

제주시에서 강우량에 따른 NO_3^- -N의 변화

조 은 일 · 고 은 아*

제주대학교 토목환경공학전공, *제주대학교 산업대학원

Variation of NO_3^- -N concentrations based on rainfall condition in Jeju City

Eun-Il Cho and Eun-A Ko*

Major of Civil & Environmental Engineering, Cheju National University, Jeju-Do 690-756, Korea

*Graduate School of Industry, Cheju National University, Jeju-Do 690-756, Korea

The purpose of this study is to investigate NO_3^- -N concentration based on rainfall condition in Jeju city. To know characteristics of water quality in Jeju city, we have sampled and analyzed from January, 2001 to December, 2004. The results showed that the NO_3^- -N concentrations were in the range of 1.8 ~ 6.2 mg/L (mean 3.4 mg/L) in 2001, and 2.0 ~ 8.3 mg/L (mean 3.9 mg/L) in 2002. These values are satisfied with drinking water criteria. A linear relationship between the precipitation volume and non-point source pollutants does not exist, but NO_3^- -N concentrations were effected a change with rainfall condition, the concentration were increased after precipitation in this study. Therefore, non-point source pollutants should be considered for water quality management in Jeju city.

Key words : groundwater, cumulative rainfall, NO_3^- -N concentration, non-point source

서 론

제주도의 지하수는 강수 등의 중력에 의해 지표로 침투하여 수문학적 통로를 통하여 불투수면을 상위지하수와 기저지하수를 형성하고 이동과 배출의 수문학적 순환과정을 거치면서 물균형을 이루고 있다. 담체와 해수가 접하는 곳에서는 동적 평형상태를 유지하고 있으며, 어떤 혼합부분의 폭인 점이대를 형성한다. 이러한 점이대는 간·만의 차, 담수의 유입 및 기타 양수에 의하여 지하수위 변화에 따라 확산된다.

또한 제주도는 해안과 중산간 및 산악지역 곳곳에는 지층 속을 흐르던 지하수가 지표와 연결된 지층이나 암석의 틈을 통해 솟아 나오는 용천수가 분포하고 있다. 이들 용천수는 상수도가 제대로 보급되지 않았

던 1980년대 이전까지 식수원으로서 뿐만 아니라, 생활 및 농업용수로 이용되어 온 제주인의 생명수이자 젖줄이었다(제주도, 1997 : 제주도, 1997). 이러한 용천수의 수원은 강수에 의한 것이며 강수가 지표면으로 떨어져 지층을 통과한 후, 땅속을 흐르다가 지표면으로 다시 솟아나는 것이다.

용천수의 수질은 용천수가 충전되어 있는 토질의 성분과 주변 토지이용형태에 따라 달라질 수 있다. 이러한 현상은 용천수를 상수원으로 이용되는 수원지의 수질 특성을 보면 알 수 있으며 강우가 많이 발생하는 시기에 수질이 악화되는 것을 알 수 있다. 이렇게 수질을 악화시킬 수 있는 오염원은 단위 면적당 배출되는 비점오염원(non-point source)으로서 오염물질이 어느 한 지점을 택하여 집중적으로 배출되지 않고 광범위한 지역에서 동시에 다발적으로 배출되어 배출원을 하나의 지점으로서 파악하기 힘든

경우로서 면오염원(area source)이라고도 말하며, 강우시 도시지역, 농경지, 산지, 목장용지 등의 유출수를 들 수 있다.

상수원 수질을 악화시키는 수질오염물질에는 여러 물질이 있으나 그 중에 질산성질소는 유아가 장기간 섭취할 경우 청색증(Blue Baby: methemoglobinemia)을 유발시키는 물질로 알려져 있으며 음용수 수질기준에도 10 ppm 이하로 규정하고 있다. 그리고 질산성질소는 대수층 내의 가장 일반적인 오염물질이라고 알려져 있다(Spalading and Exner, 1993). 이러한 문제로 인하여 제주도의 지하수에 대한 관심이 많아지며 지하수와 수질특성에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다(고 등, 1993 : 송 등, 1996 : 윤과 박, 1994 : 최와 김, 1989 : 최, 1990 : 현, 1996).

따라서 본 연구는 특정한 점오염원이 없는 제주시 상수원 중, L 수원지를 대상으로 2001년과 2002년 2개년에 걸쳐 발생한 강우량과 수질오염물질인 질산성질소의 수질변화를 비교, 검토하여 강우량과의 수질 변화특성을 알아보는 것이 목적이다.

재료 및 방법

조사지점

제주시의 상수원으로는 6개소의 수원과 어승생지선 그리고 지하수가 있다. 이들 상수원 중 지하수의 급수이용률은 26.5%로서 제일 많이 이용되고 있으나 이 지하수의 관정들은 총 53개소로서 제주시 전 지역에 넓게 분포되어 있어 본 연구에 적용하려면 장기적인 수질조사가 선행되어야 한다. 그러므로 본 연구는 6개의 수원지 중 1988년 12월 9일 준공되어 현재 25,100명의 급수인구를 보이고 있는 Fig. 1에 나타낸 L수원지(L-W)를 대상으로 본 연구를 수행하였다.

조사시기

본 연구의 조사기간은 총 2년간에 걸쳐 2001년 1월부터 2002년 12월까지 매주 1회 주기로 총 104회의 수질조사와 강우량조사를 실시하였다.

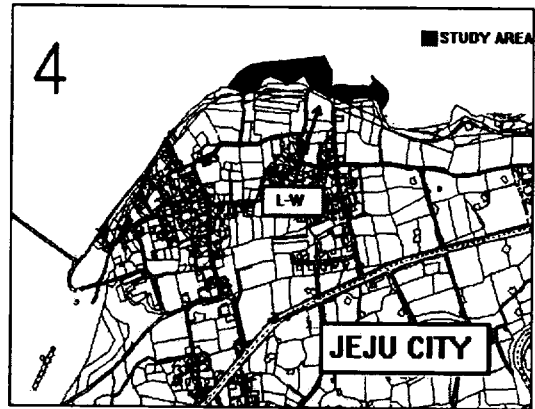


Fig. 1. Location of the sampling sites in Jeju City.

조사항목 및 분석방법

조사항목으로 기상자료는 강우량과 수질항목으로는 질산성질소(NO_3^- -N)를 이용하였으며 강우량 자료는 제주 지방 기상청 자료를 사용하였고 질산성질소는 IC(Dionex 500)를 사용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

강우량

2001년과 2002년의 강우량 자료는 Table 1 그리고 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다.

Table 1에 나타낸 강우량은 수질분석을 행한 날을 기준으로 1 주전의 일일강우량을 누적하여 나타낸 것이다.

제주시의 2001년 총 강우량은 1388.7 mm이고, 2002년 총 강우량은 1704.1 mm으로서 제주시 년 평균(1967년~1996년) 강우량이 1458.3 mm로 2001년 강우량은 이 값에 비해 69.6 mm가 부족하며, 2002년 강우량은 년 평균 강우량보다 245.8 mm가 많다.

2001년 그리고 2002년에 조사 시기별 1주간 누적강우량 자료를 Fig. 2와 Fig. 3에 각각 나타내었다. 연간 누적강우량을 비교해 보면 2002년에는 2001년에 비해 315.4 mm 이상 많은 강우량이 발생했으며, 시기별 강우량을 비교해 보면 2001년은 상반기보다 하반기에 많은 양의 강우를 보였음을 알 수 있고, 2002년

제주시에서 강우량에 따른 NO₃⁻-N의 변화

Table 1. Cumulative rainfall during a week from 2001 to 2002

(unit : mm)

2001				2002			
date	cumulative rainfall	date	cumulative rainfall	date	cumulative rainfall	date	cumulative rainfall
'01. 1. 3	0.0	'01. 7. 3	27.6	'02. 1. 2	1.0	'02. 7. 9	240.2
'01. 1. 9	11.7	'01. 7. 10	56.6	'02. 1. 7	1.5	'02. 7. 15	0.0
'01. 1. 18	22.5	'01. 7. 18	57.7	'02. 1. 14	2.8	'02. 7. 22	58.2
'01. 1. 26	74.1	'01. 7. 24	0.0	'02. 1. 21	15.7	'02. 7. 29	157.0
'01. 1. 30	8.7	'01. 7. 31	8.8	'02. 1. 28	35.2	'02. 8. 5	0.3
'01. 2. 6	5.0	'01. 8. 8	47.8	'02. 2. 4	0.4	'02. 8. 12	114.0
'01. 2. 13	15.8	'01. 8. 14	108.9	'02. 2. 14	4.2	'02. 8. 19	20.5
'01. 2. 20	0.4	'01. 8. 21	21.4	'02. 2. 18	0.0	'02. 8. 26	19.5
'01. 2. 27	46.7	'01. 8. 28	0.0	'02. 2. 25	10.5	'02. 9. 2	195.0
'01. 3. 5	14.5	'01. 9. 4	58.5	'02. 3. 4	19.6	'02. 9. 9	1.3
'01. 3. 13	2.1	'01. 9. 11	57.4	'02. 3. 11	22.0	'02. 9. 17	137.6
'01. 3. 20	8.6	'01. 9. 18	18.9	'02. 3. 18	11.0	'02. 9. 23	0.0
'01. 3. 27	8.1	'01. 9. 25	0.6	'02. 3. 25	15.0	'02. 9. 30	4.5
'01. 4. 3	2.6	'01. 10. 4	32.9	'02. 4. 1	10.9	'02. 10. 7	18.0
'01. 4. 10	25.7	'01. 10. 10	23.6	'02. 4. 8	15.0	'02. 10. 14	0.0
'01. 4. 17	1.8	'01. 10. 17	0.0	'02. 4. 15	4.0	'02. 10. 21	67.1
'01. 4. 24	15.0	'01. 10. 22	29.9	'02. 4. 22	36.5	'02. 10. 28	0.7
'01. 5. 2	28.1	'01. 10. 29	51.8	'02. 4. 29	9.6	'02. 11. 4	32.0
'01. 5. 8	8.3	'01. 11. 5	34.1	'02. 5. 6	57.0	'02. 11. 11	2.7
'01. 5. 15	0.9	'01. 11. 12	0.0	'02. 5. 13	22.0	'02. 11. 18	0.4
'01. 5. 22	53.0	'01. 11. 19	0.2	'02. 5. 20	58.0	'02. 11. 25	2.0
'01. 5. 29	17.2	'01. 11. 26	0.0	'02. 5. 27	1.5	'02. 12. 2	7.6
'01. 6. 5	18.0	'01. 12. 3	40.3	'02. 6. 3	4.6	'02. 12. 10	65.5
'01. 6. 12	7.2	'01. 12. 10	21.4	'02. 6. 10	0.0	'02. 12. 16	19.5
'01. 6. 19	57.2	'01. 12. 17	54.1	'02. 6. 17	28.0	'02. 12. 23	13.5
'01. 6. 26	191.2	'01. 12. 24	46.1	'02. 6. 26	87.6	'02. 12. 30	3.9

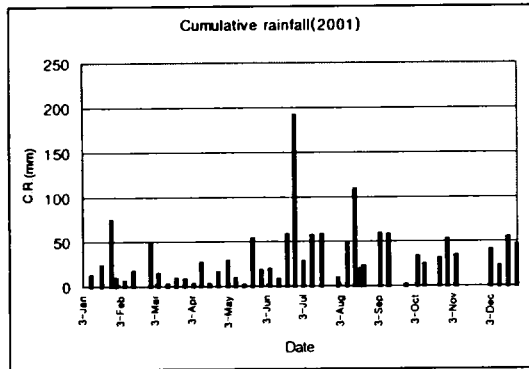


Fig. 2. Cumulative rainfall during a week in 2001.

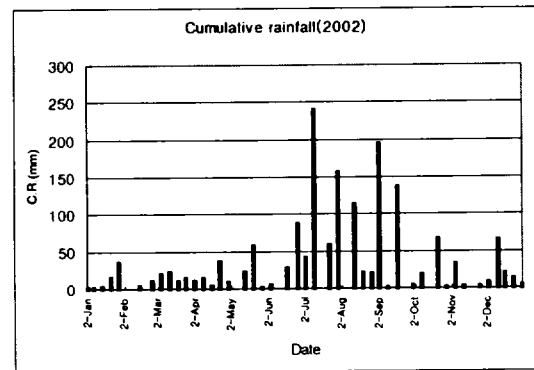


Fig. 3. Cumulative rainfall during a week in 2002.

의 경우 6월에서 9월 사이에 집중적으로 많은 양의 강우가 발생하였다. 2001년 6월에 191.2 mm, 8월에 108.9 mm의 두 차례에 걸쳐 집중호우가 내렸으며, 2002년의 경

경우에는 6월말 87.6 mm, 7월초 240.2 mm, 7월말 157.0 mm, 8월 중순 114.0 mm, 9월초 195.0 mm, 9월 중순에 137.6 mm의 많은 양의 집중호우가 6차례에 걸쳐 내렸다. 따라서

2001년과 2002년에 예상되는 질산성질소에 대한 상수원의 수질변화는 2001년에는 7월에서 8월사이, 2002년에는 7월에서 10월 사이에 큰 변화가 있을 것으로 예상된다.

질산성질소 농도

2001년과 2002년의 질산성질소농도 자료는 Table 2 그리고 Fig. 4와 Fig. 5에 나타내었다.

2001년 질산성질소의 농도변화는 Fig. 4에 나타내었으며 전 조사기간 동안 1.8 mg/L ~ 6.2 mg/L의 범위를 보이고 있으며 평균 농도는 3.4 mg/L이었다. 계절별 농도의 변화를 보면 7월~9월인 하계에 4 mg/L 이상의 평균 농도보다 높은 값을 지속적으로 나타내는 것을 알 수 있으며 최대치는 8월 8일에 6.2 mg/L을 나타내었고 그 이후 계속 감소하는 경향을 보였다.

그리고 최소치는 1월 26일에 1.8 mg/L을 나타내었다.

2002년 질산성질소의 농도변화는 Fig. 5에 나타내었으며 전 조사기간 동안 2.0 mg/L ~ 8.3 mg/L의 범위를 보이고 있으며 평균 농도는 3.9 mg/L이었다.

계절별 농도의 변화를 보면 2001년과 같이 7월에서 10월 사이에 전체적으로 높은 농도를 보이고 있었으며 최대치는 9월 2일에 8.3 mg/L을 나타내었다. 그리고 최소치는 4월 1일에 2.0 mg/L을 나타내었다.

전 조사기간 동안 질산성질소는 기준치를 초과하지 않았다.

강우량에 따른 질산성질소의 농도변화

1. 2001년 강우량에 따른 질산성질소의 농도변화
- 2001년 강우량에 따른 질산성질소의 농도 변화를

Table 2. Variation of NO₃⁻-N concentration from 2001 to 2002 (unit : mg/L)

2001				2002			
date	conc.	date	conc.	date	conc.	date	conc.
'01. 1. 3	3.1	'01. 7. 3	3.0	'02. 1. 2	2.9	'02. 7. 9	3.8
'01. 1. 9	2.6	'01. 7. 10	4.6	'02. 1. 7	3.4	'02. 7. 15	4.8
'01. 1. 18	2.7	'01. 7. 18	4.8	'02. 1. 14	2.9	'02. 7. 22	5.0
'01. 1. 26	1.8	'01. 7. 24	3.2	'02. 1. 21	3.6	'02. 7. 29	6.8
'01. 1. 30	1.8	'01. 7. 31	4.3	'02. 1. 28	3.1	'02. 8. 5	5.5
'01. 2. 6	2.6	'01. 8. 8	6.2	'02. 2. 4	3.3	'02. 8. 12	6.6
'01. 2. 13	2.6	'01. 8. 14	5.4	'02. 2. 14	2.8	'02. 8. 19	5.8
'01. 2. 20	3.0	'01. 8. 21	5.6	'02. 2. 18	2.6	'02. 8. 26	5.7
'01. 2. 27	2.8	'01. 8. 28	4.6	'02. 2. 25	2.7	'02. 9. 2	8.3
'01. 3. 5	3.5	'01. 9. 4	4.7	'02. 3. 4	2.5	'02. 9. 9	7.3
'01. 3. 13	3.3	'01. 9. 11	4.9	'02. 3. 11	2.6	'02. 9. 17	6.2
'01. 3. 20	3.5	'01. 9. 18	3.7	'02. 3. 18	2.7	'02. 9. 23	6.0
'01. 3. 27	3.4	'01. 9. 25	3.5	'02. 3. 25	3.5	'02. 9. 30	4.7
'01. 4. 3	3.7	'01. 10. 4	4.4	'02. 4. 1	2.0	'02. 10. 7	5.2
'01. 4. 10	3.1	'01. 10. 10	3.8	'02. 4. 8	3.5	'02. 10. 14	4.5
'01. 4. 17	3.6	'01. 10. 17	2.7	'02. 4. 15	2.9	'02. 10. 21	5.3
'01. 4. 24	2.6	'01. 10. 22	4.1	'02. 4. 22	3.5	'02. 10. 28	4.7
'01. 5. 2	2.7	'01. 10. 29	3.3	'02. 4. 29	2.7	'02. 11. 4	4.2
'01. 5. 8	2.6	'01. 11. 5	4.1	'02. 5. 13	2.7	'02. 11. 11	3.9
'01. 5. 15	2.9	'01. 11. 12	3.0	'02. 5. 20	4.0	'02. 11. 18	3.2
'01. 5. 22	2.6	'01. 11. 19	3.2	'02. 5. 27	3.5	'02. 11. 25	3.0
'01. 5. 29	2.1	'01. 11. 26	3.0	'02. 6. 3	3.3	'02. 12. 2	3.5
'01. 6. 5	2.3	'01. 12. 3	3.0	'02. 6. 10	2.5	'02. 12. 10	2.8
'01. 6. 12	2.3	'01. 12. 10	2.9	'02. 6. 17	2.9	'02. 12. 16	2.6
'01. 6. 19	2.5	'01. 12. 17	2.9	'02. 6. 26	2.7	'02. 12. 23	2.9
'01. 6. 26	3.7	'01. 12. 24	3.0	'02. 7. 2	3.7	'02. 12. 30	2.4

제주시에서 강우량에 따른 NO₃⁻-N의 변화

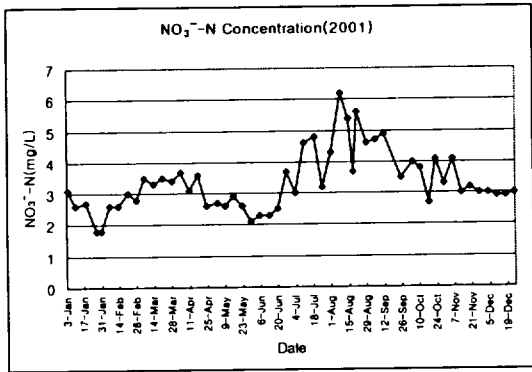


Fig. 4. Variation of NO₃⁻-N concentration in 2001.

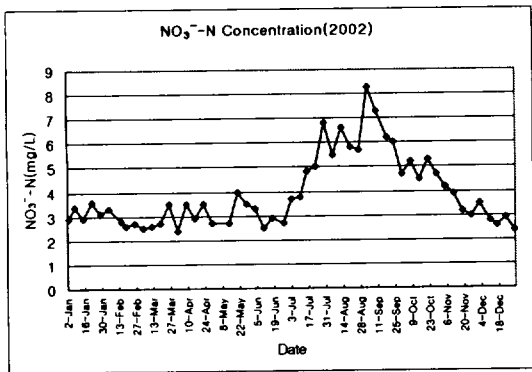


Fig. 5. Variation of NO₃⁻-N concentration in 2002.

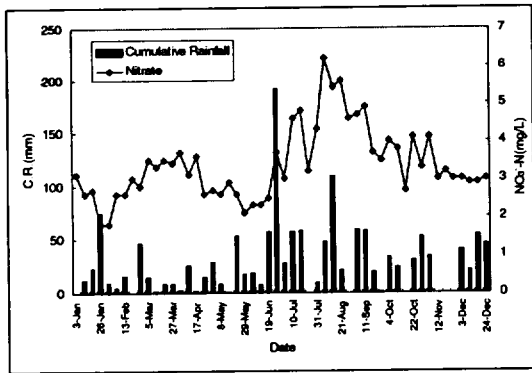


Fig. 6. Variation of NO₃⁻-N concentration and cumulative rainfall during a week in 2001.

Fig. 6에 나타내었다.

2001년도에는 강우량이 많은 하계를 제외하고는 평균 3.0 mg/L을 밑도는 낮은 질산성질소의 농도를 나타냈다. 그리고 강우량의 변동을 보면 6월에서 9월

사이의 하계에 집중적으로 내린 것으로 보아 질산성 질소의 수질 변화 역시 6월에서 9월 사이에 높은 농도를 나타내는 것을 알 수 있었다. 조사일 별로 보면 6월 20일에서 26일까지의 누계 강우량이 191.2 mm를 보이고 나서 8월 8일에 2001년 최고치인 6.2 mg/L를 나타냈고, 8월 14일 108.9 mm의 또 한 차례의 강우가 있는 후 10월 4일에는 4.4 mg/L의 농도를 보였으며 그 이후에는 계속적으로 감소하기 시작하여 12월 말에는 2.4 mg/L의 낮은 농도를 나타내었다.

2. 2002년 강우량과 질산성질소 변화

2002년 강우량에 따른 질산성질소의 농도 변화를 Fig. 7에 나타내었다.

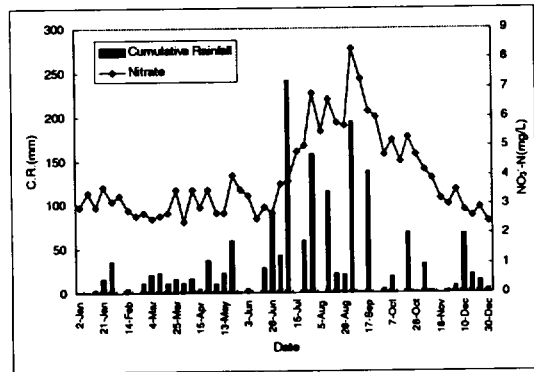


Fig. 7. Variation of NO₃⁻-N concentration and cumulative rainfall during a week in 2002.

2002년도 질산성질소의 농도는 2.0 mg/L ~ 8.3 mg/L의 범위를 보이고 있으며 농도 변화를 보면 50 mm 이하의 낮은 강우가 발생하는 1월부터 5월까지의 강우에 의한 질산성질소의 변화가 별로 없으나 누적강우량이 6월 26일 87.6 mm, 7월 9일 240.2 mm, 7월 29일 157.0 mm, 8월 12일 114.0 mm의 집중호우가 시작되자 7월 15일 질산성질소의 농도가 4.8 mg/L을 기점으로 증가하면서 9월 2일 2002년 최고 값인 8.3 mg/L을 보인 후 9월 말까지는 서서히 감소하였지만 여전히 년 평균치를 넘기고 있었고, 9월 말부터 강수량이 현저히 줄어들면서 질산성질소의 농도도 계속 감소하여 11월부터는 평균값 이하의 값을 보였다.

이상의 결과를 보면 수질농도인 경우, 이호 수원지

의 경우 2001년과 2002년 전 조사시기에 질산성질소의 음용수 수질기준의 농도 10 mg/L이하의 수질을 만족하고 있는 것을 알 수 있었고 특정한 점오염원의 영향이 없는 이호수원지는 강우량 변화에 따라 발생하는 질산성질소의 변화 즉 비점원 오염물질의 영향을 잘 보여주는 것을 알 수 있었으며 이호수원지의 수질관리를 위해서는 비점오염물질의 관리가 필요한 것으로 사료된다.

결론

제주시의 6개의 수원지 중 이호수원지를 대상으로 2001년부터 2002년까지 강우량 변동에 의한 질산성질소의 수질변화를 비교 검토한 결과는 다음과 같다.

2001년 총 강우량은 1388.7 mm, 2002년 총 강우량은 1704.1 mm의 강우량을 보여 2002년이 2001년보다 315.4 mm 많은 강우량을 보였다. 계절별 강우량 변동을 보면 2001년에는 6월에서 8월에 많은 강우량이 발생했고 2002년 역시 6월에서 9월에 많은 강우량을 보이는 것을 알 수 있다.

2001년 질산성질소의 농도변화는 1.8 mg/L ~ 6.2 mg/L의 범위를 보였고 2002년에는 농도 범위가 2.0 mg/L ~ 8.3 mg/L의 범위를 보였다. 년별 315.4 mm의 강우량 차이를 보임과 동시에 2001년과 2002년도의 질산성질소 농도변화에도 큰 차이를 보이고 있다.

2001년 강우량과 질산성질소의 농도 변화를 살펴보면 강우량이 6월에서 9월 사이에는 다른 시기에 비해 상대적으로 높은 값을 나타내었으며 강우량이 적은 동계에는 낮은 값을 보였다.

2002년 일일 강우량이 최고 215.0 mm의 많은 강우를 보인 후의 질산성질소의 농도는 조사기간 동안의 최고의 농도인 8.3 mg/L까지 증가되는 것을 알 수 있었다.

이상의 결과를 보면 알 수 있듯이 강우량과 질산성질소의 농도는 매우 밀접한 관계가 있음을 알 수 있

었다. 그러나 강우발생 후 비점오염물질로 발생하는 질산성질소의 농도에 영향을 미치는 데는 어느 정도의 지체시간이 발생하는 것을 알 수 있었다. 강우발생량이 적은 시기의 질산성질소의 농도변화를 보면 낮은 농도가 유지되는 것을 알 수 있으나 2001년 하계와 2002년 하계에 많은 양의 비가 발생한 후에는 평균값보다 훨씬 높은 농도를 보였다. 이렇듯 강우발생 후 질산성질소에 영향을 미치는 비점오염물질에 대한 수질관리 대책이 필요하다고 사료되며 계속되는 환경오염으로 인한 영향에 대해서는 장기간의 모니터링을 통한 정량적으로 수질관리가 필요하다고 사료된다.

참고문헌

- 고기원 외 5인, 1993. 제주도 중부지역의 지하지질구조와 지하수위 변동 및 수질특성에 관한 연구. 제주도보건환경연구원보, 3.
- 송영철 · 김성홍 · 김길성 · 오순미 · 김태현 · 김세라 · 김현준 · 고용구 · 오윤근 · 유장걸, 1996. 제주 지하수의 수질 특성. 제주도보건환경연구원보, 7: 155-182.
- 윤정수 · 박상운, 1994. 제주도 지하수의 지역별 수질특성과 수위변화. 제주대학교 해양연구소 연구보고, 18: 59-83
- 제주도, 1997. 제주도 중산간지역 종합조사. pp. 69-74.
- 제주도, 1999. 제주의 물, 용천수. p. 19.
- 최순학 · 김영기, 1989. 1989. 제주도 지하수의 수질특성. 지질학회지, 25(3): 230-238
- 최순학, 1990. 제주도 수자원의 특성과 수질오염 연구(Ⅲ). 과학기술원, pp. 1-57.
- 현익현, 1996. 질산성질소로 오염된 지하수의 오염원에 관한 연구. 제주대학교 석사학위논문, 88 pp.
- 환경부, 1998. 먹는물 수질관리 지침서.
- Spalding, R. F. and M. E. Exner, 1993. Occurrence of nitrate in groundwater : A review. J. Environ. Quality 22: 392-402.