

회귀분석에 의한 서울시 상수도 수요예측

최대용^{1)*}, 구자용²⁾, 장석환³⁾, 전병호⁴⁾, 박상우⁵⁾

1. 서론

상수도는 도시생활을 영위하는 모든 사람들에게 이용되는 것으로, 일상생활과 제반활동을 유지해 주는 매우 중요한 시설물이다. 상수도 시설물 규모를 결정하는데 기준이 되는 물 수요예측은 현재의 시점에서 미래에 필요한 물 수요를 파악하여 안정적인 수돗물을 공급하는데 있는 것이지만, 미래의 실현값은 어느 누구도 정확히 알 수 없는 값이다. 그러므로 복잡 다양한 대도시에서 기반시설물을 계획수립 하는데 있어 예측은 그 만큼 큰 비중을 차지하고 있으며 특히, 인간생활의 문명의 척도에 상응하는 상수도 시설물을 구축하는데 필요한 수요예측은 더욱 중요하다고 할 것이다.

또한, 물 수요예측은 상수도계획을 비롯하여 수자원 개발계획, 하수도 계획 및 지역·도시 계획 등을 수립하는데 있어 중요한 요소로 제공되며, 이러한 물 수요동향에 영향을 미치는 항목을 다음과 같이 열거할 수 있다.

- 급수인구의 감소
- 원 단위 수량의 보합 추세 또는 감소
- 업무, 영업용수, 공장용수의 감소
- 부하율의 상승
- 유수율의 향상

본 연구에서는 상수도 수요예측을 기존의 원단위 방법이 아닌 중회귀분석을 통하여 서울시의 각 구별 수요예측량을 추정하는 식을 개발하고 물사용량, 거주인구, 사업체 종사자수, 건물연면적 등의 상관관계도 함께 포함한 회귀분석법을 이용하고자 한다.

-
- 1) 서울시립대학교 환경공학과 석사과정
 - 2) 서울시립대학교 환경공학과 조교수
 - 3) 대전대학교 토목공학과 조교수
 - 4) 육군사관학교 토목공학과 교수
 - 5) 서남대학교 토목공학과 부교수

2. 회귀분석에 의한 물 수요예측 방법

물 수요의 변동과 관계가 깊은 사회 및 경제적 요인 등을 설명변수로 하는 회귀모형을 구축하여 이것에 설명 변수의 장래치를 적용하여 추계하는 방법이다. 회귀분석 방법에는 종속 변수와 설명변수가 각각 하나인 단순회귀분석과 설명변수가 여러 개인 다중회귀분석이 있다. 그리고 회귀분석은 과거의 자료에 의존하므로 장래에 사회, 경제적으로 큰 변화가 생기지 않는다는 가정을 전제로 한다.

2.1 회귀모형과 회귀식

종속변수(물 수요)와 설명변수(거주인구, 활동인구 등)의 관계를 정확히 파악하기 위해서는 두 변수간의 규칙성을 나타내는 함수관계를 구할 필요가 있다. 이와 같은 두 변수간의 함수관계를 회귀모형이라 하고, 구체적인 식을 회귀식이라고 한다.

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_n X_n$$

여기서, Y:사용수량(m³/일) 또는 원단위(l/인·일)

X_i:설명변수(i=1,2,⋯,n), b₀:정수항, 회귀계수

또한 회귀분석에 사용되는 설명변수의 예를 표1에 제시한다.

표1. 회귀분석에 사용되는 설명변수

항 목 용도별	설 명 변 수
생활용수	상주인구, 급수인구, 인구집중 지구인구, 세대구성인원, 급수건수, 급수세대수, 시민소득, 세대소득, 가처분소득, 민간최종소비지출, 하수도보급율, 화장실 수세식율, 세탁기보급율, 급탕시설보유율, 자동차보급율, 건물평수 등
업무 및 영업용수	주간인구, 사무소수, 사업소 연상면적, 제3차산업취업자수, 상점판매액, 관광인구 등
공업용수	사업체수, 사업소 연상면적, 제2차산업취업자수, 제2차산업순생산액, 제 조품 출하액, 회수율 등

(日本 수도시설설계지침·해설(일본수도협회), 1990)

2.2 사용목적별 분석에 의한 추계

생활용수를 사용목적별로 세면, 화장실 등의 개인목적과 세탁, 취사 등의 세대 목적으로 크게 구분하여 실태조사에 따라 기초적 수량을 산출하고 이것에 물 사용기구의 보급율과 세탁 등의 물 사용회수, 급수인구, 세대수 등의 장래 추정치 등을 곱해서 사용목적별로 추계 하는 것이다. 따라서, 이 방법은 실제 생활에서 느낄 수 있는 것으로서 이해하기 쉬운 장점이 있지만 주로 생활용수의 예측에 적용된다.

표2. 생활용수의 사용목적별 계산식

목 적		목 적 별 물 사 용 량 계 산 식
세탁	세대	세탁기초수량(1/世·회)×세탁회수(회/日)×세탁기 보급률× 급수세대(世帶)
목욕	세대	주수기초수량(1/世·회)×목욕회수(회/日)×목욕탕 보급률× 급수세대(世帶)
	개인	입욕기초수량(1/人·회)×목욕회수(회/日)×목욕탕 보급률× 급수인구(人)
취사	세대	취사기초수량(1/世·회)×취사회수(회/日)×급수세대(世帶)
	개인	음료기초수량(1/人·회)×급수인구(人)
화장실	개인	화장실기초수량(1/人·회)×사용회수(회/日)×수세식화을× 급수인구(人)
세면	개인	세면기초수량(1/人·회)×세면회수(회/日)×급수인구(人)
기타	세대	散水기초수량(1/世·회)×散水회수(회/日)×1호당 건폐율× 급수세대(世帶)
	세대	청소기초수량(1/世·회)×청소회수(회/日)×급수세대(世帶)
	세대	세차기초수량(1/世·회)×세차회수(회/日)×자동차보급률× 급수세대(世帶)

(日本 수도실시설계지침·해설(일본수도협회), 1990)

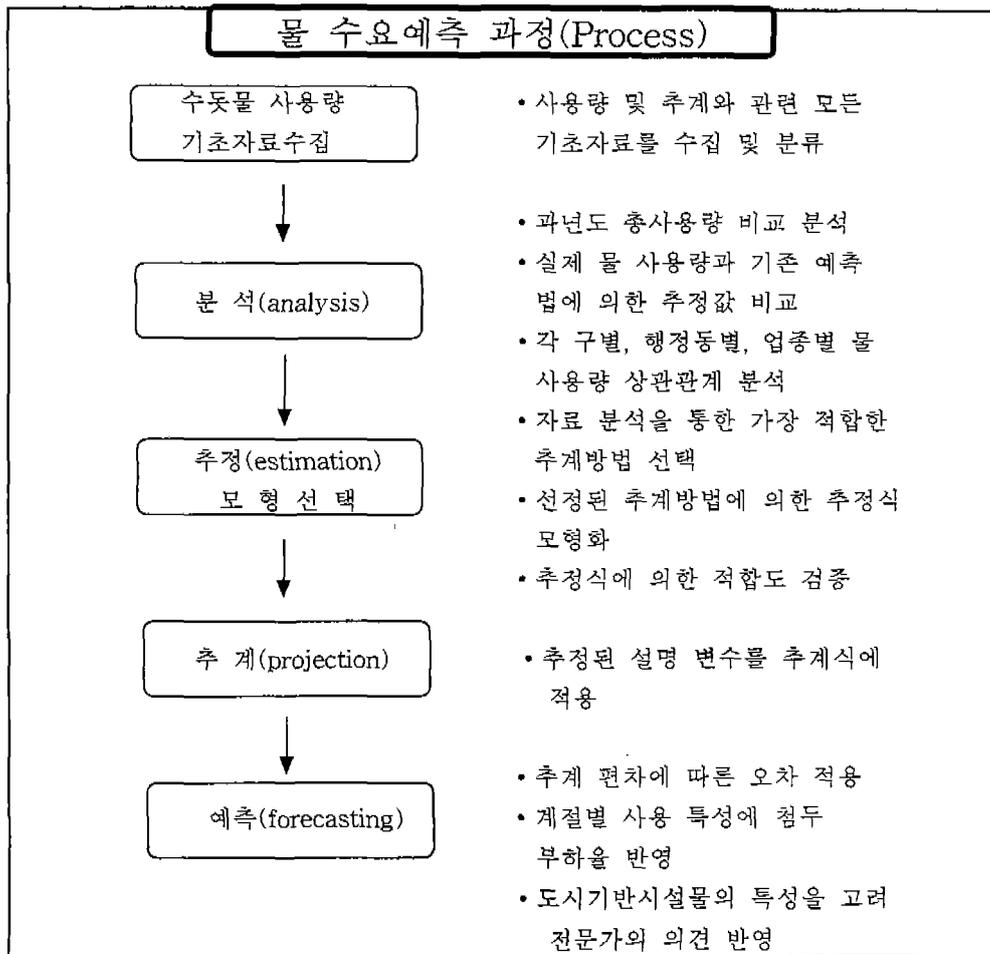


그림1. 물 수요예측 과정

2.3 추정식의 선택 (회귀분석)

서울시의 각 구별 전체 물 사용량 대비 영업용수 소비율을 분석한 결과(그림2) 영업용수 사용량이 도심지역에서 훨씬 많았다. 따라서, 기존의 원단위법으로는 상업화, 고밀도화된 도시지역에서의 물 사용량 중 큰 비중을 차지하는 영업용수에 대한 고려가 불가능하고, 거주인구 보다는 활동인구에 의해 소비되는 영업용수가 단순히 거주인구에 의해 분석 및 추계되었기 때문에 구별, 동별 수도물 사용량 추정값과 실제사용량을 비교한 결과 큰 차이가 있음을 알 수 있었다.

그러므로 본 기본계획에서는 물 사용량이라는 종속변수와 거주인구, 사업체종사자수(활동인구), 영업용수를 쓰는 건물연면적 등의 설명변수간의 상관관계를 통해 물 사용량을 예측할 수 있는 회귀분석 방법을 선택했다.

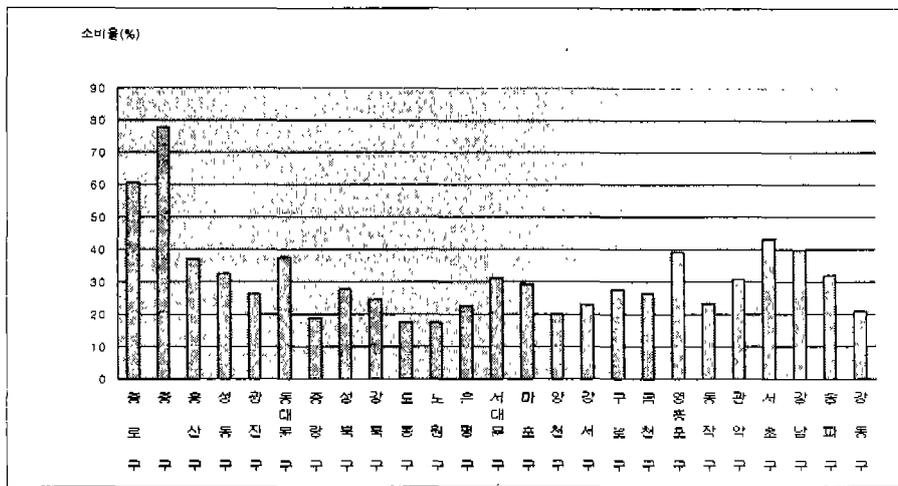


그림2. 각 구별 전체 물 사용량 대비 영업용수 소비율 비교 ('97년 기준)

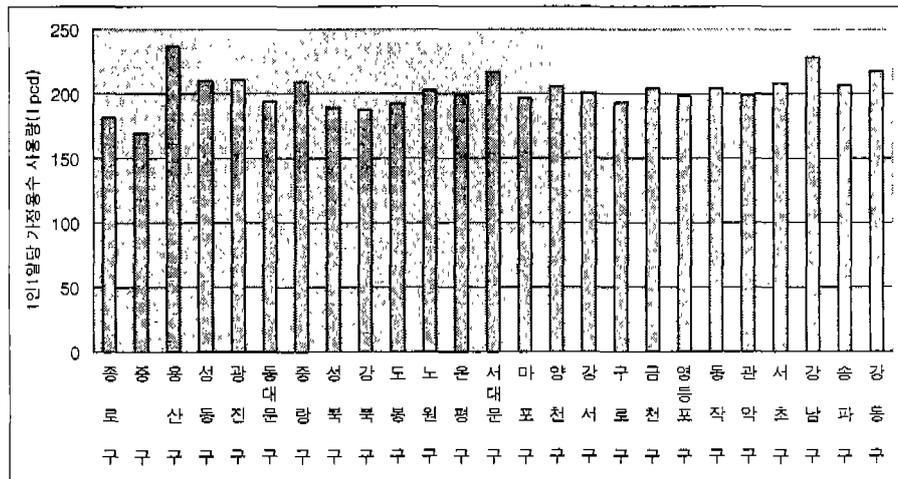


그림3. 각 구별 가정용수 사용량(lpcd) 비교 ('97년 기준)

3. 물 수요예측 회귀분석

3.1 물사용 영향인자 상관분석

기존의 서울시 수도정비기본계획에서는 서울시 전체에 대한 원 단위를 이용하여 추계했으나, 이는 각 지역별 수요특성을 잘 반영치 못하는 등의 문제가 있으므로 본 연구에는 구별로 상관분석을 실시하여 지역별특성이 될 수 있도록 하였다.

본 연구에서 적용한 자료는 구별 장래인구와 구별 사업체종사자수의 두 가지의 설명변수로 적용하였고, '95년 이후의 수돗물 사용량을 근거로 하여 다음과 같은 상관관계를 얻었다.

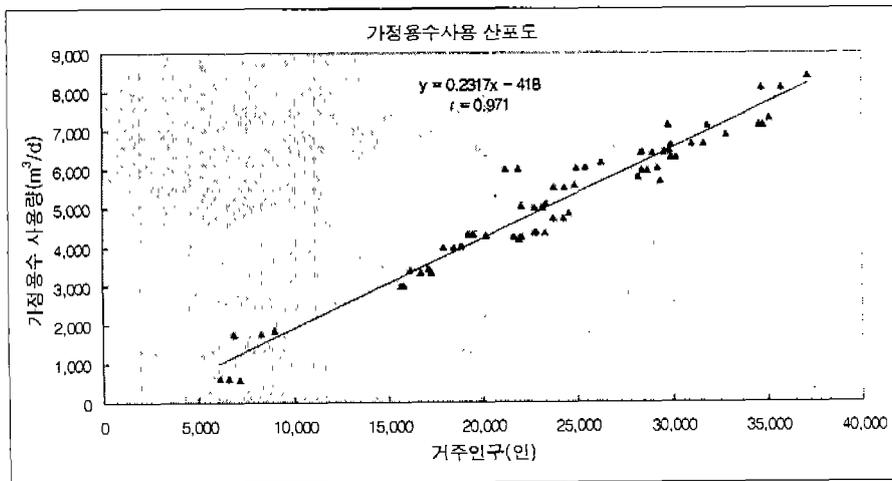


그림4. 거주인구와 가정용수사용량 상관관계 분석도 (예 : 강동구)

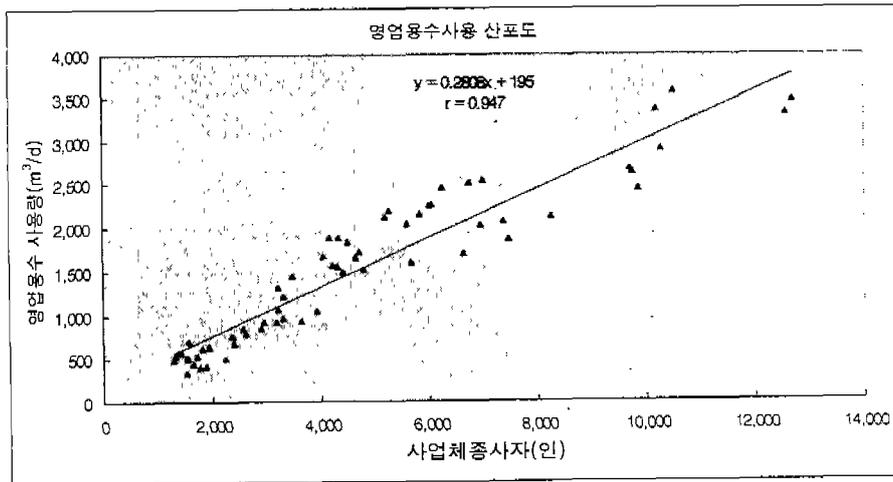


그림5. 사업체종사자수와 영업용수사용량 상관관계 분석도 (예 : 강동구)

표3. 각 구별 업종별 상관분석 결과

구 분	가정용수		영업용수	
	단순회귀식	거주인구 상관계수(r)	단순회귀식	사업체종사자수 상관계수(r)
종로구	Y= 0.2076X-260	0.962	Y= 0.1174X+1146	0.935
중구	Y= 0.1947X-211	0.985	Y= 0.1325X+1091	0.919
용산구	Y= 0.2495X-329	0.942	Y= 0.1203X+946	0.942
성동구	Y= 0.2265X-360	0.944	Y= 0.2195X+398	0.949
광진구	Y= 0.2074X-78	0.953	Y= 0.2212X+588	0.934
동대문구	Y= 0.1888X-20	0.952	Y= 0.1139X+1126	0.845
종로구	Y= 0.2150X-186	0.973	Y= 0.3058X-18	0.950
성북구	Y= 0.1826X-38	0.960	Y= 0.3411X+51	0.940
강북구	Y= 0.1886X-184	0.958	Y= 0.2649X+399	0.937
도봉구	Y= 0.1602X+849	0.940	Y= 0.1139X+1126	0.845
노원구	Y= 0.2118X-234	0.930	Y= 0.3607X-118	0.938
은평구	Y= 0.2257X-746	0.949	Y= 0.3389X+166	0.962
서대문구	Y= 0.1874X+190	0.961	Y= 0.4835X-217	0.973
마포구	Y= 0.2037X-139	0.991	Y= 0.1285X+667	0.921
양천구	Y= 0.1955X+200	0.935	Y= 0.1137X+785	0.917
강서구	Y= 0.1994X-22	0.976	Y= 0.2642X+140	0.909
구로구	Y= 0.185X+149	0.950	Y= 0.1409X+627	0.940
금천구	Y= 0.2120X-150	0.990	Y= 0.1063X+760	0.951
영등포구	Y= 0.2232X-420	0.983	Y= 0.0834X+1120	0.963
동작구	Y= 0.1936X+230	0.977	Y= 0.2174X+485	0.943
관악구	Y= 0.2110X-244	0.978	Y= 0.5139X-163	0.922
서초구	Y= 0.2482X-862	0.932	Y= 0.1421X+959	0.890
강남구	Y= 0.2271X-18	0.849	Y= 0.1410X+535	0.973
송파구	Y= 0.2022X+113	0.960	Y= 0.1699X+1222	0.925
강동구	Y= 0.2317X-418	0.971	Y= 0.2808X+195	0.947
평 균		0.956		0.931

주) 상관계수(r): 상관계수는 두 변수의 관계를 직선으로 표시할 때 그 밀접한 정도가 어느 만큼인가를 나타내주는 것으로서 +1부터 -1의 범위를 가진다.

3.2 물 수요 회귀모형 구축

행정구별 사용량을 가정용수와 영업용수로 구분하여 상관 분석한 결과 상관계수(r)는 표에서와 같이 가정용수 사용량은 거주인구(r:0.956), 영업용수 사용량은 사업체종사자수(r:0.931)가 물 소비를 가장 잘 대표 할 수 있는 인자로 확인되었고, 또한 과거 년도 들 사용량 자료 연한이 짧을 경우에는 회귀분석모형을 이용하는 것이 적합한 것으로 발표된 바 있어, 본 연구의 수돗물 수요예측은 중회귀 모형을 구축하여 추계하기로 했다.

표4. 각 구별 중회귀식과 결정계수(R²)

구 분	중 회 귀 식	결정계수 (R ²)	비 고
총 로 구	$Y = 0.2887X_1 + 0.1220X_2 + 66$	0.88	
중 구	$Y = 0.1634X_1 + 0.1263X_2 + 1266$	0.77	
용 산 구	$Y = 0.2530X_1 + 0.1111X_2 + 632$	0.77	
성 동 구	$Y = 0.2100X_1 + 0.2214X_2 + 302$	0.91	
광 진 구	$Y = 0.2117X_1 + 0.2277X_2 + 365$	0.90	
동대문구	$Y = 0.1869X_1 + 0.9346X_2 + 123$	0.93	
중 랑 구	$Y = 0.2123X_1 + 0.3277X_2 - 225$	0.95	
성 북 구	$Y = 0.1821X_1 + 1.0100X_2 - 41$	0.96	
강 북 구	$Y = 0.2093X_1 + 0.189X_2 + 8$	0.94	
도 봉 구	$Y = 0.1620X_1 + 0.1705X_2 + 1261$	0.91	
노 원 구	$Y = 0.1973X_1 + 0.369X_2 - 15$	0.88	
은 평 구	$Y = 0.2307X_1 + 0.3234X_2 - 647$	0.93	
서대문구	$Y = 0.1765X_1 + 0.5017X_2 + 110$	0.88	
마 포 구	$Y = 0.2158X_1 + 0.1231X_2 + 324$	0.96	
양 천 구	$Y = 0.2137X_1 + 0.0750X_2 + 685$	0.89	
강 서 구	$Y = 0.1946X_1 + 0.2511X_2 + 297$	0.91	
구 로 구	$Y = 0.1991X_1 + 0.1291X_2 + 565$	0.92	
금 천 구	$Y = 0.2309X_1 + 0.117X_2 + 142$	0.97	
영등포구	$Y = 0.1818X_1 + 0.0938X_2 + 1307$	0.97	
동 작 구	$Y = 0.1948X_1 + 0.9737X_2 + 241$	0.97	
관 악 구	$Y = 0.2239X_1 + 0.4952X_2 - 599$	0.91	
서 초 구	$Y = 0.2129X_1 + 0.1460X_2 + 823$	0.87	
강 남 구	$Y = 0.2751X_1 + 0.1354X_2 - 401$	0.93	
송 파 구	$Y = 0.2219X_1 + 0.1605X_2 + 907$	0.93	
강 동 구	$Y = 0.2440X_1 + 0.2511X_2 - 376$	0.94	
평 균		0.91	

주) 결정계수(R²): 종속변수인 구별 수돗물 사용량 추계를 설명변수인 거주인구(X₁)와 사업체종사자수(X₂)가 각각 설명해 주는 상관성의 비율(값은 0~1: 1에 가까울수록 상관성이 높음)

4. 결론

본 연구에서는 상수도 물수요예측을 물수요 변동과 관계가 깊은 사회·경제적 변동요인을 포함해서 회귀분석법을 이용하여 서울시 각 구별 장래수요예측을 실시하였다.

적용한결과 서울시의 각 구별 전체 물 사용량 대비 영업용수 소비율을 분석한 결과 영업용수 사용량이 도심지역에서 훨씬 많았다. 따라서, 기존의 원단위법으로는 상업화, 고밀도화된 도시지역에서의 물 사용량 중 큰 비중을 차지하는 영업용수에 대한 고려가 불가능하고, 거주인구 보다는 활 동인구에 의해 소비되는 영업용수가 단순히 거주인구에 의해 분석 및 추계되었기 때문에 구별, 동별 수돗물 사용량 추정값과 실제사용량을 비교한 결과 큰 차이가 있음을 알 수 있었다.

또한, 향후 과제로는 회귀분석에 필요한 과거 연도의 자료가 3년으로 짧은 만큼 향후 5년 정도 경과한 시점에는 본 계획의 수요예측에 대한 보정이 필요하다. 그 정도 시점이 되면 축적된 자료의 양이 충분하므로 보다 정확한 수요예측이 가능할 것이다.

아울러 향후 수요량 추계관련 자료 뿐만 아니라 각종 자료들에 관한 데이터베이스 구축이 필수적이다.

최근 수요예측과 관련 새로운 기법들이 활발히 논의되고 있으므로, 생활양식이 다양한 도시지역의 보다 정확한 상수도 수요예측을 위해서는 종전에 일반적으로 사용하던 예측기법들에서 벗어나 보다 과학적인 수요예측 방법에 대해 관심을 갖고 연구 및 투자를 제고해야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 1) 구자용, "도시의 재개발 계획에 따른 장기 물 수요 예측과 수리학적 검증에 관한 연구", 대한환경공학회지, 1999.
- 2) 서울특별시 수도정비기본계획, 서울특별시상수도사업본부 2000.
- 3) 具滋葦, 小泉明, 稻員トヨノ, "급수량 단기 수요예측에 대한 연구", 대한 상하수도 학회지, 제11권, 제1호, pp.109~118, 1997.
- 4) 서울 도심부 하부기반시설의 수용용량분석, 서울시립대학교 도시과학연구원 환경공학센터 1998.
- 5) 제37회 서울통계연보, 서울특별시 1997.
- 6) '97급수현황, 서울시 상수도사업본부 급수부 1997.
- 7) 서울 도심부 현황자료집, 서울시정개발연구원 도시계획연구부 1998.
- 8) 96년 97년 동별-용도별 수도사용량, 서울시 중부 수도사업소 1998.
- 9) 岩井重久, 水質 Data의 統計的 解析, 森北 出版株式會社, pp.52~93 1986.
- 10) Lewis A. Rossman, EPANET USERS MANUAL ver 1.1, EPA, 1994.