

단순회귀모형을 이용한 인구와 도시적 토지이용이 팔당호 수질에 미치는 영향 분석

김상단[†] · 송미영 · 이기영 · 이성룡^{*}

경기개발연구원 환경정책연구부

^{*}경기개발연구원 도시·지역계획연구부

Analysis for the Effect of Population and Urban Land use on the Water Quality in Paldang Lake Using Simple Regression Model.

Kim, Sangdan[†] · Song, Mee Yong · Lee, Ki Young · Lee, Seong-Ryong^{*}

Department of Environmental Policy, Gyeonggi Research Institute

^{*}Department of Urban and Regional Planning, Gyeonggi Research Institute

(Received 11 October 2004, Accepted 27 October 2004)

Abstract : In this study, a simple regression model is proposed in order to analyse the effect of population and urban land use on the water quality of Paldang lake, Gyeonggi. As a comparison result with Qual2E water quality model, the proposed model shows very good predicting performance in simulating several alternative scenarios. In order to accomplish BOD 1ppm of Paldang lake, various model applications show that the population incoming and urban land use management should be afoot in addition to stricter outflow water quality from sewer treatment systems.

keywords : Population, Urban land use, Qual2E

1. 서론

팔당호는 1966년부터 1974년에 걸쳐 발전 및 용수공급을 목적으로 건설된 인공호수로 한강유역의 북한강과 남한강 및 경안천의 합류지점에 위치하고 있으며 1일 2,965만^m의 물이 유입되고 있다. 팔당호는 4개의 취수용량을 가지고 있고, 팔당댐 하류와 잠실수중보 상류구간에는 11개 취수 시설이 있는데 그 시설용량은 각 764만^m/일, 786만^m/일로 전 취수시설에서 1일 797만^m을 취수하여 서울시, 인천시를 비롯한 경기도의 2000만 인구에 공급하고 있다.

한강수계의 수질보전을 위해 1975년 7월 팔당 상수원보호구역이 지정된 이래, 상수원보호구역에 대한 엄격한 규제에 의하여 비교적 청정한 상태를 유지해 왔으나, 대략 10여년 전부터 팔당 상수원지역에 농지와 산지의 개발과 같은 토지이용과 건축규제의 완화에 따른 음식점과 여관 등의 위락시설들이 대량으로 들어서면서 수질오염이 가시화되기 시작하였다.

이에 정부에서는 1999년 9월에는 「한강상수원수질개선평민지원등에관한법률」 제4조에 근거하여 수변구역을 지정하여 건축물의 신축 등 오염원의 입지제한과 어로행위, 야외취사, 쓰레기 투기 등 각종 수질오염행위를 엄격히 금지하였으나 이와 같은 입지 규제에도 불구하고 지난 10년간 연평균 4.2%의 인구증가 추세를 보이고 있다(한강물환

경연구소, 2003). 같은 기간 전국의 인구증가율이 연평균 0.6%이고, 경기도 시군의 인구증가율이 연평균 3.8% 수준임을 감안할 때 인구유입이 적절히 억제되지 못하였음을 확인할 수 있다. 특히, 팔당호 유입하천인 경안천 유역은 서울지역과 인접해 있어 준농림지 아파트 개발 등으로 연평균 7.5%씩 인구가 급격하게 증가하였다. 향후 계획되어 있는 도로망 및 철도 신설 등 교통시설의 확충은 지역간 이동성을 증대시키고 서울과의 접근성을 강화시켜 인구 유입이 가속화될 것으로 예상된다.

인구유입과 더불어서 팔당호의 수질에 막대한 영향을 미치는 요소로는 도시적 토지이용 면적의 증가를 들 수 있다. 사실 인구 유입과 도시적 토지이용 면적의 증가는 서로 불가분의 관례로서, 97년 자료를 기준으로 보면 90년에 비해 팔당호 주변지역의 숙박·음식점은 2.9배, 공장은 2.6배, 아파트는 약 11.8배 정도 증가하여 팔당호 수질관리에 큰 위협이 되고 있음을 알 수 있다. 이는 현재까지 팔당상수원 보호를 위한 규제는 일정규모 이상의 오염원 입지를 제한하는 면적위주의 규제가 중심이었다는데 기인하는데, 이러한 면적위주의 규제가 팔당 상수원 근접지역에 규제미만의 소규모 우사, 축사 등이 밀집하여 상수원 수질오염을 가중시켰다고 할 수 있다. 따라서 이와 같은 면적위주의 규제는 규제미만의 소규모 음식점, 숙박시설, 축사를 양산함으로써 상수원 수질오염을 가중시키는 결과를 초래하였을 뿐 아니라 결과적으로 난개발을 조장하여 계획적인 지역발전이 결핍되어왔다(환경부, 2000).

위와 같이 현재 및 장래의 수질에 영향을 미치는 주 영

[†] To whom correspondence should be addressed.

skim@gri.re.kr

3. 모형구축

팔당 상류 7개 시군의 2016년까지의 계획을 수질에 대한 영향 정도의 관점에서 살펴보았을 때, 인구의 증가와 대지 및 도로로 대변되는 도시면적의 증가가 가장 중요하게 부각되었다. 이는 팔당 상류 7개 시군의 경우에는 팔당상수원 보호와 관련된 많은 규제로 인하여 축산업이나 기타 수질오염유발산업이 대규모로 입지할 수 있는 여건이 조성되기 어렵기 때문에, 결과적으로 인구와 도시면적의 증가(2002년 대비 2016년에는 인구 60%증가, 도시면적 30%증가 계획)가 팔당호의 수질을 악화시키는 주 원인으로 작용할 것으로 예상됨을 반영한 것이다. 2016년을 기준으로 팔당 상류 7개 시군의 계획을 그대로 수용하였을 경우 예상되는 BOD 배출부하량과 이러한 경우의 인구 및 도시면적과의 관계를 도시하면 아래 Fig. 2와 3과 같다.

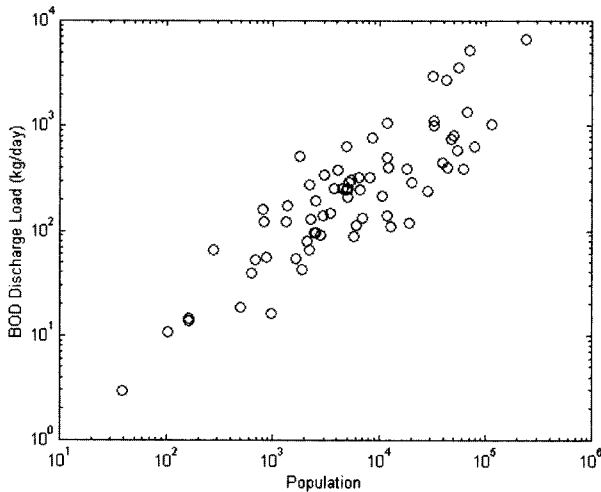


Fig. 2. BOD loading and population.

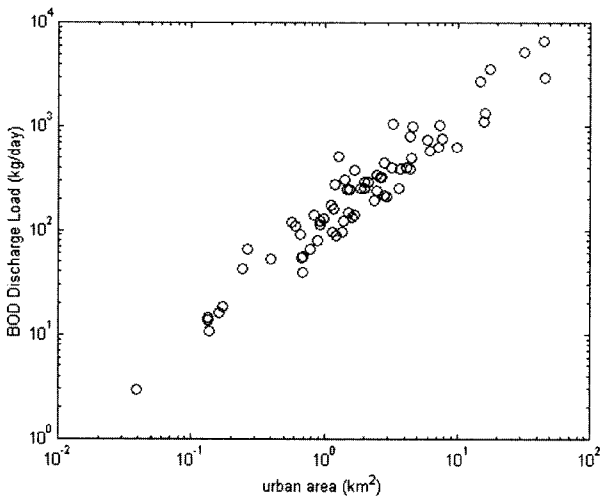


Fig. 3. BOD loading and urban area.

위 Fig.에서 알 수 있듯이 인구와 배출부하량과의 상관관계수는 0.88, 도시적 토지이용면적과 배출부하량과의 상관관계는 0.96 등 인구와 도시면적은 해당 배수구역에서 배출

되는 오염물의 배출부하량과 매우 밀접한 관계를 맺고 있다. 이를 바탕으로 인구-도시면적과 배출부하량의 관계를 회귀분석하면 아래 Fig. 4를 얻을 수 있다.

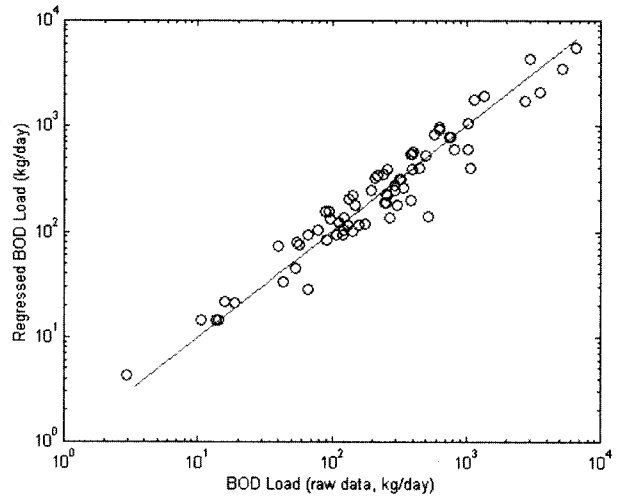


Fig. 4. Population - urban area - BOD loading.

따라서, 아래와 같은 통계모형을 최종적으로 구축될 수 있다.

$$B_i = P_i^{0.59794} \times U_i^{0.30845} \quad (1)$$

여기서 B 는 2016년까지의 팔당상류 7개시군의 계획을 그대로 수용하였을 경우에 소유역 i 에서의 배출되는 배출 오염부하량(kg/일), P 는 인구수(인), U 는 도시적 토지이용면적(km²)을 의미한다. 참고로 각 변수들의 유의성을 검사하기 위한 t -검정 결과 5%수준에서 모두 유의한 것으로 나타났다.

지금까지 구축된 모형은 일단 2016년까지의 시군계획을 모두 반영한 상태의 자료를 이용하여 구축한 것이었고, 이를 편이상 시나리오 1이라 한다. 그러나, 오염총량관리제의 실시 등으로 각 시군들은 모두 하수종말처리장에서의 방류수 수질농도를 현행 BOD 10~20 ppm 수준에서 5ppm 수준으로 수질기준을 강화시켜 방류할 계획을 하고 있으므로, 이를 반영하여 모형을 구축하면 아래와 같은 결과를 얻을 수 있으며, 이를 시나리오 2라 한다.

$$B_i = P_i^{0.60992} \times U_i^{0.21076} \quad (2)$$

4. 적용결과

먼저 본 연구에서 제안된 배출부하량의 산정을 위한 회귀모형의 적절성을 평가하기 위하여 Qula2E 수질모형과의 비교를 실시하였다. Fig. 5는 Qual2E 수질모형의 실행을 위한 수리모식도를 보여주고 있다.

Fig. 6은 배출부하량 산정지침을 엄격히 준수하면서 구한 배출부하량으로부터 구한 수질을 입력자료로 사용하였을

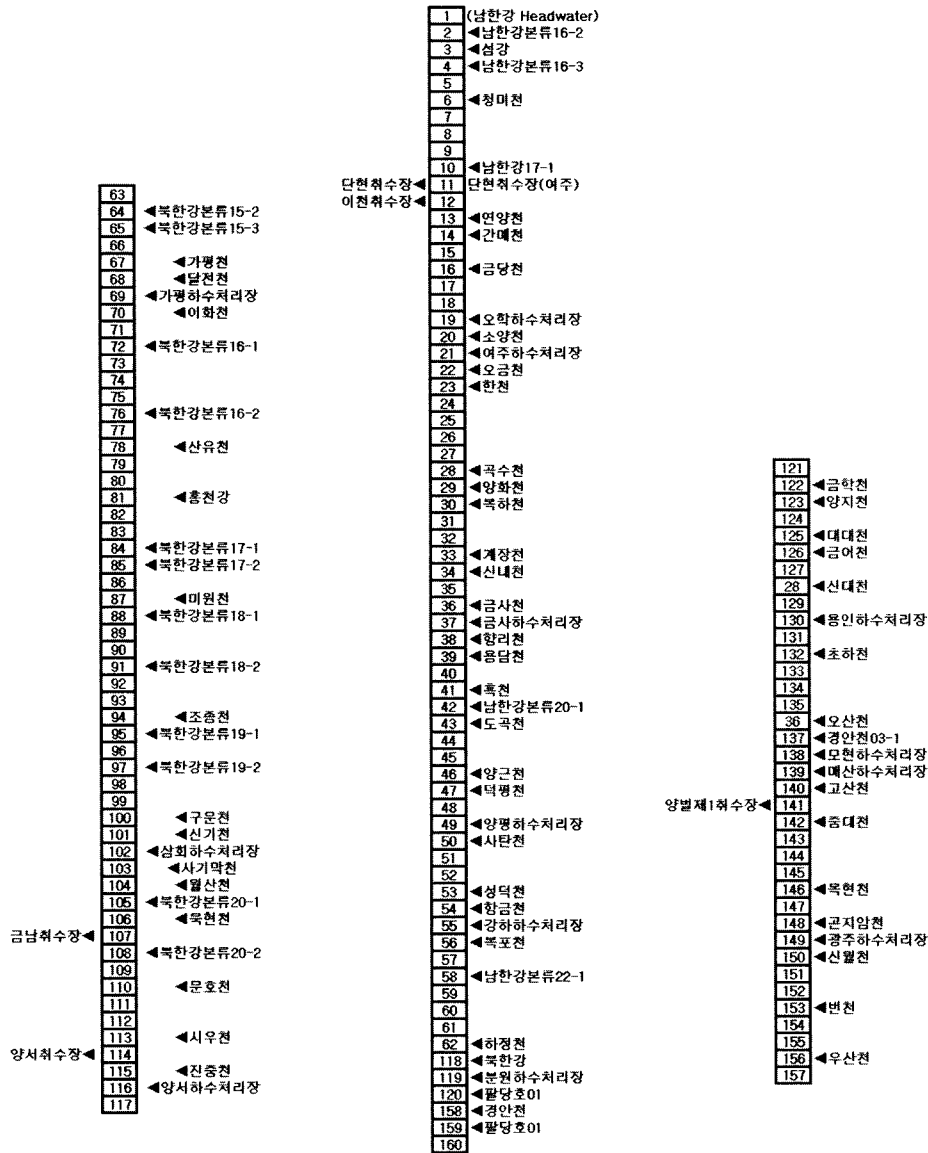


Fig. 5. Qual2E segment division.

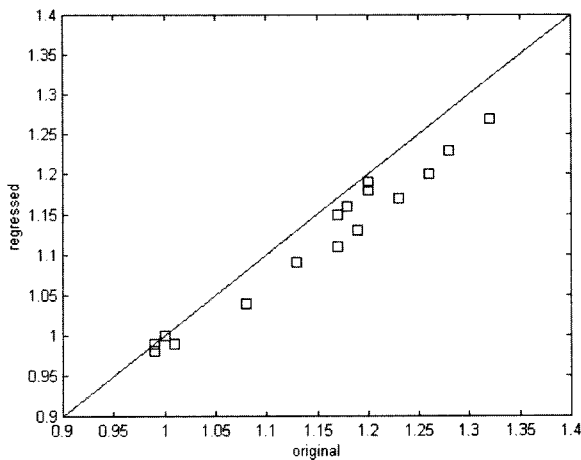


Fig. 6. Applicability of proposed model.

때의 본류(본 연구의 경우 본류는 남한강, 북한강, 경안천)의 Qual2E 수질예측 결과(Fig. 6에서 Original)와 본 연구에

서 제안된 간단한 회귀모형을 통하여 구한 배출부하량으로부터 산정된 수질을 입력자료로 사용하였을 때의 본류의 Qual2E 수질예측 결과(Fig. 6에서 Regressed)를 보여주고 있다. Fig. 6에서는 2016년 각 시군계획을 기준으로 인구를 20% 감소하였을 경우에 대한 일부 결과를 도시하였다.

Fig. 6에 나타난 바와 같이 제안된 모형은 배출부하량 산정지침을 엄격히 준수하면서 구한 배출부하량보다 회귀모형으로 구한 배출부하량이 다소 작은 값을 주고 있음을 알 수 있다. 그러나, 계획 하나하나마다의 배출부하량을 산정하는데 걸리는 시간과 작업량을 생각해 본다면 본 연구에서 제안된 회귀모형에 의한 배출부하량 산정은 일정정도의 정확도를 갖는 상태에서 다양한 계획들을 손쉽게 입안하여 수질을 예측할 수 있다는 장점을 갖게 된다. 실제로 인구 10% 감소시의 배출부하량을 재산정하려면 기본적인 자료가 모두 갖추어졌다 하더라도 대략적으로 2~3일의 작업시간이 필요한 반면, 제안된 회귀모형은 단 몇십 분이면

산정이 가능하기 때문이다.

이와 같이 구축된 회귀모형이 특정 유역 출구부분에서의 목표수질 달성을 위한 인구와 토지이용의 효율적인 관리방안에 어떻게 이용되는가에 대한 예시로 경안천 지류 중 하나인 곤지암천을 대상으로 하면 아래와 같다.

먼저 배출부하량을 수질로 환산하기 위하여 곤지암천 유역의 유량 및 유달율을 고려한 결과, 2016년 시나리오 1 계획을 기준으로 아래와 같은 수질예측모형을 구성할 수 있다.

$$BOD = 0.0016441 \times P^{0.59794} \times U^{0.30845} \quad (3)$$

여기서 BOD는 BOD 수질(ppm), P는 경안천 유역의 인구수, U는 도시적 토지이용면적(km²)이다. 또한 만약 시나리오 2를 기준으로 한다면 다음과 같은 수질예측모형이 구성된다.

$$BOD = 0.0016527 \times P^{0.60992} \times U^{0.21076} \quad (4)$$

Fig. 7은 위 모형으로부터 구성된 등수질선을 보여주고 있다. Fig. 7에서 S1이란 시나리오 1을 의미하며, 본 연구에서는 곤지암천의 수질이 시나리오 1에서는 3.0ppm으로 예측되었다. 즉, Fig. 7에서 S1-3.0ppm 선은 BOD 수질이 3.0ppm이 되는 인구 및 도시적 토지이용면적의 조합을 보여주는 것을 의미한다. 이 때, 만약 곤지암천의 목표수질이 2.5ppm이라면 이에 해당하는 등수질곡선이 S1-2.5ppm이다. 따라서, 목표수질을 달성하려면 S1-2.5ppm 등수질선 보다 아래쪽의 인구 및 도시적 토지이용면적으로 유역을 관리해야 한다는 것을 보여주고 있다. 이 때, 만약 시나리오 2의 조건을 적용할 경우에는 등수질선 S2-2.5ppm이 새로운 목표수질 달성 조합이 되어, 목표수질 달성을 위한 등수질선이 시나리오 1의 경우보다 위 쪽으로 상승함을 알 수 있다. 이는 시나리오 1보다 더 많은 인구와 도시적 토지이용면적을 수용할 수 있음을 의미하며, 따라서 하수종말처리장의 방류수 수질조건을 5ppm으로 강화시킬 경우 추가적인

개발여지가 생김을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 팔당댐 상류 경기도 지역을 대상으로 하여 인구와 도시적 토지이용이 수질에 어떠한 영향을 미치는지에 관한 분석을 위하여 간단한 회귀모형이 제안되었다. 제안된 모형은 Qual2E 수질모형과의 비교를 통하여 그 적용성을 분석한 결과, 간단한 사전모의정도를 수행하는데는 실무적으로 매우 우수한 예측결과를 부여하고 있다. 또한, 제안된 모형을 통하여 얻는 분석결과 팔당 상수원의 BOD 1급수 달성을 위해서는 하수종말처리장의 방류수 수질농도를 현재보다 대폭 강화하는 것 뿐만 아니라 인구유입관리 및 도시적 토지이용에 대한 적절한 관리가 병행으로 추진되어야 함을 알 수 있었다. 이러한 회귀모형 적용의 장점으로는 어느 정도의 정확성을 유지하면서 배출부하량을 간단하게 산정할 수 있다는데 있다. 즉, 기존의 배출부하산정 방법은 과도한 작업량으로 인하여 다양한 계획을 입안하여 수질을 예측하기가 매우 어려운 점이 있었으나, 제안된 모형을 통하여 다양한 계획에 대한 수질 영향을 즉각적으로 살펴볼 수 있었다. 또한, 특정 배수구역의 목표수질을 달성하는데 있어서 인구와 도시면적의 적절한 조합을 제시함으로써 보다 합리적인 유역관리를 도출하는데 기여할 것으로 판단된다.

참고문헌

경기도, 통계연보 2000 (2000).
 안상진, 김건홍, 연인성, 김기석, 남한강 유역관리를 위한 수질 분석 및 모의, *한국수자원학회 학술발표회 논문집*, pp. 365-368 (2003).
 오경두, 전병호, 이흥근, 백도현, 북한강 수역 수질관리를 위한 QUAL2E 모형의 적용, *대한토목학회 논문집*, 16(2-3), pp. 209-217 (1996).
 전경수, 이길성, 영향계수를 이용한 Qual2E 모형의 반응계수 추정, *대한토목학회 논문집*, 13(4), pp. 163-176 (1993).
 한강물환경연구소, 오염원 변화 예측 및 분석 (2003).
 환경부, 한강오염총량관리제 시행방안 연구 (2000).
 Mueller, D.K., Ruddy, B.C. and Battaglin, W.A., Logistic model of nitrate in streams of the upper-midwestern United States, *J. Environ. Qual.*, 26, pp. 1223-1230 (1997).
 National Research Council, National water quality assessment program: The challenge of national synthesis, National Academy Press, Washington, D.C. (1994).
 Smith R.A., Schwarz, G.E. and Alexander R.B, Regional interpretation of water-quality monitoring data, *Water Resour. Res.*, 33(12), pp. 2781-2798 (1997).

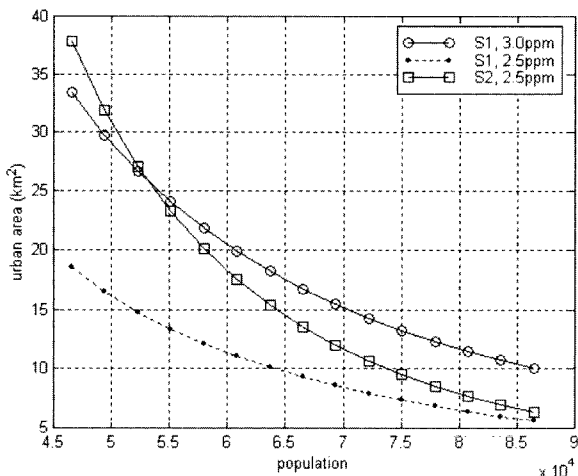


Fig. 7. Iso-water quality curve.