투율에 미치는 잠재적 영향이 큰 것으로 검토되었다.

FAO 지침서에서도 용수의 사용으로 발생할 수 있는 문제점 등을 설명하고 있다. 용수 사용할 경우 특정조건, 이용자의 관리능력 등이 용수사용에 영향을 미친다고 언급한다. 위해성의 정도는 장기간 지속적인 관개로 인한 것으로 판단되며, 지역적 토양의 종류, 토양표면의 형태, 함수량 등의 영향에 따라 그 정도가 변할 수 있는 것으로 볼 수 있다. 본 연구에서 사용되어진 지침이 절대적인 것은 아니라고 판단되어 진다. 특히 제주도 토양의 종류는 사질토(미) 성분으로 구성되어 투수성이 양호한 편이고 관개의 방법은 대부분이 스프링클러(살수)에 의한 방법을 사용하여 내륙지방의 담수 및 수로정보다는 관개수의 양이온성분에 의한 영향이 적을 것으로 본다. 즉 SAR에 의한 토양의 침투율 정도를 판단내리기보다는 현지 상황과 관개의 종류 및 방식에 의하여 판단되어져야 할 것으로 보인다.

V. 결 론

제주도에서 이용되어지는 지하수 중 농업용으로 이용되는 지하수를 대상으로 농업용수에 대한 모니터링 수질검사 자료를 이용하여 수질특성을 분석하였고 한 농업용수 이용으로 작물의 생육에 영향을 미칠 수 있는 인자를 파악한 결과는 다음과 같다.

1. 제주지역의 농업용수로 이용되는 지하수를 양·음이온(Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-})의 지역적인 현황은 양이온 3개 항목과 음이온 HCO_3^- , SO_4^{2-} 이온 항목은 서부지역에서 지역평균값이 높으며, Cl^- 이온 항목은 동부지역에서 높게 나타났다. 계절적인 농도는 Na^+ , Cl^- 이온은 추계에 Mg^{2+} , HCO_3^- 이온은 동계, Ca^{2+} , SO_4^{2-} 이온은 하계에 높게 나타났다. Cl^- 이온은 우리나라 농업용 지하수 수질기준(250 mg/L)의 1.9~38.8 % 수준이었다. FAO 관개수 항목별 수질평가 범위와 비교 결과 양·음이온 전 항목이 관개수 수질평가 기준범위 내에 해당되었다.

2. 영양소로 분류되어진 K^+ , NO_3^- -N의 지역적 현황은 서부지역에서 높게 나타났으며, 계절적인 농도는 K^+ 이온은 춘계에 NO_3^- -N는 하계에 높게 나타났다. FAO 관개수 수질평가 범위와 비교하면 K^+ 는 SS-2, SS-6 지점을 제외한 26개 지점(112회 중 99회)에서 기준범위를 상회하고 있었다. NO_3^- -N는 지점, 계절 평균값은 기준범위를 상회하지 않으나 112회 중 4회(Ws-1 1회, Ws-4 3회)는 범위를 상회하였다.

3. EC와 SAR의 지역적 현황은 서부지역에서 계절적으로는 추계에 높게 나타났다. 두 항목에 대하여 FAO의 관개수의 수질평가 기준범위와 비교하면 관개수의 수질범위 내에 있었다.

4. 작물의 생육에 미치는 잠재적 영향을 볼수 있는 토양의 침투율을 조사한 결과 제주지역의 농업용 지하수는 제한적인 영향이 있거나 몇 개의 지점은 잠재적으로 작물에 미치는 영향이 큰 것으로 조사되었다.

본 연구에서 사용되어진 평가방법은 절대적인 것은 아니나 단순히 농업용 지하수 수질기준만을 가지고 수질을 평가하는 것보다는 농업용수로 인한 작물의 생육에 미치는 잠재적인 영향을 파악할 수 있는 여러 가지 평가 기법을 도입하는 것이 좋을 것으로 사료된다. 또한 이러한 지침을 고려하기 위해서는 농업용수의 수질과 토양 그리고 농작물과의 관계에 대하여 지속적인 연구·조사가 병행되어야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 강항원 외, 2002, “영남지역 농업환경 실태파악 및 대책연구”, 영남농업시험장 보고서, 18 pp.
2. 건설교통부, 2004, “한국지리지”, pp.539~564
3. 건설교통부, 한국수자원공사, 2006, “수자원장기종합계획(2006~2020)보고서”, pe.315~320
4. 고경석 외, 2005. “주성분분석과 지구통계법을 이용한 제주도 지하수의 수리 지구학적 특성 연구”, 자원환경지질 제38권 제4호, pp.435~450
5. 고기원, 2006, “제주도 지하수의 특성과 수자원관리(Ⅱ)”, 한국수자원학회지 39(8), pp.80~89
6. 국토해양부, 한국수자원공사, “2009 지하수조사연보”
7. 김계훈 외, 2007, “토양학”, 향문사, pp.141~155
8. 김규한, 2004, “행성지구학”, 시그마플러스, p.142~143
9. 김옥배 외, 1997, “해수침투에 의한 지하수 수질오염 판별을 위한 환경지구 화학적 연구”, 한국자원공학회 34(5), pp.548~558.
10. 김진호, 2006, “농업용수 수질분석 이론과 실무”, 농촌진흥청농업과학기술원, pp.254~262
11. 김홍락 외, 2002, “충청남도 음용지하수의 수질특성”, 한국환경과학회지제11권(제7호), pp.721~727
12. 김홍석, 2008, “토양 지하수 경제적 가치평가 및 사례조사연구”, pp.14~16
13. 농림부, 2002, “환경 보전형 정밀 농업을 위한 전자장 이용 비파괴 신속 염분포도 작성 이용법 및 염류토 관리 지침서 개발”, pp.173~180
14. 과학기술부, 2007, “대수층활용 상수도공급시스템개발”, pp.1167~1168
15. 농림부, 2007, “새만금유역의비점오염원제어와관리기술개발”
16. 농촌진흥청, 2002. “올바른 비료사용법”, pp.30~50
17. 농촌진흥청, 2008, “농업용수 수질오염방지기술개발”, 214 pp.
18. 농촌진흥청, 2008, “흙사랑실천을위한제주도토양조사분류해설현장연구”
19. 문영목, 2004, “우리나라 농업용수 수질변화 특성에 관한 연구”, 한경대학교 석사학위논문
20. 박원배 외, 2006, “제주도의 지역별 농업용수 개발.이용방안”, 제주도발전연구원, pp.3~18

21. 안승구, 2001, “최신환경화학”, 동화기술교역
22. 안윤주 외, 2006, “국내농업용수 수질기준의 적정성평가 및 추가수질항목 제안”, Korean J. Limnol. 39(3), pp.285~295
23. 우남철, 2001, “지하수 수질관측에 의한 제주도대정수역의 지하수계 및 오염 특성 분석”, 자원환경지질 제34권 제5호(통권150호) pp.485~498
24. 유명진 외, 2002, “수질관리”, 동화기술, p.74 ~78
25. 윤정수 외, 1998. “제주도 용천수의 수리화학적 특성”, 대한지하수환경학회. 5(2), pp.66~79
26. 윤정수 외, 2000, “한라산 지역 용천수의 수리지화학적 특성”, 대한지하과학회지 21(2), pp.81~92
27. 이광식 외, 2003. “제주도 용천수의 지구화학적 특성”, 한국지하수토양환경학회지 2003 Apr. 01, pp.272~274
28. 이기복, 1999, “지하수핸드북”, 과학기술, p.247
29. 이신찬 외, 2002, “농업용수 수질조사”, 제주도농업기술원, pp.582~592
30. 이용두 외, 2000, “제주도 중산간 지역의 지하수위 변동 특성”, 제주대학교 환경연구논문집 제8권, pp.101~104
31. 이용두, 2001, “고도에 따른 제주도 지하수의 수질특성”, 환경토양학회지 Vol.5, No.3, pp.65~75
32. 이인호 외, 1997, “대구시 지하수의 수질에 대한 지화학적 연구”, 자원환경지질 30(4), pp.327~340
33. 이종운외,1997, “국내 화강질암내 심부지하수의 지구화학적 특성”, 지하수환경 4(4), pp.199~211
34. 정영상 외, 2002. “간척지에서 토양과 관개수의 염류도와 염류도 관리”, 농림부보고서, pp.61~76
35. 정우열 외, 2006, “제주도 어승생담 소유역의 지하수 함양량 산정”, 한국환경과학회 봄 학술발표회지 제15권(제1호), pp.228~230
36. 정하우, 1999, “관개배수공학”, 동명사, pp.53~162
37. 제주도, 2009, “2008 제주도 환경백서”, p.135
38. 제주특별자치도 상하수도본부 홈페이지 <http://www.jeuwater.go.kr>
39. 제주특별자치도 친환경농축산국 측정과
40. 제주특별자치도, 2008, “2007 제주 풍수해 백서”
41. 제주특별자치도, “2009 제주통계연보”
42. 최선화 외, 2002, “우리나라 수자원과 농업용수수질오염실태”, 농어촌과환경 제12권제1호(통권제74호), pp.93~103

43. 최선화 외, 2004, “관개수내 염분농도가 벼 생육 및 수량에 미치는 영향”, Korean J. Limnol. 37(2), pp.248~254
44. 최순학 외, 1989, “제주도 지하수의 수질특성”, 지질학회지, pp. 230~238
45. 한국지질자원연구원, 2006, “제주도 지하수부존특성에 대한 지구과학적 해석”, pp.20~25,
46. 현병근, 2007. “우리나라 토양분류체계와 토양특성, 수문학적토양유형의 효율적활용 워샵 발표자료”, pp.30-40
47. 현익현 외, 1998, “농업용지하수의 이화학적 특성”, 제주도환경연구원보, pp.111~128
48. 현해남 외, 1994, “제주도 토양의 오염물질 흡착능과 지하수오염”, 한국지하수토양환경학회 1994 July 01, pp.26~53
49. FAO(국제연합식량농업기구)홈페이지<http://www.fao.org>
Ayers, R.S. and D.W.Westcot. 1994. WaterQualityforAgriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper No,29(Rev1), Foodand Agriculture Organization of the United Nations.

감사의 글

접근함에 의한 후회는 시간이 갈수록 멀어지지만, 접근하지 않은 후회는 시간이 흐를수록 더 커져간다.

불혹이라는 시간이 지나 이런 결과의 맛을 느낄 수 있도록, 지도와 격려를 하여 주신 조은일 지도교수님께 감사를 드립니다. 본 논문을 완성할 수 있도록 충고와 조언으로서 검토와 격려를 해주신 허목 교수님, 허철구 교수님, 감상규 교수님, 이기호 교수님 그리고 이용두 교수님께 진심으로 감사를 드립니다. 주식회사 성광종합기술개발의 강일형 사장님을 비롯한 임직원들의 격려 또한 힘이 되었으며, 자료의 접근과 방향에 도움을 주신 환경자원연구원 수질보전과장님과 송영철, 현익현 연구사, 온난화 대응 농업연구센터의 문두경, 좌재호 박사님에게도 감사를 드립니다. 멀리서 혼자 고군분투하는 석완이도 또한 이종철, 홍성주 학우의 격려와 배려도 잊지 않을 것입니다.

항상 무언의 격려와 믿음으로 지켜보시는 부모님께 감사를 드리며, 이러한 글을 쓸 수 있도록 기회를 제공해 준 고맙다는 말로 대신해야 할 아내 김기조와 처가 식구들의 관심과 학교가라고 재촉하는 지혁, 예진에게도 도움이 되기를 기대하고 고마움을 전합니다.

이 논문이 나오기까지 지켜보고 도움을 주신 모든 분들께 감사의 마음을 전합니다.

2010년 7월
양 두 호 올림