지하저수조의 수리적 거동과 수질변화 특성 평가

이현동 · 배철호*† · 김정현* · 황재운 · 홍성호**

한국건설기술연구원 건설환경연구부
*한국수자원공사 수자원연구원
**숭실대학교 환경 · 화학공학과

Assessment of Hydraulic Behavior and Water Quality Variation Characteristics in Underground Reservoir

H.D. Lee · C.H. Bae*† · J.H. Kim* · J.W. Hwang · S.H. Hong**

Korea Institute of Construction Technology Construction Environment Research Dept.,
**Korea Water Resources Corporation Korea Ins. of Water & Env. Dept.*
***Soongsil University Chemical & Environmental Engineering.*
(Received 5 October 2004, Accepted 9 November 2004)

Abstract : The assessment on characteristics of hydraulic behavior and water quality variations of underground reservoirs of buildings were studied. Firstly, it was thought that underground reservoir capacities(m^3) of buildings should be not determinated by the uniform and same methods but be estimated on the basis of the dwelling areas on dominated households and their residential characteristics, because these characteristics influence significantly on actual water usages and patterns of buildings. Secondly, it was likely that the average reduction rate of residual chlorine in underground reservoirs were affected from the their capacities, because the average reduction rate of residual chlorine in underground reservoirs under 1,000 m^3 was 43 percent, on the other hand, that rate of underground reservoirs over 1,000 m^3 was 60 percent. Thirdly, through the field investigation, the retention time of drinking water in underground reservoirs were in the range from 0.3 day to 3.9 day. In addition to, the average reduction rate of residual chlorine were depended largely on the retention time of drinking water. When the retention time was under 24 hours, the average reduction rate of residual chlorine was 45 percent, and in case of over 24 hours, was 49 percent. Fourth, water level in underground reservoirs was averagely varied in the range from 0.1 m to 2.65 m at the height of underground reservoirs. If considered actual height of underground reservoirs, 37.6 percent of the height of underground reservoirs was only used. Consequently, the frequency of the inflow and outflow of drinking water in underground reservoir were very increased, and had an effect on the reduction of residual chlorine. Lastly, the investigations on hydraulic structure characteristics of underground reservoirs inside showed the locations of inflow and outflow of drinking water almost were in the opposite direction. And some buildings had several baffles in the middle. Nevertheless, their installations had no beneficial for the improvement of water quality.

keywords : Underground reservoir, Hydraulic behavior, Residual chlorine, Retention time

1. 서 론

국내에서 수돗물 수질악화와 불신을 유발하는 가장 큰 원인중의 하나는 수도꼭지에서 나오는 이물질과 적수 등의 발생이다. 이는 수요자들에게 가장 직접적으로 불쾌감과 거부감을 주기 때문이다. 특히, 수돗물 오염으로 인한 집단민원을 제기하는 사례를 증가시키는 대표적인 원인으로 작용하고 있다. 또한, 최근에 제기되고 있는 수돗물에서의 병원성미생물 발생에 대한 논쟁, 그리고 언론을 통한 녹 또는 스케일로 덮여있는 상수도 노후관에 대한 직접적인 보도는 수돗물 불신을 더욱 가중시키고 있다. 따라서 정부차원에서도 현재까지 상수원수 관리, 고도정수처리시설 도입과 운영, 노후 상수도관 개량 등에 많은 비용을 투자하고, 개선을 위하여 노력을 해오고 있다. 그러나 이러한 개선 노력에 비하여 실질적인 효과는 없는 실정이다. 이는 수돗물 수질악화와 불신을 유발하는 가장 큰 원인이 바로 건물내 급수설비인 저수조 또는 급수관으로부터 야기되고 있기 때문이다(이 등, 2000, 2001, 2002a, 2002b, 2004).

정부에서도 최근 저수조의 수질악화 문제를 해결하기 위하여 6개월에 1회 이상 청소를 하도록 하고, 관리자나 건물주가 법정교육을 이수하도록 규정하였다. 그러나 이를 감독하고 관리할 수 있는 인력의 부재로 감독자체를 할 수 없는 실정이며, 점검과 확인의 미흡으로 그 효과가 거의 미미한 실정이다. 또한 대부분 영세규모의 전문성없는 저수조 청소업자의 난립 등으로 인한 부실청소와 소독실시 미

† To whom correspondence should be addressed.
baech@kowaco.or.kr

흡 등으로 오히려 수질악화를 초래하는 경우도 있다. 또한, 기존 저수조에 대한 구조적, 재질적 한계로 저수조에서 발생하는 수돗물 2차오염을 현상태에서 개선할 수 있는 가능성은 매우 어려운 실정이다(이 등, 2000, 2001, 2004).

특히, 저수조를 중심으로 발생하고 있는 수질악화에 대한 광범위한 조사연구가 진행된 바가 없어 효율적인 개선방안의 수립이 현실적으로 어려운 것이 사실이며, 일부 지하저수조와 관련하여 수행된 연구도 대부분 외부오염 현황과 환경에 치중하고 있고, 지하저수조의 수리적 거동에 대한 특성 등에 관한 조사가 없어 수돗물이 유입되어 어떠한 경로로 유출이 되고 있으며, 특히 이러한 과정에서 건물내 지하저수조의 수리적 구조 등이 수돗물의 수질변화 등에 어떠한 영향을 주고 있는가에 대한 평가가 없어 이에 대한 이해가 부족한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 국내 건물내 급수설비인 지하저수조에서의 수돗물의 유입과 유출과정 등에 대한 수리적인 거동과 이로 인한 수질변화의 특성을 평가하였다.

2. 실험방법

2.1. 연구대상건물 현황

본 연구에서는 건물내 지하저수조의 수리적 거동 특성을 평가하고, 수돗물의 수질변화 등을 고찰하기 위하여 지하저수조를 사용하고 있는 기존 아파트와 같은 공동주택, 그리고 저수조 청소후 3개월 이상된 건물을 선정하여 지하저수조의 수리적 구조와 수질조사를 수행하였다. 각 건물에 대한 현황은 Table 1과 같다. 지역으로 보면, 경기도(I-H, I-Y, S-S, B-H), 대전광역시(D-K, D-H) 그리고 광주광역시(K-B, K-S, K-H)를 대상으로 하였다. 통수년도(통수년수)는 1987(16년)~2001년(2년)까지이다.

2.1.1. 지하저수조

급수방식으로 보면, 7개 건물이 고가수조 방식이고, 압력탱크 방식이 1개 건물, 그리고 고가수조와 압력탱크 방식을 병용한 방식이 1개 건물이었다. Table 2를 보면, 연구대상건물의 지하저수조는 7개 건물이 콘크리트 재질이었으며, 2개 건물은 스테인레스강 재질을 사용하였다. 콘크리트 지하저수조에 사용되는 도장재는 주로 액상에폭시가 많이 사용되고 있으나 연구대상건물 중 2개 건물의 경우에는 도장

Table 1. State of investigated buildings

NO.	Site Name	Years of water supply (Year)	Periods of water supply (Year)	Number of Building	Total households	Story	Methods of Water Supply
1	I-H	1999	4	1	317	15	Pressure tank
2	I-Y	1995	8	6	358	13~18	Water tank
3	S-S	1994	9	21	1,827	15~25	Water tank
4	B-H	1994	9	17	1,651	10~15	Water tank/Pressure tank
5	D-K	2000	3	9	975	9~15	Water tank
6	D-H	1991	12	4	169	9	Water tank
7	K-B	2001	2	3	256	12~18	Water tank
8	K-S	1994	9	7	571	14~16	Water tank
9	K-H	1987	16	4	597	13~14	Water tank

Table 2. State of underground water reservoirs

NO.	Site Name	Underground water reservoir					Current management methods		
		Structure	Capacity (m^3/place)	Materials	Internal painting materials	Place	Cleaning		Re-painting
							Methods	Frequency (/year)	
1	I-H	R1	180	Stainless Steel	-	3	P3	2	-
2	I-Y	R	434	Concrete	Epoxy	1	P	2	-
3	S-S	R	550	Concrete	Epoxy	1	P	2	-
4	B-H	R	4,625	Concrete	Epoxy	1	P	2	-
5	D-K	R	1,790	Concrete	Epoxy	1	P	2	-
6	D-H	R	660	Concrete	-	1	P	2	-
7	K-B	R	520	Stainless Steel	-	1	P	2	-
8	K-S	R	1,873	Concrete	Epoxy	1	P	2	-
9	K-H	R	1,313	Concrete	Epoxy	1	P	2	-

Note) 1. R : A rectangular parallelepiped type
2. C : A cylinder type
3. P : Physical cleaning
4. FRP : Fiberglass Reinforced Plastics
5. SMC : Sheet Molding Compound

재가 사용되지 않고 있었다. 지하저수조 용량은 대부분 180~4,625 m^3/개소이었다. 연구대상건물의 지하저수조 유지관리 방법은 모두 고압수 세척을 이용한 물리적 세척방법이 이용되는 것으로 나타났다.

2.2. 수리 및 수질 조사방법

연구대상건물에서 각 지하저수조의 수리적 거동과 수질 변화의 특성을 평가하기 위하여 수돗물의 유입 · 출 조사는 24시간 지하저수조내에 수위측정 장치를 설치하여 수위변화를 측정하였다. 또한, 각 건물내 관리소로부터 1년간 물 사용량에 대한 자료를 확보하였다. 또한, 지하저수조의 구조와 설비에 관한 도면 등은 육안 또는 기존 관리소로부터 확보하였다. 또한, 지하저수조 자체의 수리적 거동 특성 등이 가장 큰 영향을 주는 수질항목인자로는 잔류염소이므로 (이 등, 2004), 본 연구에서는 각 연구대상건물의 지하저수조 내부로 수돗물이 공급되기 이전의 유입구 부분, 저수조 내부, 그리고 유출구 부분에서 각각 시간(오전, 오후, 야간 등)에 따라 2~3회 시료를 채취하여 잔류염소의 변화 등을 분석하였고, 특히 지하저수조 내부의 경우에는 표면과 바닥 등에서 시료를 채취하여 현장에서 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 물 수요 특성 분석

연구대상건물내 전체 1일 물 사용량 측정결과는 Fig. 1과 같다. 또한, 각 건물에서 거주하는 세대수로 나누어 세대당 1일 물 사용량을 Fig. 2에 나타내었다.

Fig. 1에서 연구대상건물의 1일 물 사용량은 101~1,256 m^3 범위로, 조사된 건물중 S-S가 가장 높았고, D-H의 물 사용량이 가장 낮았다. 이는 건물에서의 1일 물 사용량이 세대수가 많을수록 거주인구도 많아지므로 수돗물에 대한 수요가 높았기 때문이다. 그러나 Fig. 2에서 보면, 각 연구대상건물의 세대당 1일 물 사용량은 매우 큰 차이가 있는 것으로 나타났다. B-H와 I-H는 0.33 m^3과 0.40 m^3으로 다른 건물에 비하여 세대당 1일 물 사용량이 낮게 나타난 반면, I-Y와 K-B 등은 다른 건물에 비하여 세대당 1일 물 사용량이 1.0 m^3 이상인 것으로 나타났다. 그 외의 건물에서는 0.60~0.69 m^3으로 세대당 1일 물 사용량이 비슷한 것으로 나타났다. 이러한 세대당 물 사용량의 차이는 대부분 건물 용도, 세대평수에 따른 영향이 큰 것으로 보여진다. 즉, I-Y와 K-B 등은 다른 건물에 비하여 세대평수가 큰 것으로 조사되었으며, I-H는 오피스텔로서 상대적으로 한 세대당 거주세대가 작기 때문으로 보여진다. S-S는 대부분 세대가 작은 평수로, 주간에 사람이 거주하는 세대가 상대적으로 많은 것으로 조사되었다. 따라서, 향후 지하저수조의 용량을 산정할 때에는 기존의 획일적인 방법보다는 해당 건물의 지배적인 평수, 용도, 거주특성 등을 고려하여 결정하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 이는 획일적인 방법에 근거하여 지하저수조 용량을 산정할 경우, 실제 건물내에서의 물사용량 등에서 차이가 발생할 수 있고, 이는 결국 지하저수조

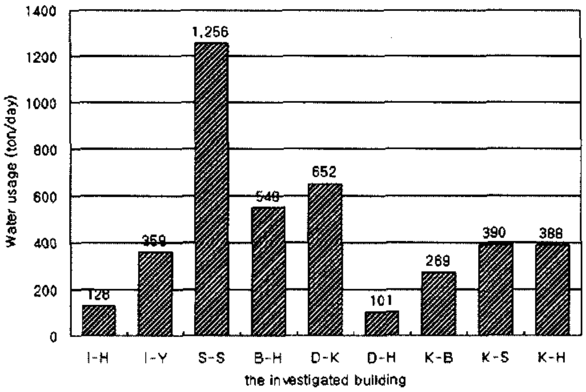

Fig. 1. Water usage per day of investigated underground reservoirs.

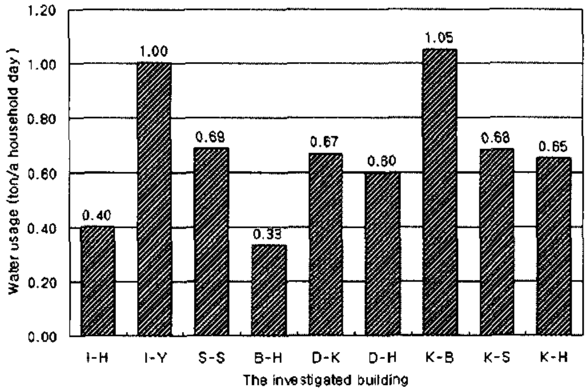

Fig. 2. Average household water usage per day of investigated underground reservoirs (Included public zones).

내 체류시간을 크게 할 가능성이 높기 때문이다.

3.2. 지하저수조내 수리적 거동 특성 분석

3.2.1. 체류시간 특성 분석

일반적으로 체류시간 산정에는 통상 저수조의 총용량과 수도사용량을 사용하지만, 본 연구에서는 저수조의 총용량 대신 실제 저수량을 의미하는 유효용량을 사용하였다. 유효용량은 현재 일본에서 규제대상의 선정기준으로 사용되는 개념으로 평상시 저수량의 최고 수면높이에서 수돗물이 저수조에서 유출되는 유출구까지의 저수량을 의미한다(조 등, 2002).

또한, 저수조용량을 결정할 때에는 최대사용수량을 고려해야 하지만, 본 연구에서는 현장에서 측정된 1일 물 사용량을 사용하였다. 현장에서 측정된 1일 물 사용량의 경우, 1년 동안의 물 사용량에 대한 대표성을 확보하기 어렵다는 단점이 있으므로, 연구대상건물의 지난 1년 동안 물 사용량을 일단위로 환산하여 1일 평균 사용수량을 계산하여 Table 3에 나타내었다.

Table 3에서 보면, 연구대상건물에서의 체류시간은 7.2~95.7 hr로 0.3일에서 3.9일까지 매우 범위가 넓게 나타났으며, 평균적으로는 36.3 hr로 약 1.51일 정도(일본, 0.5일)로 매우 높은 것으로 나타났으며, 상수도기설기준(1997)에서

Table 3. Characteristics of hydraulic variations in investigated underground reservoirs

Abbreviations	Underground reservoir						Variable water volume[5] (ton)	Effective water volume[6] (ton)	Field measurements		Average(Year)	
	Vol. of underground water (ton)	Hight (m)	Max. Level[1] (m)	Min. Level[2] (m)	Variable Level[3]	Effective Level[4] (m)			Water usage per day (ton/day)	Retention time[7] (hour)	Average water usage (ton/day)	Average retention time[7] (hour)
I-H	179	2.5	2	1.10	0.9	1	64	71.5	128	13.4	115	14.9
I-Y	434	5	2.5	1	1.5	4.20	65	185	359	12.3	323	13.7
S-S	550	4	3.5	2.65	0.85	2.70	119	378	1,256	7.2	1,156	7.8
B-H	4625	5.75	3.30	0.82	2.48	2.48	2187	2187	548	95.7	650	80.8
D-K	1790	5.65	3.39	2.26	1.13	2.89	358	916	652	33.7	591	37.2
D-H	660	6	3.20	3	0.2	2.95	16	239	101	56.7	125	45.9
K-B	520	4	3	1	2	2.18	260	283	269	25.2	197	34.5
K-S	1873	4	3	1.50	0.5	2.18	617	896.5	390	55.2	417	51.6
K-H	1313	3.5	2	1.90	0.1	1.18	37.5	442.5	388	27.4	363	29.3
평균	1,181.22	4.61	2.65	1.48	1.19	2.73	460.75	644.50	462.88	34.04	446.75	32.60

Remarks. 1) Maximum water level, 2) Minimum water level, 3) Water variation level = Maximum water level-Minimum water level, 4) Effective water level =Maximum water level - The hight of outlet, 5) Amount of water variation : Water volume from maximum water level to minimum water level, 6) Effective water volume : Underground reservoir capacity*Effective water level, 7) Retention time = Effective water volume/ of volume water usage(/day)

Table 4. Minimum volume of investigated underground reservoirs related regulation

Abbreviations	Minimum vol. based on related regulation[1] (m^3)	Actual vol. of underground reservoir[2] (m^3)	Ratio
I-H	477	180	0.38
I-Y	537	524	0.98
S-S	2,750	970	0.35
B-H	2,476	5,195	2.10
D-K	1,463	2,050	1.40
D-H	254	790	3.11
K-B	384	592	1.54
K-S	856.5	2,118	2.47
K-H	895.5	1,393	1.55

Note) 1) Minimum volume of underground reservoir based on related regulation = Number of a household*1.5 m^3
2) Volume Included water tank on the roof

저수적정량으로 권장하는 1일 평균 체류시간에 비하여 1.51배가 큰 것이다. 특히, 연구대상건물중 체류시간이 2일 이상 초과하는 경우가 22%, 3일을 초과하는 경우도 11%로 나타나 이러한 건물에서는 수돗물의 장기체류로 수돗물 수질에 심각한 문제를 초래할 가능성이 높은 것으로 판단된다.

특히, 본 연구에서는 유출구까지의 저수량인 유효용량을 사용하여 체류시간을 산정하였다. 따라서, 저수조 바닥까지를 고려한 실제 지하저수조 용량으로 한다면, 실제 체류시간은 더욱 길어지므로 수질에 미치는 영향이 더 클 것으로 보여진다. 그리고 이러한 체류시간이 길게되는 원인으로는 앞에서 언급한 바와 같이 건물내 물 사용량이 건물에 따라 동일한 특성을 보이기보다는 건물용도, 평수 또는 거주 특성 등에 따라 실제 물 사용량에 큰 차이가 있기 때문이다. 따라서, 향후 지하저수조의 장기 체류로 인한 수질악화를 방지하기 위해서는 건물의 용도 또는 거주특성 등에 따른 물 사용량에 관한 다양한 자료를 축적하여 이를 토대로 지하저수조 용량을 합리적으로 결정하는 방안이 수립되어야 할 것으로 판단된다.

3.2.2. 수위변동 특성

일반적으로 지하저수조를 포함한 고가수조의 경우 수돗물의 유입과 유출 패턴(Pattern)은 대부분 저수조 높이까지 저수하였다가 수돗물 유출구까지 감소할 때 수돗물이 다시 유입되는 형태가 아니라 지하저수조의 크기 또는 평상시 요구되는 소방용수량, 그리고 수질개선 목적 등으로 지하저수조 유출구(유효수위)로부터 일정 높이에서 수돗물의 유입과 유출이 이루어지면서 지하저수조의 저수수위가 변화한다. 이때 수위가 변화되는 저수조내 수돗물의 평상시 저수 최고수위에서 최저수위의 차를 변동수위라 하는데, Table 3에서 보면, 이러한 변동수위는 0.1~2.65 m(평균 1.69 m)으로 실제 지하저수조 높이와 비교하면, 37.6%에 불과한 것으로 나타났다. 이러한 이유는 Fig. 3에서 보듯이 지하저수조 수돗물 유입·유출에 따른 변동수위의 변화 빈도가 상대적으

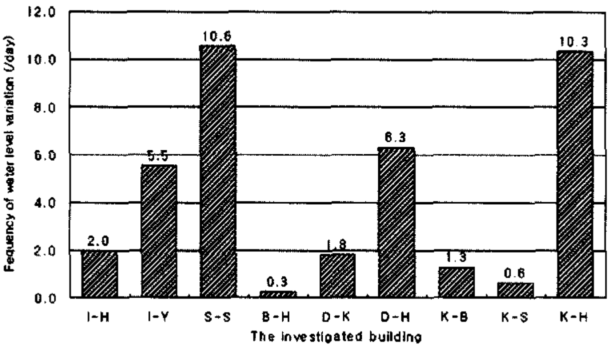

Fig. 3. Frequency of water level variation according to inflow and outflow of drinking water in underground reservoirs.

로 높기 때문이다.

Fig. 3에서 연구대상건물중 B-H는 수돗물의 유입 · 유출 빈도가 0.3 회/일로 가장 낮았으며, S-S는 10.6 회/일로 가장 빈도가 높은 것으로 나타났다. 그리고 이러한 지하저수조에서 변동수위의 변화 빈도에서 큰 차이가 발생하는 이유는 Table 4에서 보듯이 주로 빈도가 낮은 경우는 법정 최소용량에 비하여 현 저수조(지하저수조+고가수조)의 용량이 실제 물 사용량에 비하여 지하저수조 용량이 크기 때문으로 보여지며, 변동수위 변화 빈도가 상대적으로 높은 경우도 장기 체류로 인한 수질악화를 방지하기 위한 차원으로 운영되는 사례가 많은 것으로 조사되었다.

3.3. 지하저수조의 수리적 구조 특성 분석

일반적으로 체류시간은 저수조에 먼저 유입된 물이 먼저 유출된다는 가정하에 이론적으로 계산된 것이다. 그러나 실제로는 여러 가지 구조적인 요인에 의하여 이러한 체류시간은 길어질 수 있다. 따라서, 이러한 물의 정체로 인한 수질저하를 방지하기 위하여 "수도시설의 청소 및 위생관리 등에 관한 규칙"의 제3조에 관련된 "저수조설치기준"에서는 "물의 유출구는 유입구의 반대편 하단부분에 설치하여 물이 고이지 아니하도록 할 것"을 규정하고 있다. 즉, ① 유출구의 위치는 하단부분에, ② 유출 · 입구는 반대방향으로 명시하고 있다, 그 밖에도 저수조가 대형인 경우에는 ③ 도류벽을 설치해 물의 흐름을 형성시켜야 물의 정체를 막을 수 있도록 하고 있다(환경부, 1998). 그러나 도류벽이 없고 물이 흐르는 방향으로의 폭이 클 경우, 물이 흐르는 직각 방향에 위치한 물의 정체시간이 커질 가능성이 높다.

따라서, 본 연구에서도 9개 연구대상건물에서의 저수조 물의 정체와 관련된 수리적 구조 인자인 유출구의 높이, 유출 · 입구 방향, 도류벽 설치 유무 등을 조사하였으며, 그 결과를 Table 5에 나타내었다. Table 5에서 보면, 유출구의 높이는 바닥으로부터 대부분 0.5 m 이하에 위치하고 있는 것으로 조사되었다. 따라서, 유출구의 높이가 높지 않아 유출구 높이에 따른 수질저하 요인은 크지 않을 것으로 판단된다. 또한, K-H를 제외하고는 대부분 저수조내에 유출구의 방향이 유입구와 반대쪽 벽면 하단에 있는 것으로 나타났다. K-H의 경우, 내부에 도류벽이 중앙에 설치되어 있어 물의 흐름으로 보면, 정체수역이 발생될 우려는 없을 것으로 나타났으나, I-H, S-S, B-H, 그리고 K-B 등은 도류벽이 설치되어 있지 않는 것으로 나타나 지하저수조내 수돗물의 정체로 인한 구역이 발생하여 수질을 저하시킬 가능성을 가지고 있는 것으로 조사되었다. 그리고 이들 건물의 경우 상대적으로 물이 유출구로 이어지는 공간의 폭의 가로와 세로 비율이 0.38~0.64로, 비율이 크지는 않았으나 B-H의 경우 도류벽도 없고, 또한 물이 흐르는 방향으로의 폭이 다른 3개 건물에 비해서도 크게 나타나, 물의 정체로 수질에 미치는 영향이 상대적으로 클 것으로 판단된다.

3.4. 지하저수조의 수리적 거동과 수질변화 특성 분석

Table 6에 연구대상건물 지하저수조의 지점별 잔류염소 농도의 측정값의 평균을 나타내었다. Table 6에서 지하저수조의 잔류염소농도의 변화를 보면, 지하저수조로 유입되는 수돗물의 잔류염소농도는 0.34~1.09 mg/L이었으나 지하저수조에서 유출될 때에는 0.00~0.97 mg/L로 잔류염소농도의 감소율이 S-S가 2.7%로 가장 작게 나타난 반면, K-S가 96%, I-H가 90%, 그리고 K-H는 100.0%로 가장 높게 나타났다. S-S에서 잔류염소의 변화가 거의 없는 것은 S-S의 지하저수조의 용량이 법적 최소용량에 비하여 0.35로 매우 낮고, 체류시간도 7.8 hr으로 다른 건물에 비하여 짧고, 비

Table 5. Hydraulic structure characteristics of investigated underground reservoirs

Abbreviations	Hight of underground reservoir (m)	Hight of outlet (based on the bottom) (m)	Direction of inflow · outflow		Baffle		Width/lenght ratio
			opposite direction	same direction	Exist	Non-exist	
I-H	2.5	0.3	◎			◎	0.42
I-Y	5	0.5	◎		◎		-
S-S	4	0.5	◎			◎	0.44
B-H	5.75	0.5	◎			◎	0.64
D-K	5.65	0.5	◎		◎		-
D-H	6	0.3	◎		◎		-
K-B	4	0.5	◎			◎	0.38
K-S	4	0.3	◎		◎		-
K-H	3.5	0.4		◎	◎		-

Table 6. Average residual chlorine of investigated underground reservoirs

Sampling point \ Building	I-H	I-Y	S-S	B-H	D-K	D-H	K-B	K-S	K-H
	Residual chlorine (average, mg/L)								
Inflow	0.60	0.35	0.99	0.41	0.85	1.09	0.36	0.34	0.34
Outflow	0.06	0.20	0.97	0.27	0.76	0.51	0.35	0.02	0.00
Surface	0.07	0.28	0.97	0.22	0.74	0.61	0.31	0.22	0.24
Bottom	0.27	0.36	1.06	0.41	0.87	0.62	0.42	0.25	0.28

록 지하저수조내 도류벽은 설치되지는 않았으나 유입 · 유출구간의 폭이 작고, 또한, 수돗물의 유입 · 유출 빈도가 상대적으로 높아 지하저수조내에서 잔류염소의 감소율이 크지 않았던 것으로 판단된다.

또한, Table 6에서 지하저수조 내부의 상부 표면에 비하여 하부로 갈수록 잔류염소농도가 0.01～0.20 mg/L까지 더 높아 상부와 하부 사이에서의 잔류염소농도가 차이가 있는 것으로 나타나 지하저수조 전체적인 수질이 균질하지 않아 수돗물 수질에 미치는 영향 또한 적지 않을 것으로 보여진다. 따라서, 지하저수조내 전체적으로 잔류염소가 균일하게 유지될 수 있는 방안의 수립이 필요할 것으로 판단된다.

Fig. 4에서 연구대상건물의 용량별 잔류염소농도의 감소율을 보면, 1,000 m^3 이하인 지하저수조에서 잔류염소의 평균적인 감소율이 43%로 1,000 m^3 이상의 60%보다 상대적으로 낮게 나타났다. 이는 조사된 건물 중 지하저수조 용량이 1,000 m^3 이하의 경우, 체류시간은 23.36 hr이고, 1,000 m^3 이상은 체류시간이 49.72 hr로 2배 정도 길게 나타나 저수조 용량이 클수록 장기 체류에 의한 영향이 컸을 것으로 판단된다.

Fig. 5에서 연구대상건물에 대하여 체류시간만을 고려하여 잔류염소농도의 감소율을 보면, 체류시간이 24 hr 이내인 건물의 지하저수조에서의 잔류염소농도 감소율은 45%로 나타나 체류시간이 짧더라도 잔류염소농도의 감소가 작지는 않는 것으로 보인다. 또한, 체류시간이 24 hr 이상인 경우 잔류염소농도의 평균적인 감소율은 49%로 나타나 체류시간이 24 hr 이내인 지하저수조보다는 높았으나 해당 지하저수조의 평균적인 용량이 388 m^3이고, 24 hr 이상인 지하저수조의 평균적인 용량이 1,797 m^3으로, 체류시간 보다는 용량에 의한 영향이 더 컸을 것으로 보여진다. 이는 용량이 클수록 대체로 지하저수조 내부에 흐름의 영향을 받지 않는 정체구역의 발생 비율이 높기 때문으로 판단된다. 또한, 지하저수조의 수질적인 영향을 미치는 수리적인 거동 중의 하나가 지하저수조에서의 수위변동 빈도이다.

Fig. 6에서 연구대상건물에 대하여 지하저수조 내부에서의 수위변동만을 고려하여 잔류염소농도의 평균적인 감소율을 보면, 즉, 지하저수조로 수돗물이 유입되고, 유출되어 수위가 변화되는 빈도가 평균적으로 1 회/일 이하인 경우가 잔류염소농도의 감소율이 가장 큰 것으로 나타났다. 특히, 수위변동이 1 회/일 이하인 지하저수조는 대부분 물 사용량에 비하여 지하저수조 용량이 큼으로서, 수위변동이 많지 않았던 것으로 보여진다. 이는 이들 지하저수조 용량이 평균적으로 3,249 m^3으로 용량이 다소 컸기 때문이다.

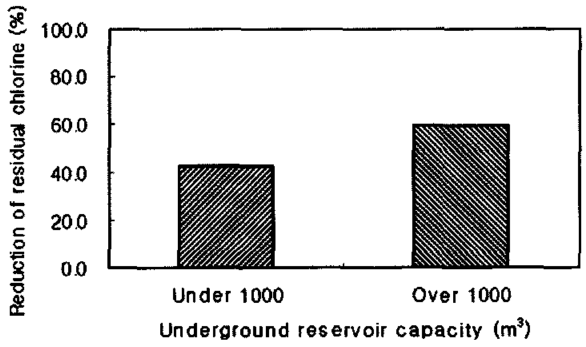

Fig. 4. Effect of underground reservoir capacity on the reduction of residual chlorine.

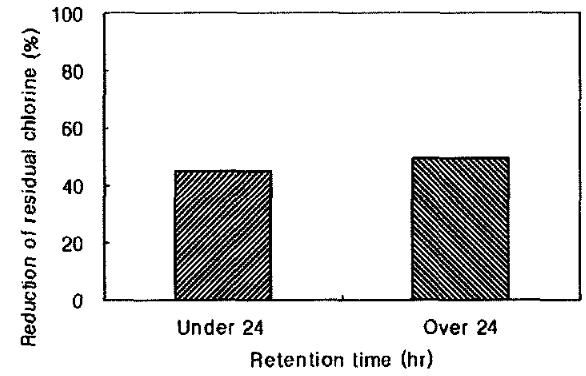

Fig. 5. Effect of retention time of underground reservoir on the reduction of residual chlorine.

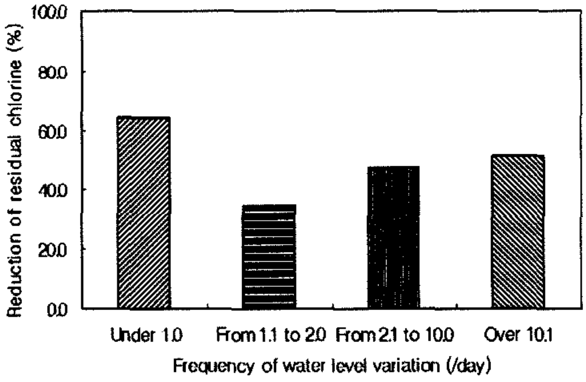

Fig. 6. Effect of frequency of water level variation on the reduction of residual chlorine.

또한, Fig. 7에서 보면, 지하저수조 내부의 도류벽 설치여부에 따른 잔류염소농도 감소율은 도류벽이 존재하는 경우, 잔류염소농도의 평균적인 감소율이 60%로 도류벽이 없

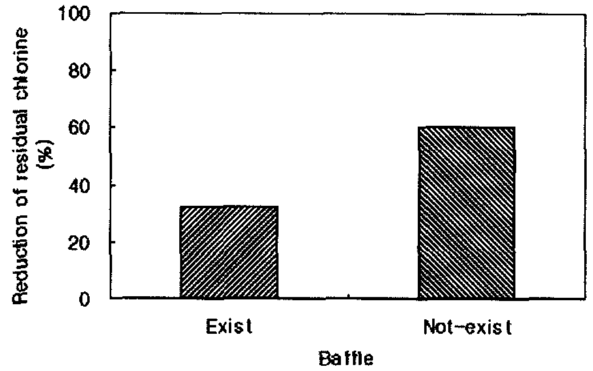

Fig. 7. Effect of baffle installation on the reduction of residual chlorine.

는 경우 32%에 비하여 2배 가량 더 높게 나타났다. 따라서, 지하저수조 내 도류벽이 물의 흐르는 구간의 폭을 줄여, 정체수역으로 인한 수질의 악화를 방지하기 위하여 설치되었으나 수질적인 개선효과는 거의 없는 것으로 보여진다. 그러나 지하저수조에서의 수질악화 요인에는 이러한 용량, 체류시간, 저수조 높이, 저수수위, 수위변동, 수돗물의 유출과 유입이 되는 방향, 그리고 내부적 구조 이외에도 저수조의 재질, 노후도, 청소빈도 등도 큰 영향을 미치기 때문이다.

따라서, 지하저수조에서의 수질적인 변화요인 등의 규명과 이를 통한 수질개선을 도모하기 위해서는 다양한 차원의 조사와 자료 축적이 더욱 필요할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 국내 건물내 급수설비인 지하저수조에서의 수돗물의 유입과 유출과정 등에 대한 수리적인 거동 특성과 이로 인한 수질변화의 특성을 평가하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

첫째, 지하저수조의 용량은 획일적인 산정보다는 건물의 세대평수, 그리고 거주특성에 따라 크게 다르므로 이를 고려한 용량의 결정이 필요할 것으로 판단된다.

둘째, 1,000 m^3 이하 지하저수조의 잔류염소농도의 감소율은 43%이었고, 1,000 m^3 이상은 60%로 1,000 m^3 이상 지하저수조의 잔류염소농도의 감소율이 더 높게 나타났다.

셋째, 조사된 지하저수조의 체류시간은 0.3일에서 3.9일까지 범위가 넓게 나타났으며, 체류시간이 24 hr 이내인 경우 잔류염소농도의 감소율은 45%이었고, 24 hr 이상인 경우는 49 %로 나타났다.

넷째, 지하저수조의 수위가 변동하는 구간은 0.1～2.65 m로 평균적으로 1.69 m로 지하저수조 높이의 37.6%에 불과한 것으로 나타났으며, 수돗물의 유입 · 유출 빈도도 0.3 회/일에서 10.6 회/일로 나타났다. 또한, 평균적으로 유입 · 유출 빈도가 1 회/일 이하인 경우가 잔류염소농도의 감소율이 가장 큰 것으로 나타났다.

마지막으로, 지하저수조 대부분의 물의 흐름은 유입 · 출구의 방향이 반대방향으로 되어 있으나 도류벽 설치로 인한 수질방지 효과는 거의 없는 것으로 보여진다.

참고문헌

건설교통부, 상수도시설기준 (1997).

조용모, 조학문, 임경미, 양경수, 이혜영, *수요가 급수시설의 수질관리를 위한 연구*, 서울시정개발연구원, pp. 13-18 (2002).

주택건설기준 등에 관한 규정, 제35조 비상급수시설 2항, 대통령령 제18372호 (2002).

이목영, 장현정, 이의광, 오세종, 이채근, 이현동 옥상물탱크 경유에 따른 수돗물 변화 및 직결급수방식 도입에 의한 수질개선 효과 연구, *대한상하수도학회지*, **14**(4), pp. 328-336 (2000).

이현동, 배철호, 박정훈, 정원식, 곽필재, 수돗물의 수질특성이 옥내 급수관의 부식속도에 미치는 영향 평가, *한국물환경학회지*, **17**(5), pp. 627-635 (2001).

이현동, 배철호, 박정훈, 옥내급수관의 통수년수별 간접진단 평가, *수처리기술연구회지*, **10**(2), pp. 25-37 (2002a).

이현동, 배철호, 박정훈, 홍성호, 건축물내 노후급수관의 직접진단에 의한 상태 평가, *한국물환경학회지*, **18**(5), pp. 535-544 (2002b).

이현동, 황재운, 배철호, 김상진, 건축물내 급수설비의 수질변화 특성과 영향력 평가, *한국물환경학회지*, **20**(4), pp. 313-320 (2004).

환경부, 수도시설의 청소 및 위생관리 등에 관한 규칙 제3조, 제15659호 (1998).

Lee, H. D., Bae, C. H., Park, J. H., Koo, J. Y., Effects of water quality characteristics on the internal corrosion of galvanized steel pipes in Korean, 第36回日本水環境學講硏集 (2002).