

서울 시내 궁궐 수원의 수질과 유동 특성

Naranchimeg, B¹ · 이재민¹ · 우남철^{1*} · 김연태² · 이강진²

¹연세대학교 지구시스템과학과, ²(주)웅진코웨이 환경기술연구소

Characteristics of Quality and Flow of Water Resources at Palaces in Seoul Metropolitan

Naranchimeg, B¹ · Jae Min Lee¹ · Nam C. Woo^{1*} · Youn Tae Kim² · Kang Jin Lee²

¹Department of Earth system sciences, Yonsei University

²Woongjin Coway Co., LTD.

ABSTRACT

This study was objected to provide suggestions for best management practices to restore the cultural and historical values of the wells in Palaces as well as their water qualities. Water resources in the five Palaces in Seoul Metropolitan, including Gyeongbokgung, Changdeokgung, Changgyeonggung, Jongmyo Shrine, and Deoksugung, were surveyed for their physical flows and chemical compositions from April to July in 2010. Ground waters in most wells were found at depths within 5 m from the ground surface, showing typical water-table aquifer systems. Hydraulic gradients indicate water resources in Gyeongbokgung, Changdeokgung, and Changgyeonggung flowing toward south, and toward east in Deoksugung area. Especially, water-level fluctuation data at S-10 in Deoksugung implied the influence of groundwater discharge facility. In Jongmyo Shrine, water was not detected in wells, indicating the water level was lower than the well depth. Based on the water chemistry and stable isotope analyses, water resources and their qualities appeared to be formed by the water-rock interaction along the groundwater paths. S-10 (Deoksugung) and S-14 (Changgyeonggung) samples were contaminated with nitrate (NO₃) in levels of higher than Korean drinking water standard, 10 mg/L as NO₃-N, but once in four sampling campaigns. In the situation that water resources in Palaces still maintain natural characteristics, the materials that will be used for the restoration and improvement of the Palace water supplies should be carefully selected not to disturb the natural integrity. In addition, because the wells are located in the center of metropolitan area, a systematic monitoring should be applied to detect and to manage the potential impacts of underground construction and various pollution sources.

Key words : Water resources, Palace, Seoul, Water quality, Management

1. 서 론

2010년 2월 4일 법률 제10000호 문화재보호법에 의하면, 문화재 주변의 자연경관이나 역사적·문화적인 가치가 뛰어난 공간으로서 문화재와 함께 보호할 필요성이 있는 주변 환경을 “역사문화환경”으로 정의하고 있다(제2조 제6항). 이와 같은 정의는 과거를 의미하는 역사와 그 시대의 사람과 자연을 의미하는 문화와 환경을 포괄적으로 함유하고 있다. 이러한 문화재 환경에 대한 인식의 확장

과 더불어, 2010년 3월, (주)웅진코웨이와 문화재청, 문화유산국민신탁은 서울 시내에 위치한 주요 ‘5개 궁 우물 복원 및 유지 관리’ 협약을 체결하고, 단기적으로는 궁궐 내 우물의 수질 개선을 통한 음용 및 수질 유지 관리 방안을 도출하여, 장기적으로 궁궐 내 우물의 역사기록 발굴 및 가치 홍보를 통해 우물의 역사적 가치도 함께 복원하기 위한 복합적 문화유산 복원사업을 시작하였다. 위 사업의 일환으로 연세대학교 지하수토양환경연구소와 (주)웅진코웨이 환경기술연구소가 협력하여 국내에서는 최초

*Corresponding author : ncwoo@yonsei.ac.kr

원고접수일 : 2011. 2. 8 심사일 : 2011. 3. 30 게재승인일 : 2011. 4. 20

질의 및 토의 : 2011. 6. 30 까지

로 문화재로 보존되고 있는 궁궐 내부의 우물과 수원(水源)에 대한 과학적인 조사·연구를 수행하였다.

본 논문에서는 국내 최초인 궁궐 내부에 못, 샘, 우물 등 다양한 형태로 존재하는 수원(水源)의 질적 특성과 제한적이지만 시간에 대한 양적 변화를 과학적 조사를 통해 파악한 결과를 보고하고, 이를 근거로 도출된 장기적 측면의 보존관리 방안을 제시하고자 하였다. 2010년 4월부터 7월까지 4개월의 짧은 기간의 조사결과이므로, 이를 바탕으로 제시할 수 있는 제안은 제한적일 수 밖에 없다. 그럼에도 불구하고, 역사 문화와 과학으로서의 수리지질학이라는 분야가 연계되어 수행된 조사결과로서, 또한 이러한 시도가 앞으로 지속적으로 수행되어 국내 보존된 문화재 내의 우물들이 인위적 영향(개발과 외부 오염인자에 의한)이 최소화된 배경수(background water)로서 지나는 기반정보를 축적할 수 있다는 의미에서 대단히 중요한 첫 걸음이라고 할 수 있다.

2. 연구지역

서울특별시 내에 분포하는 궁궐 중 경복궁(6개소)과 창경궁(8개소), 창덕궁(10개소), 덕수궁(2개소), 종묘(2개소) 등 총 5개 지역 28개소의 우물, 샘, 못 등 수원지에 대

해 연구하였다. 궁궐의 북쪽으로는 북악산(고도 342 m)과 인왕산(고도 338 m)이 있으며, 남쪽으로는 남산(고도 262 m)이 둘러싸고 있는 형태이며, 남쪽에 한강이 흐르는 평균 고도 약 50 m 정도의 완만한 지형으로 이루어져 있다 (Fig. 1). 서울지역 기반암은 주로 경기편마암 복합체인 편마암류이며, 연구지역은 관입 화강암으로 구성되어 있다 (홍승호와 이병주, 1982). 궁궐의 각각의 면적은 경복궁 약 34만 m², 창덕궁 43만 m², 덕수궁 6만 m², 종묘 19만 m²이다. 덕수궁은 1904년 큰 화재로 대부분의 전각이 소실되었다가 복원되었고, 창경궁과 창덕궁은 임진왜란을 거치면서 창건 당시의 전각이 대부분 소실되었으며 그 이후에도 여러 차례의 화재와 일제 강점기를 거치면서 소실되었다가 다시 복원되었다. 현재는 궁궐이 도심에 위치하고 있어 수원(水源)의 도시화에 따른 인위적인 영향이 크게 작용할 것으로 보인다. 5개 궁궐 인근으로 서울시 지하철 1, 3, 5호선 등이 놓여있으며, 서울메트로 및 서울도시철도공사에 의하면 서울시 지하철(1~8호선)로 인해 유출되는 지하수 배출량은 2008년 기준으로 3,550만 m³/year으로 보고되고 있고, 그 중 지하수 개발가능량 초과율이 가장 큰 행정구역은 중구로 보고되고 있다(정상용, 2010).

본 연구에서 문헌자료와 현장조사를 통해 확인된 경복궁, 덕수궁, 종묘, 창경궁, 창덕궁 등 5개 궁궐지역 내에

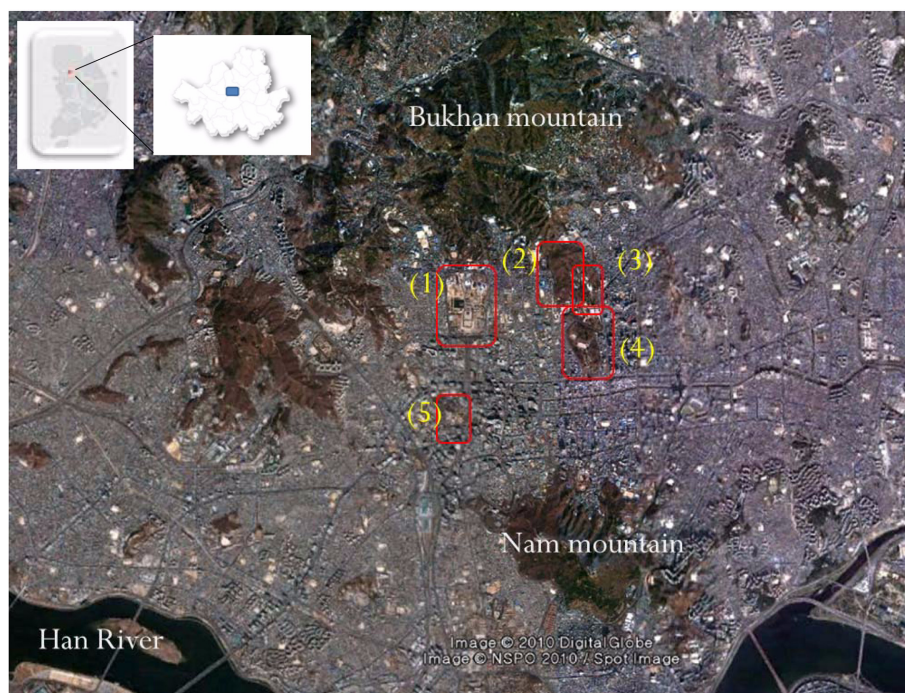


Fig. 1. The location map of the Palaces in Seoul metropolitan (1) Gyeongbokgung, (2) Changdeokgung, (3) Changgyeonggung, (4) Jongmyo Shrine, and (5) Deoksugung.

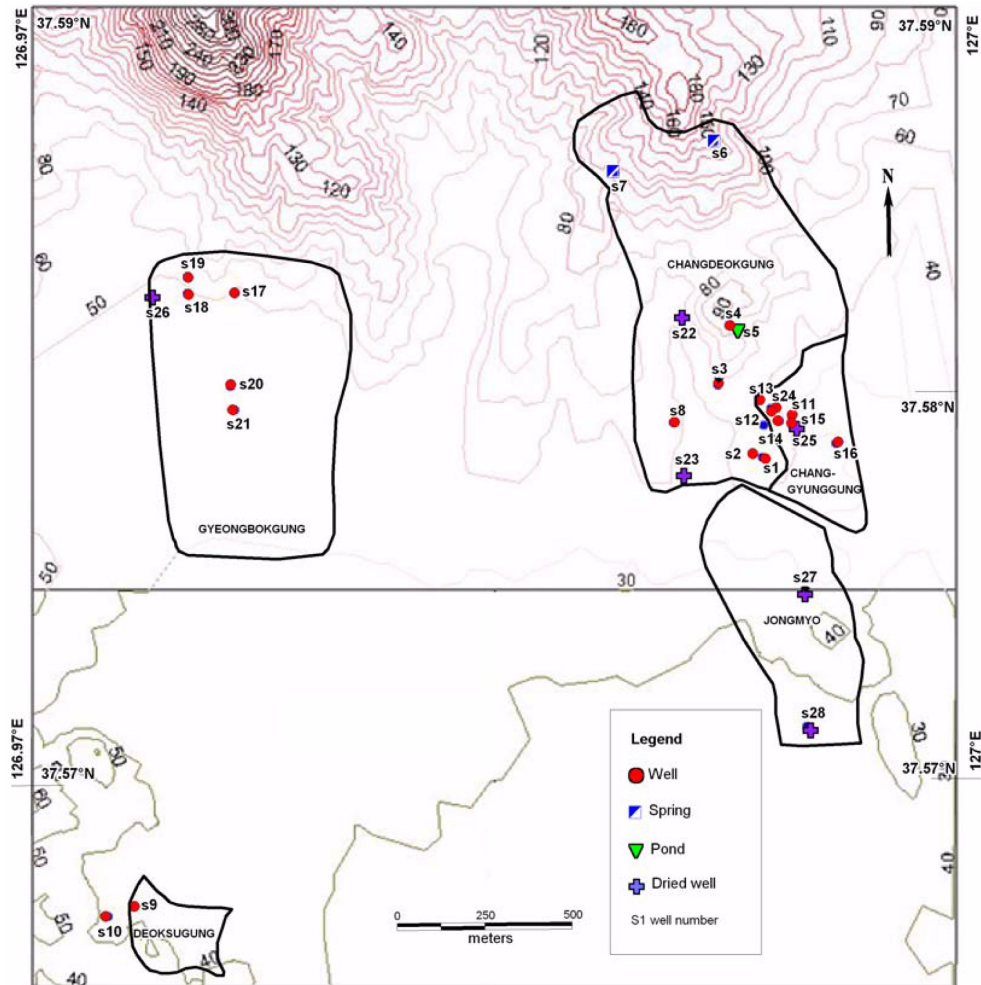


Fig. 2. Boundaries of each Palace and sampling locations.

산재한 총 28개의 수원(水源)의 위치(Fig. 2)와 형태 및 우물의 심도는 Table 1에 도시하였다. 지형적으로는 창덕궁 옥류천의 해발고도가 140 m로 가장 높은 곳에 위치하며, 종묘 어정이 해발고도 27.98 m로 가장 낮은 지점에 위치한다. 우물의 형태는 대부분 원형으로 되어있으나, 종묘 어정과 경복궁 태원전 서측과 북측, 창경궁 통명전 뒤 및 덕수궁 중명전에 있는 우물들은 사각형의 모양을 보인다(Fig. 3). 창덕궁의 옥류천과 경복궁의 열상진원 등은 우물이 있으나 상부가 돌 덮개로 막혀있어서 실질적으로 지하수위의 측정은 불가능하였다. 조사된 지점 중 창덕궁의 부용지(S-5)는 못(pond)이고, 신선원전(S-7)은 샘(spring)의 형태로 유출되고 있었다.

3. 연구방법

서울특별시에 위치한 경복궁, 창덕궁, 창경궁, 덕수궁과

종묘 등 총 5개의 궁궐 내에 존재하는 28개소의 우물, 샘, 못 등 각 수원의 보존 및 관리 방안을 도출하기 위하여, 궁궐 내 각 수원의 위치, 수위, 수질 및 흐름 특성과 시간에 대한 변화를 연구하였다. 수원(水源)의 위치를 파악하기 위하여 문헌조사(문화재청 보유 자료)를 실시하고, 정확한 위치 실측을 위하여 휴대용 GPS(스위스제 GPSMAP 60 CSx)로 각 수원의 좌표 값을 측정하였고, 우물, 샘, 못 등 수원에 대한 현장조사를 2010년 4월에 실시하였다. 이 연구에서 사용된 GPS 좌표 값은 95% 이상의 정확도를 갖지만, 고도 값은 ± 3 m 정도의 오차 범위를 갖기 때문에 고도 값은 국립지리정보원의 DEM(Digital Elevation Map) 자료를 획득하여 GIS(Geographic Information System) 기반의 프로그램인 ArcView(ver.3.3, ESRI)와 MapInfo pro(ver.8.0, Pitney Bowes)을 이용하여 산정하였다. 정수위(static water level) 조사를 위해 2010년 4월, 5월, 6월, 7월 5일, 26일 등 총 5회에 걸친 현장조사에서

Table 1. Elevation and type of water resources at Palaces in Seoul

	Name	Sample ID	Elevation (m)	Well		Well Depth (m)
				Shape	Type	
Changdeokgung	수강재(석복헌)	S-1	54.3	Circular	Well	5.77
	낙선재 앞	S-2	54.4	Circular	Well	4.57
	경훈각	S-3	54.8	Circular	Well	6.45
	부용지 선대	S-4	85.0	Circular	Well	1.61
	부용지	S-5	70.0	n/a	Pond	
	옥류천	S-6	140.0	n/a	Well	—
	신선원전	S-7	104.6	n/a	Spring	—
	인정전 서측	S-8	52.3	Circular	Well	0.91
	3초호	S-22	82.0	Circular	Well	1.52
Deoksugung	상방 앞	S-23	39.0	Circular	Well	2.57
	포덕문 옆	S-9	36.2	Under wall	Well	7.72
	중명전	S-10	40.0	Rectangular	Well	6.17
Changgyeonggung	영춘헌	S-11	50.0	Circular	Well	5.09
	5층석탑 옆	S-24	44.0	Circular	Well	Dry out
	양화당 앞 (小)	S-25	40.0	Circular	Well	—
	양화당 앞 (大)	S-12	51.1	Circular	Well	5.12
	통명전 뒤	S-13	53.8	Rectangular	Well	1.52
	경춘전	S-14	55.0	Circular	Well	1.34
	환경전	S-15	51.9	Circular	Well	5.15
	옥천교	S-16	48.9	Circular	Well	3.10
Gyeongbokgung	열상진원	S-17	50.0	n/a	Well	—
	태원전 동측 세답방	S-18	49.9	Circular	Well	2.58
	태원전 북측 세답방	S-19	53.7	Rectangular	Well	2.75
	교태전 - 아미산	S-20	47.6	Circular	Well	2.25
	강녕전	S-21	46.9	Circular	Well	5.33
	태원전 서측 세답방	S-26	50.0	Rectangular	Well	3.53
Jongmyo	제정	S-27	40.0	Circular	Well	4.51
	종묘 어정	S-28	27.9	Rectangular	Well	5.62

직접 수위측정기를 이용해 수위를 측정하였고, 수위변동 (water-level fluctuation) 경향을 파악하기 위해 덕수궁의 중명전 앞 우물(S-10)과 창경궁의 양화당 앞(大) 우물(S-12)에 자동수위 측정기(CTD-Diver, SWS)와 대기압 보정을 위한 센서(Baro-Diver, SWS)를 설치하여 2010년 6월 17일부터 7월 5일까지 총 3주 동안의 수위변동 값을 10분 간격으로 측정하였다.

수원의 수질 규명을 위해 2010년 5월(1회), 6월(1회), 7월(2회) 등 총 4회에 걸쳐 시료를 채취하였다. 지하수 시료는 우물 내 잔류해 있던 물을 수중모터펌프를 이용해 약 5 L/min의 양수량으로 약 10분 동안 양수한 후 전기전도도(EC) 값이 일정해진 후에 채수하였고, 샘과 못의 형태로 존재하는 수원에서는 2 L 부피 무균채수병으로 직접 채수하였다. 시료 채취와 동시에 현장에서 시료의 pH,

온도, 전기전도도(EC)를 현장용 다중 측정기(Thermo Orion 5star series)를 이용해 측정하였다. 양이온, 음이온, 동위원소 분석을 위한 시료는 여과지(Whatman membrane filter, 0.45 μ m)로 부유물질을 제거하여 채수한 시료로 3회 세척한 후, 폴리에틸렌 시료병에 담아 4~6°C 정도로 유지되도록 냉장 보관 및 운반하였다. 알칼리도 분석을 위한 시료는 필터링 과정을 거치지 않고 채수한 것을 직접 125 mL 폴리에틸렌 시료병에 가득 채운 뒤 냉장 보관하였다. 음이온과 동위원소 분석을 위한 시료도 알칼리도 분석 시료와 마찬가지로 시료병에 가득 채웠고, 양이온 분석 시료는 농질산을 첨가하여 pH 2 이하로 보존하였다.

알칼리도는 현장조사 당일 연세대학교 지하수토양환경 연구소에서 자동적정기(Titroprocessor 796, Metrohm)를 이용하여 0.01 N-HCl 적정법으로 분석하였고, 음이온(Cl,



Fig. 3. Four types of water resources in the Palaces; (a) circular, (b) rectangular, (c) well, covered with rock, and (d) spring.

SO₄, NO₃, Br)은 이온크로마토그래피(Ion chromatography, DX-80, Dionex)를 이용하였고, 양이온 및 미량금속(Ca, K, Mg, Na, Si, Fe, Mn)은 한국기초과학지원연구원에 의뢰하여 유도결합플라즈마-방출분광기로 분석하였다(ICP-AES, 138 Ultrac, Jobin Yvon). 2010년 6월 11일에 채취한 강수 시료와 6월 현장조사에서 획득한 시료들의 산소($\delta^{18}\text{O}$)와 수소($\delta^2\text{H}$) 안정동위원소 함량은 한국기초과학지원연구원에 의뢰하여 Stable Isotope Ratio Mass Spectrometer(S-IRMS, Isoprime, GV Instruments)을 이용하여 분석하였다.

4. 연구결과 및 토의

4.1. 수위와 수질 특성

4.1.1. 궁궐에서의 수위 분포

각 수원의 수위조사는 2010년 4월(1회), 5월(1회), 6월(1회), 7월(2회)에 총 5회의 현장조사를 통해 이루어졌다. 수위는 수원 지점의 해발고도와 우물 시설부의 높이 및

우물 시설로부터 지하수면까지의 깊이 등을 직접 측정하여 해발고도 값으로 환산하여 표시하였다(Table 2). 5회의 현장조사를 통해 각 시기별 우물에서 실측한 지하수위 자료를 기초로 통계적 방법 중 스플라인(spline) 방법(Davis, 1986)을 사용하여 등수위선도를 작성한 결과를 도시하였다(Fig. 4). 경복궁 내 우물은 그 심도가 2.25~5.33 m 정도이며, 지하수가 관측되는 우물에서는 대체로 지표면 아래 3 m 이내에서 나타났다. 그러나 일부 물이 마른 우물들은 국지적으로 지하수위가 우물 바닥의 심도보다 낮음을 보여준다. 지하수위는 대체로 4월에서 5월로 가면서 전반적으로 약 2 m 내외로 상승하였으며, 강녕전의 우물에서는 수위가 약 5 m 상승하였다. 그러나 수위는 6월과 7월에 다시 4월의 수위로 회복되었다. 5월 관측자료에서 나타나는 수위 상승은 5월 18일에 있었던 59 mm의 강수(기상청, <http://www.kma.go.kr>)의 영향으로 판단된다. 이는 수위 상승이 특정 우물에서만 나타나는 현상이 아니라 전체 우물에서 관측되어, 강수의 지하수 함양기작에 의한 수위 상승임을 지시하기 때문이다.

Table 2. Water-level data of water resources at Palaces for four months

	Name	Sample ID	Elevation (m)	Water level (m)				
				April	May	June	July 5~6th	July 26~27th
Changdeokgung	수강재(석복헌)	S-1	54.3	50.27	50.17	50.46	51.55	50.98
	낙선재 앞	S-2	54.4	51.45	51.39	51.63	51.84	52.07
	경훈각	S-3	54.8	51.84	51.81	52.16	53.21	51.24
	부용지 선대	S-4	85.0	84.22	84.20	84.27	83.89	84.75
	부용지	S-5	70.0					
	옥류천	S-6	140.0	—	—	—	—	—
	신선원전	S-7	104.6	—	—	—	—	—
	인정전 서측	S-8	52.3	51.24	51.30	51.45	51.49	51.59
	3초호	S-22	82.0	dry				
	상방 앞	S-23	39.0	dry				
Deoksugung	포덕문 옆	S-9	36.2	31.56	31.53	31.48	31.75	31.07
	중명전	S-10	40.0	36.38	36.23	36.34	36.44	36.45
Changgyeonggung	영춘헌	S-11	50.0	46.58	46.47	46.72	46.25	46.88
	5층석탑 옆	S-24	44.0	dry out				
	양화당 앞 (小)	S-25	40.0	39.80	39.05	39.16	39.80	39.80
	양화당 앞 (大)	S-12	51.1	49.22	48.77	48.94	46.95	48.91
	통명전 뒤	S-13	53.8	52.66	52.61	52.90	52.86	52.88
	경춘전	S-14	55.0	53.75	53.71	53.85	53.80	—
	환경전	S-15	51.9	49.62	49.57	under construction		
	옥천교	S-16	48.9	46.14	45.98	46.44	46.30	46.32
Gyeongbokgung	열상전원	S-17	50.0	—	—	—	—	—
	태원전 동측 세답방	S-18	49.9	47.10	49.54	47.34	47.38	47.41
	태원전 북측 세답방	S-19	53.7	51.35	53.25	52.00	52.00	51.98
	교태전 - 아미산	S-20	47.6	45.50	47.37	45.78	45.76	45.84
	강녕전	S-21	46.9	40.84	45.95	41.21	41.36	41.63
	태원전 서측 세답방	S-26	50.0	dry out				
Jongmyo	제정	S-27	40.0	dry out				
	종묘 어정	S-28	27.9	dry out				

우물의 지하수위 분포를 통해 지하수는 북쪽에서 남쪽으로 방향으로 흐르고 있음을 알 수 있다. 또한 등수위선으로부터 지하수의 수리경사도가 경복궁의 북부 지역에서 약 0.042, 중앙부에서 0.008, 남부에서는 0.055로 나타나 5배 정도의 급격한 수리경사도의 변화가 보인다. 이러한 차이는 중앙부 대수층의 수리전도도가 가장 크고, 결과적으로 이 지역에서는 지하수의 흐름이 상대적으로 빠르게 일어남을 의미한다.

창덕궁과 창경궁 내 우물의 지하수위는 5회의 수위조사에서 큰 변동 없이 ± 0.3 m 이내의 변화를 보이면서 지표면으로부터 약 3 m 정도에서 일정한 수위를 유지하는 것으로 나타난다. 궁궐 북부의 능선지역에서 보이는 수리경사도는 0.172이고, 남부 지역에서 수리경사도는 0.075이며 50% 이상 작아지고 있다. 이는 능선부에서 하류로

내려오면서 대수층의 수리전도도가 증가함을 의미하며, 이는 지하수의 유동이 상대적으로 빠르게 나타남을 지시한다. 지하수의 유동방향은 창덕궁과 창경궁 모두에서 남부 중앙쪽으로 나타났다.

종묘의 2개 조사 우물은 조사 기간 내 모두 마른 상태로 확인되어 지하수위 및 수질조사는 수행할 수 없었다. 제사에 사용되던 우물(제정)과 어정은 모두 수십 년 전에는 실제로 사용되던 우물이었으므로 현재 조사되는 수위 강하는 종로를 통과하는 지하철 1호선의 건설에 의해 지하수위가 우물 심도 이하로 낮아져서 발생한 것으로 판단된다.

덕수궁 내 우물의 지하수위도 창경궁, 창덕궁의 수위변화와 마찬가지로 5 회의 조사기간 동안 큰 변동 없이 ± 0.3 m 이내의 변화를 보이면서 지표면으로부터 약 4~5 m

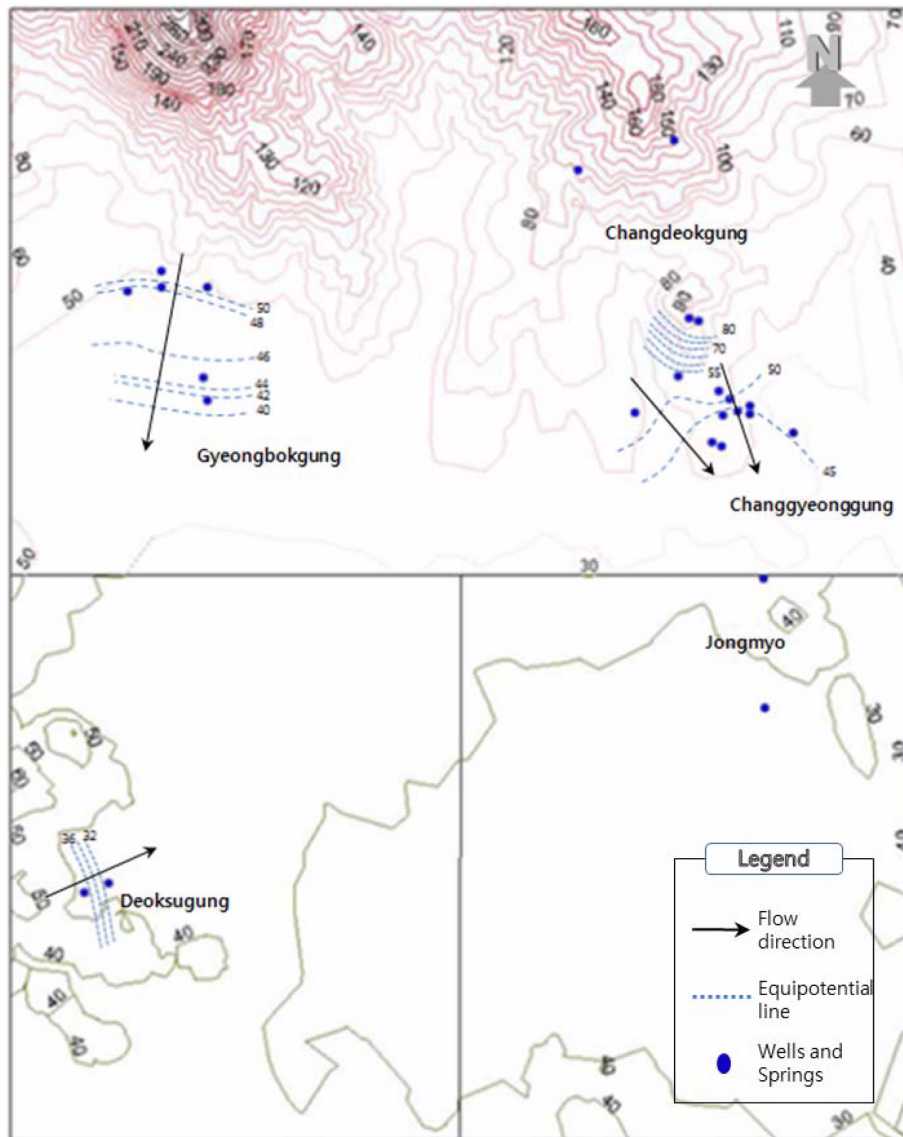


Fig. 4. Distribution of hydraulic heads and directions of groundwater flow in the study area of each Palace.

정도에서 일정한 수위를 유지하였다. 덕수궁 내 관측지점이 2개소로 정확한 지하수 유동방향을 표시하기는 어렵지만, 중명전에서 포덕문 방향으로 지하수위가 하강하는 것으로 보아 지하수의 흐름은 동쪽 방향이 될 것으로 판단된다. 이는 지형등고선이 낮아지는 방향과도 일치한다. 두 지점 사이의 수리경사도는 0.067로서 창경궁과 창덕궁 지역의 하류부 수리경사도와 유사하게 나타났다.

4.1.2. 궁궐 내 수원지의 수질특성

2010년 5월부터 7월까지 총 4회에 걸쳐 수행한 각 시료의 수질분석 결과는 다음과 같이 나타났다(Table 3~

Table 6).

AquaChem software(ver.4.0, WHI)를 사용하여 stiff diagram(Stiff, 1951)으로 채취된 시료의 공간적 수질분포를 분석하였다(Fig. 5). 5월 시료의 분석값을 기준으로 수질의 공간분포를 궁궐 별로 크게 나누면, 창덕궁의 S-1, S-2, S-3, S-4, S-5, S-6, S-8 시료는 EC 값이 92~187 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 범위를 보이고, 다른 시료들에 비하여 낮은 총용존이온함량(TDS)과 Ca-HCO_3 유형으로 나타났다. 강수의 함양과 지하수의 물-암석 반응의 전형적 특성을 보인다. 낮은 TDS 값으로부터 지하수의 함양 후 이동경로가 멀지 않았음을 알 수 있으나, S-7 시료는 다른 시료들과는 다

Table 3. Chemical composition of water samples from Palaces in May

Sample ID		pH	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)	Cation (mg/l)							Anion (mg/l)				
					Ca	K	Mg	Na	Si	Fe	Mn	Cl	NO ₃	SO ₄	Br	HCO ₃
Changdeok gung	S-1	7.41	173	14.4	23.88	4.67	4.00	4.57	5.58	0.22	0.05 >	3.06	20.85	12.17	1.84	70.0
	S-2	7.18	152	15.5	17.12	5.93	3.79	9.29	5.96	0.05 >	0.05 >	2.33	13.69	15.44	BDL	59.0
	S-3	6.58	135	12.5	17.57	2.09	4.18	6.24	8.42	0.05 >	0.05 >	1.72	17.05	10.83	BDL	60.0
	S-4	6.02	156	15.4	13.89	1.73	3.15	13.17	12.08	0.05 >	0.05 >	6.75	13.19	31.64	0.02	18.0
	S-5	7.71	187	19.6	24.46	3.70	2.65	9.77	0.86	0.05 >	0.08	5.00	0.12	13.75	BDL	101.0
	S-6	5.98	181	13.5	17.57	0.90	2.66	15.30	15.59	0.05 >	0.05 >	11.80	18.15	25.06	BDL	32.0
	S-7	6.24	426	12.8	35.97	1.57	4.88	32.01	13.08	0.05 >	0.05 >	84.88	21.15	23.39	0.02	37.0
	S-8	8.75	92	19.3	15.42	1.41	0.72	3.30	1.25	0.05 >	0.05 >	1.80	5.00	6.54	BDL	53.0
Deoksusung	S-9	6.89	855	15.9	66.23	21.57	30.51	29.15	10.60	0.05 >	0.05 >	104.45	7.82	54.92	0.08	272.2
	S-10	6.49	469	13.8	33.28	27.79	9.75	25.55	17.56	0.05 >	0.05 >	25.09	34.20	45.21	0.04	134.3
Changgyeongsung	S-11	6.69	495	13.1	41.61	5.69	8.01	20.39	12.93	0.05 >	0.05 >	49.90	26.69	38.97	0.52	89.1
	S-12	6.96	351	15.1	36.44	3.85	13.11	11.61	7.94	0.05 >	0.05 >	5.54	BDL	27.89	BDL	187.5
	S-13	6.43	261	19.7	31.07	2.07	4.56	13.39	10.15	0.05 >	0.05 >	4.15	BDL	27.95	BDL	109.4
	S-14	6.38	174	18.4	15.12	1.19	2.76	15.28	15.17	0.05 >	0.05 >	5.08	11.71	33.21	0.07	40.2
	S-15	6.54	553	14.3	49.75	6.55	11.89	19.92	13.43	0.05 >	0.05 >	108.71	2.95	28.82	0.58	96.7
	S-16	7.54	387	15.2	38.78	3.27	17.79	4.28	6.09	0.05 >	0.05 >	25.76	7.85	11.39	0.22	181.8

Table 4. Chemical composition of water samples from Palaces in June

Sample ID		pH	EC (μs/cm)	Temp (°C)	Cation (mg/l)						Anion (mg/l)				
					Ca	K	Mg	Na	Si	Mn	Cl	NO ₃	SO ₄	Br	HCO ₃
Changdeok gung	S-1	7.51	154	15.7	25.16	4.09	2.90	3.27	4.62	0.05 >	4.82	19.56	6.44	BDL	63.47
	S-2	7.49	136	18.1	19.06	5.36	2.90	6.03	4.50	0.05 >	1.64	42.52	8.15	BDL	62.25
	S-3	6.46	136	13.4	19.83	2.25	3.89	6.63	7.71	0.05 >	1.63	38.35	8.73	BDL	61.64
	S-4	5.96	114	17.1	12.58	1.83	2.67	8.68	8.05	0.05 >	3.46	40.98	17.78	BDL	12.82
	S-5	Under Construction													
	S-6	5.96	161	15.8	17.30	0.94	2.35	15.86	14.79	0.05 >	9.04	BDL	BDL	BDL	26.24
	S-7	6.23	347	15.2	32.02	1.48	3.89	26.85	11.63	0.05 >	63.24	BDL	BDL	0.03	38.45
	S-8	7.20	85	23.4	13.49	1.63	0.88	5.34	3.05	0.05 >	1.42	38.11	6.43	BDL	40.28
Deoksusung	S-9	6.83	849	16.8	82.16	22.75	31.45	30.90	9.94	0.05 >	111.87	7.87	47.58	0.07	257.55
	S-10	6.44	441	17.1	32.66	29.83	9.35	26.78	16.74	0.05 >	22.35	85.77	36.92	0.03	118.40
Changgyeong gung	S-11	6.40	511	14.7	57.54	8.28	9.82	21.92	11.54	0.05 >	70.24	26.37	33.77	0.74	83.00
	S-12	6.91	362	17.0	43.77	5.01	14.15	13.93	7.17	0.05 >	5.25	29.59	23.26	BDL	180.65
	S-13	6.28	232	17.1	32.15	2.09	4.66	13.10	8.99	0.05 >	3.26	39.33	19.17	BDL	103.14
	S-14	6.22	162	19.3	17.25	1.33	2.74	16.14	13.25	0.10	4.84	62.41	24.17	0.06	39.06
	S-15	Under Construction													
	S-16	7.22	438	17.4	56.27	4.03	19.34	3.71	7.81	0.05 >	41.43	11.55	9.16	0.31	196.52
Gyeongbok gung	S-17	6.70	503	17.0	61.89	5.85	5.66	28.67	4.50	0.05 >	64.78	18.21	18.77	0.02	145.25
	S-18	9.79	155	18.8	25.16	3.10	0.39	9.85	1.39	0.05 >	11.56	15.79	4.43	BDL	81.78
	S-19	6.07	463	20.4	51.61	1.20	10.70	19.94	2.07	0.05 >	53.00	21.27	49.53	0.03	57.37
	S-20	6.25	420	15.5	51.73	2.38	8.13	19.37	7.59	0.05 >	54.51	11.23	23.52	0.16	107.41
	S-21	7.41	551	15.0	79.08	3.43	3.13	15.40	1.72	0.05 >	105.99	32.65	10.04	0.81	70.79
Rain (Jun 11)		5.70	38	20.9	0.33	8.56	0.05	0.10	0.10	0.05 >	6.07	0.51	0.30	BDL	0.89

른 Ca-Na-Cl 형의 수질을 보였다.

창경궁의 시료들은 S-14 시료를 제외한 나머지는 EC

값이 261~553 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 범위를 보이며 비교적 높은 용존이

온 함량을 지시한다. 그러나 S-14 시료는 174 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 으로

Table 5. Chemical composition of water samples from Palaces in July 1st campaign

Sample ID		pH	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)	Cation (mg/l)							Anion (mg/l)				
					Ca	K	Mg	Na	Si	Zn	Fe	Cl	NO ₃	SO ₄	Br	HCO ₃
Changdeok gung	S-1	7.71	151	16.3	24.01	4.31	2.86	3.37	4.39	0.05 >	0.05 >	2.10	16.95	6.67	BDL	64.69
	S-2	7.50	135	20.0	18.47	5.46	2.80	5.83	4.48	0.05 >	0.05 >	1.39	11.38	7.84	BDL	62.25
	S-3	6.69	144	16.9	23.15	2.35	3.81	5.86	7.18	0.05 >	0.05 >	1.58	13.13	8.50	BDL	68.35
	S-4	6.54	137	20.0	16.91	2.27	2.59	8.13	7.39	0.05 >	0.08	3.49	17.69	17.03	BDL	25.63
	S-5	Under Construction														
	S-6	6.15	169	16.7	17.94	0.84	2.39	15.66	13.83	0.05 >	0.05 >	9.75	16.10	21.27	BDL	26.85
	S-7	6.35	368	17.3	36.67	1.56	4.30	26.12	11.58	0.05 >	0.05 >	69.05	13.54	18.49	0.02	37.84
	S-8	7.03	112	25.9	15.86	1.86	1.21	7.02	4.48	0.05 >	0.05 >	1.61	8.31	9.11	BDL	45.16
Deoksu gung	S-9	6.22	904	23.4	81.98	22.52	31.87	30.10	9.41	0.05 >	0.05 >	110.36	BDL	50.77	0.09	261.20
	S-10	6.38	425	18.4	26.68	29.76	7.75	28.74	17.07	0.06	0.05 >	25.89	31.77	40.15	BDL	92.77
Changgyeong gung	S-11	6.62	516	14.4	53.91	7.70	8.91	22.05	10.99	0.05 >	0.05 >	66.52	24.25	33.67	0.69	80.56
	S-12	6.90	323	16.5	36.58	3.75	11.12	15.81	10.99	0.05 >	0.05 >	7.07	8.85	28.73	BDL	136.70
	S-13	6.44	243	18.1	33.79	2.12	4.69	11.64	8.40	0.05 >	0.05 >	4.36	11.09	19.23	BDL	100.10
	S-14	6.25	198	19.0	18.47	1.54	3.38	18.18	14.49	0.05 >	0.05 >	6.82	11.96	33.90	0.05	28.68
	S-15	Under Construction														
	S-16	6.97	455	19.2	55.87	6.58	16.95	10.88	9.51	0.05 >	0.05 >	39.27	5.45	11.38	BDL	186.80
Gyeongbok gung	S-17	6.72	519	18.5	62.22	6.17	5.58	28.64	4.35	0.05 >	0.05 >	64.74	12.51	19.68	0.04	141.60
	S-18	9.99	156	20.5	25.25	3.52	0.25	10.10	1.09	0.05 >	0.05 >	2.48	12.25	4.39	BDL	79.34
	S-19	6.25	474	21.9	53.18	1.32	10.57	19.72	1.77	0.05 >	0.05 >	49.44	BDL	52.59	0.04	67.13
	S-20	6.37	393	16.0	48.08	2.20	7.42	19.25	7.54	0.05 >	0.05 >	44.45	BDL	25.46	0.21	106.20
	S-21	7.43	565	16.3	73.47	3.41	6.76	14.75	4.42	0.05 >	0.05 >	106.7	33.68	10.25	0.83	68.4

Table 6. Chemical composition of water samples from Palaces in July 2nd campaign

Sample ID		pH	EC (μs/cm)	Temp (°C)	Cation (mg/l)						Anion (mg/l)				
					Ca	K	Mg	Na	Si	Zn	Cl	NO ₃	SO ₄	Br	HCO ₃
Changdeok gung	S-1	7.32	177	19.9	28.76	4.90	3.46	3.76	6.23	0.05 >	2.31	17.29	9.45	BDL	79.34
	S-2	6.71	191	20.2	18.92	7.34	4.03	12.97	9.84	0.05 >	3.22	17.54	19.68	BDL	63.47
	S-3	6.47	134	14.8	17.07	2.40	3.70	6.85	8.89	0.05 >	1.94	16.52	12.55	BDL	48.82
	S-4	Under Construction													
	S-5	Under Construction													
	S-6	6.02	149	17.4	15.91	0.89	2.19	13.65	15.56	0.05 >	6.98	15.96	27.03	BDL	15.87
	S-7	6.30	283	17.7	29.52	1.43	3.41	19.75	13.41	0.05 >	35.88	18.28	24.36	0.02	25.14
	S-8	6.97	57	25.7	7.65	0.85	0.59	3.10	2.49	0.05 >	0.78	4.74	5.59	BDL	13.70
Deoksu gung	S-9	6.70	888	16.7	84.57	23.49	30.89	30.67	10.48	0.05 >	105.62	8.98	64.36	0.06	219.83
	S-10	6.20	421	17.7	25.32	29.20	7.87	28.77	19.37	0.05 >	24.87	32.24	53.45	0.03	73.48
Changgyeong gung	S-11	6.74	358	18.9	48.05	7.95	7.43	16.05	14.88	0.09	23.83	15.13	34.11	0.18	75.68
	S-12	6.95	390	18.3	48.99	5.45	15.44	13.74	10.82	0.09	6.13	8.22	33.47	BDL	136.10
	S-13	6.41	281	18.2	45.86	2.16	6.51	9.68	9.20	0.17	4.05		21.98	BDL	98.26
	S-14	6.22	221	20.2	22.34	1.49	4.14	17.28	17.76	0.08	8.66	11.02	52.45	0.06	24.41
	S-15	Under Construction													
	S-16	7.18	480	21.4	67.48	4.56	19.93	5.25	11.40	0.08	49.53	9.23	15.00	0.36	159.17
Gyeongbok gung	S-17	6.97	556	20.1	67.79	6.69	6.12	33.41	6.61	0.09	71.18	14.06	26.42	0.03	128.41
	S-18	10.27	174	21.1	28.78	3.60	0.32	9.11	3.02	0.09	3.76	13.31	5.66	BDL	68.11
	S-19	6.06	522	19.8	60.81	1.48	13.13	22.79	3.30	0.10	54.79	36.30	75.03	0.04	43.45
	S-20	6.30	383	16.9	51.79	2.14	7.79	17.72	9.12	0.08	31.23	11.16	29.87	0.07	98.26
	S-21	7.41	601	17.0	86.13	3.62	7.88	14.26	6.42	0.11	114.07	34.59	13.76	0.60	67.13

*BDL : denotes below detection level

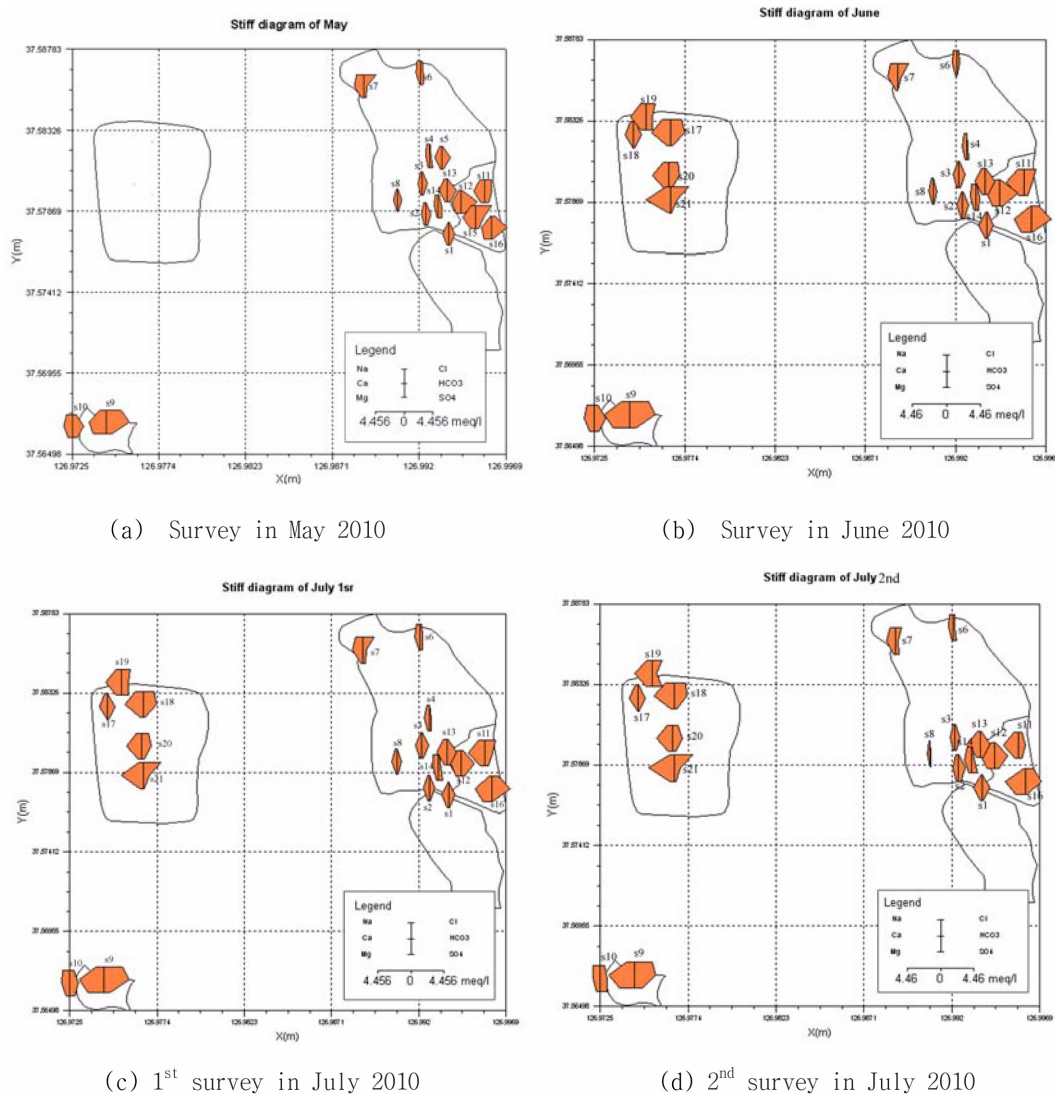


Fig. 5. Stiff diagrams of water samples in (a) May, (b) June, (c) July-1st, and (d) July-2nd.

상대적으로 낮은 이온함량을 나타낸다. S-11, S-12, S-13, S-16 시료는 Ca-HCO_3 형의 수질을 보여주며, S-15는 Ca-Cl 형을 보인다. 경복궁의 S-18 시료는 EC 값이 $155 \mu\text{S/cm}$ 이며, Ca-HCO_3 형을 보이고, S-17, S-19, S-20, S-22 시료의 EC 값인 $420\sim551 \mu\text{S/cm}$ 범위와 함께, S-19 시료는 Ca-Cl-SO_4 , S-18과 S-20 시료는 $\text{Ca-HCO}_3\text{-Cl}$, S-21 시료는 Ca-Cl 형을 보인다. 덕수궁의 S-9, S-10 시료는 Ca-Na-HCO_3 형의 수질을 보이며, EC 값은 각각 $855 \mu\text{S/cm}$, $469 \mu\text{S/cm}$ 로 나타나, 조사된 5개 궁궐 중 가장 높은 용존이온 함량을 보인다. 이러한 수질의 특성은 총 4회에 걸쳐 분석한 자료를 시간적 변화를 살펴볼 수 있는 piper diagram(Piper, 1944)에 AquaChem software

(ver.4.0, WHI)를 이용해 도시해보면(Fig. 6), 각 조사 지점마다 시간에 대한 변화가 없이 동일한 수질유형으로 나타나, 기본적인 수질성분의 구성은 물-암석 반응에 의해 생성된 것으로 해석된다.

수리화학적 지하수-지질매체 간 반응을 분석하기 위하여 용존이온 중에 함유된 HCO_3 와 SiO_2 의 함량비를 이용하면 대체적인 지하수 내에서의 반응을 추론할 수 있다(Hounslow, 1995; Gler et al., 2002; Kuma and Younger, 2004; Kortatsi et al., 2008). 수질의 주요성분인 HCO_3^- 와 SiO_2 비를 분석한 결과, 창덕궁과 창경궁 및 덕수궁의 수질은 대체로 규산염광물의 풍화작용과 관련되어 용존이온이 생성되었음을 알 수 있고, 경복궁 시료들은 대체로 탄

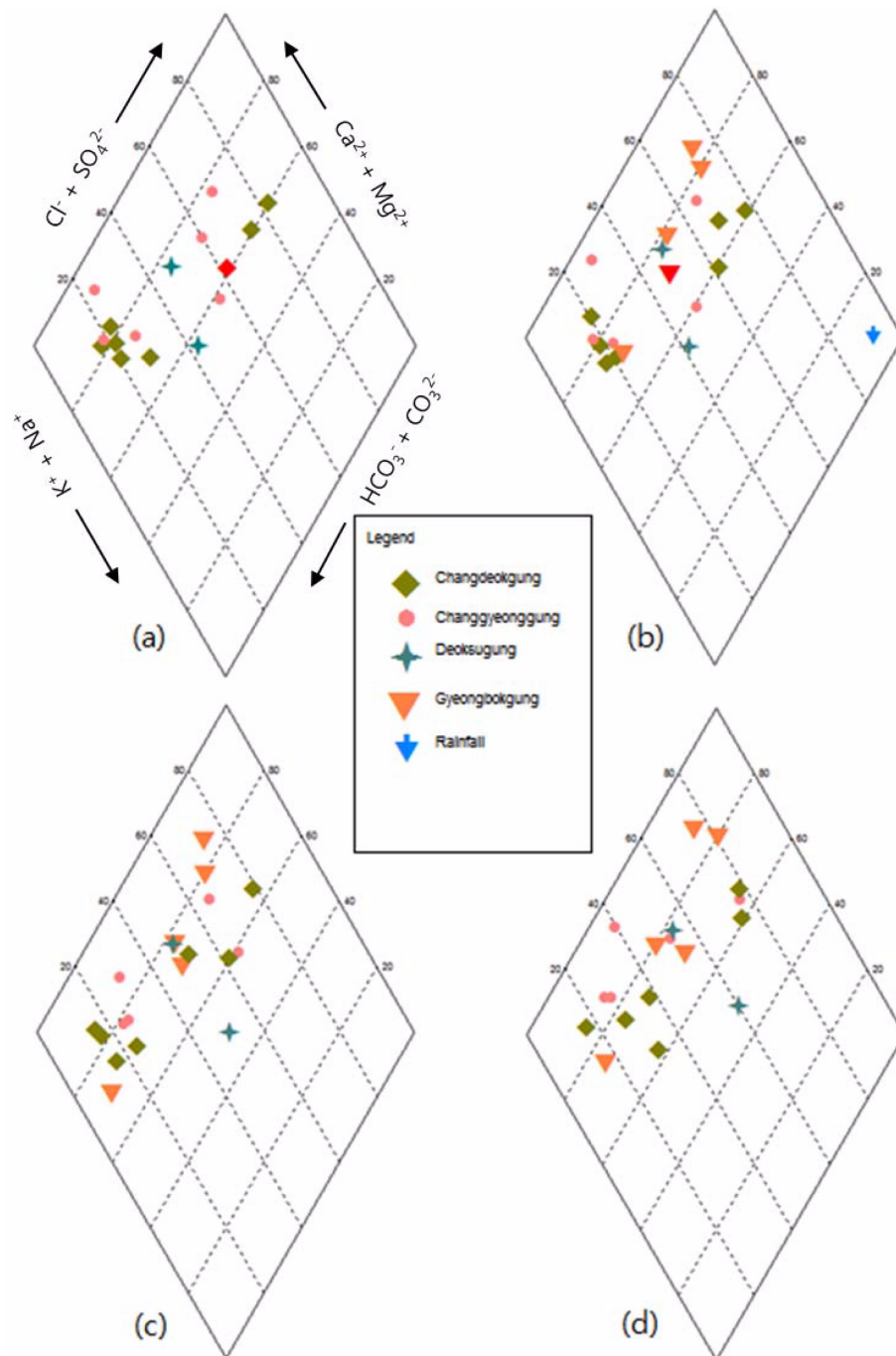


Fig. 6. Piper diagrams showing the distribution of major ionic composition in water samples and rain in (a) May, (b) June, (c) July 1st, and (d) July 2nd.

산업 광물의 풍화에 의해 형성된 것으로 해석된다(Fig. 7).

수질 유형에서 염소(Cl)이온 성분이 상대적으로 많이 함유된 시료들(S-7, S-19, S-21)의 인위적 오염원(생활하수 또는 제설용 염 등)과의 연관성을 규명하기 위하여 각 시료들의 Cl 함량과 총음이온함량비를 계산하였다(Fig. 8).

염소이온과 총음이온함량비가 0.8 이하로 나타나면 수질의 염소이온 성분은 암석의 풍화작용에 의해 제공되었음을 알 수 있다(Hounslow, 1995; Karanth, 1994; Kortatsi et al., 2008). Fig. 8에서 보면 모든 시료들이 암석의 풍화 영역에 도시되어, 궁궐 조사에서 분석된 시료 중 염소

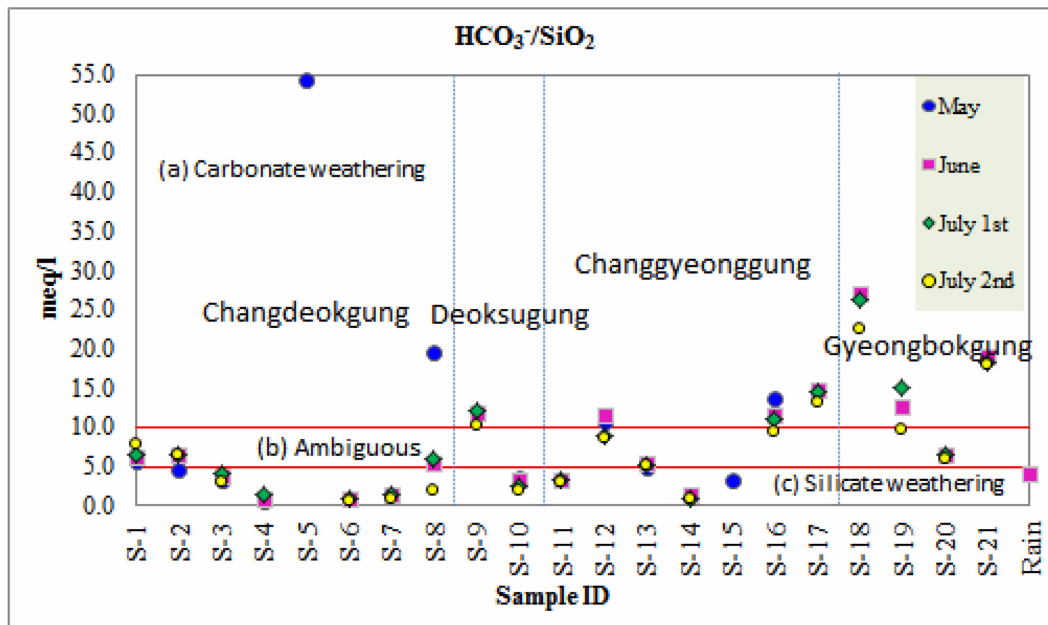


Fig. 7. Diagram showing the ratio of HCO₃⁻ to SiO₂ content in water samples : (a) carbonate weathering dominant, (b) ambiguous weathering, and (c) silicate weathering dominant.

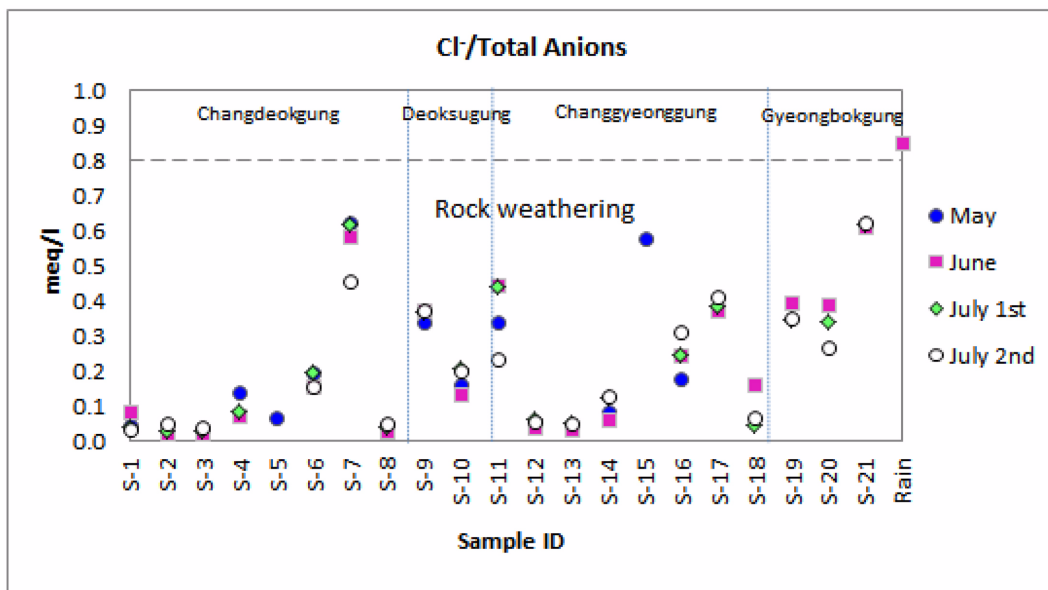


Fig. 8. Diagram showing the ratio of Cl⁻ to the total amount of anions.

이온의 원인은 인위적 오염보다는 자연적인 암석의 풍화 작용에 의해 생성된 것으로 해석된다.

4.2. 동위원소 분석결과

6월 현장조사에서는 궁궐 수원들의 수문학적 연계성을

평가하기 위하여, 수원(水源)과 강수의 산소-수소 안정동위원소비와 중수소과잉값을 분석하였다(Table 7). 이때 강수 시료는 6월 11일 강수를 채취하여 분석하였다.

동위원소 분석값은 델타(δ) 값으로 표현하며, 다음 식 δ 값이 양(+)이면 시료는 표준시료보다 무거운 동위원소

가 부화된 것이고, 음(-)이면 시료에 표준시료보다 가벼운 동위원소가 더 많이 집적된 것을 의미한다.

Table 7. $\delta^{18}\text{O}$, δD and deuterium excess values (d-value) in water resources at each Palace in June 2010

Sample ID	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	d-value
S-1	-8.01	-52.9	11.18
S-2	-8.04	-54.2	10.12
S-3	-8.39	-58.9	8.22
S-4	-8.46	-58.9	8.78
S-6	-8.91	-62.3	8.98
S-7	-8.74	-61.3	8.62
S-8	-8.82	-62.8	7.76
S-9	-8.76	-62.3	7.78
S-10	-8.72	-61.8	7.96
S-11	-8.53	-59.4	8.84
S-12	-8.32	-58.1	8.46
S-13	-8.91	-64.0	7.28
S-14	-8.76	-63.2	6.88
S-16	-7.90	-55.2	8.00
S-17	-8.49	-62.3	5.62
S-18	-8.07	-55.6	8.96
S-19	-8.44	-58.6	8.92
S-20	-8.39	-60.2	6.92
S-21	-6.57	-44.0	8.56
rain (June 11)	-10.36	-77.7	5.18

$\delta(\text{‰}) = \frac{R_{\text{sample}} - R_{\text{standard}}}{R_{\text{standard}}} \times 1000$, 여기서, R은 물 시료 (sample) 또는 표준시료(standard) 내에 존재하는 $^2\text{H}/^1\text{H}$ 또는 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 를 가리킨다.

수소와 산소로 이루어진 물 분자는 각각 ^1H , ^2H , ^{16}O , ^{17}O , ^{18}O 등 원자량이 다른 수소와 산소 원자들이 결합하여 분자량이 다른 물 분자를 구성하게 된다. 따라서 물의 증발-강수-침투-함양-배출-증발로 이어지는 물 순환 과정에서 무거운 원소는 가벼운 원소보다 상대적으로 증발이 잘 이루어지지 않게 된다. 이러한 차이는 궁극적으로 지표수와 지하수 및 강수의 산소-수소 동위원소비의 차이를 발생시키는 원인이 된다. 전 세계적으로 육상 강수에서 나타나는 $\delta^2\text{H}$ 와 $\delta^{18}\text{O}$ 의 관계를 도시하면 Craig (1961)에 의한 $\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$ 의 식을 얻으며, 실험적 선형관계를 발견할 수 있다.

이 관계식에 의한 직선을 순환수선(Meteoric Water Line)이라고 하며, 대부분의 육상 강수의 경우, 이 직선 부근에 도시된다. 순환수선에서 벗어난 점들은 현재의 상태보다 고온 또는 저온의 기후에서 형성된 것으로 해석할 수 있다(Craig, 1961).

본 조사에서 채취한 시료들의 동위원소비를 도시한 결과, 강수와 지하수 시료들을 연결시키는 국지적인 순환수(Fig. 9에 점선으로 나타난 부분) 식은 $\delta^2\text{H} = 8.65\delta^{18}\text{O} + 13.85$ 로

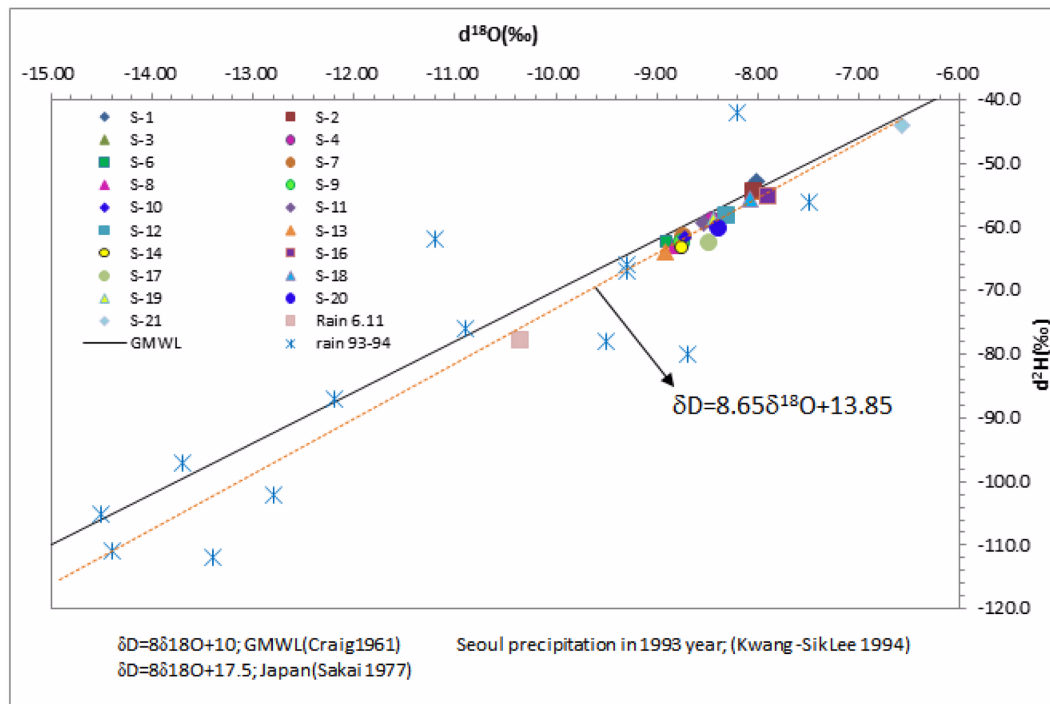
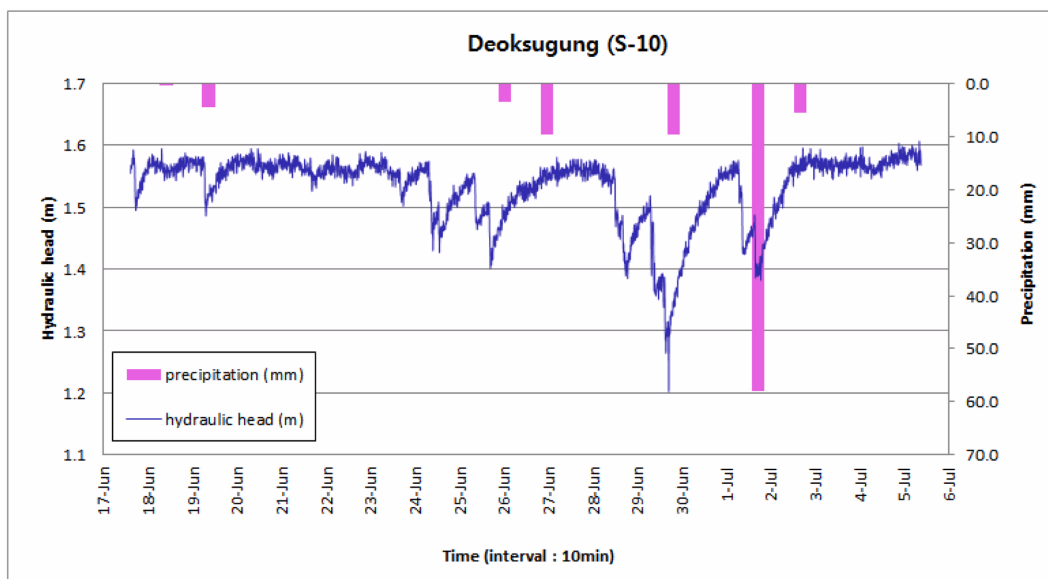


Fig. 9. Correlation between $\delta^{18}\text{O}$ and δD in water resources at each Palace in June 2010.

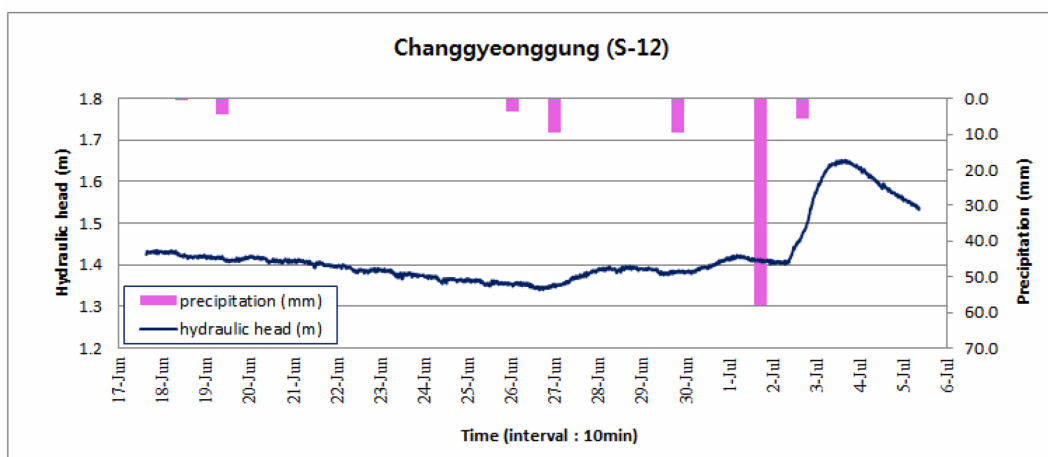
나타났다(Fig. 9). 이는 조사된 우물 시료들이 전반적으로 국지적인 강수의 함양과 지하수 유동으로 형성되었음을 지시하며, 순환수선 하부에 도시되는 점들로 보아 강수가 지하수로 함양-유동되는 과정에서 미약하지만 증발에 의한 영향이 있었음을 알 수 있다. 또한 가장 큰 값을 보이는 경복궁 S-21 시료는 조사된 물 시료 중 가장 오래된 물인 것으로 사료된다.

중수소과잉값(deuterium excess value; d-값)은 Dansgaard (1964)에 의해 처음 정의된 것으로 강수의 산소-수소 동위원소 조성이 증발현상에 의하여 분별되지 않는다는 가

정 하에 $d = \delta D - 8\delta^{18}O$ 로 계산된다. 대기가 형성된 이후, 이동 중에 발생하는 응축작용 중에는 동위원소 평형이 유지되어 d-값에 영향을 주지 않기 때문에(Craig and Gordon, 1965), 이 d-값은 기단의 수증기의 기원을 추정할 수 있는 중요한 인자로서 사용된다(이광식 외, 1997; 이광식 외, 2001). 본 과제에서 산정된 d-값은 6월 11일의 강수시료를 제외한 궁궐 내 수원지 시료들에서 +8.32‰ 정도로 나타나, 2차적인 증발작용에 의한 영향을 거의 받지 않은 강수에 의해 형성된 수원임을 지시한다(Craig, 1961). 2010년 6월, 한차례의 동위원소 분석으로 인해 계절



(a)



(b)

Fig. 10. Groundwater fluctuations at (a) S-10 and (b) S-12 from June 17 to July 5, 2010.

적인 변화를 확인할 수는 없었지만, S-1과 S-2를 제외한 시료의 d_{10} 값이 $\sim +10\%$ 보다 작아 여름철에 강우가 집중되는 우리나라의 특성상 대부분 여름철 강수의 함양에 의해 형성된 지하수임을 지시한다(Waseda and Nakai, 1983; 이광식 외, 2002; 이광식 외, 2004; 박영운 외, 2006).

4.3. 자동측정기에 의한 지하수위 변동 양상

과제 수행기간 중인 2010년 6월 17일부터 7월 5일까지 덕수궁 중명전(S-10)과 창경궁 통명전 앞(S-12)에 설치한 자동수위 측정기(CTD-Diver)로부터 총 3주 동안 10분 간격으로 측정된 자료를 관측센서가 위치한 심도를 기준으로 수두(hydraulic head)의 상대적인 변동량을 도시하였다(Fig. 10).

덕수궁 중명전(S-10)에서는 강수 이전에도 주기적인 수위의 일변동이 나타난다(Fig. 10-a). 수위변동의 양상은 급격한 하강과 자연적인 반등을 보여주는 원추형의 수위회복으로 전형적인 지하수의 양수시설의 가동과 정지의 효과를 나타내며, 이로부터 인근 지역에서 주기적으로 지하수의 양수 또는 배수시설을 가동하고 있는 것으로 유추할 수 있다. 6월 27일과 30일, 그리고 7월 2일의 강수 이후에 즉시 지하수위가 상승하기 시작하고, 일정한 수위에 도달하면 다시 급격히 수위가 낮아지는 것은 이러한 해석을 간접적으로 뒷받침해 준다.

창경궁 통명전 앞(S-12) 우물에서는 관측시작 이후 자연배수에 의해 지하수위가 서서히 감소하는 경향을 보이며(Fig. 10-b), 관측기간 동안 대체로 10 cm 내외의 수위 변화폭이 나타나고 있다. 강수에 의한 약간의 지하수위 상승 현상이 나타나며, 7월 2일에 발생한 58 mm의 집중강우 때에는 약 25 cm의 지하수위 상승이 발생하였다. 그러나 곧 7월 4일 이후부터 다시 하강하는 것으로 나타났다. 두 곳 모두에서 강우에 의해 지하수위가 곧바로 상승하는 것을 통해 이곳의 우물들은 자유면 대수층을 통해 지하수가 공급되고 있음을 지시해 준다.

4.4. 수질오염 특성

본 과제에서 분석한 수질 항목을 우리나라와 WHO(2008)에서 제시하는 먹는물 수질기준과 비교하였을 때, 두 지점의 우물에서 질산염(NO_3^-)이 수질기준을 초과하는 것으로 나타났다. 질산염의 수질기준은 국내에서는 질산성질소($\text{NO}_3\text{-N}$)를 기준으로 하여 10 mg/L를 제시하고 있으며, WHO(2008)에서는 질산염(NO_3^-)을 기준으로 50 mg/L를 제시한다. 질산염 이온(NO_3^-)의 경우는 채취한 시료 중 덕수궁의 중명전(S-10)과 창경궁 경춘전(S-14) 우물에서

만 검출되었으며, 검출된 시기도 4회의 분석 시기 중 단지 6월 한 차례만 수질기준을 초과하는 것으로 나타났다. 지하수 중의 질산염은 자연적으로도 발생 가능하지만, 수질오염 기준을 초과하는 정도의 함량은 자연적이기 보다는 인위적인 오염원으로부터 오염물질의 유입을 의미한다. 특히, 질산염의 가장 일반적인 인위적 오염원은 생활오폐수이므로, 이러한 오염이 지속적으로 나타나지 않고 오히려 6월 16~17일 현장조사에서만 검출된 것으로 보아, 6월 12~14일에 발생한 약 100 mm의 집중호우로 인해 지표 또는 토양과 비포화대 매질 내에 잔류하던 오염물질이 강수의 지하 함양기작을 통해 포화대 지하수로 유입된 것으로 판단된다.

5. 결론 및 제언

서울 시내 궁궐의 수원에 대한 수위와 수질 연구로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 경복궁, 창덕궁, 창경궁의 수원들은 북한산과 인왕산 등에서 발현하여 수리경사가 낮은 남쪽 방향으로 유동하는 양상을 보이며, 덕수궁에서는 동쪽 방향의 흐름이 나타났다. 종묘의 어정과 제정은 서울의 도시화와 지하철 건설 등의 영향으로 지하수위가 우물의 바닥보다 낮아서 말라버린 것으로 판단된다. 일반적으로 지하수위가 관측되는 우물의 경우, 경복궁에서는 지표면에서 약 2 m ~ 6 m 이내에서, 창덕궁과 창경궁에서는 지표면으로부터 약 3 m 이내에서, 덕수궁에서는 지표면의 약 4 m ~ 5 m 이내에서 발견된다.

(2) 창경궁과 덕수궁의 우물 각 1개소에서 3주간의 연속적인 지하수위 변동을 측정하여 주기적인 변화와 강수에 의한 변동영향을 분석하였다. 덕수궁의 중명전(S-10)에서는 강수 이전에도 주기적인 수위의 일변동을 보여주며, 인근 지역의 지하수 양수시설의 가동영향이 나타나고 있다. 창경궁의 통명전 앞 우물(S-12)에서는 관측기간 동안 대체로 일정한 수위를 유지하며, 강우시 지하수위 상승이 발생하지만 약 2일 후에는 회복되어, 비교적 빠른 지하수의 흐름 특성을 보여준다.

(3) 조사된 궁궐 내 수원들의 전반적인 수질의 특성은 총용존이온의 함량이 덕수궁 > 경복궁 > 창경궁 > 창덕궁의 순으로 나타나며, 수질분포가 4회의 분석에서 동일하게 유지되는 것으로 보아 지하수의 이동경로에서 발생한 지구화학적 물-암석 반응의 결과로 판단된다. 또한 산소-수소 동위원소 분석결과는 조사지점의 수질들이 강수의 함양과 유동에 의해 생성된 것임을 지시한다. 본 과제에

서 분석한 수질 항목에서는 덕수궁의 중명전(S-10)과 창경궁 경춘전(S-14) 두 곳의 우물에서 질산염(NO_3^-)이 수질 기준(50 mg/L)을 초과하였으며, 이는 집중호우로 인해 지표 또는 토양층 내의 오염물질이 함양기작을 통해 지하수로 유입된 것으로 추론된다. 이와 같이 국지적으로 나타나는 질산염의 오염원과 질산염의 유입과정에 대해서는 향후 정확한 조사를 통해 오염 확산의 차단과 적절한 정화 및 관리가 필요하다.

아울러서, 궁궐 수원의 보존 관리에 대해서 다음과 같이 제언하고자 한다;

(1) 궁궐 내 수원들은 대부분 자연적으로 생성된 물의 특성을 지니고 있다. 따라서 추후 어떠한 방법의 우물 복원 내지 개선방안이 실시되는 경우에도, 인위적인 물질(예를 들면, 시멘트, 콘크리트 성분 등)의 사용은 그 용도와 필요성을 충분히 고려한 후 자연적인 수질의 변화를 최소화할 수 있을 정도로 사용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

(2) 덕수궁이나 종묘의 우물들에서 보이듯이, 대도시인 서울 시내에 위치하는 궁궐의 특성 상, 궁궐 내 우물과 지하수는 궁궐 주변에서의 지하수 이용(양수)과 배수 시설 등에 민감하게 영향을 받는다. 따라서 궁궐 내의 수원, 특히 궁궐 경계부에 인접한 우물들의 지하수에 대해서는 경계 밖의 도심지 내 인위적 활동과의 연계관리가 필요하다.

(3) 궁궐의 수원은 지하수에 근거하고 있으므로, 이들 수원에 대한 관리는 시간적으로 서서히 변화하는 지하수의 관점에서 관리되어야 한다. 지하수는 지표수에 비하여 오염가능성이 적으나, 일단 오염된 상태에서는 복원과 회복에 시간적·경제적으로 막대한 자원이 소모된다. 따라서 궁궐 수원에 대한 관리는 장기적 관점에서 지속적으로 수행되어야 하며, 지하수의 수질변화 특성을 고려하여 주기적인 수질/수위 변동의 모니터링을 통해 지하수질의 변화 유무와 경향성 및 오염특성에 대한 조기발견과 관리가 필요하다.

사 사

본 과제는 웅진코웨이-문화재청-문화유산국민신탁 간 이루어진 [한 문화재 한 지키미] 협약의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

기상청, www.kma.go.kr.

박영운, 이광식, 김용제, 봉연선, 신형선, 류종식, 박승기, 정재훈, 2006, 안정동위원소를 이용한 예산 소유역에서의 수문순환 연구,

2006년 정기총회 및 공동학술발표회, 대한지질학회지질학회, 제주, 606-608.

이광식, 이인성, 최만식, 박은주, 1997, 제주도 강수의 환경 동위원소 연구, 지질학회지, **33**(3), 139-147.

이광식, 우남칠, 김강주, 2001, 동북아시아 강수의 안정동위원소 조성에 영향을 주는 요인들, 지질학회지, **37**(2), 183-192.

이광식, 박원배, 이대하, 고동찬, 2002, 강수의 중수소과잉값에 영향을 주는 요인들, 한국지하수토양환경학회 추계학술발표회.

이광식, 이동림, 김용제, 박원배, 2004, 안정동위원소를 이용한 토양에서의 함양특성 연구, 대한지질학회 추계학술발표회, 58-61.

정상용, 2010, 서울시 지하철 유출지하수에 의한 지하수 장애와 대책, 지질학회지, **46**(1), 61-72.

홍승호, 이병주, 1982, 한국지질도(서울지질도폭), 한국동력자원연구소.

Craig, H., 1961, Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, **133**, 1702-1703.

Craig, H. and Gordon, L., 1965, Deuterium and oxygen-18 variations in the ocean and marine atmosphere, In: Tongiorgi, E. (ed.), Stable isotopes in oceanographic studies and paleotemperatures, Lab. Div. Geologia Nucleare, Pisa, 9-130.

Dansgaard, W., 1964, Stable isotopes in precipitation, *Tellus*, **16**, 436-468.

Davis, J.C., 1986, Statistics and data analysis in geology. 2nd(ed.). John Wiley & Sons, New York. 204p.

Güler, C.T., McCray, J.E., and Turner, A.K., 2002, Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data, *J. Hydrogeol.*, **10**, 455-474.

Hounslow, A.W., 1995, Water quality data Analysis and interpretation. Lewis Publishers, New York, 397p.

Karanth, K.R., 1994, Groundwater assessment development and management. Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi. Third reprint

Kortatsi, B.K., Tay, C.K., Anornu, G., Hayford, E., and Dartey, G.A., 2008, Hydrogeochemical evaluation of groundwater in the lower Offin basin, Ghana, *Environmental Geology*, **53**, 1651-1662.

Kuma, J.S. and Younger, P.L., 2004, Water quality trends in the Tarkwa gold-mining district, Ghana. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, **63**(2), 119-132.

Piper, A.M., 1944, A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *Transactions of American Geophysical Union*, **25**, 914-923.

Stiff, H.A. Jr, 1951, The interpretation of chemical water analysis by means of patterns, *J. Petrol Tech*, **3**, 15-17.

WHO, 2008, Guideline for drinking water quality. Geneva.