

PE4) 도시하천의 생태환경회복을 위한 적정수문량 확보방안에 관한 연구

정도준*, 이수식¹, 안승섭², 박노삼³

경일대학교 대학원, ¹울산과학기술대학 공간디자인학부

²경일대학교 건설정보공학과, ³경일대학교 토목공학과

1. 서 론

인구의 도시 집중 현상과 증대되는 공업 및 산업화로 인해 토지 이용의 극대화가 진행되고 있다. 도시화의 진행은 도시 유역의 수리, 수문의 양상 변화를 가져왔으며 결과적으로 건물이나 도로의 포장에 의한 불투수면적의 증가와 배수시설의 발달로 급격한 유출변화를 초래하였다.

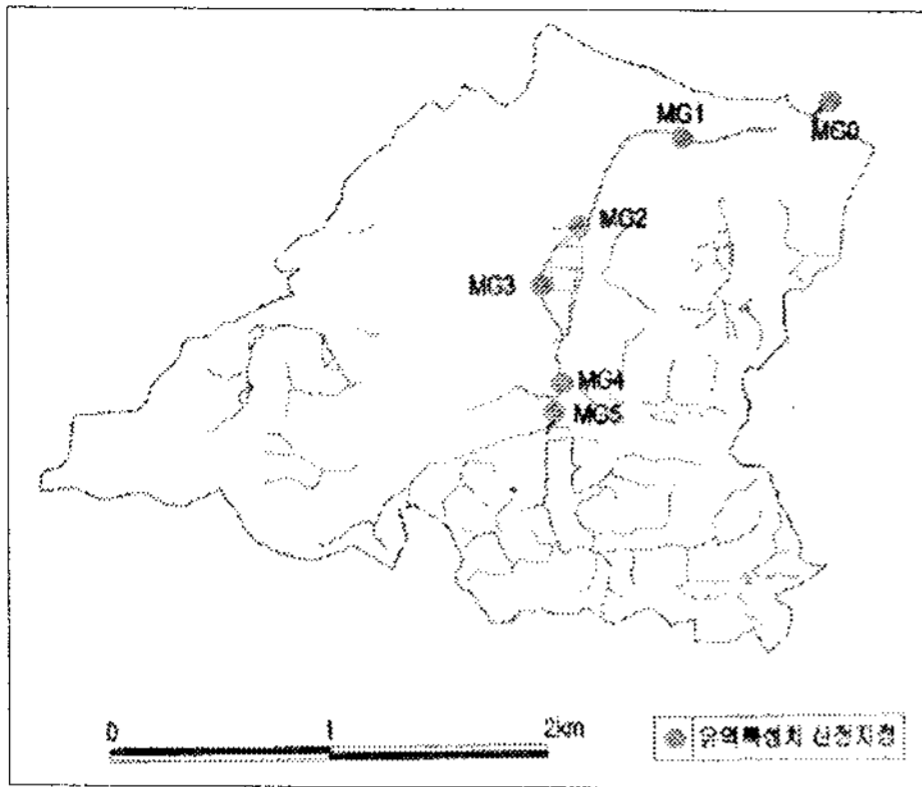
이러한 원인으로, 수리·수문학적으로 우수의 유출이 급격히 증대되어 첨두유량이 증가하였고 하수관거의 확충과 자연수로의 정비로 유출의 진행속도가 빠르게 되어 홍수도달시간이 짧아짐으로 인한 도시형 홍수가 빈번하게 발생하게 되었다. 환경학적으로 도심하천 생태계 파괴, 자정기능 상실, 친수기능의 상실 등 각종 부작용이 야기되고 있다. 하천환경을 종합적으로 고려하고, 충분한 하천유량이 유지될 수 있도록 계획하고 관리하기 위해서는 수질보전, 어류 등 하천 생태계의 서식처 복원 및 보전, 하천경관, 그리고 수상이용 등 하천의 자연 및 인위적 기능을 보전할 수 있는 하천유지유량을 보다 명확하게 결정하여야 한다.

본 연구에서는 우리나라의 대표적인 공업도시인 울산시의 태화강의 지류인 무거천을 대상으로 하여 도시 하천 생태환경회복을 위한 적정수문량 확보방안에 관하여 검토하였다.

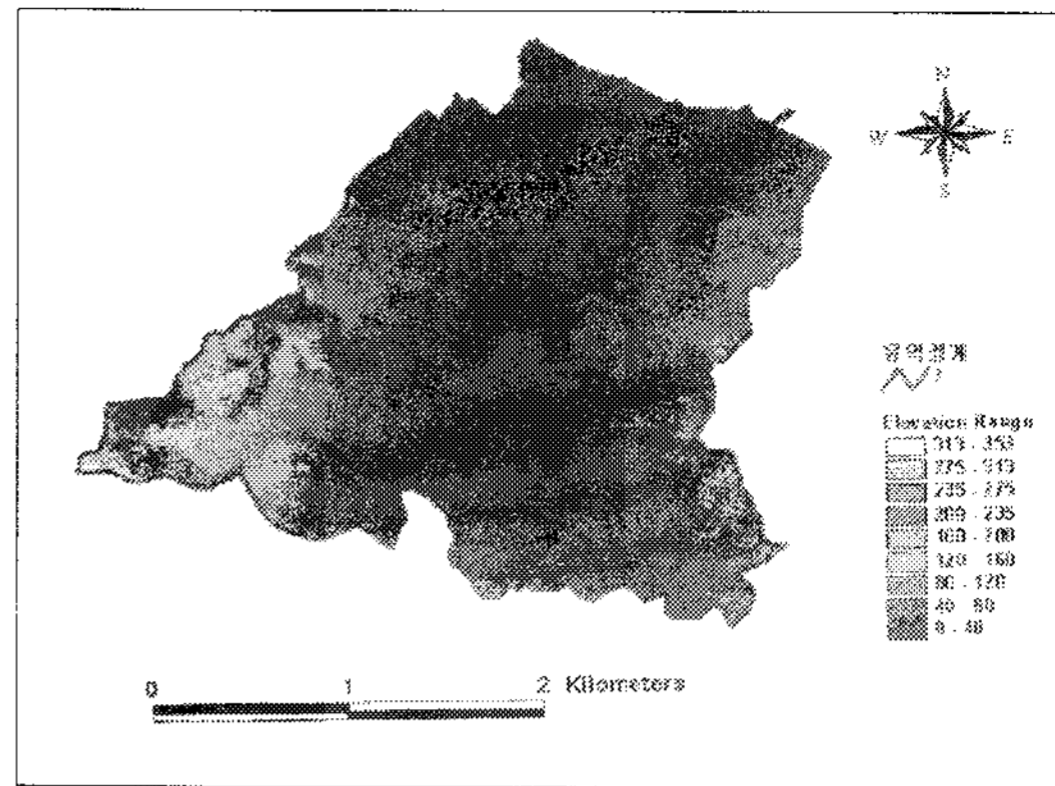
2. 연구대상하천의 특성

2.1. 수문지형학적 특성

무거천 전체의 유역면적은 5.67km², 유로연장 4.34km인 지방2급 하천으로 하천 형상은 수지형(樹枝形)을 이루고 있다. 하천의 하상경사는 상류부가 1/60 정도로 급하고 중·하류부는 1/100~1/300 정도이다.



<그림 1> 무거천 유역 소유역 구분도



<그림 2> 대상유역의 표고분석도

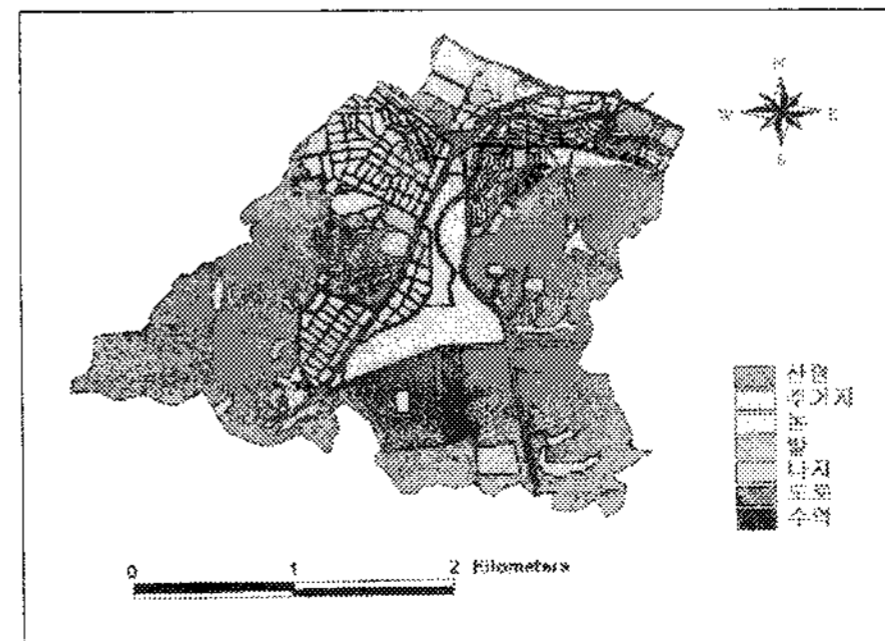
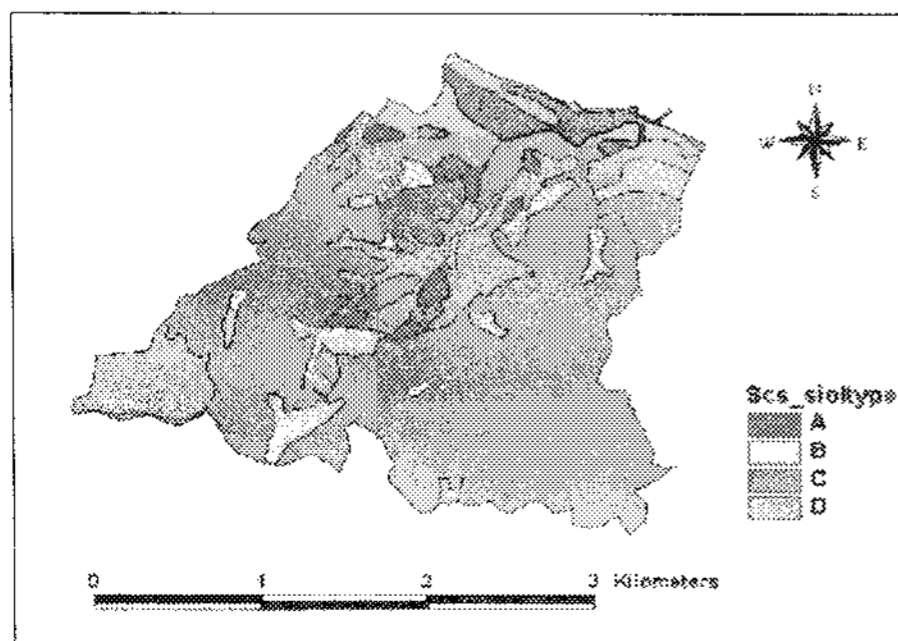
유역의 표고별 면적분포 검토를 위해 1/5,000 수치지도를 ArcView GIS software를 이용하여 분석하였다. 각 지점별 유역면적 및 유로연장, 유역평균폭, 형상계수는 다음 표 1과 같다.

표 1. 주요 지점별 유역 특성인자

| 특성치 산정지점 | 유역면적 A(km ²) | 유로연장 L(km) | 유역 평균폭 A/L(km) | 형상계수 A/L ² |
|----------|--------------------------|------------|----------------|-----------------------|
| MG 0 | 6.24 | 4.72 | 1.32 | 0.28 |
| MG 1 | 5.07 | 3.60 | 1.41 | 0.39 |
| MG 2 | 4.29 | 2.97 | 1.44 | 0.49 |
| MG 3 | 3.89 | 2.62 | 1.48 | 0.57 |
| MG 4 | 0.93 | 2.25 | 0.41 | 0.18 |
| MG 5 | 1.72 | 1.10 | 1.56 | 1.42 |

표 2. 표고별 누가면적 및 구성비

| 표고(E.L) | <50 | 50< | 100< | 150< | 200< | 250< | 300< |
|----------------------|------|-------|-------|------|------|------|------|
| 면적(km ²) | 6.24 | 2.53 | 0.88 | 0.36 | 0.18 | 0.08 | 0.02 |
| 면적비(%) | 100 | 40.49 | 14.12 | 5.77 | 2.95 | 1.31 | 0.28 |



<그림 3> 대상유역의 토양도 및 토지이용도

연구 대상 유역의 토지이용현황을 조사한 결과 농경지 0.20km²(3.17%), 임야 3.72km²(59.69%), 나지 0.15km²(2.33%), 도로 0.55km²(8.82%), 주거지 1.54km²(24.66%), 기타 0.08km²(1.34%)로 구성되어 있음을 알 수 있었다. 또한 본 연구유역의 연평균 강수량 1,228.9mm/년을 적용하여 추정된 유출상황은 다음 표 3.와 같았다.

표 3. 유역의 유출상황

| 구 분 | 무거천유역 (A=6.24km ²) | |
|---------|--|--------------|
| | 유 출 상 황 | 비 율 |
| 강우총량 | 6,967 × 10 ³ m ³ | 100.0% |
| 유출량 | 3,831 × 10 ³ m ³ | 55.0% |
| 손실율 | 3,136 × 10 ³ m ³ | 45.0% |
| 홍수기 유출 | 2,566 × 10 ³ m ³ | 36.8% (67%) |
| 비홍수기 유출 | 1,265 × 10 ³ m ³ | 18.20% (33%) |

2.2 수질지형학적 특성

무거천은 전형적인 도시하천으로 남구 무거동 일대를 관류하며 최근 형성된 주변 공동주택의 증가로 오염물질의 발생량이 현저히 증가하였으며, 발생된 생활하수를 태화강으로 유입시키고 있다.

표 6. 지표수질분석 결과(2003년도)

(단위 mg/L)

| 항목 | 지점 | 태화강 합류지점 앞 낙차공 | 항목 | 지점 | 태화강 합류지점 앞 낙차공 |
|------------------|----|-------------------|-------------------------|----|-------------------|
| pH | | 7.16 | Hg(mg/L) | | 불검출 |
| BOD(mg/L) | | 14.20 | Pb(mg/L) | | 불검출 |
| SS(mg/L) | | 8.0 | Cr ⁺⁶ (mg/L) | | 불검출 |
| DO(mg/L) | | 0.26 | PCB(mg/L) | | 불검출 |
| TC(총대장균군수/100mL) | | 불검출 | ABS(mg/L) | | 0.012 |
| Cd(mg/L) | | 불검출 | T-P(mg/L) | | 0.679 |
| As(mg/L) | | 불검출 | T-N(mg/L) | | 3.853 |
| CN(mg/L) | | 불검출 | COD(mg/L) | | 9.13 |

주) 불검출은 검출한계 이하를 나타냄

2.3. 무거천의 생태현황

본 연구대상인 무거천(옥현주공1단지에서 주차장으로 복개된 지점)의 식생, 수생 및 수변 식물 등의 조사결과 관속식물상은 총 28과 61속 65종 10변종 1품종을 포함하여 76종이 분포하고 있는 것으로 조사 되었다.

또한 무거천의 어류생태특성은 환경부(1987)에서 조사된 태화강 어류생태조사 결과를 이용하였다. 결과에 따르면, 1960년대까지 태화강의 수질은 양호한 상태로서 송어와 큰가물치,

연어 등 많은 물고기들이 서식하고 있었고 지역의 주민들이 이 물을 식수로 사용할 수 있을 정도로 맑았다. 그러나 하천주변의 개발과 산업의 급속한 발달로 인하여 하천의 수질은 악화되었고, 생태계 조사결과 태화강에는 붕어, 물개, 모래무지, 돌고기, 피라미, 갈겨니, 파랑볼우렁, 꼭저구 등 8종의 어류가 서식하고 있는 것으로 조사되었다.

3. 적정수문량 산정

3.1. 기준

무거천에서는 이수목적으로 하천유량의 수요가 거의 없으므로 하천관리유량이 아닌 하천유지유량 확보를 대상으로 하여야할 것이다. 일반적으로 하천유지유량 산정은 하천이 가지고 있는 고유의 갈수량, 하천생태계(어류), 하천경관 등 정량화가 가능한 항목에 대해 하천의 특성자료를 이용해 산정하였다.

3.2. 하천생태계를 고려한 수문량 산정

무거천의 생태환경회복을 위한 적정수문량 결정은 가급적 깊은 수심을 확보하고 여울과 소가 충분히 설치되면서 식생과 자연스러운 사행이 형성되도록 저수로부를 조성하는 것으로 검토하였다.

자연형 하천 조성시 목표수량에 따른 수심, 유속, 수질 등을 확보하기 위해서는 하상경사를 1/900~1/1,600로 조정이 필요하며 이를 위해서는 많은 “여울”을 두되, 여울의 경사가 1/10~1/20 이하 유지되도록 하며 여울을 ‘어도’로 활용하고, ‘소’를 충분히 활용하도록 한다.

저수로 하폭은 현재 4~5m 전후이고, 전하폭은 15~40m 전후이므로 목표수량에 따라 최소한의 수심 및 유속 등을 유지하기 위해 저수로 하폭을 4.0m 전후로 조정할 필요가 있으며 구간에 따라 자연스럽게 조정해야 한다.

표 10. 무거천 목표유지유량 결정

| 하천 | 목표수심(m) | 조도계수 | 하상경사 | 저수로폭 | | | | 비고 |
|-----|---------|-------|---------|---------|-------------------------|---------|-------------------------|----|
| | | | | 3.5m 일때 | | 4.0m 일때 | | |
| | | | | 유속(m/s) | 유량(m ³ /day) | 유속(m/s) | 유량(m ³ /day) | |
| 무거천 | 0.1 | 0.035 | 1/1,200 | 0.171 | 5,178 | 0.172 | 5,945 | |
| | 0.15 | 0.035 | 1/1,200 | 0.220 | 9,998 | 0.222 | 11,503 | 제안 |
| | 0.2 | 0.035 | 1/1,200 | 0.262 | 15,872 | 0.265 | 18,297 | |
| | 0.3 | 0.035 | 1/1,200 | 0.333 | 30,175 | 0.337 | 34,913 | |

주) 목표수심이란 목표수량으로서 물고기 생존에 필요한 최저수심을 의미함

수심은 물고기 생존에 필요한 최소한의 수심 유지로 0.15m로 설정하며, 물고기 종류별, 성장조건(산란, 치어, 성어)등을 고려하여야 하나, 태화강과 연계하여 생존과 생태계 유지에 필요한 최소한의 수심인 0.1m 보다 다소 크게 설정 하여야할 것이다. 또한 유속은 흐름을 느낄 수 있는 최소유속(0.1m~0.2m/s)으로 유지하여야 하며, 여울을 제외한 구간에 일정한 수심유지와 유속이 동시에 충족되어야 할 것을 고려해야하며 물고기 이동에 지장을 주지

않는 충분히 완만한 경사를 유지해야 할 것이다. 또한, 배수구를 통한 생활하수 유입 최소화 하며 비점원오염원 등 처리방법 강구하여 물고기 생존, 생태계 유지, 경관유지가 가능해야 할 것이다. 그 결과, “물고기가 살 수 있고 생태계가 보존되는 무거천”의 개념에서 하상경사 1/1,200, 조도계수 0.035, 유속 0.22m/s, 수심 0.15m의 조건으로 목표유량을 11,500m³/day로 결정하였다.

3.3. 목표유지유량 확보방안 비교 검토

무거천 목표유지유량 확보방안으로 첫째, 태화강 복류수 개발이 있다. 폐쇄된 다운정수장의 지하수 취수시설을 복원 활용하고, 척과천합류 등 복류수 형성조건이 가장 유리하고 또 관로매설 등의 비용이 작게 소요될 것으로 판단되는 삼호교 상류지역에서 복류수를 개발하는 것이 적합하다고 본다. 둘째, 중구 다운동 전역 급수인구 22,000명에게 생활용수를 공급 하던 다운정수장 심정시설을 재계하는 방안이 있다. 심정이므로 태화강의 표류수나 유지유량 등에는 직접적인 영향을 미치지 않으면서 시설용량이 11,000m³/day에 달해 무거천에 목표유지유량을 공급할 수 있어 효율적인 방안이 될 것이다. 그 밖에 태화취수장 활용이나 범서 입암취수장, 용연하수처리장, 언양하수 처리장 등을 활용하여 무거천의 유지유량 확보방안으로 고려할 수 있을 것이다.

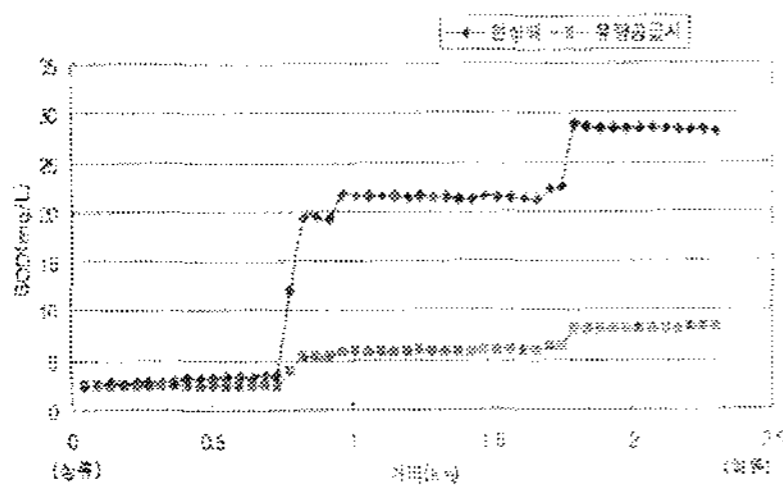
무거천과 인접한 태화강 수계와의 연계 및 기존 시설 등의 활용 가능성을 고려하여 가장 효율적이고 합리적인 유지용수 확보방안을 검토한 결과 태화강 본류 삼호지역에 태화강 복류수를 개발하여 무거천 상류에 공급하면 다시 무거천 하류를 통해 태화강으로 되돌아오게 되므로 태화강의 유지용수 유지에도 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

3.4. 적정유량 공급에 따른 수질 개선 효과

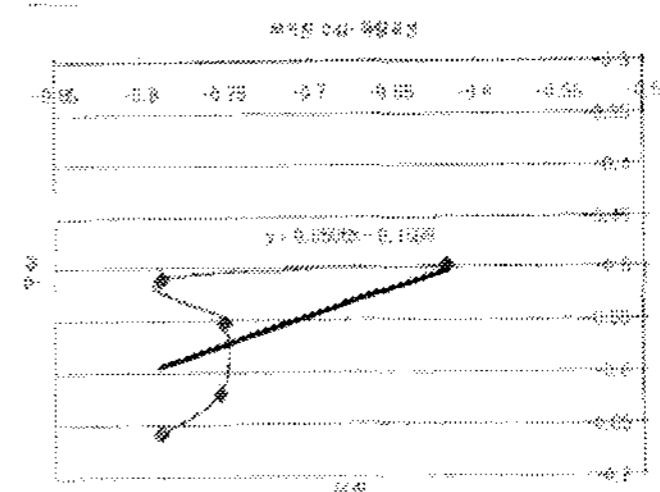
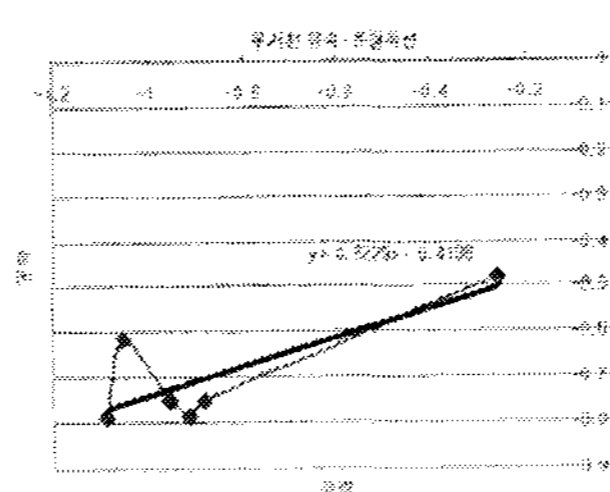
하천의 적정수문량은 일반적으로 기준갈수량을 기준으로 결정되어 왔으나 환경보전의 요구에 의해 그 개념을 달리해왔다. 국내에서는 하천유지유량 결정에 대한 정량적 분석은 1995년 건설기술연구원에서 ‘하천유지유량 결정방법의 개발 및 적용’의 연구를 통해 QUAL2E 모형을 이용한 바 있다. 본 과업의 대상인 무거천에 대한 목표 유지유량 결정도 QUAL2E 모형으로 분석하는 경우 보다 효율적인 유지유량을 결정할 수 있겠으나, 이에 필요한 기본자료 등이 충분하지 않은 관계로 이를 적용할 수 없었다.

본 연구에서는 목표유지유량의 공급여부와 하수차집관거의 오점률 정도에 따른 각 지점별 수질개선 효과를 검토하였다. 이를 위해, 수질측정자료는 ‘무거천 생태하천조성 타당성 조사연구(남구청 2001)’와 ‘여천천 생태하천조성 타당성 조사연구(울산지역 환경기술 개발센터 2002)’를 이용하였으며, BOD 수치는 구간별로 평균값을 사용하였다. 그리고 점오염원의 BOD 농도는 하수처리장으로 들어오는 생활하수의 평균 BOD 농도가 80~150mg/L의 수치를 보이는 것을 감안하여 무거천에 80mg/L을 적용하였다.

무거천에 대해 현상태와 목표유지유량을 공급할 때에 대한 수질개선 효과를 비교한 결과 수질이 10ppm(BOD) 이하로 뚜렷이 개선되는 것을 확인할 수 있다. 현상태를 기준으로 오수차집율을 0%~100%로 가정하고, 그 정도에 따른 수질개선효과를 검토한 결과 <그림 4>와 같았다.



<그림 4> 차집을별 수질개선 효과



<그림 5> 현상태 및 목표유지유량 공급시 수질개선 효과

5. 결 론

본 연구에서는 우리나라의 대표적인 공업도시인 울산시의 태화강의 제1지류인 무거천을 대상으로하여 생태 환경회복을 위한 적정수문량 산정을 위하여 무거천의 수리·수문학적 특성과 유수의 변동상태(수심, 유속 등), 수질학적 특성을 조사하여 분석, 검토한 결과는 다음과 같았다. 먼저, 무거천 목표 유지유량은 11,500m³/day 로 하고, 외부공급유량 10,000m³/day은 태화강 삼호교 상류지역의 복류수를 개발하여 공급하는 것이 가장 효율적일 것으로 판단된다. 다음으로 무거천에 목표유지유량을 공급하고 관거의 오점 등을 고려한 실제 하수 차집율에 80% 이상되는 경우, 무거천의 수질은 전구간 3~4ppm 이하로 개선될 수 있을 것으로 예상된다.

마지막으로 무거천에 설치되어 있는 보나 낙차공 등은 철거하여 여울과 소 등을 조성하되, 충분한 사행과 식생을 확보하여 생태계가 복원될 수 있도록 유도 하는 것이 유지유량의 효율성을 극대화하는 방안이 될 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 전경수, 이길성, 1993. 영향계수를 이용한 QUAL2E 모형의 반응계수 추정, 대한토목학회 논문집, 13(4), 163-176
2. 김규호, 우효섭, 1995. 하천유지유량 결정방법의 개발 및 적용에 관한 연구, IPD-'95-2, 한국수자원공사
3. 최기철, 1995. 하천관리를 위한 어류 서식처 구조에 관한 연구조사, 한국건설기술연구원
4. 이수식, 이병호, 안승섭, 이철영, 1997. 태화강 환경조사 및 보전대책연구, 울산광역시
5. 박노삼, 이수식, 안승섭, 1998. 수질관리를 위한 도시하천 유지유량 결정에 관한 연구, 대한환경공학학회지, 20(2), 287-304
6. Swales, S. and K. O'Hara, 1980. Instream Habitat Improvement Devices and Their Use in Freshwater Fisheries Management, Jr. of Environmental Management.
7. Brown, L.C. and T.O. Barnwell, 1987. The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS : Documentation and User Manual, EPA/600/3-87/007, Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Athens, Georgia.
8. Karr, J.R and I.J, Schlosser, 1997. Impact of Near Stream Vegetation and Stream Morphology on Water Quality and Stream Biota, U.S. EPA, Ecological Research Series, EPA-600/ 3-77-097