

도시 유역 관리를 위한 통합적인 접근방법

Integrated Approach for Watershed Management in an Urban Area

이 길 성* / 정 은 성** / 김 영 오***

Lee, Kil Seong / Chung, Eun-Sung / Kim, Young-Oh

Abstract

Heathcote (1998) identified a systematic, seven-step approach to general watershed planning and management. It consists of 1) understanding watershed components and processes, 2) identifying and ranking problems to be solved, 3) setting clear and specific goals, 4) developing a list of management options, 5) eliminating infeasible options 6) testing the effectiveness of remaining feasible options, and 7) developing the final options. In this study the first five steps of that process were applied to the Anyangcheon watershed in Korea, which experiences streamflow depletion, frequent flood damages, and poor water quality typical of highly urbanized watersheds. This study employed four indices: Potential Flood Damage(PFD), Potential Streamflow Depletion(PSD), Potential Water Quality Deterioration(PWQD) and Watershed Evaluation Index(WEI) to identify and quantify problems within the watershed. WEI is the integration index of the others. Composite programming which is a method of multi-criteria decision making is applied for the calculation of PSD, PWQD and WEI (Step 2). The primary goal of the study is to secure instreamflow in the Anyangcheon during dry seasons. The second management goals of flood damage mitigation and water quality enhancement are also set (Step 3). Management options include not only structural measures that can alter the existing conditions, but also nonstructural measures that rely on changes in human behavior or management practices (Step 4). Certain management options which are not technically, economically, and environmentally feasible, are eliminated (Step 5). Therefore, this study addresses a pre-feasibility study, which established a master plan using Steps 1 through 5.

keywords : Anyangcheon watershed, integrated watershed management, watershed evaluation index, pre-feasibility study

요 지

유역통합관리의 이론을 적용한 의사결정지원 시스템을 구축하기 위해서는 Heathcote (1998)가 제안한 다음과 같은 7단계를 수행하는 것이 바람직하다. 단계별 절차는 (1) 대상유역에 대한 정보수집, (2) 문제점 도출 및 우선 순위의 결정, (3) 분명하고 구체적인 목표의 설정, (4) 모든 대안의 제시, (5) 가능한 대안의 선별, (6) 선별된 대안의 효과분석, (7) 최종대안의 수립으로 이루어져 있으며 본 연구는 1~5단계의 과정에 해당된다. 1단계에서는 유역의 물순환에 대해 현장답사 및 문헌조사 등을 통하여 구체적이고 정량적인 정보를 수집하였으며 2단계에서는 중

* 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 교수
Professor, Dept. of Civil, Urban & Geosystem Engrg., Seoul National Univ., Seoul 151-742, Korea
(e-mail: kilselee@snu.ac.kr)

** 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 박사수료
PhD Candidate, Dept. of Civil, Urban & Geosystem Engrg., Seoul National Univ., Seoul 151-742, Korea
(e-mail: cool77@snu.ac.kr)

*** 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 조교수
Associate Professor, Dept. of Civil, Urban & Geosystem Engrg., Seoul National Univ., Seoul 151-742, Korea
(e-mail: yokim05@snu.ac.kr)

유역 별로 다양한 지수(홍수피해 잠재능, 건천화 잠재능, 수질오염 잠재능) 및 유역평가 지수를 이용하여 치수, 이수, 수질 측면에서 각각 또는 종합적으로 문제가 되는 중유역을 도출하였다. 3단계에서는 유역통합관리 측면에서 우선적으로 고려되어야 할 중유역을 제시하였으며 이를 해결하기 위한 핵심목표를 건천화 방지로 선정하였고 수질개선, 홍수피해 저감의 효과도 고려하는 것으로 하였다. 4단계에서는 이를 위한 구조적, 비구조적 방안을 포함하는 대안들을 제시하였으며 5단계에서는 남아있는 대안에 대해 기술적, 경제적, 환경적 가능성 등을 정성적으로 파악하여 실현가능한 대안들을 선별하였다. 이렇게 선별된 대안들을 중유역 별로 필요성 및 가능성을 검토하여 구체적인 예비타당성 계획을 수립하였다.

핵심용어 : 안양천 유역, 유역통합관리, 유역평가지수, 예비타당성 계획

1. 서론

국내·외의 도시 유역은 급격한 도시화에 따른 불투수 지역과 지하수 이용 증가로 인한 기저유출(baseflow)의 감소, 상류 저수지의 농업용수를 위한 방류량 감소, 합류식 하수관거로 인한 우수회귀 손실 등으로 일부 하천에는 갈수기 하천유량이 현저히 감소하고 있다. 심명필(2003)은 국내 지방2급 이상 하천을 대상으로 건천여부를 조사한 결과 3773개 중 543개, 약 14.4%가 건기에 하천이 매말라 있음을 보였다. 건천화에 따른 유지유량(instreamflow requirement)의 부족은 하천수질의 악화, 하천주변 생태계의 파괴 등 하천의 정상적인 기능을 저해하는 문제를 초래하고 있다. 또한 홍수시 직접유출량 및 침투홍수량의 증가, 침투 도달시간의 감소, 합류식 하수관거의 월류수(Combined Sewer Overflows, CSOs)로 인한 수질오염 등 강우시에 발생하는 문제도 심각하다. 따라서 도시화로 인한 물순환 파괴를 치수, 이수, 수질 측면에서 종합적으로 분석하고 이를 정상화하기 위한 체계적이고 통합적인 유역관리 기술이 요구된다.

최근 치수에 대한 관심이 높아지면서 심명필(2004)은 유역의 통합적인 치수관리를 위해 치수사업에 대한 경제성평가와 투자우선순위 결정을 위한 현실적인 분석 방법 등을 포함한 종합지침서를 제시하였다. 하지만 아직까지 치수, 이수, 수질을 모두 포함하는 유역통합관리(Integrated Watershed Management, IWM)를 위한 구체적인 이론 및 적용방법에 대해서 연구된 바는 거의 없다. 따라서 본 연구에서는 유역통합관리 이론을 적용하여 의사결정지원 시스템(Decision Support System, DSS)을 구축하기 위한 사전 단계를 수행하였다.

유역통합관리의 이론을 실제로 적용할 수 있는 계획을 세우기 위해서는 Heathcote(1998)가 제안한 Fig. 1과 같은 단계별 절차를 수행하는 것이 바람직하다. 단계별 절차는 1) 대상유역에 대한 정보수집, (2) 문제점 도출 및 우선순위의 결정, (3) 분명하고 구체적인 목표의 설정, (4) 모든 대안의 제시, (5) 가능한 대안의 선별, (6) 선별된 대안의 효과분석, (7) 최종대안의 수립으로 이루어져 있는데 본 연구는 1~5단계의 과정에 해당되며 이

를 통해 예비타당성 계획을 수립하였다. 이렇게 수립된 예비 타당성 계획은 향후 6단계의 컴퓨터 시뮬레이션 모형을 이용한 정밀한 효과분석을 통하여 7단계 최종대안의 수립에 이용될 수 있다.

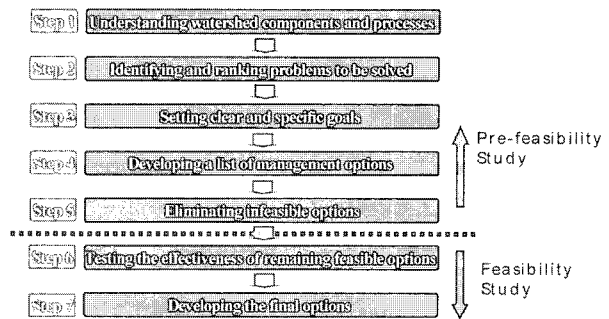


Fig. 1. Procedure of Integrated Watershed Management

2. 연구내용

2.1 대상유역에 대한 정보수집

안양천은 국가하천이며 한강의 제1지류로서 경기도 의왕시 백운산자락에서 발원하여 북류하면서 군포시를 경유 안양시 도심을 중심으로 관류하여 광명시, 서울시의 영등포구, 구로구, 양천구, 강서구 등을 거쳐 한강에 유입되는 하천이다. 유역의 위치는 서울의 남서쪽으로 동경 126° 47' ~ 127° 04', 북위 37° 18' ~ 37° 33'이며 유역면적은 286.55 km²이다. 상류로부터는 경기도의 7개시(의왕, 군포, 과천, 안양, 시흥, 광명, 부천시)와 하류로는 서울시의 7개구(관악, 금천, 동작, 구로, 영등포, 양천, 강서구)를 포함하고 있다. 안양천 유역은 Fig. 2와 같이 최근 25년간 고도로 도시화되어 1975년 16.4%였던 시가화 지역이 2000년에는 43.0%로 증가하였으며 현재도 지속적으로 증가하고 있다. 안양천 유역은 11개의 제1지류와 9개의 제2지류 지방2급 하천을 포함하고 있으며 이러한 하천망과 DEM, 우수관거를 고려하여 21개(1개는 본류유역)의 중유역을 구분하면 Fig. 3과 같다. 각 중유역에 대한 2000년도 유로연장 및 유역면적, 토지이용현황, 인구 및 인구밀도를 나타내면

Table 1과 같다.

2.2 문제점 도출 및 우선순위의 결정

2.2.1 치수

치수 측면에서 각 증유역의 현황을 종합적으로 제시할 수 있는 지표로는 현재 홍수피해잠재능(Potential Flood Damage, PFD)이 사용되고 있다. 이는 수문요소

뿐만 아니라 사회경제적인 요소까지 포괄하여 특정 치수단위구역의 홍수에 대한 잠재적인 피해 취약도를 나타내는 지수이다. ‘수자원장기종합계획(한국건설기술연구원, 2001a)’에서 처음 소개되었으며 기존의 “선” 개념이 아닌 “면” 개념을 도입한 유역별 치수특성과 투자 우선순위를 나타내는 지표로서 유역의 치수안전도를 나타내는 대안으로 활용될 수 있다 (김정훈, 2004).

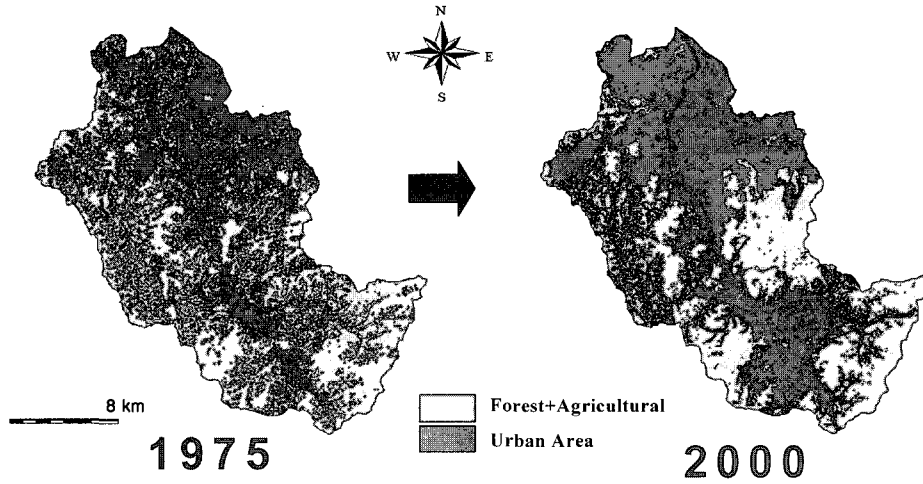


Fig. 2. Changes of Landuses



Fig. 3. Subwatershed Map

Table 1. Characteristics of the Anyangcheon Subwatersheds (2000)

| Stream orders | Category | | Stream length (km) ¹⁾ | Water-shed area (km ²) | Population | | Landuse ²⁾ | | | | | | | | | |
|---------------|-------------|-----|----------------------------------|------------------------------------|---|--|-------------------------|-----------|-------------------------|-----------|-------------------------|-----------|-------------------------|-----------|-------------------------|-----------|
| | | | | | Total population (person) ³⁾ | Population density (person/km ²) | Urban | | Forest | | Rice paddy | | Dry field | | Others ⁴⁾ | |
| | | | | | | | Area (km ²) | Ratio (%) | Area (km ²) | Ratio (%) | Area (km ²) | Ratio (%) | Area (km ²) | Ratio (%) | Area (km ²) | Ratio (%) |
| 1-2-3 | Main | AY | 32.38 | 286.55 | 3,876,278 | 13,527 | 123.31 | 43.03 | 114.03 | 39.79 | 24.85 | 8.67 | 12.265 | 4.28 | 12.10 | 4.22 |
| 1 | Wanggok | WG | 3.82 | 3.78 | 7,484 | 1,980 | 0.26 | 6.96 | 3.08 | 81.51 | 0.14 | 3.79 | 0.2127 | 5.64 | 0.08 | 2.11 |
| 1 | Ojeon | OG | 2.85 | 4.26 | 26,370 | 6,190 | 0.33 | 7.65 | 3.30 | 77.48 | 0.32 | 7.56 | 0.1630 | 3.82 | 0.15 | 3.49 |
| 1 | Dangjeong | DJ | 4.02 | 5.33 | 84,930 | 15,934 | 3.04 | 57.09 | 1.48 | 27.73 | 0.37 | 6.87 | 0.2316 | 4.34 | 0.21 | 3.97 |
| 1 | Sanbon | SB1 | 4.32 | 10.30 | 132,390 | 12,853 | 4.15 | 40.34 | 4.99 | 48.49 | 0.59 | 5.69 | 0.3568 | 3.46 | 0.21 | 2.02 |
| 1-2 | Hakwui | HW | 9.26 | 44.55 | 311,709 | 6,997 | 10.16 | 22.82 | 25.60 | 57.47 | 4.33 | 9.71 | 2.6699 | 5.99 | 1.79 | 4.01 |
| 1 | Cheonggyesa | CGS | 4.80 | 6.87 | 1,672 | 243 | 0.24 | 3.45 | 5.62 | 81.73 | 0.34 | 4.94 | 0.4072 | 5.92 | 0.27 | 3.95 |
| 1 | Galhyun | GH | 2.50 | 4.11 | 17,270 | 4,202 | 0.45 | 10.95 | 2.22 | 53.99 | 0.88 | 21.31 | 0.3243 | 7.88 | 0.24 | 5.87 |
| 1 | Suam | SA | 5.50 | 8.07 | 49,960 | 6,191 | 1.52 | 18.90 | 5.86 | 72.61 | 0.29 | 3.55 | 0.2211 | 2.74 | 0.18 | 2.20 |
| 1-2 | Samseong | SS | 5.30 | 13.18 | 45,476 | 3,450 | 1.04 | 7.88 | 10.97 | 83.21 | 0.42 | 3.18 | 0.2560 | 1.94 | 0.50 | 3.79 |
| 1 | Sammak | SM | 3.50 | 5.39 | 9,801 | 1,818 | 0.69 | 12.76 | 3.83 | 71.17 | 0.30 | 5.60 | 0.1379 | 2.56 | 0.43 | 7.91 |
| 1 | Sambong | SB2 | 2.76 | 4.59 | 23,695 | 5,162 | 0.53 | 11.52 | 3.16 | 68.91 | 0.29 | 6.30 | 0.2374 | 5.18 | 0.37 | 8.09 |
| 1 | Siheung | SH | 2.68 | 3.26 | 109,364 | 33,547 | 1.48 | 45.31 | 1.50 | 46.15 | 0.15 | 4.73 | 0.0668 | 2.05 | 0.06 | 1.77 |
| 1-2 | Mokgam | MK | 13.52 | 56.07 | 473,077 | 8,437 | 17.82 | 31.71 | 19.92 | 35.44 | 10.37 | 18.44 | 4.5604 | 8.11 | 3.54 | 6.30 |
| 1 | Gahak | GH | 3.00 | 2.71 | 1,113 | 411 | 0.10 | 3.46 | 1.76 | 58.13 | 0.69 | 22.77 | 0.2277 | 7.52 | 0.25 | 8.11 |
| 1 | Geasu | GS | 4.28 | 3.65 | 10,118 | 2,772 | 0.73 | 14.81 | 1.64 | 33.02 | 1.58 | 31.94 | 0.5597 | 11.28 | 0.44 | 8.94 |
| 1 | Oryu | OR | 3.93 | 6.58 | 187,066 | 28,429 | 3.49 | 52.83 | 2.11 | 31.95 | 0.19 | 2.94 | 0.2607 | 3.95 | 0.55 | 8.34 |
| 1 | Yeokgok | YG | 3.46 | 13.09 | 135,071 | 10,319 | 5.59 | 42.75 | 3.90 | 29.81 | 1.77 | 13.54 | 1.2587 | 9.63 | 0.56 | 4.26 |
| 1-2 | Dorim | DR | 14.33 | 41.64 | 982,804 | 23,602 | 25.91 | 62.27 | 12.84 | 30.87 | 0.98 | 2.35 | 0.6977 | 1.68 | 1.18 | 2.83 |
| 1 | Bongcheon | BC | 5.74 | 9.33 | 258,913 | 27,751 | 5.47 | 58.67 | 2.88 | 30.90 | 0.34 | 3.67 | 0.2378 | 2.55 | 0.39 | 4.21 |
| 1 | Daebang | DB | 5.96 | 8.90 | 286,860 | 32,231 | 7.87 | 88.46 | 0.39 | 4.38 | 0.18 | 1.98 | 0.1913 | 2.15 | 0.27 | 3.03 |

1) From 1:25,000 DEM of the National Geographic Information Institute (NWII) in the year of 2000

2) From the NWII in the year of 2000

3) From the site of Korea National Statistical Office (www.nso.go.kr)

4) Including water, idle land, and wetland.

$$\begin{aligned}
 PFD &= F_{PO}^{\xi_1} \times F_{POSS}^{\xi_2} \times F_{DEF}^{\xi_3} \\
 &= (\beta_1 F_{PD} + \beta_2 F_{PF} + \beta_3 F_{SOC} + \beta_4 F_{NC})^{\xi_1} \times (\beta_5 F_{PR} + \beta_6 F_{RUB} + \beta_7 F_{GE} + \beta_8 F_{FD})^{\xi_2} \\
 &\quad \times (\beta_9 F_{CT} + \beta_{10} F_{DAM} + \beta_{11} F_{PUMP})^{\xi_3}
 \end{aligned} \tag{1}$$

김정훈(2004)은 잠재성과 위험성만 고려하여 4개의 그룹으로 구분한 기존의 PFD를 수정하여 피해대상 (damage objective), 피해가능성(damage possibility), 방어능력(defense vulnerability)을 고려하여 3차원상의 8개 그룹으로 세분화하였다. PFD 및 요소별 지수를 산정하는 식은 다음 Eq. (1)과 같다.

여기서, F_X 는 세부요소 X 를 무차원화하여 누가확률 밀도함수(cumulative probability density function)로 변환시킨 값으로 클수록 좋지 않은 상태를 의미한다. β_a 는 계층화 분석과정(Analytic Hierarchy Process, AHP)을 이용하여 산정한 각 세부요소별 가중치이며, ξ_i 는 피해대상, 피해가능성, 방어능력에 대한 가중치로 각각 0.333으로 동등하게 부여하였다. F_{PO} 는 피해대상, F_{POSS} 는 피해가능성, F_{DEF} 는 방어능력을 의미하며, F_{PD} 는 인구밀도, F_{PF} 는 자산, F_{SOC} 는 중요시설, F_{NC} 는 자연·문화자원, F_{PR} 는 확률강우량, F_{RUB} 는 도시화

율, F_{GE} 는 지형학적 특성, F_{FD} 는 홍수피해액 밀도, F_{CT} 는 외수방어능력, F_{DAM} 은 댐 및 저수지, F_{PUMP} 는 내수방어능력의 누가확률값을 의미한다.

요소별 지수 0.5를 기준으로 A~H 그룹별로 나누면 다음과 같다. 각 항목별로 1과 가까울수록 좋지 않은 상태이다.

- A: 피해대상 > 0.5, 방어능력 > 0.5, 피해가능성 > 0.5
- B: 피해대상 > 0.5, 방어능력 > 0.5, 피해가능성 ≤ 0.5
- C: 피해대상 > 0.5, 방어능력 ≤ 0.5, 피해가능성 > 0.5
- D: 피해대상 > 0.5, 방어능력 ≤ 0.5, 피해가능성 ≤ 0.5
- E: 피해대상 ≤ 0.5, 방어능력 > 0.5, 피해가능성 > 0.5
- F: 피해대상 ≤ 0.5, 방어능력 > 0.5, 피해가능성 ≤ 0.5
- G: 피해대상 ≤ 0.5, 방어능력 ≤ 0.5, 피해가능성 > 0.5
- H: 피해대상 ≤ 0.5, 방어능력 ≤ 0.5, 피해가능성 ≤ 0.5

따라서 A 그룹이 제일 좋지 않은 상태이며 C 그룹이 방어능력은 좋지만 피해 대상 및 가능성이 높으므로 약간 위험하다.

Table 2. Potential Flood Damage (2000)

| Name of subwatershed | Component | | | PFD | Grade* | PFD Group |
|----------------------|------------------|--------------------|-----------------------|-------|--------|-----------|
| | Damage objective | Damage possibility | Defence vulnerability | | | |
| WG | 0.121 | 0.255 | 0.595 | 0.264 | 1 | F |
| OG | 0.128 | 0.282 | 0.905 | 0.320 | 1 | F |
| DJ | 0.498 | 0.538 | 0.448 | 0.493 | 2 | G |
| SB1 | 0.472 | 0.538 | 0.448 | 0.484 | 2 | G |
| HW | 0.319 | 0.437 | 0.785 | 0.479 | 2 | F |
| CGS | 0.075 | 0.215 | 0.896 | 0.243 | 1 | F |
| GH | 0.246 | 0.422 | 0.448 | 0.359 | 1 | H |
| SA | 0.518 | 0.470 | 0.917 | 0.607 | 4 | B |
| SS | 0.419 | 0.345 | 0.619 | 0.464 | 2 | F |
| SM | 0.503 | 0.407 | 0.672 | 0.516 | 3 | B |
| SB2 | 0.518 | 0.470 | 0.917 | 0.607 | 4 | B |
| SH | 0.764 | 0.761 | 0.321 | 0.571 | 3 | C |
| MK | 0.496 | 0.449 | 0.587 | 0.508 | 3 | F |
| GH | 0.452 | 0.386 | 0.927 | 0.545 | 3 | F |
| GS | 0.160 | 0.197 | 0.448 | 0.242 | 1 | H |
| OR | 0.729 | 0.628 | 0.310 | 0.522 | 3 | C |
| YG | 0.597 | 0.540 | 0.606 | 0.580 | 3 | A |
| DR | 0.820 | 0.704 | 0.545 | 0.680 | 4 | A |
| BC | 0.798 | 0.705 | 0.448 | 0.632 | 4 | C |
| DB | 0.886 | 0.757 | 0.317 | 0.597 | 3 | C |

* Standard: 1st (~0.4), 2nd (~0.5), 3rd (~0.6), 4th (0.61~)

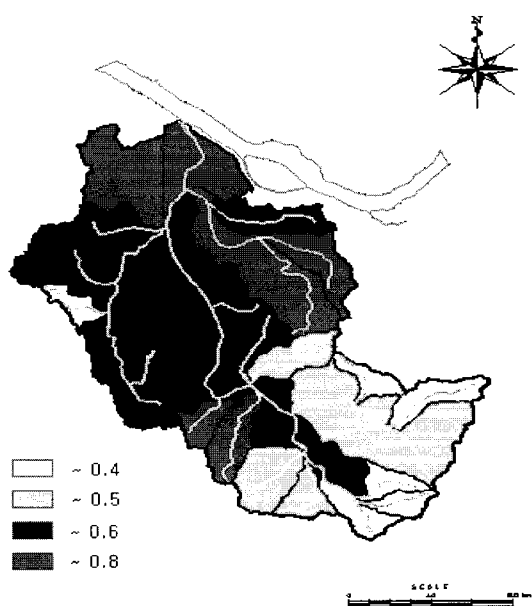


Fig. 4. Spatial Distribution of PFD (2000)

2000년 안양천 유역의 단위구역별 PFD(김정훈, 2004)를 중유역 별로 환산한 결과는 Table 2, Fig. 4에 나타난 바와 같다. 본 연구에서는 PFD를 토대로 각 중유역을 총 4개 등급으로 구분하였다. 각 등급의 일반적인 특징은 다음과 같으며 이 후 제시될 이수, 수질, 유역평가 지수의 등급에도 적용된다.

- 1등급: 매우 우수한 상태이므로 현재상태로 유지하려는 노력이 필요함
- 2등급: 비교적 양호한 상태이므로 비구조적인 방법이 시도되어야 함

- 3등급: 비교적 좋지 않은 상태이므로 다양한 관리 방법이 시도되어야 함
- 4등급: 매우 위험한 상태이므로 구조적인 방법이 다양하게 시도되어야 함

대체로 하류 지역인 수암, 도림, 봉천천, 본류의 하류 유역 등이 4등급으로 잠재적인 홍수피해의 가능성이 매우 크며, 3등급인 삼막, 시흥, 목감, 가학, 오류, 역곡, 대방천도 높은 것으로 나타났다.

2.2.2 이수

건천의 정의는 “자연적인 기능을 유지할 수 없도록 악화되고 있거나 이미 악화된 하천으로서, 수문학적 요소 기준으로 갈수량 기준 이하이거나 하천기능을 유지하기 위해 필요한 수량을 지속적으로 제공할 수 없는 상태의 하천”이라고 할 수 있다(정관수 등, 2003). 그러나 이의 정량적 접근이 어려운 이유는 건천이 되어가는 과정에 대한 현상을 지속적으로 관찰하기 어렵고, 건천화의 원인이 순수한 자연현상뿐만 아니라 인위적인 요인에 의해 지배되고 있으며 자연하천에 간섭을 하고 있는 인간의 사회적 활동 등을 정량적으로 포착하기 어렵기 때문이다.

하지만 최근에 국내에서 건천의 원인을 특정 하천에 대해 찾기 위한 연구가 많이 시도되고 있다. 이상호 등(2003)은 전원하천인 청도천의 건천화의 핵심 원인을 위성영상자료 및 현장답사를 통하여 분석한 결과 집수암거 및 보를 이용한 하천의 취수 등이라고 밝혔다. 이충성 등(2004)은 도시하천인 우이천의 건천화 원인을 장기간에 걸친 도시화로 상류를 제외한 중·하류는 양안의 제방, 복개, 직강화, 보 및 낙차공 등 인공구조물

로 하천형상이 지나치게 왜곡되어 있음으로 인하여 파악하였다. 또한 정관수 등(2003)은 중소하천의 건천화 원인분석을 위해 500여 개의 하천에 대해 19개 조사항목으로 현장조사를 실시하여 건천화된 하천의 특성을 분석하였다. 그 결과 대부분이 토사 및 자연제방이 존재하고 하천단면은 사다리꼴이며, 사행하천의 형태를 띠고 하상재질은 자갈 및 모래로 이루어져 있으며, 대부분이 보와 같은 하천내 시설물이 많이 존재하는 특성을 보여줬다. 또한 GIS를 이용한 공간분석결과 보가 있는 위치에서 하천의 상하류의 경사분포는 보에 가까운 경우 하류쪽의 경사가 심하고, 보에서 멀수록 상류쪽 기복이 심한 것으로 나타났다. 건천화 하천구간내 대부분의 관정은 하천중심선으로부터 반경 500 m 이내에 존재하였으며, 각 건천화 하천의 평균 사행도는 최소 1.229~최대 1.475로서 비교적 사행도가 심한 것으로 나타났다. 노성진 등(2005)과 이정민 등(2004)은 청계천과 안양천이 건천화되는 원인을 파악하기 위해 상세한 수문모의 및 주기적이고 정밀한 모니터링을 통한 정확한 물순환 파악을 시도하였다. 특히 안양천의 경우 도시지역의 면적이 1975년과 비교하여 2000년에는 약 26.5%가 늘어났으며 이로 인해 침투량이 현저히 감소하고 결국 기저유출이 약 50% 줄어들게 되었음을 제시하였다.

본 연구에서는 '지속가능한 하천수 개발기술(심명필, 2003)'에서 제시한 내용을 토대로 수행하였는데 이 연구는 8개 하천을 대상으로 시행한 연구결과를 바탕으로 구성하였으므로 전국 모든 유역에서의 적용성과 대표성을 가지고 있지 않다. 따라서 Table 3과 같이 자연적인 인자와 인위적인 인자로 구분하여 안양천 유역에 적합하게 수정하여 Hartmann et al.(1987)이 개발하여 Istvan and Andras(2003)가 GUI(Graphic User Interface)를 보완하여 구축한 JESEW(Joint Ecological and Socio-economic Evaluation of Water resources development) 모형을 사용하여 건천 잠재능(Potential Streamflow Depletion, PSD)을 도출하였다. 여기서 사용된 방법은 다기준 의사결정 방법인 Composite Programming(CP)이며 그룹을 나누어 수준별로 이상점까지의 거리를 산정할 수 있게 한다. CP는 Bardossy and Bogardi(1983)가 관측의 정확성과 자료 취득을 위한 노력사이의 절충점을 고려할 수 있는 관측 네트워크를 구성하기 위해 개발하였다. 더 나아가 Lee et al.(1991)은 준설된 오염물질의 처리를 위한 장소 선택 문제를 해결하기 위해 불확실성을 감안하여 다목적 의사결정을 할 수 있는 Fuzzy Composite Programming(FCP) 방법을 개발하였다. Hagemeyer et al.(1995)은 쓰레기 매립장 선택 문제에 FCP를 사용하여 위험순위(hazard ranking)를 산정하였다.

본 연구에서 사용된 무차원화 방법은 이상점접근법

(ideal point approach)으로 각 인자의 무차원화를 위해 Eq. 2를 사용하였으며 지수 산정식은 Eq. 3과 같다.

$$s = \frac{\sigma_{\text{ideal}} - \sigma}{\sigma_{\text{ideal}} - \sigma_{\text{worst}}} \quad (2)$$

여기서 s 는 무차원화된 값이고, σ 는 실제 값이고, σ_{ideal} 은 이상점(ideal point)에서의 값이고 σ_{worst} 는 가장 좋지 않는 경우(worst point)의 값이다. 이상점은 목표가 되는 유역을 선정하여 실측 자료를 토대로 산정해야 하지만 현재까지 이에 대한 연구가 충분하지 않기 때문에 본 연구에서는 유역 내에서 가장 좋은 값을 사용하였다.

$$PSD = \left(\sum_{i=1}^{N_1} w_{i,1} s_{i,1}^{b_1} \right)^{1/b_1} \quad (3)$$

여기서 $s_{i,1}$ 는 건천잠재능을 산정하기 위한 그룹에서 i 인자(indicator)의 무차원화된 값이고, $w_{i,1}$ 는 i 인자에 대한 가중치이고(각 그룹 내의 모든 인자들의 가중치의 합은 1), N_1 은 인자의 수, b_1 은 건천잠재능의 균형값(balancing factor)이다. 여기서 가중치는 대상지역 및 적용자에 따라 달라질 뿐만 아니라 값에 따라 건천 정도의 순위가 바뀔 수 있는 중요한 문제이다. Lee et al.(1991)은 AHP 방법을 이용하여 가중치를 산정하였으나 본 연구에서는 10명의 현장전문가의 의견을 평균하여 사용하였다. 또한 균형값은 최대편차(maximal deviation)의 중요성을 반영하는 요소로 인자의 가능한 최대치와 개별 값의 최대 차이를 의미한다. 따라서 균형값이 클수록 최대편차에 대한 관심이 더 크다는 것을 의미한다. 본 연구에서는 모두 1로 사용하여 모든 편차가 똑같이 중요하다고 가정하였다.

2000년 안양천 유역의 건천 잠재능을 중유역 별로 산출한 결과는 Fig. 5, Table 3과 같다. 가장 심각하게 건천화된 하천은 왕곡, 수암, 도립천으로 그 원인으로는 지하수 사용량이 매우 높고(왕곡, 도립), 유역경사는 높은데 형상계수는 매우 작고(왕곡, 수암), 하상재질이 매우 굵어 하천수가 바닥으로 손실되고 있는 것(수암, 도립) 등을 꼽을 수 있다. 이밖에 오전, 산본, 청계사, 삼성, 삼막, 삼봉, 가학, 계수, 봉천, 대방천 등이 이러한 문제를 보인다. 유지용수 확보를 위해 저수지를 적절히 운영하거나 하수를 고도처리하여 방류하는 학의천과 우오수 분리벽을 설치하여 상류의 하천수가 본류까지 전달되는 갈현천의 경우와 같이 건천화 방지를 위한 하천관리를 시도하는 하천이 우수한 지역으로 나타났다.

Table 3. Potential Streamflow Depletion (2000)

| Name of sub-watershed | Natural component | | | Artificial component | | | | | PSD | Grade ⁵⁾ |
|-----------------------|-------------------|------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---|---|----------------------------------|------|---------------------|
| | Water-shed slope | A/L ² | Needle leaf tree (%) | Bed material | Urban area ratio (%) | Ground-water pumping ²⁾ (mm/y) | W or W/O reuse of WWTP effluent ³⁾ | W or W/O Reservoir ⁴⁾ | | |
| Weight | 0.15 | 0.10 | 0.05 | 0.10 | 0.10 | 0.15 | 0.30 | 0.05 | 1.00 | |
| WG | 0.167 | 0.259 | 15 | 0 | 6.96 | 84.5 | 1 | 1 | 0.71 | 4 |
| OG | 0.157 | 0.524 | 14.63 | 0 | 7.65 | 70.1 | 1 | 0 | 0.60 | 3 |
| DJ | 0.071 | 0.330 | 18.3 | 0 | 57.09 | 16.2 | 0.5 | 1 | 0.42 | 2 |
| SB1 | 0.127 | 0.552 | 18.3 | 0 | 40.34 | 2.8 | 1 | 1 | 0.55 | 3 |
| HW | 0.127 | 0.520 | 14.57 | 0 | 22.82 | 44.8 | 0 | 0 | 0.25 | 1 |
| CGS | 0.193 | 0.298 | 11.93 | 0 | 3.45 | 3.9 | 1 | 1 | 0.58 | 3 |
| GH | 0.097 | 0.658 | 11.93 | 0 | 10.95 | 69.6 | 0 | 1 | 0.27 | 1 |
| SA | 0.23 | 0.267 | 11.93 | 1 | 18.9 | 1.9 | 1 | 1 | 0.73 | 4 |
| SS | 0.237 | 0.469 | 11.93 | 0 | 7.88 | 4.4 | 1 | 0 | 0.56 | 3 |
| SM | 0.194 | 0.440 | 11.93 | 1 | 12.76 | 1 | 1 | 1 | 0.67 | 3 |
| SB2 | 0.169 | 0.603 | 20 | 0 | 11.52 | 18 | 1 | 1 | 0.58 | 3 |
| SH | 0.141 | 0.454 | 9.6 | 0 | 45.31 | 32 | 0.5 | 1 | 0.46 | 2 |
| MK | 0.097 | 0.307 | 11.15 | 0 | 31.71 | 54.2 | 0.5 | 0 | 0.41 | 2 |
| GH | 0.117 | 0.301 | 6.4 | 0 | 3.46 | 29 | 1 | 1 | 0.54 | 3 |
| GS | 0.09 | 0.199 | 15.69 | 0 | 14.81 | 44.5 | 1 | 0 | 0.54 | 3 |
| OR | 0.087 | 0.426 | 11.5 | 0 | 52.83 | 38.5 | 0.5 | 0 | 0.39 | 2 |
| YG | 0.131 | 1.093 | 11.5 | 0 | 42.75 | 89.9 | 0.5 | 1 | 0.48 | 2 |
| DR | 0.108 | 0.203 | 3.7 | 1 | 62.27 | 53.2 | 1 | 1 | 0.74 | 4 |
| BC | 0.127 | 0.283 | 3.8 | 0 | 58.67 | 59 | 0.5 | 1 | 0.51 | 3 |
| DB | 0.069 | 0.251 | 11 | 0 | 88.46 | 73.7 | 0.5 | 1 | 0.54 | 3 |

- 1) If the streamflow loss to the ground happen, the value is 1. Otherwise, 0.
- 2) From the Korea Water Resources Cooperation (2000)
- 3) With reuse: 0. Without reuse: 1. If the wastewater get into the stream, 0.5.
- 4) With reservoir: 1. Without reservoir: 0.
- 5) Standard: 1st (~0.3), 2nd (~0.5), 3rd (~0.7), 4th (0.71~)

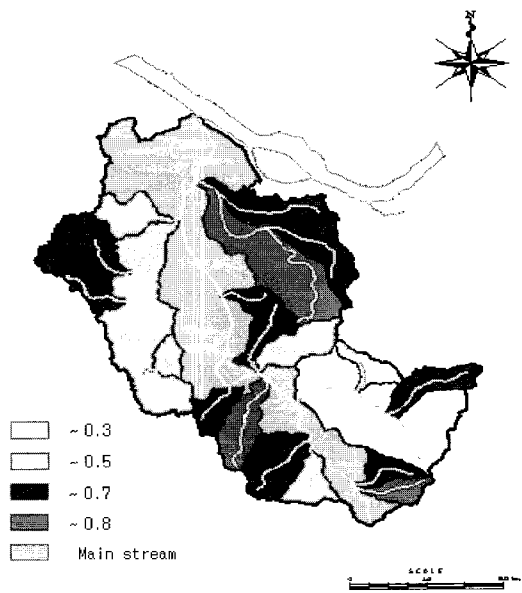


Fig. 5. Spatial Distribution of PSD (2000)

2.2.3 수질

수질측면에서 각 증유역의 현황은 특정 수질항목에 대한 정기적인 실측자료를 바탕으로 파악하는 것이 가장 적절하나 현재 안양천 유역에는 세밀한 측정망이 구축되어 있지 않기 때문에 본 연구에서는 Table 4와같이 Schuler(1994)가 제시한 불투수 면적 비율(impermeable area ratio)을 이용한 도시하천의 잠재적 수질에 대한

분류방법을 응용하였다. Schuler(1994)는 도시하천을 불투수 면적비율에 따라 분류하고 각 분류별로 특징 및 관리방안을 제시하였다. 민감(sensitive) 하천은 불투수 지역이 늘어나는 것에 대한 엄격한 규제를 해야하며 개발 전의 하천수질을 유지할 수 있도록 여러 가지 우수 관리 방안 등을 적용해야 한다. 손상(impacted) 하천은 이미 존재하는 불투수 지역으로 인한 피해를 가능한 최소화해야 하고 효과적인 우수관리 방안을 적극적으로 적용해야 한다. 생태적 건전성 유지불능(non-supporting) 하천은 이미 심각하게 오염되어서 효과적인 우수관리방안이 적용되더라도 개발 전의 상태로 하도의 안정성과 생물종의 다양성을 복원할 수 없지만 이러한 노력을 멈추어서도 않된다. 따라서 관리방안의 목적을 도시지역에서 발생한 오염물질을 제거하여 하류의 수질악화를 방지하고 불투수 비율이 상대적으로 낮은 지역을 찾아 우선적으로 보호해야하는 대안들이 추진되어야 한다. 최지용과 장수환(2003)은 이 점에 착안하여 경안천, 탄천, 중랑천, 안양천, 북한강 분류 지역등 5개 하천의 23개 지점에서 수질 분석자료와 토지이용 자료를 이용하여 하천의 질 즉, 수온, BOD(Biochemical Oxygen Demand), COD(Chemical Oxygen Demand), SS(Suspended Solids), TN(Total Nitrogen), TP(Total Phosphorus)와 불투수면과의 관계를 살펴보았으며 이 중 수온, BOD, COD, TN에 영향을 미치는 것을 밝힌 바 있다.

Table 4. A Possible Scheme for Classifying and Managing for Headwater Urban Streams Based on Ultimate Imperviousness (Schuler, 1994)

| Urban Stream Classification | Sensitive (0~10% Imperv.) | Impacted (11~25% Imperv.) | Non-supporting (26~100% Imperv.) |
|---------------------------------------|--|--|--|
| Channel stability | Stable | Unstable | Highly Unstable |
| Water quality | Good | Fair | Fair-Poor |
| Stream biodiversity | Good-Excellent | Fair-Good | Poor |
| Resource objective | Protect biodiversity and channel stability | Maintain critical elements of stream quality | Minimize downstream pollutant loads |
| Water quality objectives | Sediment and temperature | Nutrient and metal loads | Control bacteria |
| Stormwater practice selection factors | Secondary environmental impacts | Removal efficiency | Removal efficiency |
| Land use controls | Watershed-wide imp. cover limits (ICLs), site ICLs | Site imp. cover limits(ICLs) | Additional infill and redevelopment encouraged |
| Monitoring and enforcement | GIS monitoring of imp. cover, biomonitoring | Same as "Stressed" | Pollutant load modeling |
| Development rights | Transferred out | None | Transferred in |
| Riparian buffers | Widest buffer network | Average bufferwidth | Greenways |

최지용 (1996)은 국내외 다양한 종합수질지표의 개발과 이용실태를 조사하고 분석하여 국내에 적합한 K-WQI를 개발하여 4대강에 적용타당성 검토를 실시하였다. K-WQI는 10개의 수질항목으로 구성되며 각 항목별로 지수로 환산한 다음 모두 더한 점수를 토대로 등급을 나누는 방법이다. 하지만 이 방법은 매월 수질항목 10개에 대한 측정자료가 필요하므로 안양천 유역과 같이 자료가 풍부하지 않은 경우에는 적용하기 어렵다.

본 연구에서는 수질오염 잠재능을 산정하기 위해서 단순히 불투수 비율만 사용하지 않고 주요 비점오염원의 발생량과 현장 답사를 통한 오수의 유입여부와 복개 현황 및 인구밀도까지 고려하여 산정하였다. 인구밀도의 경우 높을수록 유역 내 활동이 많아져서 비점오염 발생량이 증가하기 때문에 수질인자로 추가하였다. 2000년의 토지이용을 토대로 PLOAD(Pollutant LOADING; Edwards와 Miller, 2001)를 사용하여 각 유역에서 발생하는 비점오염원(BOD, COD, SS, TN, TP)의 발생량을 산정하였다. 이 때 사용된 산정방법은 원단위법으로 이길성(2006)이 제시한 원단위를 사용하였다. 이외에 2000년 인구밀도, 현장답사를 통한 오수유입 여부를 수질오염 잠재능에 반영하였다. 지수 산정은 PSD와 같이 JESEW 모형을 사용하였으며 사용된 방정식은 Eq. (2)와 다음 Eq. (4)와 같고 결과는 Fig. 6과 Table 5와 같다.

$$PWQD = \left(\sum_{i=1}^{N_2} w_{i,2} s_{i,2}^{b_2} \right)^{1/b_2} \quad (4)$$

여기서 $s_{i,2}$ 는 수질오염 잠재능을 산정하기 위한 그룹에서 i 인자의 무차원화 된 값이고, $w_{i,2}$ 는 i 인자에 대한 가중치이고(각 그룹 내의 모든 인자들의 가중치의 합은 1), N_2 은 인자의 수, b_2 은 수질오염 잠재능의

균형값이다.

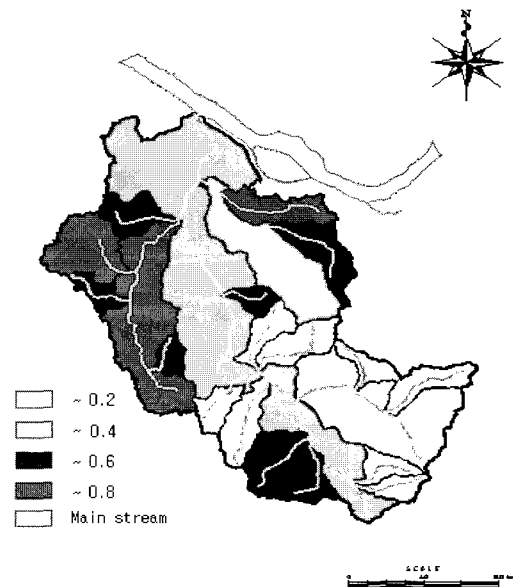


Fig. 6. Spatial Distribution of PWQD (2000)

지수산정결과 도시화 비율이 높고 오수가 하천으로 유입되는 당정, 산본, 시흥, 역곡, 오류, 대방, 봉천천 등에서 문제가 있음을 알 수 있다. 이러한 하천들은 역곡천을 제외하면 모두 복개 하천이며 대부분 하천이 하수도와 같은 역할을 하고 있어 본류로 합류하기 전에 보를 이용하여 하천수를 전량 차집하고 있으므로 하천이 정상적인 기능을 하지 못 할 뿐만 아니라 홍수시에 하천으로 오수와 우수가 함께 흘러들어가므로 수질측면에서 문제를 더욱 가중시키고 있다. 특히 하수도 시설이 없는 역곡천과 이 물이 그대로 흘러들어가는 목감천은 건기에도 악취가 발생하는 등의 심각한 문제를 유발하고 있고 대방천은 유역전체가 도시화 지역으로 홍수시 월류수의 양과 질이 극히 양 좋을 수 있으므로 이들 하천에 대한 우선적인 관리가 요구된다.

Table 5. Potential Water Quality Deterioration (2000)

| Name of sub-watershed | BOD | COD | SS | TN | TP | W or w/o waste-water intrusion ¹⁾ | Population density (person/km ²) | PWQD | Grade ²⁾ |
|-----------------------|-------|-------|--------|-------|-------|--|--|------|---------------------|
| Weight | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.05 | 0.05 | 0.3 | 0.1 | | |
| WG | 0.641 | 1.076 | 2.909 | 0.027 | 0.324 | 0 | 1,980 | 0.03 | 1 |
| OG | 0.698 | 1.102 | 2.982 | 0.030 | 0.334 | 0 | 6,190 | 0.05 | 1 |
| DJ | 4.534 | 5.807 | 14.021 | 0.118 | 0.854 | 0.5 | 15,934 | 0.58 | 3 |
| SB1 | 3.269 | 4.234 | 10.332 | 0.089 | 0.673 | 0.5 | 12,853 | 0.45 | 3 |
| HW | 2.194 | 2.998 | 7.420 | 0.066 | 0.561 | 0 | 6,997 | 0.19 | 1 |
| CGS | 0.469 | 0.877 | 2.442 | 0.024 | 0.307 | 0 | 243 | 0.01 | 1 |
| GH | 1.057 | 1.680 | 4.325 | 0.044 | 0.460 | 0 | 4,202 | 0.09 | 1 |
| SA | 1.574 | 2.136 | 5.413 | 0.049 | 0.431 | 0 | 6,191 | 0.13 | 1 |
| SS | 0.901 | 1.290 | 3.431 | 0.033 | 0.333 | 0 | 3,450 | 0.05 | 1 |
| SM | 1.578 | 2.140 | 5.423 | 0.050 | 0.438 | 0 | 1,818 | 0.11 | 1 |
| SB2 | 1.030 | 1.544 | 4.012 | 0.037 | 0.383 | 0 | 5,162 | 0.08 | 1 |
| SH | 4.106 | 5.293 | 12.812 | 0.108 | 0.797 | 0.5 | 33,547 | 0.59 | 3 |
| MK | 2.708 | 3.699 | 9.061 | 0.081 | 0.674 | 1 | 8,437 | 0.55 | 3 |
| GH | 0.534 | 1.033 | 2.810 | 0.033 | 0.393 | 0 | 411 | 0.03 | 1 |
| GS | 1.330 | 2.118 | 5.334 | 0.054 | 0.551 | 0 | 2,772 | 0.12 | 1 |
| OR | 4.520 | 5.772 | 13.938 | 0.116 | 0.835 | 0.5 | 28,429 | 0.61 | 4 |
| YG | 3.526 | 4.736 | 11.483 | 0.098 | 0.776 | 1 | 10,319 | 0.63 | 4 |
| DR | 4.990 | 6.281 | 15.144 | 0.127 | 0.881 | 0 | 23,602 | 0.49 | 2 |
| BC | 4.854 | 6.142 | 14.813 | 0.124 | 0.873 | 0.5 | 27,751 | 0.64 | 4 |
| DB | 6.981 | 8.729 | 20.885 | 0.173 | 1.152 | 0.5 | 32,231 | 0.85 | 4 |

1) With wastewater intrusion: 1. Without wastewater intrusion: 0 If it is covered stream, 0.5.
 2) Standard: 1st (~0.2), 2nd (~0.4), 3rd (~0.6), 4th (0.61~)

2.2.4 유역 평가

유역평가지수(Watershed Evaluation Index, WEI)를 산정하기 위해서는 이전에 산정된 PFD, PSD, PWQD 값을 이용하였으며 가중치는 각각 1/3씩 사용하였다 적용 결과는 Fig. 7, Table 6과 같으며 각 인자와 수준별 그룹별 구조도를 나타내면 Fig. 8과 같다. 이때 사용된 식은 다음 Eq. (5)와 같다.

$$WEI = (PFD^{b_3} + PSD^{b_3} + PWQD^{b_3})^{1/b_3} \quad (5)$$

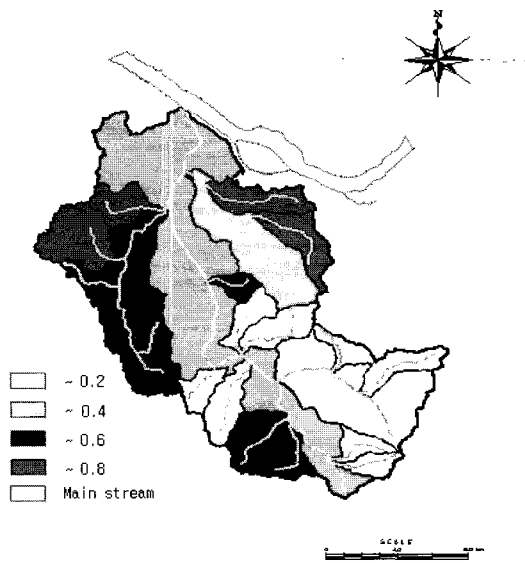


Fig. 7. Spatial Distribution of WEI (2000)

여기서 b_3 은 유역평가잠재능 지수의 균형값이다.

대체로 서울시 안양천 구간인 도림천(대방, 봉천천 포함) 유역 및 목감천(오류, 역곡천 포함) 유역과 복개 하천인 시흥, 산본천, 일부 구간이 복개하천인 당정, 수암천의 문제가 심각한 것으로 나타났다. 특히 4등급 유역인 도림, 대방, 봉천, 역곡천은 우선적으로 물순환 건전화화를 위한 하천관련 사업이 추진되어야 한다. 또한 치수-이수, 이수-수질, 수질-치수 별로 중유역의 상태를 알 수 있도록 나타내면 Fig. 9와 같다.

2.3 분명한 목적 수립

이상에서 제시된 중유역별 현황을 지수 및 등급에 대해 요약적으로 제시하면 Fig. 10, 11과 같다. 치수, 이수, 수질 별로 관리방안이 우선적으로 고려되어야 하는 4등급 중유역을 나타내면 다음과 같다.

- 치수: 수암, 삼봉, 도림, 봉천천 유역
- 이수: 왕곡, 수암, 도림천 유역
- 수질: 목감, 역곡, 대방천 유역

또 문제가 발생할 가능성이 높은 3등급에 해당하는 중유역을 나타내면 다음과 같다.

- 치수: 삼막, 시흥, 목감, 가학, 오류, 역곡, 대방천 유역
- 이수: 오전, 산본, 청계사, 삼성, 삼막, 삼봉, 가학, 계수, 봉천, 대방천 유역
- 수질: 당정, 산본, 시흥, 오류, 봉천천 유역

또한 이수, 치수, 수질을 통합하는 유역평가지수를 토대로 산정된 3, 4등급은 다음과 같다.

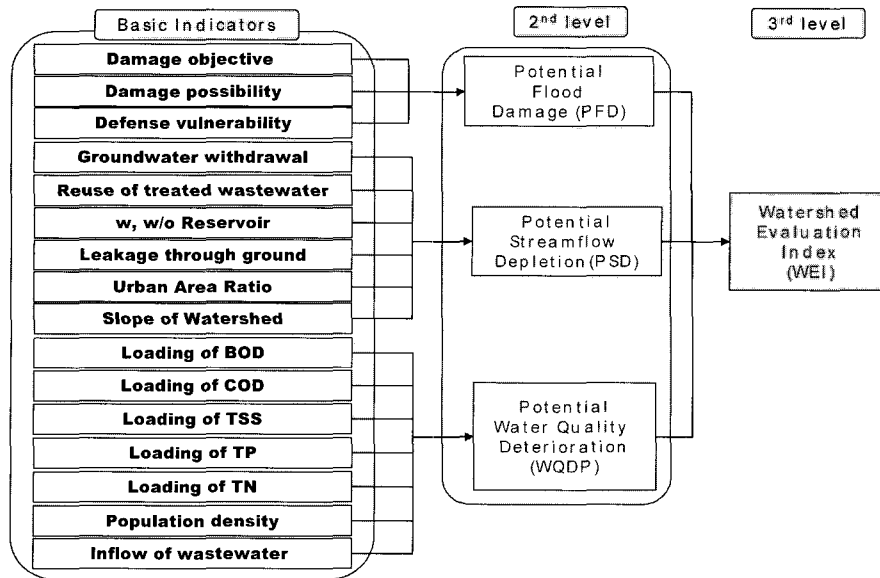


Fig. 8. The structure of Indicators Indices Applied for the Anyangcheon Watershed

Table 6. Watershed Evaluation Index (2000)

| Name of sub-watershed | PFD | | PSD | | PWQD | | WEI | |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|
| | Grade | Value | Grade | Value | Grade | Value | Grade | Value ¹⁾ |
| WG | 1 | 0.26 | 4 | 0.71 | 1 | 0.03 | 1 | 0.33 |
| OG | 1 | 0.32 | 3 | 0.60 | 1 | 0.05 | 1 | 0.24 |
| DJ | 2 | 0.49 | 2 | 0.42 | 3 | 0.58 | 3 | 0.55 |
| SB1 | 2 | 0.48 | 3 | 0.55 | 3 | 0.45 | 3 | 0.55 |
| HW | 2 | 0.48 | 1 | 0.25 | 1 | 0.19 | 1 | 0.26 |
| CGS | 1 | 0.24 | 3 | 0.58 | 1 | 0.01 | 1 | 0.20 |
| GH | 1 | 0.36 | 1 | 0.27 | 1 | 0.09 | 1 | 0.28 |
| SA | 4 | 0.61 | 4 | 0.73 | 1 | 0.13 | 2 | 0.38 |
| SS | 2 | 0.46 | 3 | 0.56 | 1 | 0.05 | 1 | 0.30 |
| SM | 3 | 0.52 | 3 | 0.67 | 1 | 0.11 | 2 | 0.40 |
| SB2 | 4 | 0.61 | 3 | 0.58 | 1 | 0.08 | 2 | 0.42 |
| SH | 3 | 0.57 | 2 | 0.46 | 3 | 0.59 | 3 | 0.54 |
| MK | 3 | 0.51 | 2 | 0.41 | 3 | 0.55 | 3 | 0.49 |
| GH | 3 | 0.55 | 3 | 0.54 | 1 | 0.03 | 2 | 0.37 |
| GS | 1 | 0.24 | 3 | 0.54 | 1 | 0.12 | 1 | 0.30 |
| OR | 3 | 0.52 | 2 | 0.39 | 4 | 0.61 | 3 | 0.51 |
| YG | 3 | 0.58 | 2 | 0.48 | 4 | 0.63 | 4 | 0.56 |
| DR | 4 | 0.68 | 4 | 0.74 | 2 | 0.49 | 4 | 0.64 |
| BC | 4 | 0.63 | 3 | 0.51 | 4 | 0.64 | 4 | 0.59 |
| DB | 3 | 0.60 | 3 | 0.54 | 4 | 0.85 | 4 | 0.66 |

1) Standard: 1st (~0.35), 2nd (~0.45), 3rd (~0.55), 4th (0.56~)

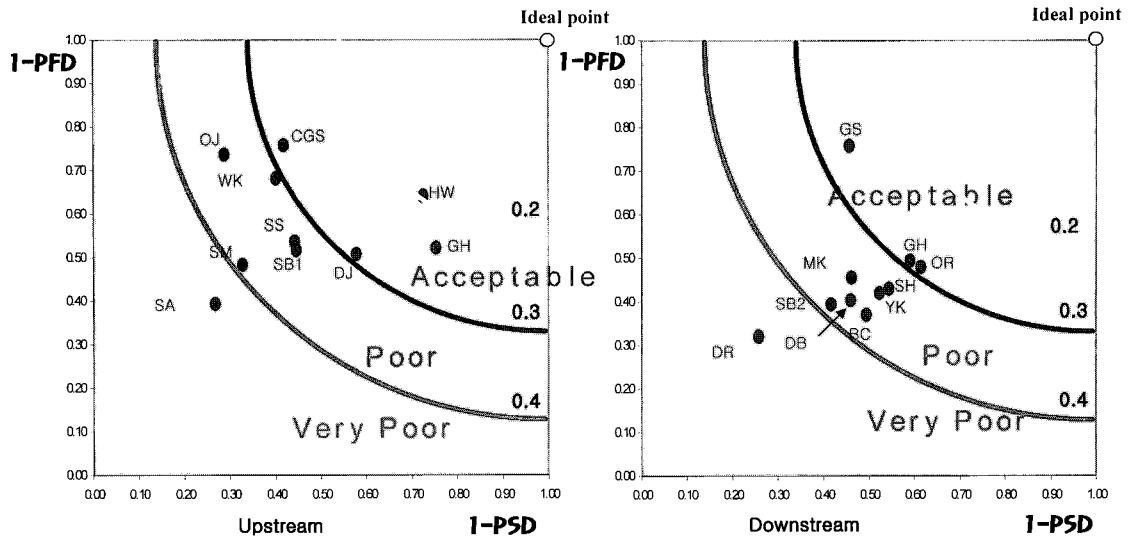
- 4등급: 도림, 대방, 봉천, 역곡천 유역
- 3등급: 당정, 산본, 시흥, 목감, 오류천 유역

본 연구에서는 안양천 유역의 친수공간에 대한 관심도 및 왜곡된 물순환의 원인을 고려해 볼 때 물순환 건전화 위한 유역통합관리의 핵심 목표를 건전화 방지로 선정하였고 수질 개선, 홍수피해 저감의 효과도 제약조건으로 고려할 수 있는 계획을 수립하기로 하였다. 건기의 하천에 물을 확보하면 하천 주변의 생태계의 건강도 확보될 수 있으므로 수질측면에서도 좋은 영향을 미칠 수 있다. 또한 건기의 하천수를 확보하기 위해서는 홍수기의 강우를 이용하는 방법이 많이 있으므로 홍

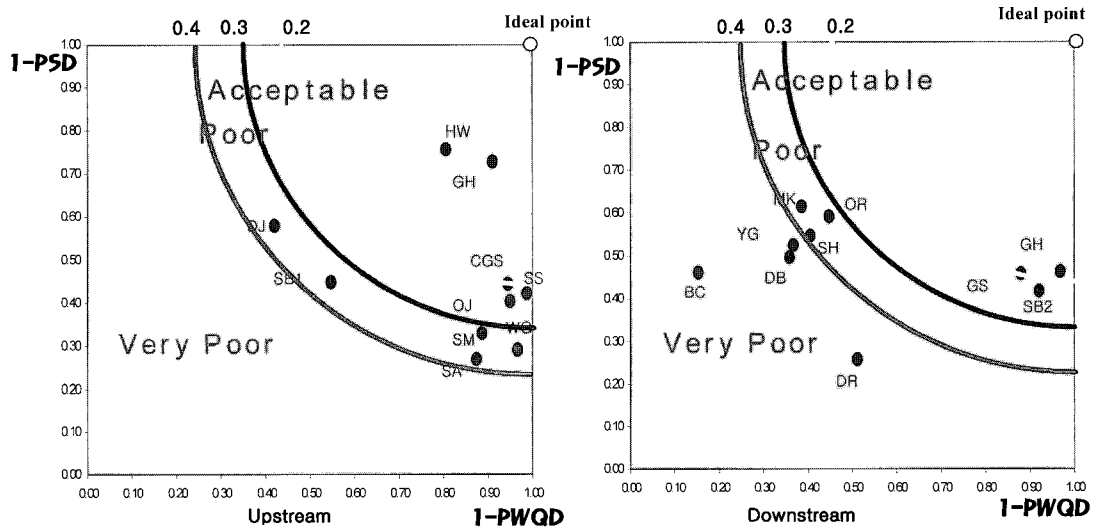
수저감효과 또한 기대할 수 있다.

2.4 대안의 구성

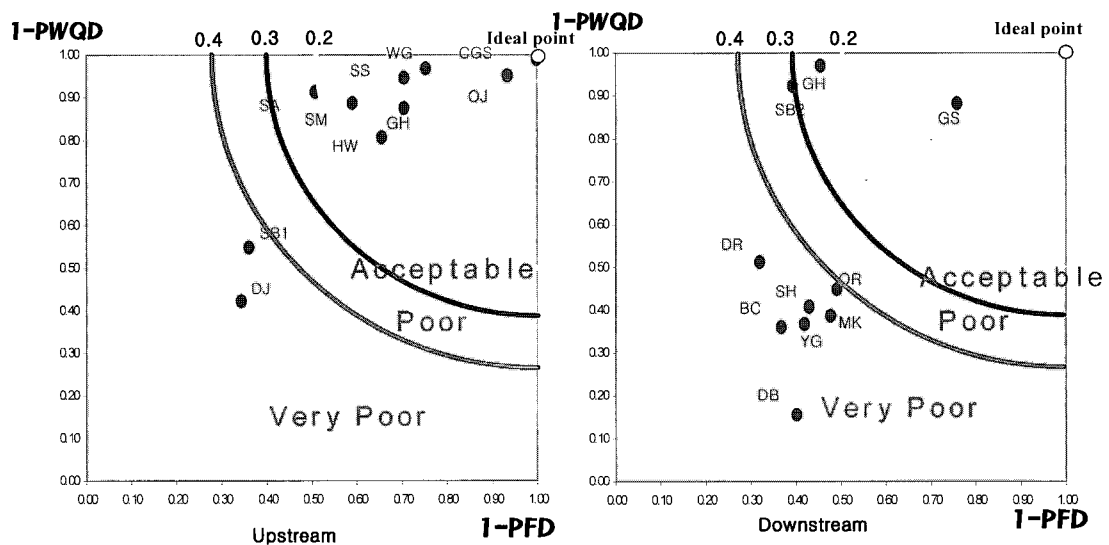
안양천 유역 내에 건전화 방지를 위한 대안을 크게 지표수, 지하수, 대체수자원 분야로 구분하여 각 분야별로 선정될 수 있는 대안들을 작성하여 Table 7과 같이 기술적(technical), 경제적(economic), 환경적(environmental) 가능성(feasibility) 측면에서 정성적으로 검토(Walsh, 1989)하여 실행가능한 대안을 선정하였다. 이 과정에서는 일반적으로 특정대안이 안양천 유역에 적용할 수 있는지 여부만 판단하는 과정이다.



(a) PFD-PSD



(b) PSD-PWQD



(c) PWQD-PFD

Fig. 9. Evaluation of the Actual State and Best Option

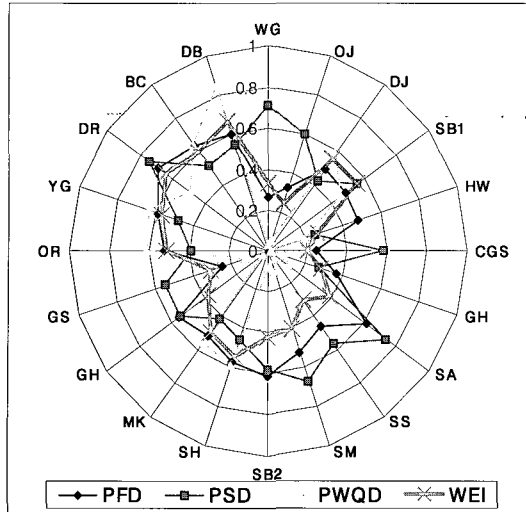


Fig. 10. Indices of All Subwatersheds (2000)

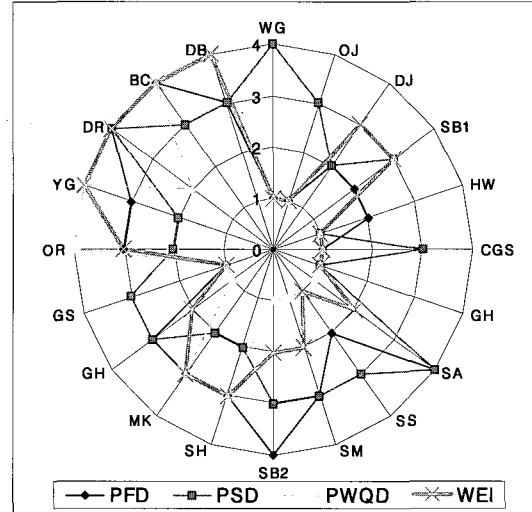


Fig. 11. Grades of All Subwatersheds (2000)

2.5 대안의 선별

Table 7에서 선택된 대안 중 중유역 별로 적용가능 여부를 현장답사 및 문헌조사 등을 통해 검토하여 적용 가능성이 있는 대안을 선정된 결과는 Fig. 12와 Table 8과 같다. 이상의 결과를 바탕으로 선별된 대안에 대한 개요는 다음과 같다.

2.5.1 복개하천의 개선

복개하천을 근본적으로 해결하는 방안은 청계천과 같이 복개구간을 철거하고 자연 그대로의 모습으로 복원시키는 것이나 비용이 막대하게 소요되고 공사기간

중 많은 불편을 불러일으킬 수 있다. 복개구간에 분류식 또는 합류식 관거를 설치하는 것도 비용과 시간 등의 측면에서 많은 문제가 발생할 수 있다. 최근에 안양시에서 내분비산천, 갈현천 등과 같이 상류 유역은 전 원지역이고 하류 유역은 도시지역으로 복개된 하천을 Photo 1과 같이 우수 분리벽과 같은 구조물을 이용하여 건기시 상류의 깨끗한 하천수를 하천으로 유입시키고 있다. 이러한 시설은 분류식이나 합류식 관거를 매설하지 않아 건설비용이 저렴하고 공사기간이 짧게 소요되어 복개하천에 적용할 경우 효용가치가 매우 크다 (한국건설기술연구원, 2001b).

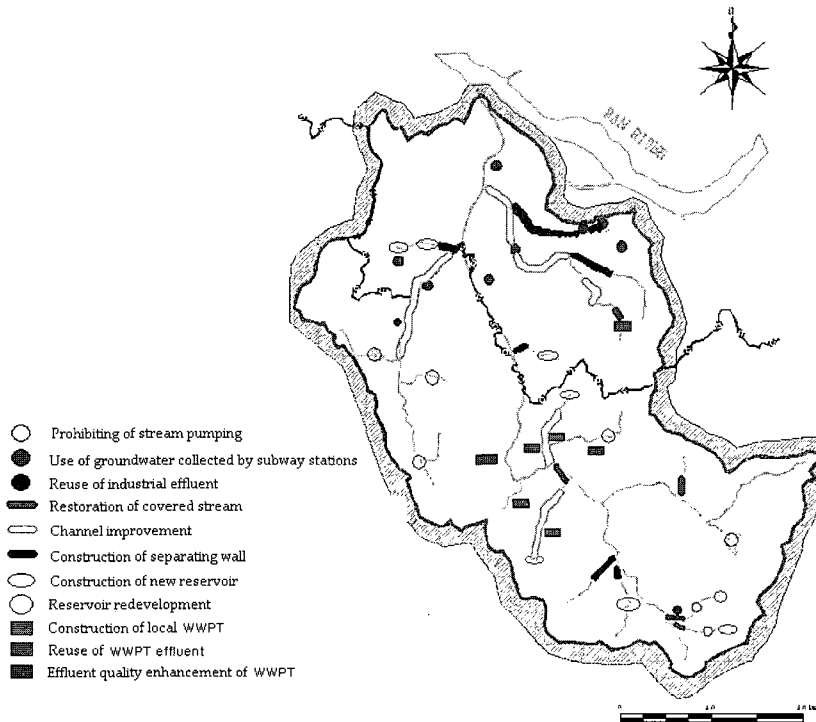


Fig. 12. Planning Map from the Prefeasibility Study

Table 7. Developing a List of Management Options and Eliminating Infeasible Options

| Category | Alternative | Description | Technical feasibility | Economic feasibility | Environmental feasibility | Selection ¹⁾ | |
|--------------------|--|---|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|-------------------------|-----|
| Surface | Separating walls | Separating the natural runoff from wastewater | Y Not difficult | Y Not expensive | Y Positive | Yes | |
| | Restoration of covered stream | Removing the impervious area over streams | Y Not difficult | Y Very expensive but effective | Y Positive | Yes | |
| | Retention pond | Construction of small retention pond (about 30,000-50,000 m ²) | Y or N Depending on the stream | Y Not expensive | Y Positive | Yes | |
| | Channel improvement | Sustaining the water depth at the channel of large width | Y or N Depending on the stream | Y or N Depending on the stream | Y Positive | Yes | |
| | Prevention of streamflow loss through ground seepage | A 0.5 m layer of silty clay or clayey gravel for the streambed or a cutoff wall | Y or N Depending on the stream | Y Expensive but effective | Y Not negative | Yes | |
| | Regulation of streamflow pumping | Regulation of streamflow pumping at the upstream | Y Not difficult | Y Not expensive | Y Positive | Yes | |
| | Reservoir redevelopment | To expand the capacity and make operation rules | Y Not difficult | Y Not expensive | Y Positive | Yes | |
| | Interbasin transfer | Transferring water from another stream to the dry stream | Y Depending on the stream | N Expensive | N Negative | No | |
| | Weir | Sustaining water depth | Y Not difficult | Y Not expensive | N Negative | No | |
| Ground-water | Use of groundwater collected by subway stations | Transferring groundwater collected by subway stations to the stream | Y Not difficult | Y Not expensive | Y Positive | Yes | |
| | Artificial recharge | Artificial water injection to the ground | Y Depending on the stream | Y or N Not expensive | N Not negative | Yes | |
| | Development of groundwater pumping station | Development of new groundwater pumping stations | Y Depending on the stream | Y Not expensive | N Negative | No | |
| | Regulation of groundwater pumping | Making laws regulating the groundwater pumping over the permission quantity | Y or N Not easy | Y Not expensive | Y Positive | Yes | |
| | Infiltration facility | | Infiltration trench | Y Depending on the stream | Y Expensive but effective | Y Positive | Yes |
| | | | Pervious pavement | Y Depending on the stream | Y Expensive but effective | Y Positive | Yes |
| Infiltration basin | | | Y Depending on the stream | Y Effective but effective | Y Positive | Yes | |
| Alternative | Wastewater reuse | Reuse of Wastewater Treatment Plant (WWTP) effluent | Y Many application | Y Effective | Y Positive | Yes | |
| | | Reuse of industrial effluent | Y Many application | Y Effective | Y Positive | Yes | |
| | Separated sewers | New city development | Y Many application | Y Effective | Y Positive | Yes | |
| | Local WWTP | Construction of small WWTP in upstream regions | Y Many application | Y Effective | Y Positive | Yes | |
| | Emergency water supply | Use of water supply system for dry streams | Y Not difficult | Y Good effect | N Negative | No | |
| | CSOs pollution load reduction | Expansion of combined sewer capacity, swirl regulator, retention pond, etc | Y Not difficult | Y Good effect | Y Positive | Yes | |

1) It should be "No" if any criteria among three are rejected (No).

Table 8. Planning and Management from the Prefeasibility Study

| Name of Sub-watershed | Alternative | Effect* |
|-----------------------|---|--------------------------------|
| AY | Effluent quality enhancement of Wastewater Treatment Plant (WWTP) | W |
| WG | Regulation of streamflow pumping Restoration of covered stream (0.817 km) | S S, W |
| OG | Regulation of streamflow pumping Restoration of covered stream (0.745 km) Reservoir redevelopment Reuse of industrial effluent | S S, W S, F S, W |
| DJ | Separating walls (1.59 km) CSOs pollution load reduction | S, W W |
| SB1 | Separating walls (2.74 km) Retention pond CSOs pollution load reduction | S, W S, F W |
| HW | Reservoir redevelopment | S, F |
| CGS | | |
| GH | Restoration of covered stream (0.6 km) | S, W |
| SA | Prevention of streamflow loss through ground seepage Restoration of covered stream (0.645 km) Retention pond Reuse of WWTP effluent | S S, W S, F S, W |
| SS | Reservoir redevelopment Reuse of WWTP effluent | S, F S, W |
| SM | Prevention of streamflow loss through ground seepage Reuse of WWTP effluent Local and small WWTP (about 8,000 m ³ /day) Retention pond | S S, W S, W S, F |
| SB2 | Reuse of WWTP effluent | S, W |
| SH | Separating walls (2.05 km) Retention pond | S, W S, F |
| MK | Channel improvement Reuse of industrial effluent Retention pond Use of groundwater collected by subway stations Reservoir redevelopment | S S, W S, F S S, F |
| GH | | |
| GS | Reservoir redevelopment | S, F |
| OR | Retention pond Use of groundwater collected by subway stations Restoration of covered stream (3.624 km) | S, F S S, W |
| YG | Local WWTP | S, W |
| DR | Channel improvement Local and small WWTP (about 15,000 m ³ /day) Use of groundwater collected by subway stations Retention pond Restoration of covered stream (0.593 km) | S S, W S S, F S, W |
| BC | Restoration of covered stream (4.493 km) Use of groundwater collected by subway stations | S, W S |
| DB | Separating walls (4.901 km) | S, W |

* S: security of instreamflow requirement

W: water quality enhancement

F: flood damage mitigation

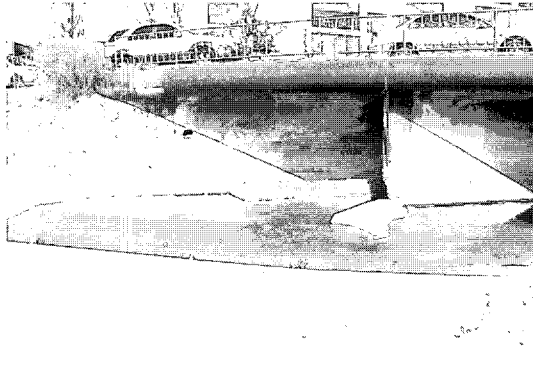


Photo 1. Separating Wall
(Galhyuncheon, 2003)

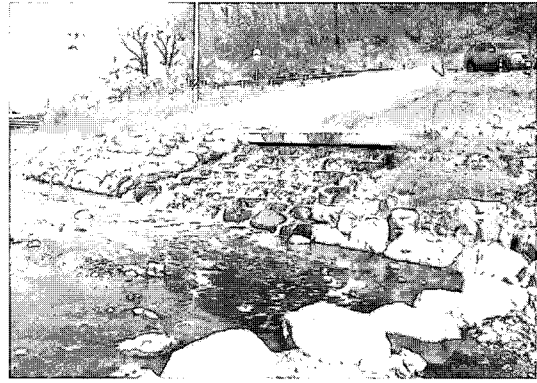


Photo 2. Reuse of Treated Waste Water for the
Instreamflow Requirement (Main
Stream, 2003)



Photo 3. Streamflow Depletion Due to the
Intake (Wanggokcheon, 2003)



Photo 4. Streamflow Leakage Due to Bed
Materials (Suamcheon, 2003)

2.5.2 저수지 운영개선

기존에 존재하는 저수지나 댐을 보완하거나 적절히 운영할 경우 건기의 유량확보에 많은 도움을 줄 수 있다. 새로운 저수지나 댐을 건설하는 것은 현재 사회분 위기를 고려해 볼 때 상당히 어려우므로 기존 저수지를 보강하고 적절한 운영방안을 제시하는 것은 매우 효과적인 대안이다. 현재 안양천에 유효용량이 20,000 m³ 이상인 저수지로는 오전천의 오전저수지, 삼성천의 삼성보, 학의천의 백운저수지, 목감천의 과림, 칠리, 노은사 저수지, 오류천의 공동저수지 등이 있다. 이 외에도 홍수시 저류를 위해 계획된 산본천의 홍수조절지, 시흥천과 오류천의 지하저류지 등도 적당한 설비를 설치할 경우 홍수기와 이수기에 모두 활용할 수 있다(현대 Eng., 2003).

2.5.3 지하철 용출수의 활용

안양천 유역에는 많은 지하철 역이 있으며 지역에 따라서는 상당한 양의 지하수가 역내로 흘러들어 오고 있다. 수량이 많고 수질이 양호한 경우 일부는 역사에서 청소용수 등으로 사용하고 나머지는 하수처리장으로

보내고 있는 실정이었으나 근래들어 하천 유지용수의 중요성이 부각되면서 평촌, 범계역 등에서 기술적으로 가능한 경우 건천이 심한 하천에 유지용수로 활용하려는 시도가 일고 있다(한국건설기술연구원, 2001b).

2.5.4 침투증진시설의 설치

안양천유역의 토지이용분석 결과 도시화로 인하여 1975년에는 16.4%였던 시가화 면적비가 2000년에는 42.9%로 26.5%나 증가한 것을 알 수 있었다. 침투증진 시설을 설치하면 불투수 유역에 대하여 우수의 침투량을 증진시킬 수 있어 갈수시에 하천의 건천화를 방지할 수 있으며(이승중 등, 2005), 아울러 직접유출량 감소에 따른 침투 홍수량 저감 및 침투 도달 시간을 늦출수 있게 되어 치수 관점에서도 상당히 유리한 효과를 가져올 수 있다(조원철, 2001; 심재현 등, 2004). 뿐만 아니라 침투증진시설은 매우 효율이 좋은 우수정화기능이 있으므로 수질개선에 도 탁월한 효과가 있어 효용가치가 매우 크다(Benjamin 등, 2003).

2.5.5 하수처리수의 재이용

현재 석수 하수처리장에서는 유지용수의 확보를 위

해 하수를 고도처리하여 학의천과 본류의 상류(Photo 2)로 일 최대 36,500 m³ 만큼 방류하고 있다. 안양천 유역에서는 건천화가 심각하고 지리적으로 안양하수처리장과 인접해있는 수암, 삼막천 등에 고도처리수를 좀 더 확보하여 활용하는 방안을 고려할 수 있다. 이러한 방안은 건기의 수량확보 측면에서 상류에 소규모 하수처리장을 건설하는 것과 같은 효과를 거둘 수 있으므로(이길성 등, 2005) 상류에 하수처리장이 필요하지만 지역여론 등으로 인해 건설이 용이하지 않은 지역에 매우 유용하게 활용될 수 있다.

2.5.6 대규모 사업장 폐수 활용

안양천 유역에는 본류를 따라 약 49개 이상의 대규모 사업장이 분포하고 있으며 이들 사업장에서 발생하는 폐수를 현장에서 처리하여 방류할 경우 건기의 하천수를 확보할 수 있을 것이다. 따라서 이와같은 하천수 확보방안의 하나로 대규모 사업장에서 발생하는 하수의 현지처리를 제도적으로 의무화하거나 세제혜택 및 국고보조 등의 수단이 있어야 가능할 것으로 판단된다. 안양천 유역에서도 농심, 유한킴벌리, LG 전선 등이 폐수를 처리하여 본류로 방류하고 있으며 상류 왕곡천, 오전천 등의 대규모 사업체들에 이러한 내용을 추진할 경우 좋은 효과를 거둘 수 있다(한국건설기술연구원, 2001b; 이기영과 김지영, 2003).

2.5.7 소규모 하수처리장의 건설

안양천 유역은 물론 대부분의 도시지역의 하수처리장은 하류의 대규모 하수처리장까지 차집관거가 너무 길어 상류의 건천화의 원인이 되므로 상류지역의 하수처리는 소규모의 처리장을 만들어 현지에서 처리하여 상류하천에 방류하는 방안이 강구되어야 한다. 근래들어 이러한 시설의 중요성이 부각되면서 가평 등지에서 원격조정으로 운영되는 소규모의 하수처리시설들이 설치되고 있다(이기영과 김지영, 2003).

2.5.8 월류수 저감 대책

합류식 하수관거의 경우 기저하수와 강우유출수 일부를 수집, 운반할 수 있도록 설계되어 있기 때문에 관경이 크고 경사가 완만한 것이 특징이다. 이로 인하여 건기시에는 관용량에 비하여 적은양의 하수만 흐르기 때문에 하수내 존재하는 부유고형물이 관거바닥에 쉽게 퇴적되며 이러한 퇴적물들은 강우시 증가된 유량과 유속에 의하여 침식되어 이동하게 된다. 따라서 CSOs에는 우수와 함께 지표면 오염물질, 관거내 퇴적물, 미처리된 하수 등이 함께 유출되기 때문에 건기하수에 비해 수배 이상의 고농도를 나타내며 인접수역으로 직접 배출되므로 하천을 오염시키는 주요 원인의 하나로 알려

져 있다(이종각 등, 1996; Novotny et al., 1981; Lape et al., 1994). 특히 강우와 시간최대 하수발생시간이 겹칠 경우에는 낮은 강우강도에도 불구하고 월류가 발생하여 연간 월류 발생횟수를 증가시켜 하천의 오염을 가중시킨다. 월류수 저감대책으로는 차집관거 용량을 증대하거나, 우수저류지 건설, 스월 조절조(swirl regulator), 실시간 제어방법 등이 제시되지만 적용된 예는 전무한 실정이다(박노연, 2003). 안양천 유역의 경우 거의 전 지역에서 월류수가 발생하기 때문에 이에 대한 처리를 적극적으로 검토해야 한다. 특히 당정천, 산본천의 경우에는 강우시 대부분의 빗물이 월류하므로 우선적으로 고려해야 한다.

이 외에도 왕곡천, 오전천 상류지역의 하천수 직접취수 금지(Photo 3), 삼막천, 목감천에 저협수로 건설, 수암천, 삼막천의 하천수 하천바닥으로의 누수방지(Photo 4), 성남시의 탄천과 같은 팔당원수의 활용 등의 방안도 적용성을 검토할 수 있다.

3. 결 론

본 연구를 통해 도출된 결론은 다음과 같다.

1. 선진 유역통합관리 이론과 국내외에서 개발되고 있는 다양한 이론 및 기술을 보완하여 접목하여 도시유역 관리를 위한 통합적인 예비타당성 계획을 수립하였다.
2. 소유역별 현황을 치수측면에서는 기존에 개발된 PFD를 이용하였고, 이수, 수질 및 이들을 모두 포함하는 유역평가 측면에서는 JESEW를 활용하여 PSD, PSQ, WEI를 산정하였다. 이는 각 목적별 또는 통합적인 유역관리의 우선순위를 결정하는데 이용될 수 있다.
3. 복개비율이 높은 하천(당정천, 산본천, 수암천, 시흥천, 오류천, 봉천천, 대방천)은 대부분 수질측면에서 문제(3, 4등급)를 보인다.
4. 대방, 봉천천 유역은 모든 측면에서 문제를 보이며 삼봉, 수암, 도림천은 치수, 이수에서 문제를 보인다. 시흥, 목감, 오류, 역곡천 유역은 치수, 수질에서 문제를 보인다.
5. 역곡천은 생활하수가 하천으로 그대로 유입되고 있으므로 수질측면에서 심각한 문제를 보인다.
6. 안양천 유역에는 복개하천의 개선, 저수지의 효율적인 운영방안 개선, 지하철 용출수의 활용, 침투증진시설의 설치, 하수처리수의 재이용, 대규모 사업장 폐수 활용, 소규모 하수처리장의 건설, 월류수 저감대책 등의 방안이 중유역 별로 적절한

위치에 대해 적극적으로 검토되어야 한다.

향후 PFD, PSD, PWQD, PWE를 보다 정확히 적용하기 위해서는 각각 특징에 맞는 정확한 인자 및 적절한 가중치가 부여되어야 하므로 이에 대한 연구가 필요하다. 또한 PSD, PWQD, PWE는 이상점까지의 거리이므로 이상점에 대한 연구도 필요하다. 또한 예비타당성 계획에서 제시된 대안들은 컴퓨터 시뮬레이션 모형을 이용하여 효과분석을 수행한 뒤 각 계획별 비용을 고려해야 최적화된 유역통합관리 계획을 제시할 수 있는 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프린티어 연구개발 사업인 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단(과제번호 1-7-2)의 서울대학교 공학연구소를 통한 연구비 지원과 Brain Korea 21의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참고 문헌

김정훈 (2004). **유역 치수안전도 설정에 관한 연구**. 석사학위논문, 서울대학교.

노성진, 김현준, 장철희 (2005). "청계천 유역에 대한 WEP 모형의 적용." **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제38권, 제8호, pp 645-653.

박노연 (2003). "CSOs (합류식 하수관거 월류수) 처리 시설의 현황." **대한토목학회지**, 대한토목학회, 제51권, 제2호, pp. 47-54.

심명필 (2003). **지속가능한 하천수 개발**. 인하대학교, 과학기술부.

심명필 (2004). **치수사업 경제성분석 방법 연구**. 한국수자원학회, 건설교통부.

심재현, 이철규, 이종규, 김진영 (2004). "침투통의 설치에 따른 치수효과 분석." **2004년 한국수자원학회 학술발표회 논문집 CD**, 한국수자원학회, pp. 1-5.

이기영, 김지영 (2003). **경기도내 하천의 건전화 방지에 관한 연구**. 경기개발연구원.

이길성 (2004). **안양천 유역의 물순환 건전화 기술적용**. 서울대학교, 과학기술부.

이길성 (2006). **안양천 유역의 물순환 건전화 기술개발 연차점검보고서**. 서울대학교, 과학기술부.

이길성, 진락선, 이상호, 이정민 (2005). "PCSWMM을 이용한 건전화 방지를 위한 유지용수의 공급 방안 II 모형의 적용" **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제25권, 제6B호, pp. 437-441.

이상호, 박종표, 이정민, 조효섭 (2003). "청도천의 건전화 원인분석." **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제36권, 제6호, pp. 1069-1082.

이승중, 김영오, 이상호, 이길성 (2005). "WEP 모형을 이용한 도림천 유역 물순환 모의." **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제38권, 제6호, pp. 449-460.

이정민, 이상호, 이길성, 김영오 (2004). "안양천 유역의 물순환 모의." **2004년 대한토목학회 정기학술대회 CD**, 대한토목학회, pp. 2183-2188.

이종각, 방기웅, 이준호(1996). "합류식하수관의 오염물질 유출특성에 관한 연구." **대한환경공학회지**, 대한환경공학회, 제18권, 제10호, pp. 1147-1160.

이충성, 최성안, 김형수, 심명필 (2004). "우이천의 건전화 원인분석." **2004년 한국수자원학회 학술발표회 논문집 CD**, 한국수자원학회, pp. 1-5.

정관수, 조효섭, 김정엽, 심명필 (2003). "GIS를 이용한 건전화 하천의 특성분석." **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제36권, 제6호, pp. 1083-1095.

조원철 (2000). **우수유출 저감시설 시범사업 검토연구**. 연세대학교, 서울특별시.

최지용 (1996). **종합수질지표의 개발**. 한국환경기술개발원.

최지용, 장수환 (2003). **유역효율화를 위한 불투수면 지표 개발과 적용(I)**. 한국환경정책·평가연구원.

한국건설기술연구원 (2001a). **수자원장기종합계획보고서**. 건설교통부.

한국건설기술연구원 (2001b). **안양천 살리기 종합계획**. 안양시.

한국수자원공사(2003). **지하수조사연보**. 건설교통부.

현대 Eng. (2003). **안양천 유역종합치수계획 보고서**. 서울지방국토관리청, 건설교통부.

Bardossy, A., and Bogardi, I. (1983). "Network design for the spatial estimation of environmental variables." *Applied Mathematics and Computation*, Vol. 12, pp. 339~369.

Benjamin, O.B., and Derek. B.B. (2003). "Long-term stormwater quantity and quality performance or permeable pavement systems." *Water Research*, Vol. 37, pp. 4369-4376.

Edwards, C., and Miller, M. (2001). *PLOAD Version 3.0: User Manual*. USEPA.

Hartmann L., Torno C., Bogardi, I., and Higler L. (1987). *Methodological Guidelines for the Integrated Environmental Evaluation of Water Resources Development*. Unep/Unesco Project FP/5201-85-01, Paris.

- Hagemeister, M.E., Jones, D.D., and Woldt, W.E. (1995). "Hazard ranking of landfills using fuzzy composite programming." *Journal of Environmental Engineering*, ASCE, Vol. 122, No. 4, pp. 248-258.
- Heathcote, I.W. (1998). *Integrated Watershed Management*. John Wiley & Sons, New York.
- Istvan B., and Andras B. (2003). *Quick User Guide: JESSEW*. Delft University of Technology.
- Lape, J., and Dwyer, T.J. (1994). "Controlling combined sewer overflows (CSOs): EPA's CSO control policy. *Proceeding of the 1994 WERF*, Kentucky Tenn., pp. 1-18.
- Lee, Y.W., Bogardi, I., and Stansbury, J. (1991). "Fuzzy decision making in dredged-material management." *Journal of Environmental Engineering*, ASCE, Vol. 117, No. 5, pp. 614-630.
- Novotny V., and Chesters, G. (1981). *Handbook of Urban Runoff Pollution: Sources and Management*. Van Nostrand Reinhold Co., NY, pp. 312-390.
- Schuler, T. (1994). "The Importance of ImperVIOUSNESS." *Watershed Protection Techniques*. Vol. 1, No. 3, pp. 100-111.
- Walesh, S.G. (1989). *Urban Surface Water Management*. John Wiley & Sons, New York.

(논문번호:05-81/접수:2005.06.21/심사완료:2005.12.29)