

물 환경관리를 위한 불투수면 지표의 적용성 연구

최지용[†] · 김병익^{*} · 박백수^{*} · 정은성^{**}

한국환경정책·평가연구원

*국립환경과학원 한강물환경연구소

**서울대학교

Applicability of Impervious Cover Index for Water Environment Management

Ji-yong Choi[†] · Byung-ik Kim^{*} · Baek-soo Park^{*} · Eun-sung Chung^{**}

Korea Environment Institute

*Han-River Environmental Research Center, National Institute of Environmental Research

**School of Civil, Urban & Geosystem Engineering, Seoul National University

(Received 23 September 2008, Revised 20 October 2008, Accepted 21 October 2008)

Abstract

Studies regarding the application of the impervious cover rate as a watershed management index have increased in number due to concerns over watershed management. The impervious cover rate is suggested as an index that can manage not only water quality but also water volume and the water ecosystem. This study intends to prove its applicability through the interconnection of the impervious cover rate and the water environment in Korea. Analysis of a selected watershed with reference to impervious cover rates showed that a watershed with an impervious cover rate of over 30% had a direct runoff in excess of 60% of precipitation, while a watershed with an impervious cover rate of 7% had a direct runoff of 39%. Watersheds with higher impervious cover rates were also found to have higher BOD, though different watersheds showed slightly different aspects in connection with BOD. Monitoring of benthic macroinvertebrates showed that species inhabiting clean water appear more frequently in areas with lower impervious cover rates than areas with higher impervious cover rates, and in mainstream areas, relatively larger numbers of species appeared in areas with lower impervious cover rates. This suggests that impervious cover rates can be appropriately used as an index for watershed management, as it effectively represents changes to the water environment.

keywords : Impervious cover, Water ecology, Water quality, Water quantity, Watershed management

1. 서론

토지이용이 고도화된 도시지역은 불투수면의 증가로 인해 유역이 가지고 있던 원래의 물 순환은 크게 왜곡되었고 이는 다시 수 환경 전반에 큰 영향을 주었다. 이와 같이 토지이용은 유역의 수 환경에 큰 영향을 끼치므로 유역의 수환경과 토지이용을 연계한 지표를 활용해 유역의 물 환경 상태를 평가하고 관리하기 위한 방안을 마련하는 연구는 매우 중요하다. 일관성 있고 효율적인 유역관리가 이루어지기 위해서는 그 나라의 토지이용 특성을 반영한 유역관리지표의 개발과 적용이 필요하다.

불투수면은 도시적 토지이용의 대표적인 특성으로써, 불투수면 비율과 수질, 수량, 생태와는 강한 상관관계를 갖는다고 알려져 있다. 효율적인 물 관리를 위해 유역의 불투수면 현황을 조사하고, 불투수면과 물 환경과의 상호관계를 규명하며, 불투수면을 고려한 유역의 물 환경 변화와 특성

을 분석하는 것이 바람직하다. 최근 유역관리에 관심이 고조되면서 유역관리지표로서 불투수면 비율의 적용에 관한 논의가 활발하다(환경부, 2006a, 2006b). 불투수면 지표는 수질뿐만 아니라, 수량, 수생태를 관리할 수 있는 지표로서 적용성이 크리라 본다. 따라서 본 연구에서는 우리나라 도시지역의 수질과 수생태 자료를 활용한 불투수지표와 물환경변화에 대한 연계분석을 바탕으로 유역관리지표로서의 불투수율의 적용가능성을 평가하고자 한다.

2. 연구방법

2.1. 분석틀의 정립

유역관리에 있어서 불투수면관리의 중요성은 90년대부터 활발히 연구되기 시작하였다. 이로써 불투수면과 하천수질 지표 사이에 강한 상관관계가 있음이 과학적으로 규명되기 시작하였고, 관련 연구들을 통합하여 불투수면 모델(Imperious Cover Model, ICM)이 개발되었다(CWP, 1998; Fig. 1). ICM에서는 불투수면의 비율에 따라 수환경의 상태를 구분

[†] To whom correspondence should be addressed.

jiychoi@kei.re.kr

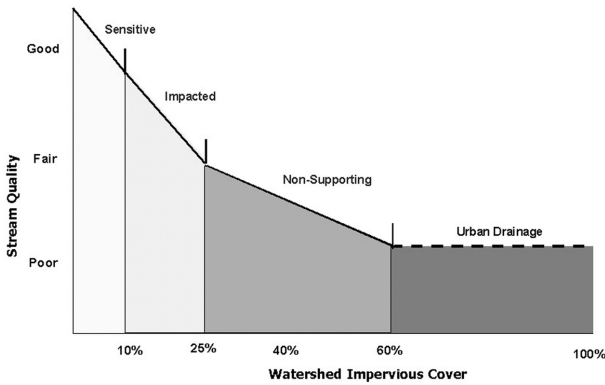


Fig. 1. Impervious cover model.

함으로써 하천상태를 판단할 수 있도록 하고 있다.

ICM 모델은 간단하지만 유역관리자에게 중요한 정보를 제공해줄 수 있으며, 일반적으로 하천을 분류하고 관리하는데 유용한 틀을 제공한다. 여기서는 개발행위에 하천에 영향을 주는 인자인 불투수면 비율의 임계치(threshold)를 제시함으로써 개별적인 개발행위나 토지이용을 유역차원에서 조정할 수 있는 틀을 제공한다. 그러나 ICM에서의 10%, 25%라는 임계치는 불투수면과 하천 환경질 지표간의 통계적 편차로 인하여 정확한 구분점이 아니라 그 범위의 불투수면 비율에서의 일반적인 변화를 반영한 값으로 이에 근거한 하천특성은 다음과 같다.

2.2. 분석방법

우리나라에서 불투수면 비율에 따른 수 환경 영향 분석을 위해 시범유역으로 안양천(한강의 제1지천이며, 서울시 금천구, 관악구 등과 경기도의 안양시, 의왕시 등 포함)을 선정하고 수질, 수량, 수생태 자료를 불투수면 비율과 연계해 분석하고자 한다. 수질과 수량은 사례지역에 모델을 구축해 고찰해 보고, 수생태는 시범유역의 생태조사자료를 분석하고자 한다. 수량과 수질은 안양천 유역의 소유역별 불투수면 비율에 따른 유출 및 BOD 부하 특성을 불투수면 모델과 연계하여 해석하고자 한다. 분석에 사용한 기초 자료로 유출 및 BOD 자료는 HSPF를 이용하여 모의한 결과를 활용하였으며, 수생태계 자료는 안양천 유역을 대상으로 한 기존의 조사 자료를 바탕으로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

불투수면 비율에 따른 유역의 물 환경변화를 파악하기 위한 사례지역으로 안양천 유역을 선정하였다. 안양천 유역

을 선정한 이유는 안양천살리기 사업(안양시, 2002)과 안양천유역의 물순환건전화 기술개발 사업단(과학기술부, 2007) 등에서 수행한 유역의 수생태 및 수환경에 관한 조사 자료가 비교적 많아 유역내 불투수면 비율변화에 따른 물 환경상태변화를 파악하기 쉽기 때문이다.

3.1. 강우-유출

불투수면 비율변화에 따른 강우-유출 변화분석을 위해 HSPF(Hydrologic Simulation Program Fortran)를 사용하였고, 기상자료는 HSPF모형의 입·출력을 위해 개발된 WDMUtil을 이용하여 수원기상대와 서울기상대의 1993~2005년 시간별 강수량, 증발량, 기온, 풍속, 일사량, 이슬점 온도, 운량 등의 자료를 구축하였다. 이 중 강수량은 안양천 유역 종합치수계획(현대 Eng., 2005)에서 작성한 Thiessen망의 면적비를 사용하여 강수량의 공간적 분포를 고려하였다. DEM은 건설교통부 국토지리정보원의 1999년도 1:25,000 수치지형도를 이용하여 ArcView에서 작성하였으며, Chaubey 등(2005)과 조효섭 등(2003)을 토대로 모의시간의 효율성과 모의결과의 정확성을 위해 30 m×30 m로 하였다. 토지이용도는 국토지리정보원의 1999년도 1:25,000 수치 토지이용 현황도를 이용하였다.

수문모의는 먼저, 매개변수의 민감도 분석과 검·보정 과정을 거쳐지게 되는데, 다양한 특성을 가지고 있는 안양천 유역을 고려하여 물리학적 특성(경사도)과 기상자료에 따라 4개 지역으로 구분하여 매개변수를 산정하고 검정을 수행하여 모형의 정확도를 향상시켰다. 이후 HSPF 모형을 사용하여 1996~2005년의 10년간의 연속유출모의를 실시하였다. 보정 및 검증을 마치고 1996년 1월 1일부터 2005년 12월 31일까지 10년 동안 일단위 연속유출모의를 실시하여 상류(출구점: 웃우물표)·중류(출구점: 기아대교)·하류(출구점: 고척교) 및 안양천 제1지류 유역에 대한 각 요소별 10년 평균값을 산출하였다(Table 2).

물순환 모의결과, 강수량 대비 직접유출량 비율은 상류 유역 42.5%, 중류 유역 44.0%, 하류 유역 56.9%이며, 침투량 비율은 상류 유역 22.3%, 중류 유역 15.0%, 하류 유역 14.3%, 기저유출량 비율은 상류 유역 11.1%, 중류 유역 7.0%, 하류 유역 5.0%로 나타났다. 도시화 비율이 늘어나면서 기저유출량은 11.1%에서 5.0%로 감소하고 직접유출량은 42.5%에서 56.9%로 증가했음을 알 수 있다. 한편 안양천 제1지류 유역의 물순환 모의결과에서는 안양천 하류에 속하면서 유역의 불투수면 비율이 30% 이상을 차지하는 도림천, 시흥천, 목감천 유역에서 강수량 대비 60% 이상의 직접유출량 비율을 나타내고 있다. 특히 모든 하천이

Table 1. Stream characteristics with impervious cover rate

Stream diversity	Sensitive stream	Impaired stream	Ecologically non-sustainable
Impervious cover rate	1~10%	11~25%	26% over
Stream stability	Stable	Unstable	Very unstable
Water quality	Excellent-good	Good-fair	Fair-bad
Bio diversity	Excellent-good	Good-fair	Bad

Ref) Schueler (1994)

Table 2. Result of hydrologic simulation from 1996 to 2005.

(unit : mm)

Watershed	Impervious cover (%)	Precipitation	Evapotran-spiration	Infiltration	Runoff	Base flow	Deep infiltration	Retention
Up-stream	-	1331.7 (100 %)	636.8 (48.6 %)	291.2 (22.3 %)	574.8 (42.5 %)	149.0 (11.1 %)	54.9 (4.1 %)	-83.7 (-6.4 %)
Mid-stream	-	1355.6 (100 %)	648.6 (47.8 %)	203.5 (15.0 %)	596.9 (44.0 %)	94.5 (7.0 %)	32.7 (2.4 %)	-17.1 (-1.3 %)
Lower- stream	-	1419.5 (100 %)	566.6 (39.9 %)	203.0 (14.3 %)	807.8 (56.9 %)	71.0 (5.0 %)	80.6 (5.7 %)	-106.5 (-7.5 %)
Whang Gok (WG)	6.96	1331.7 (100 %)	629.6 (48.1 %)	296.2 (22.7 %)	532.9 (39.4 %)	152.7 (11.4 %)	56.2 (4.2 %)	-39.7 (-3.1 %)
Oh Jeon (OJ)	7.65	1331.7 (100 %)	632.3 (48.3 %)	294.4 (22.6 %)	547.8 (40.5 %)	151.3 (11.3 %)	55.7 (4.2 %)	-55.4 (-4.3 %)
Dang Jeng (DJ)	57.09	1331.7 (100 %)	642.2 (49.0 %)	255.7 (19.6 %)	611.2 (45.2 %)	114.4 (8.5 %)	36.9 (2.8 %)	-73 (-5.4 %)
San Bon (SB)	40.34	1331.7 (100 %)	632.3 (48.2 %)	264.5 (20.3 %)	601.3 (44.5 %)	122.3 (9.1 %)	37.4 (2.8 %)	-61.5 (-4.6 %)
Hak Wei (HW)	22.82	1340.8 (100 %)	630.4 (47.0 %)	265.3 (19.8 %)	595.5 (44.0 %)	118.6 (8.8 %)	35.1 (2.6 %)	-33.9 (-2.5 %)
Su Am (SA)	18.9	1331.7 (100 %)	612.3 (46.7 %)	267.2 (20.5 %)	587.1 (43.5 %)	126.6 (9.4 %)	35.5 (2.6 %)	-29.7 (-2.3 %)
Sang Sung (SS)	7.88	1528.9 (100 %)	705.5 (46.1 %)	312.4 (20.4 %)	659.6 (43.1 %)	143.5 (9.4 %)	41.1 (2.7 %)	-20.8 (-1.4 %)
Sam Bong (SB)	11.52	1331.7 (100 %)	660.1 (50.4 %)	253.5 (19.4 %)	621.2 (45.8 %)	109.1 (8.1 %)	40.4 (3.0 %)	-99.1 (-7.3 %)
Si Heung (SH)	45.31	1537.9 (100 %)	413.3 (27.8 %)	260.5 (17.8 %)	1042.8 (66.9 %)	127.8 (8.3 %)	40.6 (2.7 %)	-86.5 (-5.6 %)
Mok Gam (MG)	31.71	1463.8 (100 %)	485.9 (32.8 %)	310.3 (20.9 %)	886.7 (60.0 %)	195.3 (13.1 %)	23.4 (1.6 %)	-109.8 (-7.4 %)
Do Rim (DR)	62.27	1537.9 (100 %)	415.4 (27.9 %)	137.9 (9.4 %)	1094.4 (70.3 %)	27.9 (1.8 %)	26.3 (1.7 %)	-26.1 (-1.7 %)

부분 및 전면 복개되어 있고 유역전체의 62.8%가 불투수면에 속하는 도립천 유역의 경우 직접유출량 비율이 70.3%, 기저유출량 비율이 1.5%를 보였다.

이는 불투수면 비율이 7%인 왕곡천의 직접유출량 비율 39.4%, 기저유출량 비율 11.4%와 비교해 볼 때, 직접유출량 비율은 30.9%가 높고, 기저유출은 9.9% 낮은 값으로 도시화로 인해 물순환이 심각하게 왜곡되어있음을 알 수 있다.

한편, 모의결과 원자료를 이용하여 일년 중 비가 많이 오는 7~9월의 자료만을 추출한 후, 강우/비강우시의 중유역별 유출양상을 살펴보았다(Fig. 2). 유역마다 조금씩 양상은 다르지만 전반적으로 불투수면 면적이 넓은 유역에서의 강

우시 유출량 비율이 많음을 확인할 수 있다. 이 중에서 불투수율이 작으면서도 강우시 유출이 많은 삼성천과 삼봉천 등(SS, SB2)은 관악산의 급경사와 암반지질로 인한 영향으로 판단된다.

3.2. 오염부하

오염부하량 역시 HSPF(Hydrologic Simulation Program Fortran)를 이용한 유출분석과 동일하게 유역을 세분하고 안양천 출구점(양화교)을 기준으로 2005년 기상자료를 사용하여 BOD 총 부하량과 침투 농도에 대하여 매개변수의 민감도 분석을 실시하였다. BOD는 HSPF 모형에서 RCHRES 모듈의 OXRX (Primary DO and BOD Balances)에서 모의된다. BOD보정은 수질자료의 불확실성을 고려하여 RMSE(Root Mean Square Error)를 목적함수로 하여 선정된 KODSET, TCBOD, KBOD20에 대해 가장 작은 RMSE를 갖는 매개변수 조합을 선정하였다. 보정 및 검증을 마친 HSPF 모형을 이용하여 2005년의 일단위 연속유출 모의를 실시하였다. 연속유출모의결과 원자료를 이용하여 우기인 7~9월의 자료만을 추출하여 강우/비강우시 중유역별 BOD 부하량을 다음과 같이 나타내었다(Table 3, Fig. 3). BOD 부하량 역시 유역마다 조금씩 다른 양상을 보이고는 있지만, 불투수면 면적이 넓은 유역의 BOD 부하량이 높게 나타났다.

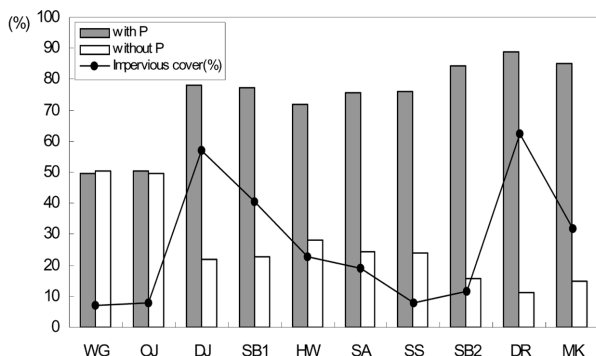


Fig. 2. Runoff volume with and without precipitation.

Table 3. Result of BOD load simulation with and without precipitation

(unit: g/day)

Watershed	Impervious cover (%)	Impervious cover (km ²)	BOD load with precipitation		BOD load without precipitation		Total BOD load
Oh Jeon (OJ)	7.65	0.4	6,466.9	52.0%	5,977.1	48.0%	12,444.0
Wang Gok (WG)	6.96	0.4	6,157.1	54.3%	5,178.8	45.7%	11,335.9
Dang Jeon (DJ)	57.09	3.2	9,903.6	66.3%	5,026.3	33.7%	14,929.8
San Bon (SB1)	40.34	4.4	15,752.5	75.4%	5,148.0	24.6%	20,900.5
Su Am (SA)	18.9	2.0	12,061.9	82.3%	2,589.9	17.7%	14,651.8
Sam Bong (SB2)	11.52	0.7	7,974.7	80.6%	1,918.2	19.4%	9,892.9
Hak Wei (HW)	22.82	11.8	67,196.2	70.4%	28,287.4	29.6%	95,483.6
Sang Sung (SS)	7.88	0.3	20,878.4	87.0%	3,117.7	13.0%	23,996.1
Mok Gam (MG)	31.71	9.5	184,103.8	24.9%	554,962.8	75.1%	739,066.6
Si Heung (SH)	45.31	1.7	7,530.9	83.0%	1,537.0	17.0%	9,067.9
Do Rim (DR)	62.27	14.1	48,492.5	91.3%	4,619.2	8.7%	53,111.7
Total	-	-	386,518.4	38.5%	618,362.5	61.5%	1,004,880.9

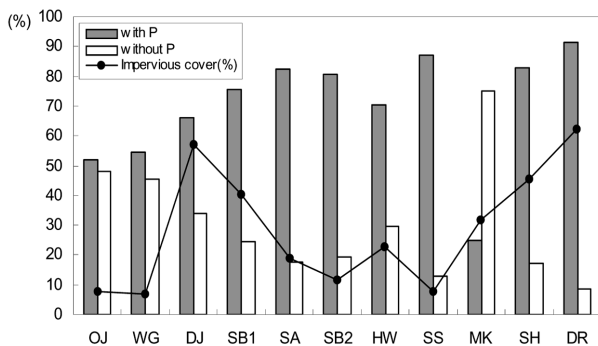


Fig. 3. BOD % load simulation with and without precipitation during rainy season.

유출분석에서와 마찬가지로 불투수면적 비율이 높은 유역의 경우, 강우시 BOD 유출비율(%)이 높았으며, 불투수 비율이 낮은 유역은 우기와 건기의 BOD 유출비율(%)이 비슷하였다. 이는 불투수비율이 증가하면서 강우시 비점오염원의 유출력 증가와 하수관거의 월류수 등으로 인해 오염부하량이 증가하기 때문으로 판단된다. 이 중 목감천(MK)은 상대적으로 불투수면 면적에 비해 BOD 부하량이 특히 높았으며, 비강우시 부하량이 강우시보다 높게 나왔다. 이는 목감천 유역이 하수도 시설이 상대적으로 미흡하여 미처리 하수의 유입영향으로 판단된다.

3.3. 생태

안양천 유역은 급격히 도시화되면서 유역의 하천기능을 살리고 회복시키기 위한 다양한 모니터링과 복원사업이 추진되면서 이 일대를 중심으로 많은 연구가 이루어져 왔다. 따라서 불투수면 증가에 따른 생태영향은 그동안 안양천 유역 내 하천을 대상으로 기존에 수행된 연구결과를 바탕으로 분석하였다. 생태영향분석은 저서형 대형무척추동물들을 대상으로 하였다. 저서성대형무척추동물은 하천생태계의 영양단계 및 기능면에서 중요한 위치를 차지하며 이동성이 낮고 다양한 서식처에 적응하여, 담수생태계를 파악하는데 주요한 연구대상 생물군으로 이용되고 있다. 특히, 수서곤충류는 저서성대형무척추동물의 95%를 차지하며 환경변화

에 민감하고 종류에 따라 비교적 뚜렷한 내성 범위를 가지고 있어 하천 생태계의 환경을 평가하는 생물학적, 생태학적 지표로서 매우 중요한 역할을 한다.

연도별 저서성대형무척추동물 조사결과(과천시, 2002; 배경석 등, 2000, 2002; 안양시, 2003, 2004, 2007; 이기영 등, 2006; 최정권 등, 2007)를 종합한 결과는 Table 4와 같으며, 조사지점은 ①호계교 ②갈현교 ③학의천 관양동 ④학운교 ⑤안양예술공원 ⑥안양대교 ⑦안골 ⑧군부대앞 ⑨충훈고앞 ⑩연현마을을 포함하였다.

저서성대형무척추동물은 수환경을 판단하기 위한 기준으로, 여기에서는 Table 5와 같이 등급별 지표생물군을 구분하고 이를 중심으로 조사결과를 분석하였다.

저서성대형무척추동물 모니터링 결과, 각 지천의 상류일수록 출현종이 다양하였으며, 안양천 본류구간에서는 상류에서 하류로 갈수록 출현종수가 줄어드는 경향을 보였다. 그러나 상류유역에서도 학의천을 제외한 안양천 상류지역의 출현종수는 상대적으로 적어 산본, 당정천의 영향을 받은 것으로 추정된다. 조사방법상의 차이를 배제하고 각 연도별로 출현종수만을 가지고 비교할 때, 전체적인 종 분포는 2002년과 2003년에 잠깐 출현종수가 감소하였다가 2005년에 다시 회복하는 추세를 보인다.

환경변화에 민감하게 반응하는 지표종인 옆새우류 등 A 등급에 해당하는 생물군은 청계사천, 학의천, 삼봉천, 갈현천에서 출현하였다. 청계사천의 경우 1999년과 2001년에 가재를 제외한 모든 종이 발견되었으나 2005년에는 이러한 지표종을 발견할 수 없었다. 학의천은 2002년 옆새우가 2005년 물강도래가 관찰되었고, 같은 해 갈현천에서 가재가, 2006년 삼봉천에서 옆새우류와 충채민강도래가 출현하였다. 매우 불량한 수환경에서 관찰할 수 있는 D등급의 지표종은 거의 모든 유역에서 관찰되었다. 원돌이물달팽이과 실지렁이류가 가장 빈번히 광범위하게 분포하고 있으며 꾸준히 개체수가 증가하다가 2006년 큰 폭으로 감소하였다. 원돌이물달팽이는 1999년 청계사천 유역에서 1개체 발견되었으나 2001년에는 목감천과 안양천 유역 말단부를 제외한 전유역에 출현하였고 특히 오전천과 안양천 상류 및 학의천 하류에서 278~740개체가 출현하였다. 2005년에는 11~

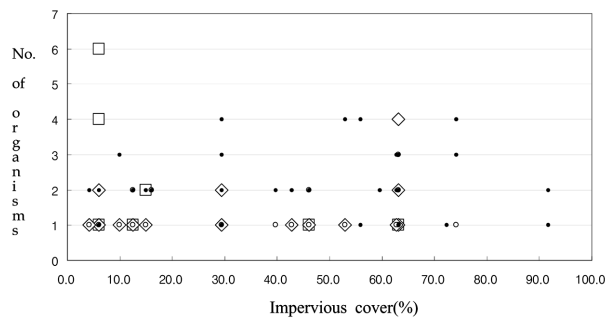
Table 4. Result of benthic macroinvertebrates monitoring

Water shed	ICR (%)	1999	2001	2002	2003	2005	2006
Oh Jeon	4.3		①21/29/1966				
Gal H	4.1			①8/9/164 ②10/13/127			②11/16/800
C.K.S	6.9	①24/42/550	②25/39/502			④15/22/10311	
Hak W	33.6	②16/23/1496	③18/31/1115	①12/14 ②11/12	②6/10 ⑤4/4	②10/15/2286 ③11/18/7147	③16/24/3624 ④21/27/2068
A.Y.C upstream	15.3		⑤13/18/2932		①4/6	①5/5/3352	①10/16/1708
Mok G	28.6		④6/8/1439			⑦3/3/7060 ⑧9/11/20467	
Sam B	4.6				③7/9		⑧20/32/1392
Sam S	7.8					⑤8/13/2645	⑤15/19/600
Su A	8.1						⑦14/15/182
A.Y.C midstream	49.8	③9/11/3072 ④11/17/1959	⑥9/11/3622 ⑦12/12/1463 ⑧6/8/2599		④6/9	⑥7/12/7369	⑥6/12/1180 ⑨10/16/320 ⑩9/11/8000
A.Y.C. lowstream	26.6	⑤4/4/2193 ⑥2/3/226	⑨3/4/213			⑨5/8/20146	

ref) 1/1/2 , 1 is :order, 1 is class, 2 is :number (however, 1/1 means 1 is order, 1 is class).

Table 5. Water quality grade using benthic macroinvertebrates

Grade	Descriptive quality	Korea Saporadic Index (KSI)	Environmental status
A	Very good~good	0.0 ≤ 1.0	Very clean
B	Good~fair	1.0 ≤ 2.4	Clean
C	Fair~little bad	2.4 ≤ 3.6	Fair
D	Little bad~bad	3.6 ≤ 5.0	Bad



Ref) □ : A grade, ◇ : B grade, ○ : C grade, ● : D grade

Fig. 4. Impervious cover rate with emerging organisms.

578개체로 안양천 중류유역에 가장 많은 개체가 발견되었으며, 2006년에는 갈현천에서 28개체 출현하였다.

실지령이는 1999년, 2001년 청계사천을 제외한 전유역에 분포하고 있으며, 2005년에는 전 조사지점에 걸쳐 200개체 이상이 출현하였고 2006년에는 2005년에 비해 크게 줄었으나 안양천 본류구간에서 많은 수가 분포하고 있었다. 나방파리류는 1999년과 2001년에 안양천 본류를 중심으로 오전천과 학의천 하류에서 1~30개체 관찰되었다.

Fig. 4는 Table 4의 불투수율별 출현종수와 Table 5의 환경상태등급별 출현종수를 환경상태 등급과 대조해본 것이다. 불투수면 비율은 환경부 토지피복 중분류도를 통해 얻

어진 값이다. 불투수면 비율에 따라 등급별로 정확한 경계선을 갖는 것은 아니지만, A 등급의 청정지역에 사는 종의 경우 불투수면 비율이 20% 미만인 지역에서 주로 발견되는 점은 중요한 의미를 갖는다.

3.4. 고찰

안양천 유역의 소유역별 불투수면 비율에 따른 유출량 및 오염(BOD) 부하, 수생태계 현황 등의 수 환경 특성을 조사하여 불투수면 비율과 연계하여 해석하였다. 물순환 모의결과, 강수량 대비 직접유출량 비율은 상류 유역 42.5%, 중류 유역 44.0%, 하류 유역 56.9%이며, 침투량 비율은 상류 유역 22.3%, 중류 유역 15.0%, 하류 유역 14.3%, 기저유출량 비율은 상류 유역 11.1%, 중류 유역 7.0%, 하류 유역 5.0%로 나타났다. 도시화 비율이 늘어나면서 기저유출량은 11.1%에서 5.0%로 감소하고 직접유출량은 42.5%에서 56.9%로 증가했음을 알 수 있다. 한편, 일년 중 비가 많이 오는 7~9월의 자료만을 추출하여 강우/비강우시의 중유역별 유출양상을 살펴본 결과 전반적으로 불투수면 면적이 넓은 유역에서의 강우시 유출량이 많음을 확인할 수 있다.

오염(BOD) 부하량의 경우 우기인 7~9월의 자료만을 추출하여 강우/비강우시로 구분하여 살펴본 결과, BOD 부하량 역시 유역마다 조금씩 다른 양상을 보이고는 있지만, 불투수면 면적이 넓은 유역의 BOD 부하량이 높게 나타남을 확인할 수 있었다. 유출분석에서와 마찬가지로 산악지형의 급경사의 경우는 불투수면과 유역환경 연계분석에는 유역의 특성과약을 통한 해석이 필요하다. 그리고 도시지역의 경우에도 하수도 처리와 하수관거 실태 등에 따라 오염물질 유출정도가 큰 영향을 받으므로 이들 인자에 대한 연계분석을 통한 정확한 해석이 필요하다.

수생태계 분석에서는 안양천 유역의 저서성대형무척추동물의 과거 모니터링 조사결과를 살펴본 결과, 전반적으로

불투수면이 적은 지역에서 청정수에 서식하는 종의 출현빈도가 높았으며, 본류구간에서는 불투수면 비율이 낮은 유역에서의 출현 종수가 상대적으로 많았다. 다만, 산본, 당정천의 상류지역과 목감천 유역의 오염에 의한 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 특히, 공장에 의해 하천이 오염된 것으로 추정되는 산본천과 당정천은 유역의 상류에 위치하여 본류의 수질과 수환경에 나쁜 영향을 주고 있다.

4. 결론

불투수면 비율은 유역의 건전성 정보를 나타내는 중요한 척도로 도시화에 따른 도시유출의 특성을 추적하는 지표로 이용되어 왔으며, 기존의 많은 연구를 통하여 수환경과의 밀접한 관계가 검증되었다. 불투수면은 쉽고 빠르게 확인되고, 측정될 수 있으며, 저감을 위해 여러 가지 방안적용이 가능하다는 점에서 유용한 유역관리 지표라 할 수 있다. 불투수면 면적의 감소는 집수구역뿐만 아니라 유역 단위에서 하천질을 개선하는데 있어서도 유효하다. 또한, 불투수면 모델은 토지이용의 변화 및 특성에 따라 유역 하천환경의 변화양상을 신속하게 예측할 수 있도록 도와주며, 유역관리 및 개발 유형을 계획할 수 있는 정보를 제공하여 줄 것으로 기대된다. 더불어 불투수율 변화에 따른 유출변화특성과 도시유역의 연속유출모의를 통해 보다 구체적으로 유역관리전략을 세울 수 있을 것으로 기대된다. 불투수면 비율과 안양천의 물환경 연계조사 결과, 불투수면 모델이 적용 가능함을 확인하였으나, 국지적으로는 유역의 특징인자가 우선 영향인자가 될 수 있었으나 전반적인 유역해석과 관리를 위한 불투수면 비율의 적용성을 확인하였다.

사 사

본 연구는 한강수계관리위원회의 환경기초조사사업 연구비지원으로 추진되었습니다.

참고문헌

- 과천시(2002). 양재천 외 2개 하천 하천정비기본계획(변경)에 따른 사전환경성검토서.
- 과학기술부(2007). 안양천유역의 물순환 건전화 기술개발. 수자원의 지속적확보기술개발사업단.
- 배경석 등(2000). 한강 지류천 생태계 조사연구. 서울특별시.
- 배경석 등(2002). 안양천 생태환경 모니터링. 서울특별시보건환경연구원.
- 안양시(2002). 안양천살리기 종합계획.
- 안양시(2003). 안양천 생태환경 모니터링.
- 안양시(2004). 안양천 생태환경 모니터링.
- 안양시(2007). 수암천 자연형하천 조성공사 실시설계 보고서.
- 이기영 등(2006). 2005년 안양천 모니터링. 안양시.
- 조효섭, 정관수, 김재한(2003). GIUH 적용을 위한 DEM 격자크기 및 Threshold Area의 민감도 분석. 한국수자원학회논문집, 36, pp. 799-810.
- 최정권 등(2007). 2006년 안양천 모니터링 연구. 안양시.
- 현대 Eng.(2005). 안양천유역종합치수계획. 건설교통부.
- 환경부(2006a). 물환경종합평가방법 개발 조사연구(III)-수생태 건강성조사 및 평가체계 연구.
- 환경부(2006b). 물환경관리 기본계획.
- Chaubey, I., Cotter, A. S., Costello, T. A., and Soerens, T. S. (2005). Effect of DEM data resolution on SWAT output uncertainty. *Hydrological Processes*, 19(3), pp. 621-628.
- CWP (Center for Watershed Protection) (1998). *Nutrient Loading from Conventional and Innovative Site Development*. Prepared for the Chesapeake Research Consortium, Annapolis, MD.
- Schueler, T. (1994). The importance of imperviousness. *Watershed Protection Techniques*, Center for Watershed Protection, Ellicott City, MD.