

ORIGINAL ARTICLE

경주 신라우물의 지하수 수문학적 연구

배상근*

계명대학교 토목공학과

Groundwater Hydrological Study of Silla Well in Gyeongju

Sang Keun Bae*

Department of Civil Engineering, Keimyung University, Daegu 42601, Korea

Abstract

In this paper, a groundwater hydrological study of the Gyeongju well during the Silla period is conducted to investigate how sufficiently the Gyeongju well supplied water demand at the time. It is assumed that the current geology and soil condition in Gyeongju remain similar to the Silla period. Also, the land use and land coverage during the Silla period is estimated based on the current land condition in Gyeongju. Precipitation during the Silla period is analyzed using precipitation data from 1984 to 2014 provided by Gyeongju weather station. Precipitation analysis is applied based on 3 different scenarios; precipitation intensity during the Silla period was Case ① the same as, Case ② 30% more, and Case ③ 30% less than the precipitation intensity of the last decade (2005~2014). Furthermore, to observe the use of the well in Gyeongju during droughts, the following condition(Case ④) is also considered; ten year drought during the Silla period was the same as the ten year drought from 1984 to 2014. Available amount of groundwater development is analyzed using NRCS-CN method. The results show that the potential amount of groundwater in Gyeongju during Silla era was for Case ① 62,825,272 m³/year, Case ② 93,606,567 m³/year, Case ③ 32,277,298 m³/year, and Case ④ 32,870,896 m³/year. Also, it has been shown that 45,260,000 m³ of groundwater were required to supply to all households in Gyeongju during Silla era. Therefore, if the precipitation intensity during Silla era was similar with the last decade, the groundwater would provide enough supply to all households in Gyeongju. However, in the case that the precipitation intensity during Silla era was 30% less than the last decade or a ten year drought happened, it is predicted that the water use in Gyeongju would have been limited.

Key words : Silla, Silla well, Gyeongju, Groundwater

1. 서론

신라는 B.C 57년~A.D 935년 까지 경주를 도읍지로 하여 992년간 존속하였다. 경주에는 신라태조 박혁거세의 탄생설화를 가진 나정과 박혁거세의 왕비 알영부인의 탄생 전설을 가진 알영정 등 우물과 관련된 설화가 많다. 경주에 있는 신라우물은 신라 사람들의 주된 용수로 이들의 생명과 생활에 직접적으로 관련되어 있었다. 신라

우물은 생활용수를 공급할 뿐만아니라 사람들이 모여 정보를 공유하고 기도하고 제사 지내는 성스러운 장소이기도 하였다. 경주에서 발굴된 신라우물은 211기이며 경주 전 지역에서 골고루 분포하고 있다(Kim, 2014). 경주읍 성안에 조선중기에 70개의 우물이 있었다는 기록이 있으며 현재에도 수십기의 신라우물이 남아있다. 신라우물은 문화적으로 가치가 높아 신라의 대표적인 문화자원이다(Kang, 2014). 따라서 신라우물에 대한 문화사적 측면에

Received 22 September, 2015; Revised 8 January, 2016;

Accepted 11 January, 2016

*Corresponding author : Sang Keun Bae, Department of Civil Engineering, Keimyung University, Daegu 42601, Korea
Phone: +82-53-580-5295
E-mail: skbae@kmu.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서의 연구가 많다(Choi, 2011; Kang, 2014; Kim, 2014; Kim, 2014). 삼국유사에 따르면 신라 전성기에 경주에는 17만 8천 936호가 살았다고 한다. 1가구당 4-5 명이 살았다면 그 당시 경주인구가 약 80만 명으로 추정된다. 경주와 주변지역의 선사지 면적과 여기서 생산되는 곡물량을 고려하여 이정도 인구를 부양하는 것이 가능했으리라는 연구가 있다(Hwang and Yoon, 2013). 우물물은 지하수임으로 경주우물을 문화사적 측면 뿐만 아니라 수문학적 관점에서 연구할 필요가 있다. 신라시대 경주지역의 우물에 대하여 수문학적으로 연구한 사례(Bae, 2014; Bae, 2015a; Bae, 2015a)가 있으나 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 신라시대에 경주시민들이 우물물을 비롯한 지하수를 이용하여 생활하는데 풍족하였는지에 대하여 지하수 수문학적 관점에서 연구하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구지역

형산강이 경주시 서측에서 북류하고 있다. 경주시 주위에 금곡산을 비롯한 여러 산이 둘러싸고 있어 분지지형이다(Fig. 1). 경주지역에는 한반도 남부에서 단일 선상지로는 가장 규모가 큰 경주 선상지가 있다. 경주 시가지가 이 선상지에 위치한다(Yoon and Hwang, 2004).

연구지역의 지질은 크게 백악기 하양층군 진동층과 유천층군 화산암류 그리고 불국사 화강암으로 구성된다. 이 지역에서 비교적 넓게 분포하는 진동층은 이 지역의 남부와 양산단층의 서편에 주로 분포하고 있으며 암회색 내지 청회색 사암과 적색내지 암회색 이암 및 셰일 등의 쇄설성 퇴적암류로 구성된다(Kim and Chang, 2009).

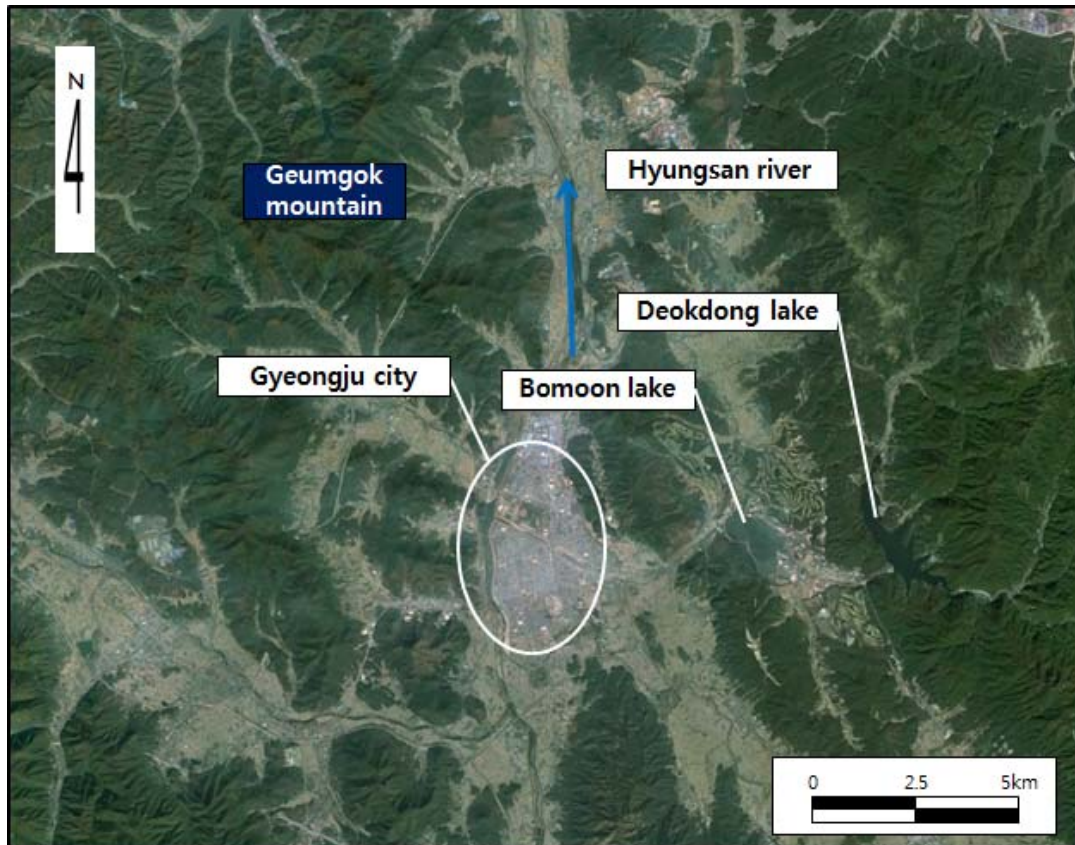


Fig. 1. Study area.

2.2. 지하수 함양량

2.2.1. NRCS-CN 방법

미국 NRCS(Natural Resources Conservation Service)는 유출량과 토양 관련자료를 광범위하게 수집·분석하여 강우 유출 관계식을 유도하였다. 이 관계식으로부터 소유역의 유출량 산정을 위한 NRCS-CN방법을 제시하였다.

NRCS-CN 방법의 기본가정과 강우로부터 발생하는 직접유출량과 초기손실을 제외한 강우량과의 관계식을 바탕으로 Aron et al.(1977)과 Hjelmfelt(1980) 등은 실저류량 F가 강우 중 누기침투량과 같다고 하였으며 F를 다음 식(1)과 같이 유도하였다.

$$F = \frac{(P - 0.2S)S}{P + 0.8S} \quad (1)$$

여기서, S는 흙으로 흡수되는 물의 양과 흙이 최대로 저류할 수 있는 양, P는 강수량이다. 각 강우사상별 침투량은 지하수함양량으로 볼 수 있으므로 식(1)을 사용하여 장기간의 침투량을 누계하고 같은 기간의 강우량과 비교하면 지하수함양율을 산정 할 수 있다(Bae, 2005).

2.2.2. 지하수함양량 산정

본 연구에서는 지하수함양량을 산정하기 위하여 NRCS-CN 방법을 적용하였다. 정밀토양도로부터 분류한 수문학적 토양 그룹이 Table 1에 나타나있다. Table 1에 의하면 D Group 토양이 51.54%로 연구지역의 토양이 지하수함양에 불리하다는 것을 알 수 있다.

Table 2에 연구지역의 토지피복 상태와 수문학적토양군을 분류한 결과가 나타나있다. Table 2에 의하면 임지와 농경지가 대부분을 차지함을 알 수 있다. Table 3에

2005년부터 2014년간 10년 동안의 경주지역 강수량이 나타나있다. Table 3에 의하면 10년 평균 강수량이 1112.1 mm이다. 대상 기간 중에 최소강수량은 2008년의 885.4 mm이고 최대강수량은 2014년의 1338.4 mm이다.

3. 결과 및 고찰

신라시대의 지하수함양량을 산정하는데 필요한 자료를 얻기는 어렵다. 따라서 현재의 자료를 토대로 신라시대의 지하수함양에 영향을 미치는 조건을 가정하였다. 토양도는 현재와 같다고 판단하였다. 토지피복은 현재의 토지피복 상태 중에서 개발지를 모두 미개발지로 하였다. 강수량은 경주기상관측소 강수량자료(1984-2014)를 이용하였다. 신라시대의 강수량을 파악하기 어려움으로 현재의 강수량부터 4가지 Case를 가정하여 분석하였다. Case ①은 지난 10년간(2005-2014)의 강수와 동일하다. Case ②는 지난 10년간의 강수보다 개개 강수에 대한 강우강도가 30% 크다. Case ③은 지난 10년간의 강수보다 개개 강수에 대한 강우강도가 30% 작다. 10년 가뭄의 경우에 대하여 분석하였다. 이 경우에 경주지역의 강우 자료에서 CASE ④는 10년빈도 가뭄을 유발한 강수와 동일한 강우가 발생하였다고 가정하였다.

각각의 경우에 발생한 지하수함양량이 Table 4-7에 나타나있다. Case ①의 경우 연평균 강수량은 1112.11 mm 이고 연평균 지하수함양량은 183.10 mm 이며 연평균 지하수함양율은 16.46%이다. Case ②의 경우 연평균 강수량은 1445.74 mm이고 연평균 지하수함양량은 272.81 mm이며 연평균 지하수함양율은 18.87%이다. Case ③의 경우 연평균 강수량은 778.47 mm이고

Table 1. Hydrologic soil group

Hydrologic soil group	Extent (km ²)	Percentage(%)
A Group	62.02	18.08
B Group	88.58	25.82
C Group	15.68	4.57
D Group	176.84	51.54
Total	343.12	100

Table 2. Classification of land cover in the study area

Land use pattern	Hydrologic soil group				
	Total area (km ²)	A-Type	B-Type	C-Type	D-Type
		Area(km ²)	Area(km ²)	Area(km ²)	Area(km ²)
Residential area	14.00	3.75	4.17	0.19	5.90
Manufacturing area	1.89	0.58	0.19	0.01	1.11
Business area	1.88	0.50	0.66	0.02	0.70
Leisure area	1.24	0.37	0.26	0.01	0.61
Traffic area	5.03	0.81	0.82	0.07	3.34
Public facilities	1.55	0.60	0.35	0.01	0.59
Rice paddy	58.76	5.88	2.04	1.91	48.93
Farm	20.08	5.78	3.84	1.17	9.28
Greenhouse plantation	0.87	0.34	0.00	0.00	0.52
Orchard	9.71	2.95	2.33	0.41	4.02
Other plantation	1.45	0.57	0.29	0.02	0.57
Broad leaved forest	29.08	0.79	6.75	0.27	21.27
Coniferous forest	126.94	30.25	46.78	7.58	42.34
Mixed stand forest	40.04	3.77	14.40	2.57	19.30
Pasture	1.76	0.39	0.66	0.02	0.69
Golf course	1.97	0.07	0.49	1.00	0.42
Meadow	8.67	1.64	3.69	0.23	3.11
Inland wetlands	2.37	0.43	0.02	0.01	1.91
Coastal wetlands	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mining site	0.19	0.12	0.05	0.00	0.02
Bare ground	6.46	1.67	0.59	0.06	4.14
Inland water	9.17	0.76	0.22	0.13	8.06
Total	343.12	62.02	88.58	15.68	176.84

Table 3. Precipitation in Gyeongju area

Year	Precipitation(mm)
2005	1180.2
2006	1332.8
2007	1241.4
2008	885.4
2009	885.5
2010	927.4
2011	1089.9
2012	1333.7
2013	906.4
2014	1338.4
Average	1112.1

Table 4. Groundwater recharge on Case ①

Year	Precipitation (mm)	Recharge (mm/year)	Recharge Percentage (%)
2005	1180.2	216.9	18.37
2006	1332.8	253.3	19.01
2007	1241.4	167.3	13.48
2008	885.4	117.2	13.24
2009	885.5	124.5	14.06
2010	927.4	139.3	15.02
2011	1089.9	189.3	17.37
2012	1333.7	233.9	17.54
2013	906.4	136.3	15.04
2014	1338.4	253.0	18.90
Average	1112.11	183.10	16.46

Table 5. Groundwater recharge on Case ②

Year	Precipitation (mm)	Recharge (mm/year)	Recharge Percentage (%)
2005	1534.26	301.6	19.66
2006	1732.64	352.5	20.35
2007	1613.82	244.3	15.14
2008	1151.02	207.8	18.06
2009	1151.15	205.6	17.86
2010	1205.62	232.8	19.31
2011	1416.87	275.5	19.44
2012	1733.81	347.8	20.06
2013	1178.32	182.3	15.47
2014	1739.92	378.0	21.73
Average	1445.74	272.81	18.87

Table 6. Groundwater recharge on Case ③

Year	Precipitation (mm)	Recharge (mm/year)	Recharge Percentage (%)
2005	826.14	130.6	15.80
2006	932.96	142.7	15.29
2007	868.98	79.1	9.10
2008	619.78	52.5	8.48
2009	619.85	42.3	6.83
2010	649.18	64.4	9.92
2011	762.93	106.6	13.97
2012	933.59	121.0	12.96
2013	634.48	74.9	11.80
2014	936.88	126.5	13.51
Average	778.47	94.07	12.08

Table 7. Groundwater recharge on Case ④

Month	Precipitation (mm)	Recharge (mm/year)	Recharge Percentage (%)
1	5.5	0.0	0.00
2	24.6	0.2	0.84
3	73.8	13.0	17.62
4	33.3	0.2	0.65
5	81.8	1.9	2.29
6	196.3	36.0	18.32
7	122.9	6.7	5.45
8	116.1	14.8	12.74
9	79.9	13.7	17.10
10	67.4	3.6	5.30
11	9.4	0.0	0.00
12	47.4	5.8	12.23
Total	858.4	95.8	11.16

연평균 지하수함양량은 94.07 mm이며 연평균 지하수 함양율은 12.08%이다. 10년빈도 가뭄 시에 대한 Case ④의 경우는 연 강수량은 858.4 mm이고 연 지하수함양량은 95.8 mm이고 연 지하수함양율은 11.16% 이다.

Table 8에 각 Case별 신라시대 경주지역의 지하수 개발가능량이 나타나있다. Table 8에 의하면 Case ①의 경우 신라시대 경주지역에 발생하는 지하수 개발가능량은 62,825,272 m³/year이고 Case ②의 경우 경주지역에 발생하는 지하수 개발가능량은 93,606,567 m³/year이고 Case ③의 경우 경주지역에 발생하는 지하수 개발가능량은 32,277,298 m³/year이다. 10년빈도 가뭄 시에 신라시대 경주지역에 발생하는 지하수 개발가능량은 Case ④의 경우 지하수함양량은 32,870,896 m³/year이다.

우리나라 전국의 1인1일당 평균 물사용량이 282 ℓ

이다. 읍면지역에서는 1인1일당 평균 물사용량이 285 ℓ이고 1인1일당 평균 급수량은 155 ℓ이다(Ministry of Environment, 2013). 신라시대 당시 경주 시민 한사람이 필요로 하는 물의 양을 파악하기는 어렵다. 근년에 읍면 지역에는 노인인구가 많아 물 사용량이 적다. 신라시대 경주는 수도로 그 당시의 다른 지역 보다 물 사용량이 많았으리라 추정한다. 따라서 생활에 필요한 용수량이 현재 우리나라 읍면지역 1인1일당 평균 급수량인 155 ℓ로 가정하였다. 당시 경주 시민 한사람이 필요로 하는 물의 양이 1인당 0.155 m³라면 1일 평균 124,000 m³가 필요하다. 따라서 경주지역 전 주민이 이용하기에 필요한 지하수량은 일년에 45,260,000 m³이다.

이들 결과로부터 신라시대 강수량이 현재와 비슷하다면 물을 이용하는데 어려움이 없었을 것이다. 그러나 그

Table 8. Available amount of groundwater on each case in Gyeongju area

Case	Recharge (mm/year)	Available Groundwater (m ³ /year)
① (same as last decade)	183.1	62,825,272
② (30% up)	272.8	93,606,567
③ (30% down)	94.1	32,277,298
④ (10year drought)	95.8	32,870,896

당시 강수량이 현재 보다 30% 적을 경우와 10년 빈도 가뭄이 발생하는 경우에는 물이용이 어려웠을 것으로 예상된다.

4. 결론

신라가 번성할 때 경주에 18만가구가 살았다는 기록이 있다. 본 연구에서는 그 당시 경주사람들이 우물물을 비롯한 지하수를 풍족하게 이용하였는지에 대하여 지하수 수문학적 관점에서 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 신라시대의 강수량이 2005-2014년을 기준으로 같을 때, 30% 많을 때, 30% 적을 때 각각의 경우에 대한 경주지역의 지하수 개발가능량은 62,825,272 m³/year, 93,606,567 m³/year, 32,277,298 m³/year이다.

2. 신라시대에 10년 빈도 가뭄 시 경주지역에 강수가 현재와 같은 강수 조건인 경우 지하수 개발가능량은 32,870,896 m³/year이다.

3. 신라시대에 경주지역 전 주민이 이용하기에 필요한 지하수량은 45,260,000 m³/year이다.

4. 신라시대 강수량이 현재와 비슷하다면 우물을 이용하는데 어려움이 없었을 것이다. 그 당시 강수량이 현재 보다 30% 적을 경우와 10년 빈도 가뭄이 발생하는 경우에는 물을 구하기가 상당히 어려웠을 것으로 예상된다.

REFERENCES

Aron, G., Miller, A., Laktos, D., 1977, Infiltration formula based on SCS curve numbers, J. of Irrigation and Drain. Div. American Society of Civil Engineers, 103(IR4), 419-427.

Bae, S. K., 2005, Applicability of NRCS-CN method for the estimation of groundwater recharge, J. of the Korean Society of Civil Engineers, 25(6B), 425-430.

Bae, S. K., 2014, Groundwater hydrological examination of Silla Well, Proceedings of the International Water Forum on the water for our future of 7th World Water Forum in the 3rd Nakdong River international water week, 323-330.

Bae, S. K., 2015a, Groundwater hydrological study of

Silla Well in Gyeongju, 7th World Water Forum 2015, Special Session on "Water well and culture", 16.

Bae, S. K., 2015b, Study on the how sufficiently water provided for the residents of Gyeongju in Silla dynasty, Proceedings of the Korean Environmental Sciences Society Conference, 24, 152.

Choi, M. H., 2011, Silla culture and water, Proceedings of the Korea Water Business Forum and Water Expo, 149-172.

Hjelmfelt, A. T., 1980, Curve number procedures as infiltration method, J. of Hydraulic Div. American Society of Civil Engineers, 106(HY 6), 1107-1111.

Hwang, S. I., Yoon, S. O., 2013, The geomorphic characteristics on the location of Gyeongju Capital City of 'Saro' and 'Silla' Kingdoms in ancient times, Korea, J. of the Korean Geomorphological Association, 20(3), 79-94.

Kang, S. K., 2014, Silla well and life, Proceedings of the International Water Forum on the water for our future of 7th World Water Forum in the 3rd Nakdong River international water week, 297-322.

Kim, C. E., 2014, An archaeological analysis of construction way and types for Silla Well, Proceedings of the International Water Forum on the water for our future of 7th World Water Forum in the 3rd Nakdong River international water week, 275-296.

Kim, H. H., 2014, Silla well and rituals, Proceedings of the International Water Forum on the water for our future of 7th World Water Forum in the 3rd Nakdong River international water week, 322-1-322-36.

Kim, H. J., Chang, T. W., 2009, Fracture characteristics and segmentation of Yangsan Fault around Mt. Namsan, Gyeongju City, Korea, The Journal of Engineering Geology, 19(1), 51-61.

Ministry of Environment, 2013, (2012) Statistics of water works, 521.

Yoon, S. O., Hwang, S. I., 2004, The geomorphic development of alluvial fans in the Gyeongju City and Cheonbuk area, southeastern Korea, J. of the Korean Geography Association, 39(1), 56-69.