

유역관리 효율화를 위한 불투수면 지표개발과 적용 Ⅱ

최지웅 장수환



한국환경정책·평가연구원
Korea Environment Institute

연구진

연구책임자 최지용

참여연구원 장수환

산·학·연·정 연구자문위원

오종극 (환경부 유역제도과 과장)

이상훈 (수원대학교 환경공학과 교수)

이용우 (국토연구원 도시연구실 연구위원)

최승일 (고려대학교 토목환경공학과 교수)

현인환 (단국대학교 토목환경공학과 교수)

© 2004 한국환경정책·평가연구원

발행인 윤서성

발행처 한국환경정책·평가연구원

서울시 은평구 불광동 613-2

우편번호 122-706

전화 380-7777 팩스 380-7799

<http://www.kei.re.kr>

인쇄 2004년 12월

발행 2004년 12월

출판등록 제17-254호

ISBN 89-8464-105-7 93530

값 6,000원

서 언

유역은 지역사회가 기반을 두고 있는 현장으로, 쾌적하고 풍요로운 생활은 유역과 떨어져 생각할 수 없습니다. 우리나라는 급속한 경제성장을 이룩하기는 하였지만 유역의 수질, 수량 및 생태측면에서 문제점에 직면하게 되었으며, 이러한 문제점 해결은 유역 수준에서 접근해야만 효율적인 관리가 가능하다는 사실을 깨닫게 되었습니다. 따라서 정부는 1998년 한강물관리종합대책을 시작으로 1999년 낙동강대책, 2000년에는 금강대책과 영산강대책을 수립하게 되었으며, 이들 대책에서 수질오염총량관리, 수변구역, 비점오염원관리 등 예방대책 중심의 대규모 유역에 대한 체계적인 수질보전대책을 수립하여 집행해오고 있습니다.

그러나 각종 토지이용행위가 각 사업별로 추진되는 반면 유역전반에 미치는 영향에 대한 대처는 아직 미흡하여 난개발로 이어지지는 사례가 아직 빈번합니다. 이는 유역 전체의 물순환 장애를 가져와 결국에는 수질, 수량, 생태에 심각한 영향을 미치고 있습니다. 따라서 이제는 토지이용형태 중 수환경에 영향을 미치는 인자를 유역관리지표로 활용하여 토지이용으로 야기되는 물순환 교란을 유형화하여 규명하고, 유역환경과 토지이용계획과의 연계방안을 마련하여 이를 유역관리에 도입해야할 시점이라고 봅니다. 이러한 흐름에서 본 연구는 불투수면 지표를 유역의 수문, 수질, 수생태계의 변화와 관련시켜 효과적인 유역관리를 가능케 하는 시의적절한 과제로서 그 의미가 크다고 할 수 있겠습니다.

끝으로 본 연구를 맡아 수행한 본원의 최지용 박사, 장수환 연구원과 사례지역의 수문분석에 많은 도움을 주신 인천지역환경기술센터의 최계운 교수님께 감사를 드립니다. 그리고 바쁘신 중에도 불구하고 유익한 자문과 자료수집에 많은 도움을 주신 자문위원님과 환경부 관계관에게 이 기회를 빌어 심심한 사의를 표합니다.

2004년 12월

한국환경정책·평가연구원

원 장 윤 서 성

국 문 요 약

유역의 토지이용변화는 하천수질에 영향을 미치는 중요한 인자임에도 불구하고 수질관리에 있어서 유역의 토지이용변화를 적극적으로 고려하는 경우는 드물었다. 특히 각종 토지이용행위가 각 사업별로 추진됨에 따라 개개의 개발행위가 누적되어 나타나 유역의 전반적인 수질, 수량, 생태에 악영향을 끼치게 된다. 이와 같은 유역의 수환경에 영향을 미치는 인자를 유역관리지표로 활용하여 토지이용으로 야기되는 수환경 영향을 유형화하여 규명하고, 유역환경과 토지이용계획과의 연계방안을 마련하여 이를 유역관리에 도입할 필요가 있다.

유역관리를 위해 적용가능한 지표로는 불투수면 비율, 인구밀도, 도시적 토지이용 비율, 주택비율, 도로율 지표 등이 있다. 1차년도 연구에서 이들 지표 중 불투수면 지표가 유역의 수환경관리를 위해 가장 효과적인 지표임을 확인하였고, 이를 유역관리 지표로 제안하였다. 본 2차년도 연구에서는 불투수면 지표에 대해 보다 구체적으로 수환경 영향 및 활용성 검토, 국내외 불투수면 관리실태 등을 고찰하고 이를 바탕으로 유역관리지표로서의 불투수면 지표의 도입방안과 불투수면 저감대책 등 불투수면 적용방안을 제시하고자 한다. 이를 위한 2차년도 연구의 구체적인 구성은 다음과 같다.

2장에서는 1차년도에서 개발한 불투수면 지표가 유역의 수환경에 미치는 영향에 대한 실증분석을 실시하고, 불투수면 확대에 따른 수문, 수질영향을 고찰하였다. 불투수면 비율에 따른 수질 및 수량측면에서의 영향분석을 유역내 불투수면 비율이 높은 유역(안양천), 중간정도 유역(경안천), 낮은 유역(북하천)을 대상으로 실시하였다. 위 세유역에 대해 과거 11년(1992~2002년)의 자료를 분석해본 결과, 불투수면의 증가는 유출계수를 증가시키고, 수질에 큰 영향을 준 것으로 분석되었다. 특히 수질에 대한 패널분석 결과, 유역별로는 불투수면 비율이 가장 높은 안양천 유역에서 불투수면에

의한 수질 값의 증가가 크게 나타났으며, 경안천의 경우는 수질 지표에 따라 안양천 유역의 지표보다는 약하지만 불투수면의 영향이 나타나고 있었으며, 불투수면 비율이 비교적 10% 이내인 복하천 유역은 불투수면에 의한 수질영향은 없는 것으로 나타났다. 이로 비추어 불투수면 비율이 일정비율을 초과할 경우 유역의 수질에 큰 영향을 미침을 검정하였고 상수원 유역 등 민감한 지역의 경우 유역의 불투수면 비율을 일정 수준 이하로 유지하는 것이 중요함을 검정하였다.

또한 불투수면 비율을 유역관리지표로의 활용성을 검토하기 위해 유역관리에서 적용하고 있는 불투수면을 활용한 지표 활용사례와 저감방안 등을 고찰하고 불투수면의 증가에 의한 유역의 수환경에 미치는 악영향을 저감하기 위한 불투수면 관리방안으로 토지이용계획단계에서 고려할 사항과 개발 후 기 발생한 불투수면의 수환경 영향을 저감할 수 있는 방안에 대한 사항으로 나누어 검토하였다. 특히 불투수면 저감을 위한 다양한 토지이용 및 관리기법을 제시하고 이를 바탕으로 실제 유역계획에서 이들의 기법이 적용하였을 경우의 환경적 경제적 편익에 대하여 고찰하여 불투수면 지표의 효용성을 검토하였다.

3장에서는 주요국의 불투수면 관리실태에 대하여 검토하였고 이를 바탕으로 국내 적용에 대한 시사점을 도출하였다. 일본의 경우 우수저류침투시설을 유역단위로 보급시키는 사업은 초기에는 홍수대책에 중점을 두었으나, 이후에는 평상 유지유량 확보대책을 포함한 물순환계로서 검토가 이루어지게 되었다. 미국에서는 토지이용계획이나 개발시 오염부하를 줄이고, 자연지역을 보존하고, 개발 및 관리비용을 줄이고 자산가치를 증가시키는 중요한 방법 중의 하나를 불투수면을 감소시키는 유역관리방안으로 인식하여 최근 들어 이에 대한 연구와 집행이 활발히 이루어지고 있다. 이를 "개선된 단지계획(Better Site Design)" 또는 "저영향 개발(Low Impact Development)"로 부르는데, 이 방법에서는 총 포장 면적을 줄이고 유출수를 분산하고 자연적인 서식지를 보존하기 위한 다양한 방법이 이용되고 있다. 독일의 경우도 우수의 활용과 유출저감을 위한 다양한 제도를 갖추고 있으며 각 건물별 우수유출저감을 위한 기법들이 적용되고 있었다. 이와 같이 각국에서는 유역내 각종 건물과 포장 등 불투수면 증가로 인하여 발생하고 있는 유역의 물순환 장애 등 수질, 수량,

생태에 대한 악영향을 완화하기 위하여 다양한 대처 기법을 시도하고 있었으며 소유역 단위 유역관리에서 이의 적용을 모색하고 있었다. 그리고 유역의 수환경관리를 위해 적용하고 있는 각종 기법과 제도 등을 종합 검토하여 국내에 적용을 위한 시사점을 도출하였다.

4장에서는 유역관리에서의 불투수면 적용방안을 제도개선 측면과 시설설치 측면으로 나누어 구체적으로 제시하였다. 즉, 유역의 물순환을 촉진시키고 오염유출량을 감소시키기 위한 각종 불투수면 저감대책은 토지이용계획에 의해 불투수면 발생이나 영향을 사전에 고려하는 대책과 물리적 시설물을 이용하여 발생한 우수유출수 및 오염물질을 사후에 저감하는 대책의 두 가지로 크게 구분할 수가 있다. 사전 대책은 토지이용계획에서 불투수율이 일정 수준을 넘지 않게 한다든가 또는 단지계획시 단지의 물순환을 고려토록 하는 제도적 방안에 속하고, 사후대책은 불투수면 저감을 위한 투수지대, 저류시설 등 시설설치 방안이며 각각에 대해 구체적인 방안을 제안하였다.

제도개선 사항으로 불투수면을 증가시키는 도시개발 관련 지방서 및 규정의 개선이 필요함을 지적하고 이를 위한 방안을 제시하였다. 지표면에 내린 빗물의 집수와 배제를 우선으로 하는 기존의 관련 규정을 개정하여, 지표면의 빗물이 직접 우수받이로 유입되지 않고 주변의 녹지 등 투수성 지역을 통과하도록 함으로써 유출량 저감과 아울러 우수침투에 의한 지하수 함양을 기대할 수 있다. 또한, 시범적으로 일부 지역에 적용되고 있는 투수성 포장을 확대 시행하여 차량통행에 의한 하중이 크지 않은 자전거도로 및 주차장, 단지내 도로 등에 확대 시공하는 방안도 제안하였다. 특히 우수순환을 토지이용계획시부터 고려하여 단지 설계에서부터 수문학적 영향을 최소화하고, 수문시스템에 대한 피할 수 없는 교란을 완화하는 방안도 제안하였다. 또한 시설설치를 통해 기 발생한 불투수면의 영향을 저감시키는 대책으로 각종 물순환 시설의 설치방안을 다루었는데 구체적으로 침투시설, 저류시설 등 불투수면 효과 저감을 위한 시설을 전반적으로 검토하여 제안하였으며, 불투수면 저감시설의 선정과 설계 절차 및 도시지역에서의 적용방안 등을 제시하였다.

최근에 들어서 유역의 토지이용이 고도화되고 경제활동의 증가로 인해 하수처리 등 기존의 환경관리 수단만으로는 유역의 수질, 수량, 수생태 등 유역의 수환경 전반

을 효율적으로 관리할 수 없음이 밝혀지고 있다. 따라서 유역의 수환경 전반을 관리할 수 있는 유역관리 지표를 활용할 필요성이 있으며 실제로 정부가 계획중에 있는 중소유역계획에서 불투수면 지표를 유역관리 지표로 활용할 수 있다. 이와 같은 불투수면 지표의 활용을 통해 우수의 침투촉진과 유출억제를 통한 하천의 건천화 예방 등 유역의 물순환을 정상화시킬 수 있고, 동시에 주요 수질오염원으로 대두되고 있는 비점오염원의 유출을 저감시켜 수질개선에도 기여할 수 있다. 이처럼 불투수면은 수질, 수문, 수생태계의 등 수환경 전반에 영향을 미치는 요소로서 이들 변화와 연계하여 지표로서 사용한다면, 향후 국내의 효과적인 유역관리 지표로서 그 활용가능성이 크다.

차 례

서 언 국문요약

제1장 서 론	1
1. 연구의 필요성 및 목적	1
2. 연구내용 및 방법	2
제2장 불투수면의 수환경영향 및 지표 활용성 검토	5
1. 불투수면의 환경영향 분석	5
가. 수리·수문 영향	5
나. 수질영향	16
다. 경제·사회적 영향	42
2. 불투수면 지표의 유역관리지표 활용성 검토	47
가. 유역관리와 불투수면 지표	47
나. 유역관리에서의 불투수면 지표 활용방안	49
제3장 국내외 불투수면 관리 실태 및 시사점	55
1. 우리나라의 불투수면 관리실태	55
가. 우수배제 체계	56
나. 관련 지방서 및 지침 검토	58
다. 국내 도시지역 우수유출 저감방안의 문제점	65
2. 주요국의 불투수면 관리실태	66
가. 일본	67
나. 미국	81
다. 독일	89
3. 외국의 불투수면 관리 시사점	97

가. 불투수면 지표 활용	97
나. 유역 물순환 제고를 위한 불투수면 관리 정도	103
다. 불투수면 저감에 의한 편익	105
제4장 유역관리에서의 불투수면 지표 적용방안	111
1. 제도개선 방안	111
가. 물순환을 고려한 토지이용 개념 도입	112
나. 불투수면 저감을 위한 단지계획	116
다. 불투수면 관리 강화를 위한 관련 지침 보완 방안	123
2. 시설설치 방안	131
가. 불투수면 효과 저감을 위한 시설	131
나. 저감시설의 선정과 설계 절차	139
다. 우수유출 저감시설의 도시지역 적용	144
제5장 결론 및 정책제언	149
참고문헌	153
Abstract	157

표 차 례

<표 2-1> 복하천 유역에 대한 WMS 입력자료	7
<표 2-2> 복하천에서의 토지특성변화에 따른 유량 변화(CMS)	9
<표 2-3> 경안천 유역에 대한 WMS 입력자료	10
<표 2-4> 경안천에서의 토지특성변화에 따른 유량 변화	13
<표 2-5> 안양천 유역에 대한 WMS 입력자료	14
<표 2-6> 안양천에서의 토지특성변화에 따른 유량 변화	16
<표 2-7> 수질영향 분석을 위한 유역 구분	20
<표 2-8> 전체 유역에서의 BOD에 대한 영향요인 분석 결과	24
<표 2-9> 전체 유역에서의 COD에 대한 영향요인 분석 결과	24
<표 2-10> 전체 유역에서의 TN에 대한 영향요인 분석 결과	25
<표 2-11> 전체 유역에서의 TP에 대한 영향요인 분석 결과	25
<표 2-12> 전체 유역에서의 SS에 대한 영향요인 분석 결과	25
<표 2-13> 유역별 BOD에 대한 영향분석(추정계수 -t 검정통계) 결과	26
<표 2-14> 유역별 COD에 대한 영향분석(추정계수 -t 검정통계) 결과	28
<표 2-15> 유역별 TN에 대한 영향분석(추정계수 -t 검정통계) 결과	30
<표 2-16> 유역별 TP에 대한 영향분석(추정계수 -t 검정통계) 결과	31
<표 2-17> 유역별 SS에 대한 영향분석(추정계수 -t 검정통계) 결과	33
<표 2-18> 하천의 수질에 미치는 유역내 인자의 영향	34
<표 2-19> BOD에 대한 상호작용 분석 결과	38
<표 2-20> COD에 대한 상호작용 분석 결과	38
<표 2-21> TN에 대한 상호작용 분석 결과	39
<표 2-22> TP에 대한 상호작용 분석 결과	39
<표 2-23> SS에 대한 상호작용 분석 결과	39
<표 2-24> BOD에 대한 상호작용 분석 결과	40
<표 2-25> COD에 대한 상호작용 분석 결과	41

<표 2-26> TN에 대한 상호작용 분석 결과	41
<표 2-27> TP에 대한 상호작용 분석 결과	42
<표 2-28> SS에 대한 상호작용 분석 결과	42
<표 2-29> 단일 주거 단위에 대한 서비스의 자본비용 비교	46
<표 2-30> 불투수면에 근거한 하천 특징	48
<표 2-31> 불투수면 확산에 의한 긍정적 및 부정적 영향	49
<표 3-1> 국내 도시지역의 집수구역별 배수체계	57
<표 3-2> 보도포장 선정기준	62
<표 3-3> 昭島 고밀도 주거단지 우수유출특성	69
<표 3-4> 海老川の 기본방침과 기본목표	71
<표 3-5> 海老川 유역의 수환경개선 대책	72
<표 3-6> 東川에서 환경관련 계획목표	74
<표 3-7> 하수도 사업 및 주민 참여를 통한 물순환 제고사업	75
<표 3-8> 東川에서의 수환경 개선대책	76
<표 3-9> 동경도물순환최종계획에서 물의 유효이용에 관한 목표사례	77
<표 3-10> Duck Crossing의 연중 물수지	84
<표 3-11> Old Farm Shopping Center 사례지역의 수문변화	88
<표 3-12> 환경친화적 단지개발과 기존 개발에 따른 기반시설 비용 비교	108
<표 3-13> 기존계획과 환경친화적인 설계시의 비율 변화	109
<표 4-1> 일반적인 지역지구제 요소	117
<표 4-2> 불투수면 관리와 관련된 지침	125
<표 4-3> 식생체류지 설계 요소	132
<표 4-4> 건조정 설계시 고려사항	133
<표 4-5> 여과띠 설계 고려사항	134
<표 4-6> 식생수로 설계 고려요소	136
<표 4-7> 침투트렌치 설계 고려사항	138
<표 4-8> 저감시설의 고려요소	140

<표 4-9> 저영향 개발통합관리방안(저감시설)의 수문학적 기능	142
<표 4-10> 저감시설의 오염물질 제거 능력	143
<표 4-11> 우수유출저감시설의 종류	145
<표 4-12> 도시지역내 시설별 적용가능한 우수유출저감시설	145
<표 4-13> 국내(서울) 강우사상의 강수량 분포 특성	146

그 림 차 례

<그림 1-1> 과업수행 절차	3
<그림 2-1> WMS(HEC-1)모델 순서도	6
<그림 2-2> 복하천 유역 구분	7
<그림 2-3> 복하천 유역의 도로율 변화	8
<그림 2-4> 복하천 유역의 불투수면 비율 변화	8
<그림 2-5> 복하천 유역의 평균 유출계수 변화	9
<그림 2-6> 경안천 유역 구분	10
<그림 2-7> 경안천 유역의 도로율 변화	11
<그림 2-8> 경안천 유역의 불투수면 비율 변화	11
<그림 2-9> 경안천 유역의 평균 유출계수 변화	12
<그림 2-10> 안양천 유역 구분	13
<그림 2-11> 안양천 유역의 도로율 변화	14
<그림 2-12> 안양천 유역의 불투수면 비율 변화	15
<그림 2-13> 안양천 유역의 평균 유출계수 변화	15
<그림 2-14> 불투수면 비율에 따른 수질 농도 변화	23
<그림 2-15> 불투수면 비율에 따른 BOD 농도 변화	27
<그림 2-16> 불투수면 비율에 따른 COD 농도 변화	29
<그림 2-17> 불투수면 비율에 따른 TN 농도 변화	31
<그림 2-18> 불투수면 비율에 따른 TP 농도 변화	32
<그림 2-19> 불투수면 비율에 따른 TP 농도 변화	33
<그림 2-20> 지역적인 규모에서의 분산된 개발과 밀집한 개발	43
<그림 3-1> 물순환을 고려치 않은 설계(거주지)	83
<그림 3-2> 물순환을 고려한 설계(거주지)	83
<그림 3-3> 주거단지 설계유형별 질소와 인 부하량	85
<그림 3-4> 물순환을 고려치 않은 설계(상업지역)	86

<그림 3-5> 물순환을 고려한 설계(상업지역)	86
<그림 3-6> 상업단지 설계유형별 질소와 인 부하량	89
<그림 3-7> 독일의 공간계획체계	90
<그림 3-8> 물관리 계획과 공간관리계획과의 관계	91
<그림 3-9> 5개의 개발 시나리오에 대한 4개 지역의 인 산출량 비교	106
<그림 3-10> 5개의 개발 시나리오에 대한 4개 지역의 질소 산출량 비교	107

제1장 서론

1. 연구의 필요성 및 목적

유역에서의 일어나는 각종 토지이용행위가 각 사업별로 추진됨에 따라 이들이 누적되어 나타나는 영향에 대한 대처는 미흡하여 결국에서는 유역전체의 수환경에 악영향을 끼치고 있다. 특히 유역의 토지이용이 고도화되고 경제활동의 증가 등으로 하수처리 등 기존의 환경관리 수단만으로는 유역의 수환경 관리에 어려움이 있으며 토지이용관리가 가능한 새로운 유역관리지표를 개발하여 유역관리에 활용할 필요가 있다. 유역관리지표의 활용은 수환경 뿐만아니라 유역의 자연자원관리와 생태계 건전성 유지에도 큰 역할을 할 수 있다.

유역관리 지표는 관심을 두는 관리대상에 따라 다양할 수 있으나 수환경과 관련해서는 불투수면 비율이 유역의 수환경에 큰 영향을 끼침을 1차년도 연구에서 고찰한 바 있다. 이와 같이 불투수면 비율은 유역의 건전성 파악과 미래의 하천 수질과 생태계 지속가능성을 예측하고 평가하는 데에도 중요한 지표가 될 수 있다. 또한 개개의 개발부지에서의 활동을 유역규모에서의 축적된 영향과 관련시킴으로써 건전한 물 순환 구축과 효과적인 유역관리 계획수립을 위하여 유역의 불투수면 비율을 지표로 적용할 수 있다. 불투수면 지표는 유역의 수환경 실태를 객관적으로 평가할 수 있는 수단일 뿐만아니라 중소유역관리계획 수립, 하수관거정비, 자연형 하천정비 사업 등 각종 유역관리사업의 주요 지표로 활용이 가능하다.

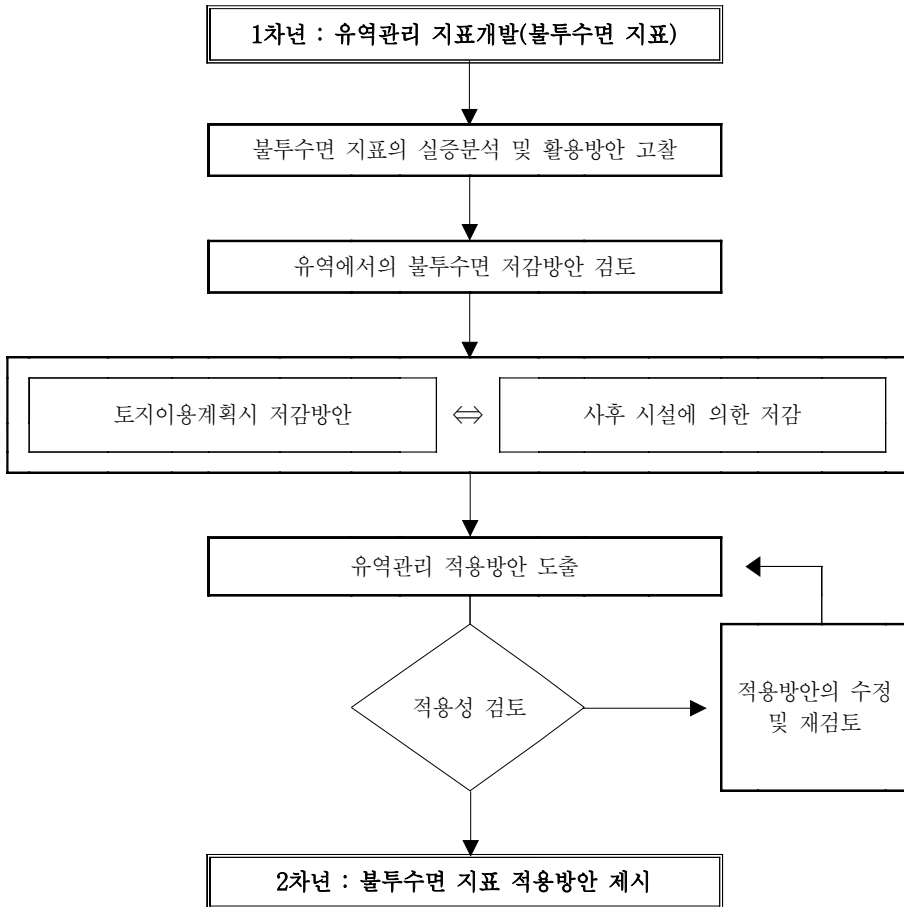
따라서 토지이용형태 중 물의 순환에 영향을 미치는 인자를 유역관리지표로 활용하여 도시적 토지이용으로 야기되는 물 순환 교란을 유형화하여 규명하고, 유역환경과 토지이용계획과의 연계방안을 마련하여 이를 유역관리에 도입할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 불투수면 지표를 유역의 수문, 수질, 수생태계의 변화와 관련시켜 분석하고 그 효율성을 검토하고 효과적인 유역관리를 위한 지표로서의 활용방안을 제안하고자 한다.

2. 연구내용 및 방법

본 연구는 2개년으로 구성되며 1차년도는 불투수면을 포함한 다양한 유역관리지표가 수환경에 끼치는 영향과 산정방법, 산정사례 등 유역관리지표와 수환경에 대한 포괄적인 연구를 수행하였다. 1차년도 연구 결과 다양한 유역관리지표 중 수환경에 가장 밀접한 관련이 있고 적용가능한 지표가 불투수면 비율임을 밝혀내었다.

금년의 2차년도 연구내용으로는 불투수면의 저감으로 인한 유역의 수질과 수량측면에서의 편익을 도시구역, 중간정도 구역, 농촌구역의 3개 유역에 대해 검토하였고, 또 유역의 수환경관리를 위한 불투수면 관리방안을 검토하였다. 또한 해외에서 유역 관리에 적용하고 있는 불투수면 지표 활용사례와 저감방안 등을 고찰하였다. 불투수면 비율증가에 따른 영향 고찰과 우리나라 및 주요 외국의 관리실태 분석을 바탕으로 불투수면 지표의 적용방안을 제안하였다. 불투수면의 증가에 의한 유역의 수환경에 미치는 악영향을 저감하기 위한 불투수면 적용방안은 토지이용계획단계에서 고려할 사항과 개발 후 저감방안에 대한 사항으로 나누어 제시하였다. 특히 불투수면 저감을 위한 다양한 토지이용 및 관리기법을 제시하고 이를 바탕으로 실제 유역계획에서 이들의 기법이 적용하였을 경우의 환경적·경제적 편익에 대해서도 검토하였다.

연구 방법은 우선, 실증분석방법으로 불투수면이 유역의 수질 및 수리에 미치는 영향에 대해 분석하고, 실증분석에서 분석하지 못한 사회, 경제적 영향에 대해서는 기존 문헌 연구를 통해 검토하였다. 다음으로 불투수면 지표를 유역관리에서 활용할 수 있는 다양한 방안 고찰과 더불어 유역에서의 불투수면 저감방안을 검토하였다. 불투수면의 저감방안은 제도개선 방안과 시설설치 방안으로 구분하여 검토하였다. 불투수면의 단순한 제거는 현재의 토지이용 특성상 어려운 점이 많으므로 불투수면 저감효과를 가지는 각종 시설설치를 통해 저감할 수 있는 방안을 검토하였다. 그리고 이들 저감방안을 토지이용계획시 고려하는 방안과 사후 불투수면의 영향 저감시설설치에 의한 방안으로 나누어 상호 보완이 될 수 있도록 검토하였으며 연구의 흐름도는 다음과 같다.



<그림 1-1> 과업수행 절차

4 유역관리 효율화를 위한 불투수면 지표개발과 적용 II

제2장 불투수면의 수환경영향 및 지표 활용성 검토

불투수면 증가는 수질, 수량, 수생태 등 수환경 전반에 걸쳐 영향을 미치므로 본 장에서는 그 영향을 실제 유역에서 확인하고 불투수면 지표의 유역관리 활용성에 대해 검토하고자 한다. 구체적으로 불투수면이 수문과 수질에 끼치는 영향을 불투수면이 비교적 적은 북한천과 중간정도인 경안천, 불투수면 비율이 높은 안양천의 3가지 유역을 대상으로 고찰함으로써 유역의 기존 불투수면 정도에 따른 특징을 이끌어내고자 하였다. 그리고 불투수면 증가 및 분포 형태에 따른 사회, 경제적 효과는 외국의 문헌 연구를 중심으로 살펴보았으며 마지막으로 이를 바탕으로 유역관리에서의 불투수면 지표의 활용 방안에 대해 검토하였다.

1. 불투수면의 환경영향 분석

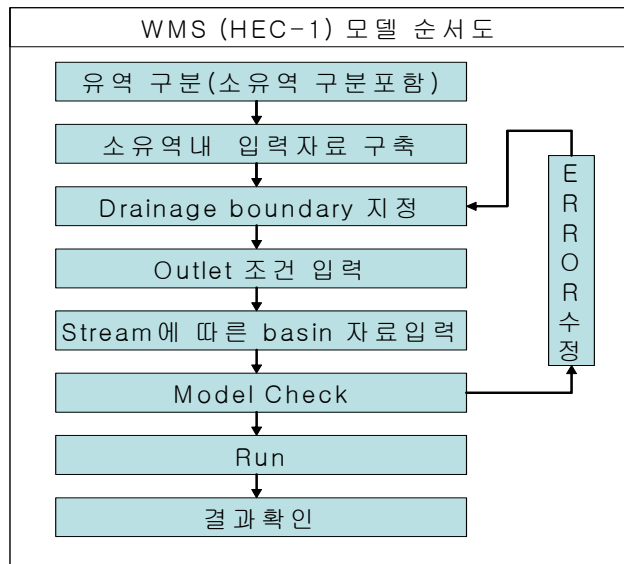
가. 수리·수문 영향

불투수면은 토지피복 특성에 따라 구분할 수 있으며, 토지피복 특성에 따른 유출량 분석은 유역관리시스템(Watershed Management System : WMS¹⁾)을 이용하였다. WMS를 이용하여 유출량을 분석하고자 할 때 대상 유역의 표고, 하천망, 배수분구를 구축한 후 유역을 소유역으로 분할하게 된다. 순서는 우선 분할된 소유역을 배수구역(drainage boundary)으로 지정하고 해석하고자 하는 대상 유역으로 고정한다. 그 다음 분할된 소유역내 유역출구(outlet)를 지정하고 유역내 하천에 대한 유역정보를 입력한다. 이때 모의하고자 하는 강우(확률강우강도 혹은 실측강우량)를 입력한다. 자료

1) WMS는 1990년대 초 Brigham Young University의 Dr.Jim Nelson 과 Dr. Chris Smemoe에 의해 개발된 유역평가모델이다. WMS은 토지이용, 토양, 기후, 기타 요소에 근거하여 엔지니어와 계획가가 지표수와 지하수의 수질을 평가할 수 있도록 해준다. 또한 이 모델은 유역의 수문과 오염의 이동에 대한 기본적인 물리적 과정을 모의한다. WMS GIS 자료에는 토지이용, 토양, 지형, 수문, 유역과 소유역의 경계, 점오염원과 하수처리구역, 기상 데이터가 포함된다.

입력이 끝난 후 HEC-1 Model²⁾을 실행하기 위해 입력자료의 오류를 검사하고 수정한다. 오류가 없으면 HEC-1 Model를 실행한다.

이상의 과정을 복하천, 경안천, 안양천 등 3개 유역에 대하여 2002년, 1996년, 1992년 3개 년도를 실행하여 결과를 비교분석하였다. 다음 <그림 2-1>은 WMS 모델의 수행 순서도를 나타낸 것이다.

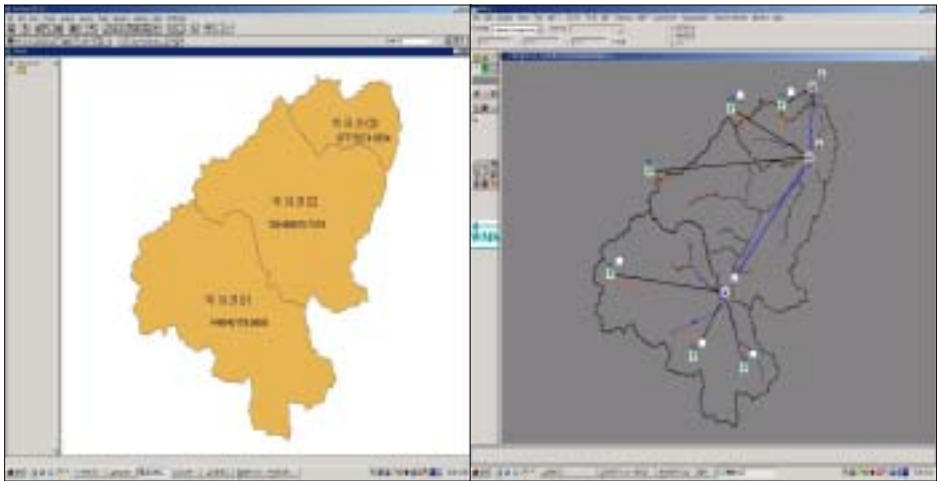


<그림 2-1> WMS(HEC-1)모델 순서도

1) 복하천 유역

복하천은 남한강 지류로 경기도 이천군에 걸쳐있다. <그림 2-2>의 왼쪽은 복하천을 3개의 유역으로 구분한 것이고 오른쪽은 WMS에서 유출량분석을 위하여 구성한 하천망이다. 복하천-1유역에 3개의 Stream을 정하고 Basin에 대해 지체시간을 구하였으며 통계자료와 토양도에 의하여 불투수면 비율과 SCS-CN값을 결정하였다.

2) HEC-1 모델은 1967년 미국 육군 공병단에 의해 최초로 개발되었으며 하나의 유역을 서로 연결되어 있는 여러 개의 수문학적 및 수리학적 단위로 간주하여 각 단위별로 강우량에 대한 유역의 표면 유출량을 시뮬레이션하게 되어 있다. HEC란 US Army Corps of Engineers 소속의 Hydrologic Engineering Center를 의미한다.



<그림 2-2> 복하천 유역 구분

<표 2-1> 복하천 유역에 대한 WMS 입력자료

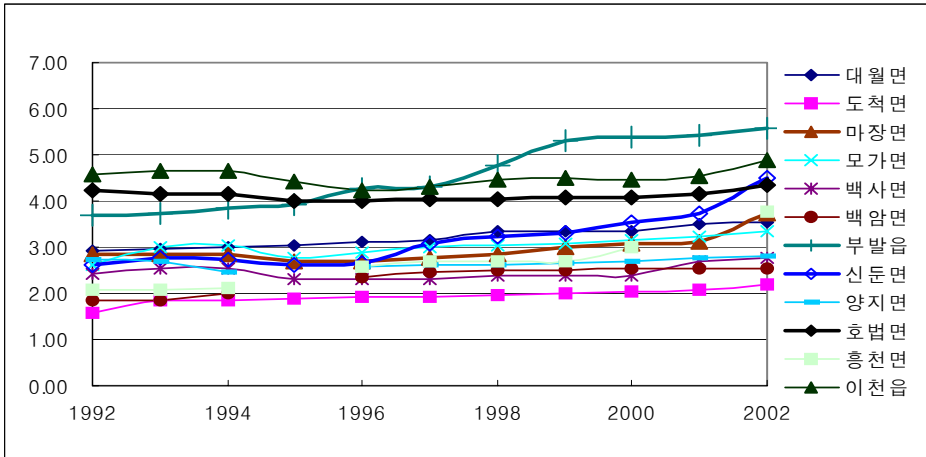
소유역	SCS-CN(평균)		Lag Time(hr)	Impervious Ratio(%)	
	2002	1992		2002	1992
BA	83	77	1.51	6.4	4.6
BB	84	83	2.82	8.1	5.5
BC	84.5	83	1.33	8.0	5.5
BD	82	75	1.63	10.7	8.2
BE	82	81	1.36	6.4	3.8

가) 불투수면 비율

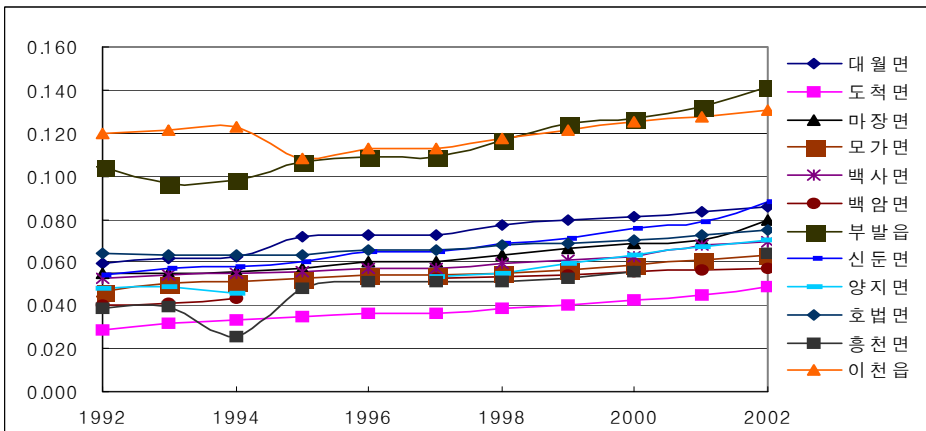
불투수면 증가에 가장 큰 영향을 끼치는 것이 도로, 주차장 등 교통관련 시설로서 해당 유역내 도로율은 1992년 평균 2.84%에서 2002년에는 30% 이상 증가한 3.67%를 보이고 있다. 불투수면의 구성은 50% 이상이 교통관련 토지이용으로 이루어지기 때문에 도로율의 증가와 밀접히 관련되어 있다.

도로율은 <그림 2-3>에서 보면 대부분 지역에서 꾸준한 증가를 보이고 있음을 알 수 있고 특히, 1996년에서 1998년 사이에 큰 증가를 보이고 있어 1998년에 복하천 유역내의 여러 지역에서 도로확장 등 도시건설이 있었음을 추정할 수 있다. 교통시설을 포함한 불투수면의 증가를 반영해 해당 유역내 부발읍의 경우 지난 10년간 불투수면

이 35% 증가했으며 타 지역에서도 꾸준한 증가를 보여 주었다.



<그림 2-3> 복하천 유역의 도로율 변화

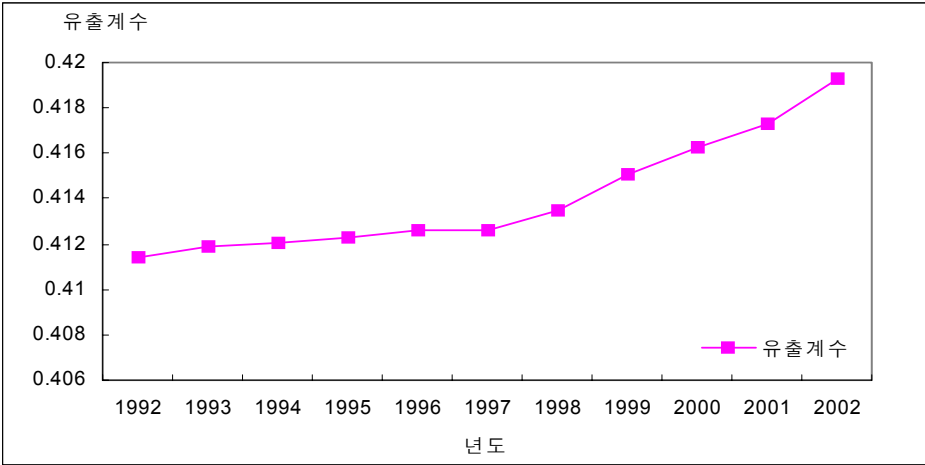


<그림 2-4> 복하천 유역의 불투수면 비율 변화

나) 유출계수 변화

불투수면 비율의 증가를 반영해 대상 유역내에서 유출계수도 꾸준히 증가하고 있으며 <그림 2-5>에서 보듯이 1998년 이후로 평균 유출계수의 변화폭이 더욱 커져왔음

을 볼 수 있다. 이로 판단하였을 때 도시적 토지이용이 증가에 의한 불투수면이 꾸준히 증가해왔고, 그 증가 속도가 더욱 커지고 있음을 알 수 있다.



<그림 2-5> 북하천 유역의 평균 유출계수 변화

다) 유출량

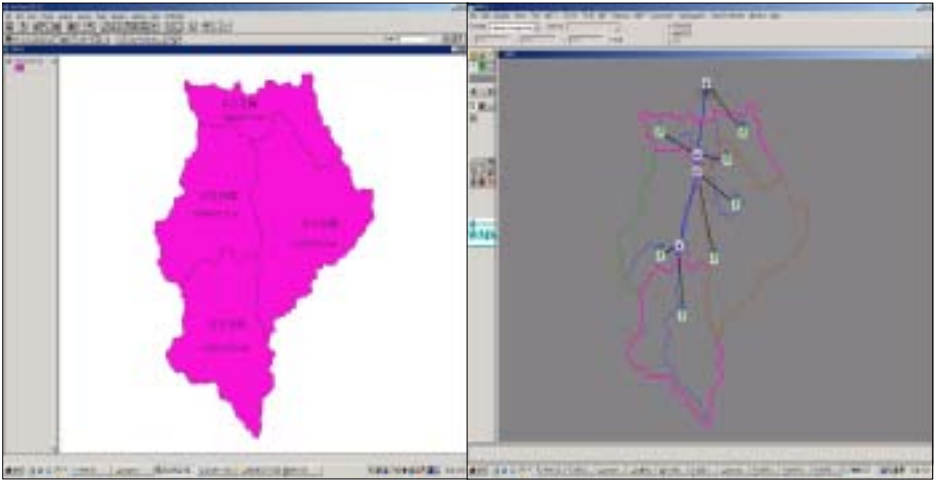
1992년과 2002년 토지이용특성을 반영한 유출분석에 의하면 불투수면적이 2~3% 증가함에 따라 북하천-1 유역에서 23CMS가 증가하였고 북하천-2 유역에서 39CMS, 북하천-3 유역에서 39CMS가 증가하였다. 전반적으로 불투수면 비율이 증가함에 따라 표면유출량이 증가하고 지하침투량이 줄어들며 동시 홍수 도달시간은 감소하고 피크유량은 증가하여 유역의 물순환에 나쁜 영향을 미치게 된다.

<표 2-2> 북하천에서의 토지특성변화에 따른 유량 변화(CMS)

	북하천-1	북하천-2	북하천-3
2002	1,054	1,416	1,458
1992	1,031	1,377	1,419
증감	23	39	39

2) 경안천 유역

경안천은 팔당호로 직접 유출되는 하천으로 경기도 용인과 광주에 걸쳐 있다. 북한천에서와 마찬가지로 방법으로 4개의 유역을 구분하였으며 각 유역에 대한 입력자료를 아래와 같이 구성하였다.



<그림 2-6> 경안천 유역 구분

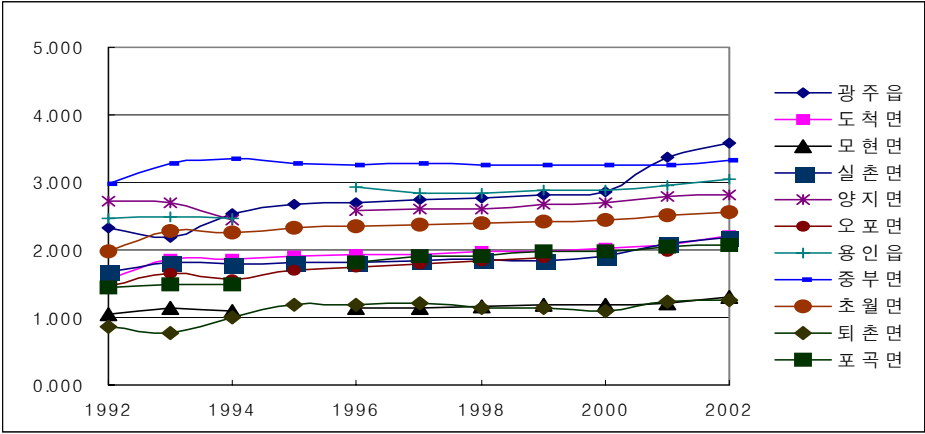
<표 2-3> 경안천 유역에 대한 WMS 입력자료

소유역	SCS-CN(평균)		Lag Time(hr)	Impervious Ratio(%)	
	2002	1992		2002	1992
KA	85	84	2.01	8.4	5.7
KB	84	82	1.82	6.4	3.45
KC	86	84	1.63	8.95	4.65
KD	85	83	1.77	4.6	4.1
KE	84	83	1.23	2.9	1.8
KF	84	83	0.7	6.9	2.65
KG	85	84	3.2	5.86	3.26

가) 불투수면 비율

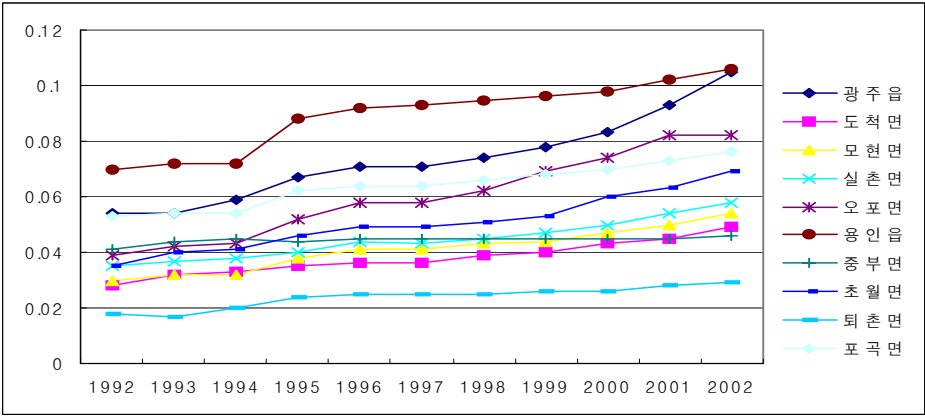
해당 유역내 도로율은 1992년 평균 1.86%에서 2002년에는 2.43%를 보여 11년 동안 25%가 증가된 수치를 나타내었다. 1995~1998년까지 도로율 증가가 둔화되었다가

1999년부터 다시 증가세를 보이고 있는데 이는 1999년 신설량이 증가한 결과로 판단되며 이를 통해 유역내 불투수면 관련 다른 지표 역시 증가할 것으로 유추할 수 있다.



<그림 2-7> 경안천 유역의 도로율 변화

도로율에 관한 그래프에서 1994~1998년 사이 도로율 변화가 거의 보이지 않다가 1998년 이후에 증가함을 확인할 수 있는데 실제로 불투수면 비율도 이를 기점으로 증가하고 있다.



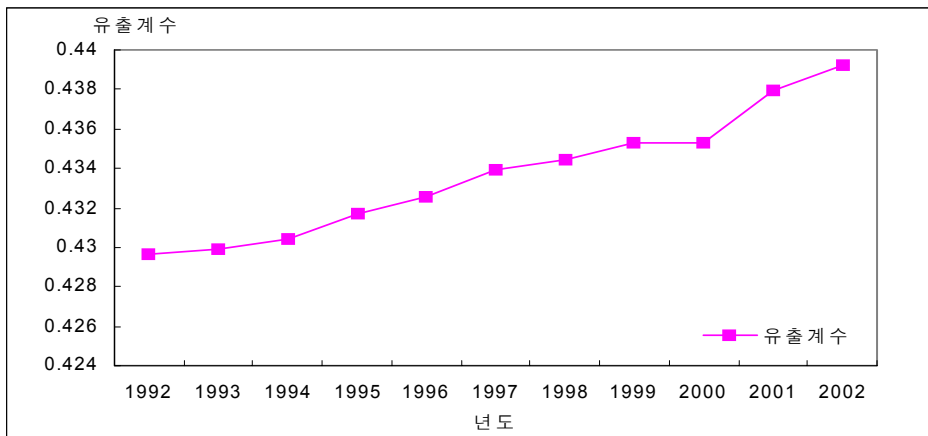
<그림 2-8> 경안천 유역의 불투수면 비율 변화

<그림 2-8>을 보면 1992년 평균 불투수면 비율이 4.1%였던 유역이 2002년 6.7%로 증가하였음을 알 수 있고 1992년 불투수면 비율이 광주읍의 경우 5%, 용인읍의 경우 7%이었으나 2002년 광주읍의 경우 10.5%, 용인읍의 경우 10.6%로 불투수면적이 광주읍은 2배 이상 증가하였고, 용인읍은 1.5배 증가하였다.

나) 유출계수 변화

대상 유역내에서 평균 유출계수로 판단하였을 때 도시적 토지이용이 증가하고 있음을 알 수 있다. 광주읍의 경우 2000년에 0.006, 2001년에는 0.007이 증가하여 동일지역에서 2000년부터 도시적 토지이용이 증가하였음을 알 수 있고 오폐면의 경우 1992년에 비하여 2002년 0.015가 증가하여 유역 평균 0.01증가한 것에 비하여 당해면의 도시적 토지이용이 급증추세에 있음을 알 수 있다.

이 유역에서의 유출계수 변화를 보면 1996년 이후 대부분 지역에서 유출계수가 증가하고 있어 강우시 침투시간이 짧아지고 침투유량이 증가할 것으로 결론지을 수 있다. 광주읍, 용인읍, 오폐면에서의 유출계수 증가가 현저히 나타나고 있음을 볼 수 있다.



<그림 2-9> 경안천 유역의 평균 유출계수 변화

다) 유출량

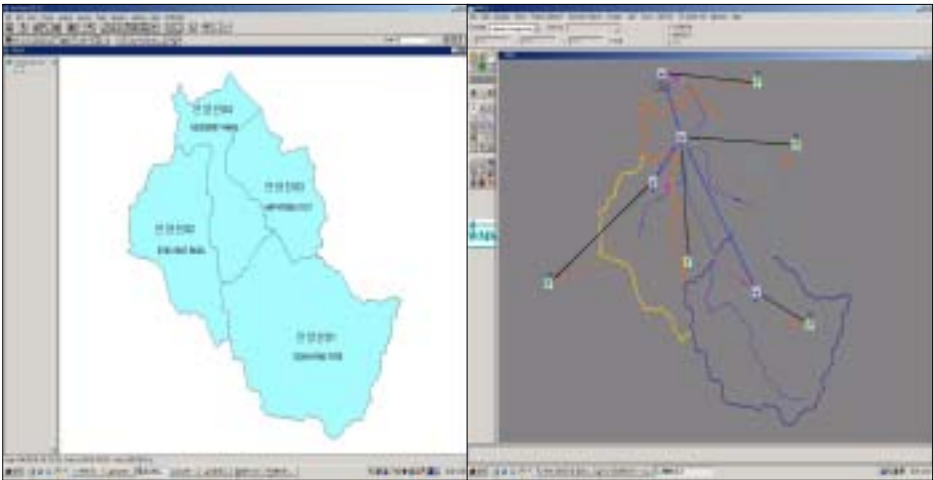
경안천 유역을 대상으로 1992년과 2002년 토지특성자료를 사용하여 유출분석을 실시한 결과 경안천-1 유역에서 15CMS, 경안천-2 유역에서 33CMS, 경안천-3 유역에서 41CMS, 경안천-4 유역에서 75CMS가 증가하였다. 경안천-1 유역의 불투수면 비율은 1992년 평균 4.6%에서 2002년 7.9%로 3.3% 증가하였고 이를 반영해 실제 유출량 증가가 크게 나타나고 있다.

<표 2-4> 경안천에서의 토지특성변화에 따른 유량 변화

	경안천-1	경안천-2	경안천-3	경안천-4
2002	1,366	3,002	3,572	3,807
1992	1,351	2,969	3,531	3,732
증감	15	33	41	75

3) 안양천 유역

안양천은 한강본류로 유입되는 가장 도시화된 유역으로, 수문분석을 위해 유역을 4개의 소유역으로 구분하였으며 입력자료를 아래와 같이 구성하였다.



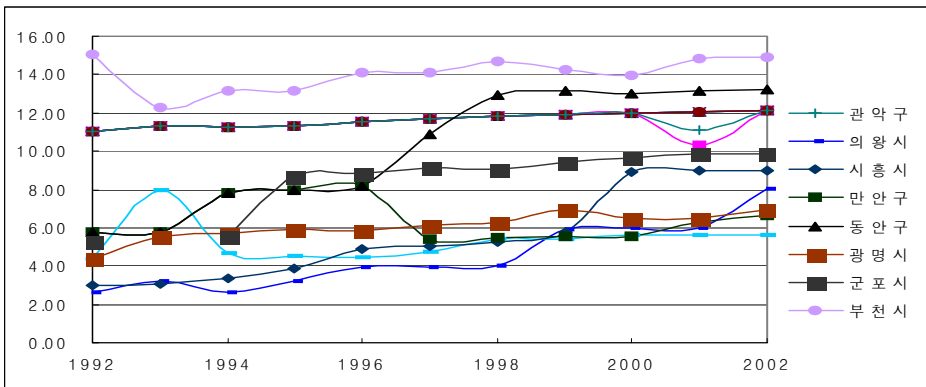
<그림 2-10> 안양천 유역 구분

<표 2-5> 안양천 유역에 대한 WMS 입력자료

소유역	SCS-CN(평균)		Lag Time(hr)	Impervious Ratio(%)	
	2002	1992		2002	1992
AA	90.7	87	1.9	23.6	17.9
AB	87.2	86	1.16	21.2	16.54
AC	95	94	1.0	51.8	49.0
AD	95	94	1.8	51.8	49.0
AE	95	94	0.43	51.8	49.0

가) 불투수면 비율

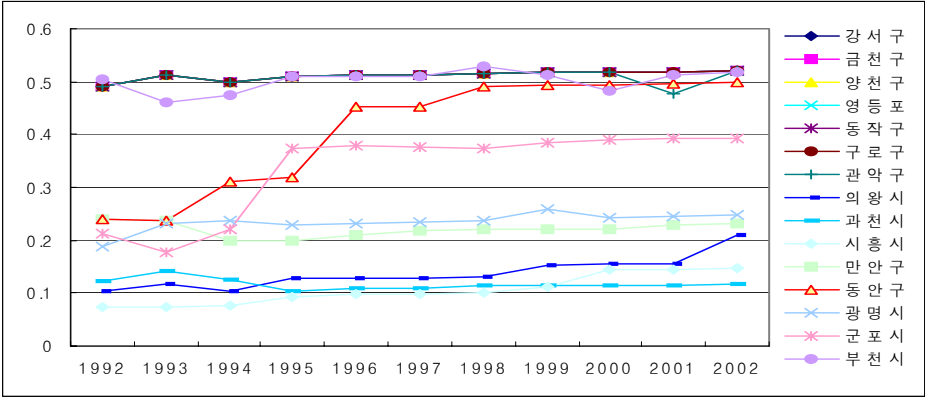
해당 유역내에서 서울시 지역(강서구, 금천구, 양천구, 영등포구, 동작구, 구로구, 관악구)의 경우 일률적인 증가를 보이고 있다. 다만, 그 이외의 지역(의왕시, 과천시, 시흥시, 안양시, 광명시, 군포시)의 경우 시간적 차이는 있으나 도로율이 증가되는 현상을 보이고 있다. 의왕시의 경우 1998년, 시흥시의 경우 1999년에 도로율변화가 있는 것을 확인할 수 있다. 이 유역에서 도로율이 나타내는 그래프형태는 전반적으로 증가하고 있으나 일부 시기에는 오히려 감소하는 구간이 있으며 이는 행정구역의 변화로 인한 통계상의 오차로 볼 수 있다.



<그림 2-11> 안양천 유역의 도로율 변화

안양천 유역의 1992년 평균 불투수면 비율이 0.341였던 유역이 2002년 0.4로 증가하

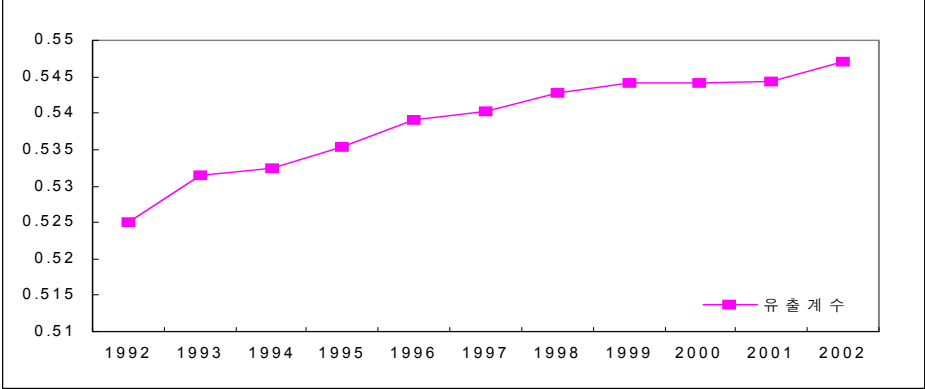
였고 1992년 불투수면 비율이 의왕시의 경우 10.4%, 시흥시의 경우 7.5%이었으나 2002년 의왕시의 경우 21%, 시흥시의 경우 14.6%로 유역내 투수면적에서 불투수면적으로 의왕시는 10.6%증가, 시흥시는 7.1% 증가하였다.



<그림 2-12> 안양천 유역의 불투수면 비율 변화

나) 유출계수 변화

해당 유역에서 평균 유출계수는 4%가 증가했고, 서울시 이외의 지역에서 의왕시는 7%, 군포시는 13%로 큰 증가를 보이고 있다. 단편적으로는 위성도시들의 성장이 안양천의 유출량을 증가시키는 것으로 판단해 볼 수 있을 것이다.



<그림 2-13> 안양천 유역의 평균 유출계수 변화

이 유역내에서 잘못된 자료로 판단되는 몇 개의 자료를 무시하고 보면 유출계수가 증가하는 것을 확인할 수 있으며 이는 도시적 토지이용의 증가와 일맥상통한다. 특히, 1993~1995년 군포시의 경우 유출계수의 급격한 증가는 해당 시기에 산본 신도시의 대규모 주택단지 등의 건설이 영향을 미친 것으로 보인다.

다) 유출량

안양천 유역을 대상으로 1992년과 2002년 토지특성자료를 사용하여 유출분석을 실시한 결과 안양천-1 유역에서 18CMS, 안양천-2 유역에서 6CMS, 안양천-3 유역에서 27CMS, 안양천-4 유역에서 32CMS가 증가하였다.

<표 2-6> 안양천에서의 토지특성변화에 따른 유량 변화

	안양천-1	안양천-2	안양천-3	안양천-4
2002	867	431	1,837	1,982
1992	849	425	1,810	1,950
증감	18	6	27	32

나. 수질영향

수질영향 분석은 불투수면 비율에 따른 유역 수질에 미치는 전반적인 분석과 강우시와 비강우시를 구분해 강우시 수질영향을 분석하는 두 가지로 검토하였다. 불투수면이 수질에 미치는 영향에 대한 분석은 강우시에 발생하는 문제가 크기 때문에 각 불투수면 지표가 수질에 미치는 영향에 대한 분석뿐만 아니라 강우시와 비강우시의 수질영향 분석도 큰 의미가 있기 때문이다.

1) 불투수면 지표의 유역 수질영향

가) 분석 모형의 설정

본 연구는 수질에 결정적인 영향을 주는 인자를 포착하기 위하여 기존의 수질모델

링이 아닌 실증분석을 택하였다. 실증분석을 위해 택하고 있는 통계분석은 수질모델링과 다음의 차이점이 있다. 수질모델링이 수질에 영향을 주는 변수에 대해 주어진 값을 투입하여 예상 수질이 산출되는 것이라면 통계분석은 수질에 영향을 미칠 것으로 예상되는 변수들의 실제값 변화와 수질수치의 변화사이의 관계를 통하여 수질에 미치는 요소들을 회귀모형을 이용하여 찾아내는 것이다. 특히 본 연구에서 사용한 패널 분석은 Baltagi(1996)가 지적한 바와 같이 일반회귀분석에서의 문제점을 보완하는 방법으로 회귀분석에서 변수로 선택하지 못한 누락변수(unobservable omitted variable)에 대한 처리를 해준다. 따라서 유역에서의 수질에 영향을 미치는 인자 중에서 본 연구에서 변수로 택하지 못한 변수에 대한 통제를 효과적으로 해준다는 점이 패널모형을 선택한 이유이다³⁾. 패널데이터는 개별주체나 지역(여기서는 유역)들 각각의 횡단면 자료를 일정한 시간 간격으로 연결한 시계열 자료로서 간단한 모델로 표시하면 다음과 같다.

$$y_{it} = \sum_{k=1}^{\rho} X_{itk} \beta_k + u_{it} \quad i:1, \dots, N, \quad t=1, \dots, T$$

3) 패널분석의 장점 및 적용은 다음과 같다.

첫째, 패널데이터는 개별적 특이성(heterogeneity)을 통제할 수 있다. 이러한 특이성을 통제하지 못하는 시계열분석이나 횡단면 분석은 왜곡된(biased) 결과를 얻을 위험이 있는데, 패널데이터는 시계열분석이나 횡단면 분석에서는 불가능한 지역(본 연구에서는 유역) 불변 요인(invariant)나 시간불변 요인을 통제할 수 있다.

둘째, 패널데이터는 시계열분석에서 발생하기 쉬운 다중공선성 문제를 해소시켜주며, 여기에 횡단면 차원을 추가함으로써 가변성(variability)을 확대하고 정보를 늘릴 수 있다.

셋째, 패널데이터는 조정과정의 동태성(dynamics of adjustment)을 연구할 수 있게 해준다. 상대적으로 안정적으로 보이는 횡단면분포에서 파악하기 힘든 다양한 변화를 파악할 수 있게 해준다.

넷째, 패널데이터는 순수한 횡단면이나 순수한 시계열 데이터에서 발견할 수 없는 효과를 더 잘 규명하거나 추정할 수 있다. 특정한 특성을 지닌 집단들이 추후에 어떠한 변화를 나타내는지를 알 수 있게 해준다.

다섯째, 패널데이터는 순수한 횡단면자료나 시계열자료보다 복잡한 행태적 모형을 구축하고 검증할 수 있게 해준다.

여섯째, 패널데이터는 미시적인 단위에서 수집되는 데이터에서 발생할 수 있는 편차가 제거될 수 있다.

여기서, X_{itk} 는 각 독립변수로 구성된 벡터, u_{it} 는 오차항을 의미한다. N 은 횡단면의 수로써 본 보고서에서는 유역, T 는 각 횡단면의 시계열 수, p 는 설명변수 또는 독립변수의 수를 의미한다. 회귀분석에서의 계수추정방식은 이 모델에서 오차항의 구성요소를 어떻게 가정하느냐에 따라 달라진다. 오차항이 아래의 식에서 보는 바와 같이 횡단면에서 공시성(contemporaneous correlation)의 상관관계를 지닌 1차 자기회귀형태(first-order autoregression)를 띠고 있다고 가정하는 경우 공분산 메트릭스는 2단계 절차에 의해 추정되며 이에 따라 GLS(Generalized Least Squares)에 의해 모델 회귀계수가 추정될 수 있다. 이를 추정하기 위해 SAS에서의 Parks 방법(<http://v8doc.sas.com/sashtml/>)을 이용할 수 있다. 유역의 불투수면 비율, 인구밀도, 산림면적, 하수처리량 등은 유역내에 한번 있게 되면 그 이후의 오염물질에 계속하여 영향을 주는 특성이 있기 때문에 오차항의 형태에 대한 가정에서도 시계열에 따른 오차를 가정하는 것이 타당할 것으로 판단하였다. 따라서 본 연구에서는 수질에의 영향을 주는 유역의 인자에 대한 분석은 Parks 추정법을 사용하였다.

$$u_{it} = \rho u_{i,t-1} + \varepsilon_{it}$$

여기서, 확률 오차항은 u_{it} , $i = 1, 2, \dots, N$, $t = 1, 2, \dots, T$ 의 구조를 지닌 1차 자기회귀모형을 고려했고, ρ 는 자기공분산 계수이다. Parks 추정법에서는 이분산, 공시적 상관성, 자기회귀 특성을 지닌 자료를 적절한 변형을 통해서 일치추정량, 점근적 추정량⁴⁾의 특성을 지닌 추정치를 구해준다.

유역차원에서의 수질영향 분석을 위해 수질에 영향을 미치는 요소로서 유역면적, 산림면적, 불투수면 비율, 하수처리량, 인구밀도 등을 산정하였다. BOD, COD, TN, TP, SS 수질 데이터를 종속변수로 설정하고 이를 함수식으로 표현하면 아래와 같다.

$$Y = \alpha_1 + \beta_1 \ln(\text{impervious cover rates}) + \beta_2 \ln(\text{watershed area}) + \beta_3 \ln(\text{population density}) \\ + \beta_4 \ln(\text{treatment volume}) + \beta_5 \ln(\text{forest cover rates}) + U_i$$

4) 자료의 수가 많아지면 모수에 가까운 값이 된다는 것임

위 식에서는 종속변수에 로그를 취하였는데, 이는 자료의 분산을 줄여 안정되게 계수를 추정할 수 있도록 해준다. 이러한 모형을 Lin-Log 모형이라 하는데 이는 X의 퍼센트 1단위 증가에 대해 Y의 절대적 변화를 보기 위한 것이다. 이 모형의 기울기계수에 대한 해석은 여기서 β_1 의 경우(Y의 변화/ $\ln X$)이고 이는 X의 절대적 변화에 대한 Y의 변화로 어떤 숫자에 로그를 취한 후의 변화는 상대적 변화라는 사실에 근거하고 있다. 수식으로 표현하면 $\beta_1 = (\Delta Y / (\Delta X / X))$ 와 같고 이는 다시 $\Delta Y = \beta_1 (\Delta X / X)$ 와 같이 정리할 수 있다. 이 방정식은 Y의 절대적 변화($=\Delta Y$)는 β_1 과 X의 상대적 변화의 곱과 같다는 것이다. 만약 후자에 100을 곱하면 X의 퍼센트 변화에 대한 Y의 절대적 변화를 의미한다. 따라서 만약 $(\Delta X / X)$ 가 0.01단위(1%)만큼 변화하였다면, Y의 절대적 변화는 $0.01(\beta_1)$ 이다.

통계분석은 SAS 프로그램을 사용하였으며 모형의 추정을 위해서 횡단면시계열회귀분석(TSCSREG : Time-Series Cross-Section Regression)과 다중회귀모형을 이용하였다.

나) 자료의 구축

유역별 수질오염 영향 인자 차이를 확인하기 위해 유역을 11개의 유역으로 구분하였다. 유역 분석에 사용된 자료는 11개 유역의 1992~2002년 기간동안의 시계열 자료와 결합한 패널데이터이다. 표본수는 11개의 유역 $\times$ 11년=121개가 된다. 이러한 표본수는 시계열과정에서 발생하는 추정오차와 유역단위의 자료에서 발생하는 추정오차를 통제할 수 있다.

(1) 유역 구분과 수질측정망 위치

유역의 면적은 환경부의 표준유역도에 근거하여 Arcview상에서 면적을 자동 추출하였다. 각각의 유역면적은 다음의 <표 2-7>과 같다.

각 유역의 수질 수치는 각 유역의 하부 경계선에 위치하는 수질측정망 측정치를 이용하였다. 11개의 유역 중 10개의 유역은 각 유역내 하천수질측정망이 하류에 위치하여 유역의 수질을 대표한다고 볼 수 있으나 경안천유역의 하류유역인 4유역은 수질

조사지점이 유역내 하류에 위치하지 않고 3유역에 인접하여 있는 것으로 나타났다. 그러나 경안천 유역 3,4 유역의 불투수면 비율이나 인구밀도 등의 특성이 비슷하여 연구의 의도한 결과와 적어도 상반되거나 현저히 다른 결론이 나오지는 않을 것으로 기대할 수 있다.

<표 2-7> 수질영향 분석을 위한 유역 구분

유역 구분	면적(km ²)	해당지역
북하천1	136.8	용인, 이천, 여주, 광주 일부
북하천2	167.3	이천, 여주, 광주 일부
북하천3	33.7	여주군 일부
경안천1	202	용인, 광주 일부
경안천2	88.9	광주, 성남 일부
경안천3	162.7	광주, 여주, 이천 일부
경안천4	107.9	하남, 양평, 성남, 광주 일부
안양천1	121.4	광명, 과천, 군포, 성남, 수원, 시흥, 안양, 의왕시 일부
안양천2	50.4	부천, 시흥, 서울 포함
안양천3	47.5	과천, 안양, 서울 일부
안양천4	60.1	광명, 부천, 서울 일부

(2) 설명변수

유역에서 수질에 영향을 줄 수 있는 인자로서 인구 규모와 밀도, 축산분뇨 발생 정도, 토지이용, 산업활동에 따른 폐수배출시설 등을 들 수 있다. 본 연구에서는 토지이용 형태 중 불투수면, 인구밀도, 유역내 산림면적, 유역의 총면적, 하수처리량을 오염요인으로 선택하였다. 토지이용 형태 중 불투수면을 패널 분석의 주요변수로 선정하는 이유는 다음과 같다. 불투수면 위에는 다양한 발생원에서 유출된 오염물질을 축적하게 되며, 강우시 축적된 오염물질은 수세되어 수계로 빠르게 유입된다. 모니터링 및 모델링 연구에서 도시의 오염물질 부하량은 유역의 불투수성과 직접적으로 관련되어 있다는 사실이 일관되게 나타나고 있다. 실제로 불투수성은 오염물질 부하량을 추정하기 위하여 이용되는 대부분의 시뮬레이션 및 경험모델에서 주요한 변수이다. 예를 들면, Simple Method에서는 불투수성이 방정식에서 주요 독립변수이기 때문에, 오염

물질 부하량이 유역의 불투수성과 직접적인 함수관계가 있다고 가정하고 있다 (Schueler, 1987). 유역의 수질 및 유출의 특성 변화에 주요한 영향을 주는 인자로 불투수면은 보편적으로 활용되어 왔다. 특히 유출특성 변화와 관련하여 침투유량 및 침투시간에서의 변화에 대한 연구가 많이 이루어져 왔는데 수질에 대한 영향이 주로 모델링의 주요변수로 투입되었다.

불투수면 비율은 직접조사방법과 토지이용, 도로밀도와 인구밀도와의 관계식 (Stankowski(1975); SMRC(2003))을 이용하여 구하는 간접측정방법이 있다. 비용면에서 비교적 저렴하고 정확하며 미래 예측에서의 이용성과 토지이용계획에서의 적용성을 고려한다면, 토지이용을 이용한 간접측정방법이 적합하다(CWP, 1998a). 여기서는 1992~2002년까지의 「통계연보」에 나타난 지목별 분류에서 대지, 공장용지, 도로, 학교용지를 불투수면으로 산정하였다. 종교용지, 공원 등의 지역도 불투수면과 투수면이 상존하고 있는 지역이나, 불투수면의 산정에 있어서 상호 가감된다는 가정하에 불투수면의 산정에서 제외하였다. 그 외 인구밀도, 유역면적, 하수처리율, 임야면적 비율 등은 통계자료와 행정자료를 이용하였으며, 유역면적은 환경부의 표준유역도에 근거하여 Arcview상에서 면적을 자동추출하였다.

(3) 종속변수

본 연구에 변수로 들어간 수질조사항목은 BOD, COD, TN, TP, SS로 1992~2002년까지 환경부 수질측정망의 수질조사결과를 이용하였다. 수질은 매월 1회 측정되고 있는데, 본 연구에서는 주요 수질분석의 경우 연평균 수질측정치를 이용하였으며, 강우시 상호작용 분석의 경우는 월별 수질측정치를 이용하였다.

다) 유역의 수질영향분석

수질영향 분석은 각 수질항목별(BOD, COD, TN, TP, SS) 전체 유역에 대한 분석과 개별유역에 대한 분석을 실시하였고 분석 결과는 다음과 같다.

(1) 전체유역에 대한 영향요인 분석

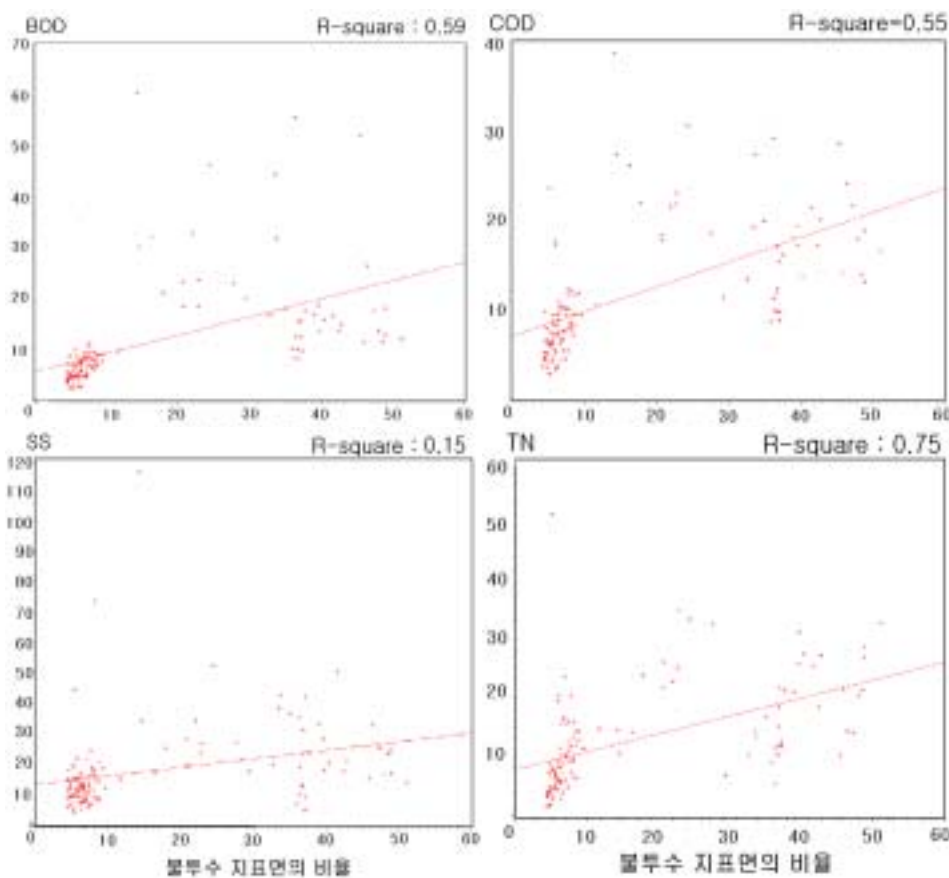
11개 유역 하천수질에 영향을 주는 유역내 인자에 대한 패널분석결과의 변수 추정치와 t값은 <표 2-8>~<표 2-12>에서 볼 수 있다. 분석 결과는 다음과 같다. 임야면적 비율을 제외한 모든 인자들이 BOD에 유의한 영향을 준 것으로 나타났다. 인구밀도와 하수처리량은 하천수의 BOD 농도 감소에 영향을 갖는 것으로 나타났으며, 불투수면 비율과 유역면적은 BOD 농도를 높이는 영향을 갖는 것으로 나타났다. 또한 불투수면 비율의 추정치가 10.98로 다른 인자들보다 하천의 BOD에 대한 탄력성이 큰 것으로 나타났다. COD에 대하여는 본 연구에서 고려한 모든 유역내 인자가 유의한 추정치를 보였으며 COD의 농도 감소에 영향을 보인 하수처리량을 제외한 다른 인자들은 COD 농도를 높이는 영향을 준 것으로 나타났다. 인자 중 COD 농도에 대한 탄력성은 불투수면 비율 > 유역의 면적 > 인구밀도 > 임야면적 순으로 나타났다.

TN에 영향을 미친 유역내 인자는 인구밀도를 제외한 모든 인자들의 추정치가 유의하게 나왔다. 앞의 BOD, COD에서와 마찬가지로 불투수면이 TN 농도를 높이는 것으로 나타났으며, TN 농도를 높이는데 영향을 준 임야면적과 유역면적보다 탄력성이 높게 나타났다. 하수처리량의 TN 추정치는 -0.5로 탄력성은 낮지만 TN 농도 감소에 유의한 영향을 미친 것으로 나타났다.

TP의 경우, 모든 유역내 인자가 유의한 추정치를 보였으며, 인구밀도와 하수처리량, 임야면적은 TP 농도를 낮추는 것으로 나타났다. 보통 인의 발생원은 비료나 가축의 배설물로 축산업이나 농업을 하고 있는 지역에서 유출되고 있는 것으로 알려져 있으나 본 연구에서는 불투수면 비율 증가가 총인의 농도 증가를 가져오는 것으로 나타났다.

SS의 경우도 본 연구에서 고려한 영향요인이 모두 유의하게 나왔으며, 인구밀도와 하수처리량의 증가는 SS 농도 감소에 것으로 나타났다. 반면 불투수면 비율, 임야면적과 유역의 면적은 SS 농도를 높이는 것으로 나타났다.

불투수면의 증가에 의한 수질영향을 OLS(Ordinary Least Square)를 이용하여 분석한 결과는 <그림 2-14>과 같다. TP를 제외한 4개의 수질항목에 대해 불투수면 비율이 수질 농도를 높이는 영향을 미친 것으로 나타났다.



<그림 2-14> 불투수면 비율에 따른 수질 농도 변화

전체유역에 대한 분석 결과, BOD에 대한 영향 인자는 임야면적을 제외한 모든 인자가 유의한 추정치를 나타내었다. 그 중 인구밀도와 하수처리량의 증가는 BOD 농도 감소에 영향을 주었으며, 불투수면 비율 증가와 유역면적의 증가는 BOD 농도 상승에 영향을 준 것으로 나타났다.

<표 2-8> 전체 유역에서의 BOD에 대한 영향요인 분석 결과

설명변수	추정계수(t 검정통계량)
Intercept	-18.760(-6.38)**
ln_imper(불투수면 비율)	10.981(12.63)**
ln_popden(인구밀도)	-1.470(-3.31)*
ln_treat(하수처리량)	-0.221(-4.73)**
ln_forest(임야의 면적 비율)	0.277(1.00)
ln_area(유역의 면적)	3.618(10.78)**
R ²	0.76

주) *는 5% 수준에서, **는 1% 수준에서 유의성을 가짐(이하 <표 2-12>까지 동일 적용)

COD의 경우, 고려된 모든 인자가 유의한 추정치를 보였으며 하수처리량을 제외한 다른 인자들은 COD 농도 상승에 영향을 준 것으로 나타났다. 이러한 추정치를 유역 별로 나누어 보았을 때 세부적인 변화를 볼 수 있다. 이는 이후 분석에서 나타내었다. BOD와 COD의 경우 둘다 다른 인자의 1% 변화에 비해 불투수면 비율의 증가가 수질 농도의 상승에 더 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.

<표 2-9> 전체 유역에서의 COD에 대한 영향요인 분석 결과

설명변수	추정계수(t 검정통계량)
Intercept	-16.626(-1218.4)**
ln_imper(불투수면 비율)	3.327(1715.83)**
ln_popden(인구밀도)	1.759(877.86)**
ln_treat(하수처리량)	-0.272(-1512.8)**
ln_forest(임야의 면적 비율)	0.6133(1529.8)**
ln_area(유역의 면적)	2.131(3884.69)**
R ²	0.99

TN에 대한 영향 요인은 모든 인구밀도를 제외한 인자들의 추정치가 유의하게 나왔다. 앞의 BOD, COD에서와 마찬가지로 불투수면 비율 변화에 의한 TN의 변화가 뚜렷하게 나타나고 있다.

<표 2-10> 전체 유역에서의 TN에 대한 영향요인 분석 결과

설명변수	추정계수(t 검정통계량)
Intercept	-25.899(-6.39)**
ln_imper(불투수면 비율)	6.378(4.76)**
ln_popden(인구밀도)	0.187(0.25)
ln_treat(하수처리량)	-0.506(-9.81)**
ln_forest(임야의 면적 비율)	2.784(11.82)**
ln_area(유역의 면적)	4.027(9.45)**
R ²	0.77

TP의 경우, 모든 요인이 유의한 추정치를 보였으며, 인구밀도와 하수처리량, 임야 면적은 TN 농도 감소에 영향을 준 것으로 나타났다.

<표 2-11> 전체 유역에서의 TP에 대한 영향요인 분석 결과

설명변수	추정계수(t 검정통계량)
Intercept	-1.219(-109.48)**
ln_imper(불투수면 비율)	0.619(398.12)**
ln_popden(인구밀도)	-0.068(-55.36)**
ln_treat(하수처리량)	-0.026(-306.4)**
ln_forest(임야의 면적 비율)	-0.066(-92.71)**
ln_area(유역의 면적)	0.311(612.24)**
R ²	0.99

SS의 경우도 본 연구에서 고려한 영향요인이 모두 유의하게 나왔으며, 불투수면 비율과 유역 면적의 증가는 SS 농도 상승에 영향을 준 것으로 나타났다.

<표 2-12> 전체 유역에서의 SS에 대한 영향요인 분석 결과

설명변수	추정계수(t 검정통계량)
Intercept	-8.603(-2.80)*
ln_imper(불투수면 비율)	14.621(34.26)**
ln_popden(인구밀도)	-4.340(-14.58)**
ln_treat(하수처리량)	-0.786(-16.24)**
ln_forest(임야의 면적 비율)	6.578(19.04)**
ln_area(유역의 면적)	2.418(19.11)**
R ²	0.95

(2) 항목별 유역별 비교

○ BOD

변수들 중 복하천의 BOD에 영향을 미치는 변수는 인구밀도와 유역의 면적이었다. 이중 인구밀도는 BOD 농도 상승에 영향을 준 것으로, 유역의 면적은 농도를 낮추는 영향을 준 것으로 나타났다. 인구 밀도는 복하천 유역과 같은 개발정도가 낮은 유역의 경우에 BOD 농도 상승에 영향을 주는 것으로 보인다. 그러나 경안천 유역은 추정치의 유의성이 미미한 것으로 나타나 거의 영향을 미치지 않는 것으로 판단할 수 있으며, 안양천 유역의 경우는 인구밀도가 오히려 BOD 농도를 낮추는 요인으로 나타났다. 이와 같이 개발밀도가 낮은 유역은 점오염원이 처리되지 않으나, 개발밀도가 높은 유역은 일반적으로 점오염원 처리가 이루어지기 때문에 불투수면 등 토지이용고도화에 의한 비점오염원의 영향이 커짐을 미루어 판단할 수 있다.

<표 2-13> 유역별 BOD에 대한 영향분석(추정계수 -t 검정통계) 결과

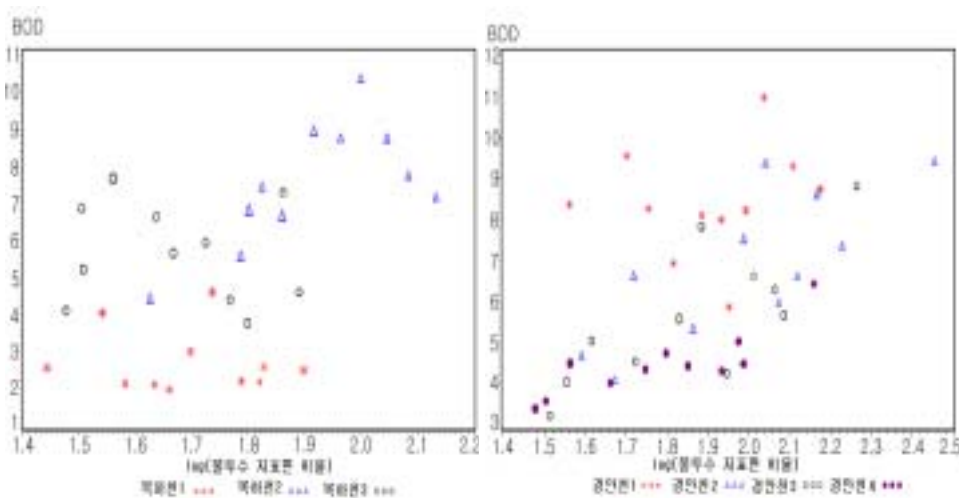
설명변수	복하천	경안천	안양천
Intercept	-5.826(-0.77)	-1.016(-0.15)	182.355(4.04)
ln_imper(불투수면 비율)	-1.771(-0.64)	7.586(4.41)*	38.394(2.89)*
ln_popden(인구밀도)	3.954(5.73)**	-2.111(-1.87)	-12.527(-2.81)*
ln_treat(하수처리량)	0.002(0.04)	0.146(5.7)**	-13.025(-4.72)**
ln_forest(임야의 면적 비율)	-0.586(-0.41)	0.990(1.94)	-13.180(-3.52)*
ln_area(유역의 면적)	-1.192(-2.84)*	0.243(0.54)	13.876(2.67)*
R ²	0.77	0.72	0.65

복하천의 경우 경안천 유역과 안양천 유역과는 달리 인구밀도의 변화에 의한 BOD 농도 상승 영향이 나타났으며, 도시화가 진행된 안양천 유역의 경우는 인구밀도가 BOD 농도 감소에 영향을 준 것으로 나타났다. 복하천 유역과 같은 개발정도가 낮은 유역에서는 인구의 단순 증가 및 인구밀도 증가가 오염물의 증가에 영향을 주지만, 유역의 개발정도가 강한 유역의 경우는 하수처리장 등의 건설로 인해 인구밀도의 증가가 BOD 농도 감소에 영향을 준 것으로 판단된다.

북하천 유역의 경우 행정구역별 인구증가를 보면 이천읍과 부발읍 같은 도읍지를 중심으로 인구증가가 두드러지나 반면 다른 지역에서는 인구가 감소하기도 함을 확인할 수 있다. 가장 많은 인구 증가를 보이고 있는 이천읍의 경우 48% 이상, 부발읍의 경우 51%의 인구증가를 나타내고 있다.

경안천 유역의 경우 BOD에 영향을 주는 인자는 불투수면 비율 증가와 하수처리량으로 나타났다. 불투수면 비율은 BOD 농도 상승에 영향을 주었고, 하수처리량은 하수처리량의 1%증가분에 대해 BOD 농도 상승분은 0.001으로 미약하게 증가하는 것으로 나타났다.

안양천 유역의 경우 BOD에 영향을 주는 인자 분석의 경우, 모든 변수가 유의한 영향을 주는 것으로 나타났다. BOD 농도 상승에 영향을 준 인자는 불투수면 비율, 유역의 면적이었으며, BOD 농도 감소에 영향을 준 인자는 인구밀도, 하수처리량, 임야의 면적 비율였다. 여기서 하수처리량이 증가하고, 임야면적이 많아질수록 도시화된 유역인 안양천 유역의 BOD 농도가 떨어질 수 있음을 예측할 수 있다.



<그림 2-15> 불투수면 비율에 따른 BOD 농도 변화

불투수면 비율의 증가에 따른 농도변화의 산점도는 <그림 2-15>와 같다. 북하천의 경우 불투수면 비율의 증가에 따른 수질농도변화의 분포에 경향성을 발견하기 어려

우나 경안천유역의 경우 불투수면 비율의 증가에 따른 수질농도의 상승 경향을 뚜렷이 볼 수 있다. 이는 불투수면 비율증가에 따른 오염농도의 변화에서 불투수면 비율이 10% 이하인 지역보다 10% 이상인 지역에서 오염농도의 변화를 잘 볼 수 있다는 기존의 연구에 의해 뒷받침될 수 있다. 안양천 유역의 경우 복하천 유역이나 경안천 유역보다 오염농도가 이미 현저하게 높아져 있지만, 불투수면 비율이 대부분 30% 이상인 지역으로 불투수면 비율 증가에 따른 오염농도의 상승 경향을 볼 수 없다. 이는 불투수면 모델(Impervious Cover Model : ICM)에서 지적인 바와 같이 30% 이상인 지역에서는 불투수면 비율의 증가에 따른 수환경의 영향을 정의할 수 없는 것으로 보인다(CWP, 1998b). ICM 또는 불투수면 비율의 증가에 따른 수질영향 모델은 불투수면이 8~10% 이상인 유역에서 30%이하인 유역의 수리, 수질, 수생태계 변화를 설명할 수 있을 것으로 판단된다.

○ COD

복하천 유역의 COD에 대한 인자 분석결과 불투수면은 COD 농도 감소에 영향을 준 것으로 나타났으며, 임야면적은 COD 농도 상승에 영향을 미친 것으로 나타났다. 유역의 면적도 COD 농도 상승에 영향을 준 것으로 나타났다. 복하천 유역의 경우 유역별 또는 시기별로 40~53%에 해당하는 임야지에서 난분해성 물질유출에 의한 COD 증가가 있었을 것으로 판단된다.

<표 2-14> 유역별 COD에 대한 영향분석(추정계수 -t 검정통계) 결과

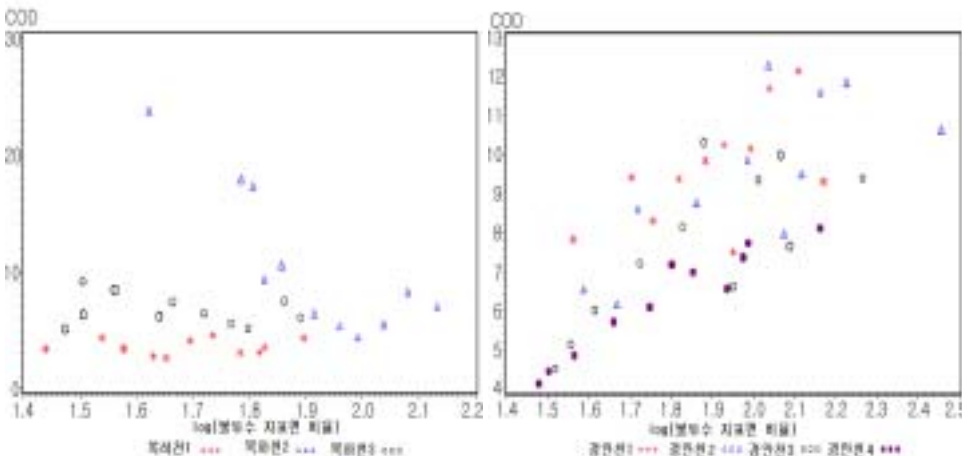
설명변수	복하천	경안천	안양천
Intercept	-39.571(-2.49)*	-5.794(-1.27)	52.299(2.61)*
ln_imper(불투수면 비율)	-10.945(-2.13)*	7.645(7.11)**	18.411(3.74)*
ln_popden(인구밀도)	2.165(0.54)	-0.841(-1.34)	-2.302(-1.27)
ln_treat(하수처리량)	-0.008(-0.09)	0.161(6.89)**	-8.669(-6.91)**
ln_forest(임야의 면적 비율)	9.262(4.61)**	0.780(6.89)**	-8.669(-4.23)*
ln_area(유역의 면적)	4.390(2.48)*	0.120(0.33)	15.811(6.15)**
R ²	0.55	0.88	0.82

경안천 유역의 경우 불투수면은 COD 농도 상승에 영향을 준 것으로 나타났으며, 하수처리량과 임야의 면적도 약하게나마 농도 상승에 영향이 있는 것으로 나타났다.

북하천 유역과는 달리 경안천 유역에서부터는 불투수면의 영향이 수질에 부정적인 영향을 주고 있음이 나타나기 시작하였다. 경안천 유역에 해당하는 행정단위별 불투수면의 증가는 다음과 같다. 1992년 불투수면 비율이 광주읍의 경우 5%, 용인읍의 경우 7%이었으나 2002년 광주읍의 경우 10.5%, 용인읍의 경우 10.6%로 유역내 투수면 적에서 불투수면적으로 광주읍이 5.5% 증가, 용인읍이 3.6% 증가하였다. <그림 2-16>에서 볼 수 있듯이 불투수면이 뚜렷한 증가추세를 보이고 있다.

COD에 대한 분석 결과, 안양천 유역은 인구밀도 요인을 제외한 모든 요인이 유의한 추정치를 나타냈다. 불투수면의 증가와 유역 면적의 증가는 COD 농도 상승에 영향을 준 것으로 나타났다. 반면 하수처리량과 임야의 면적 비율 증가는 COD 농도 감소에 영향을 준 것으로 나타났다. 안양천 유역의 경우 북하천 유역과 비교할 때 불투수면에 의한 COD 농도 상승 영향이 현저히 나타나는 것을 볼 수 있다.

불투수면 비율의 증가에 따른 COD 농도 변화 경향을 보기 위한 산점도에서는 BOD에서와 마찬가지로 북하천 유역의 경우 경향을 파악하기 어려우나, 경안천 유역의 경우 유역내 불투수면 비율이 증가함에 따라 수질농도가 높아지는 것을 확인할 수 있었다.



<그림 2-16> 불투수면 비율에 따른 COD 농도 변화

○ TN

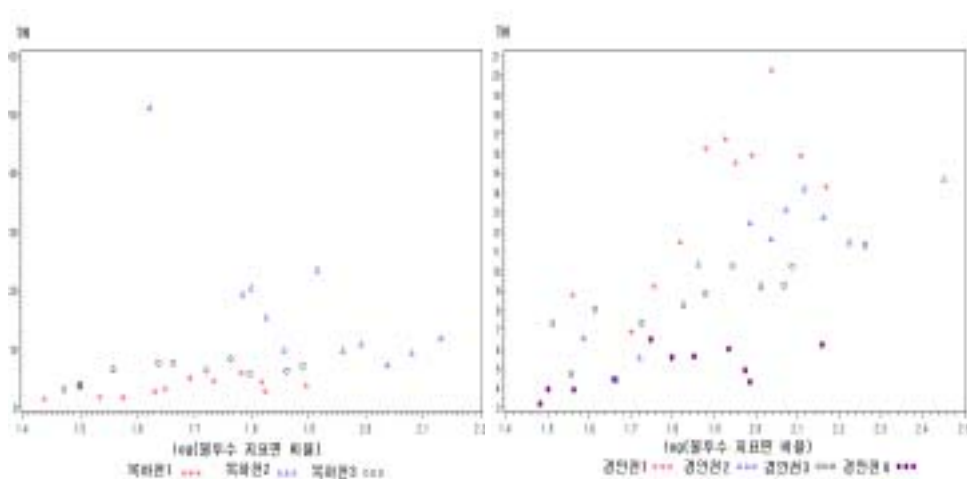
북하천 유역의 경우 TN에 영향을 주는 요인은 불투수면 비율, 임야의 면적비율, 유역의 면적으로 나타났다. BOD, COD에서와 같이 북하천 유역에서 불투수면 비율은 TN 농도 감소에 영향을 준 것으로 나타났다. 이는 농업이나 임야에서의 오염물 증가보다 도시개발이 약하게 일어난 근교 유역의 경우 불투수면 비율 증가가 수질 농도를 상승시키는 영향을 주었다고 할 수 없음을 시사한다.

<표 2-15> 유역별 TN에 대한 영향분석(추정계수 -t 검정통계) 결과

설명변수	북하천	경안천	안양천
Intercept	-112.601(-3.89)*	-5.931(-0.66)	-150.385(-6.03)**
ln_imper(불투수면 비율)	-27.006(-2.43)*	8.989(3.67)*	26.300(3.38)*
ln_popden(인구밀도)	11.119(1.92)	-1.294(-0.78)	-8.205(-3.3)*
ln_treat(하수처리량)	-0.082(-0.36)	0.261(3.82)*	4.973(3.12)*
ln_forest(임야의 면적 비율)	18.878(3.9)*	-0.594(-0.82)	6.912(3.71)*
ln_area(유역의 면적)	7.943(2.9)*	1.030(1.61)	13.774(5.45)**
R ²	0.64	0.64	0.72

경안천 유역은 북하천 유역과는 달리 불투수면 비율이 TN 농도 상승에 영향을 준 것으로 나타났으며, 하수처리량의 증가는 고도처리가 아닌 대부분의 경우 TN을 제거하지 못하기 때문에 TN 농도 감소에 영향을 주지 않는 것으로 보인다. 안양천 유역의 경우 본 분석에 투입된 모든 독립변수들이 유의한 추정치로 나타났으며, 인구밀도만이 TN 농도 감소에 영향을 준 것으로 나타났다. 불투수면 비율 증가는 다른 요인에 대해 1%의 증가에 대한 TN 농도의 증가율이 높은 것으로 나타났다. 안양천 유역의 불투수면 비율 변화를 주요 행정단위별로 살펴보면 안양시 동안구와 군포시의 불투수면 비율 증가가 가장 두드러진다.

불투수면 비율의 증가에 따른 TN 농도 변화 경향을 보기 위한 산점도에서는 BOD에서와 마찬가지로 북하천 유역의 경우 경향을 파악하기 어려우나, 경안천 유역의 경우 유역내 불투수면 비율이 증가함에 따라 수질농도가 높아지는 것을 확인할 수 있었다.



<그림 2-17> 불투수면 비율에 따른 TN 농도 변화

○ TP

북하천 유역의 경우 TP에 영향을 미치는 요인은 불투수면 비율, 인구밀도, 임야면적의 비율, 유역 면적이었다. 여기서 인구밀도의 증가는 TP 농도 상승에 영향을 준 것으로 나타났다. 불투수면 비율 증가, 임야면적의 증가에 모두 TP 농도 감소에 영향을 준 것으로 나타났으며, 유역의 면적 크기는 농도 상승에 영향을 준 것으로 나타났다.

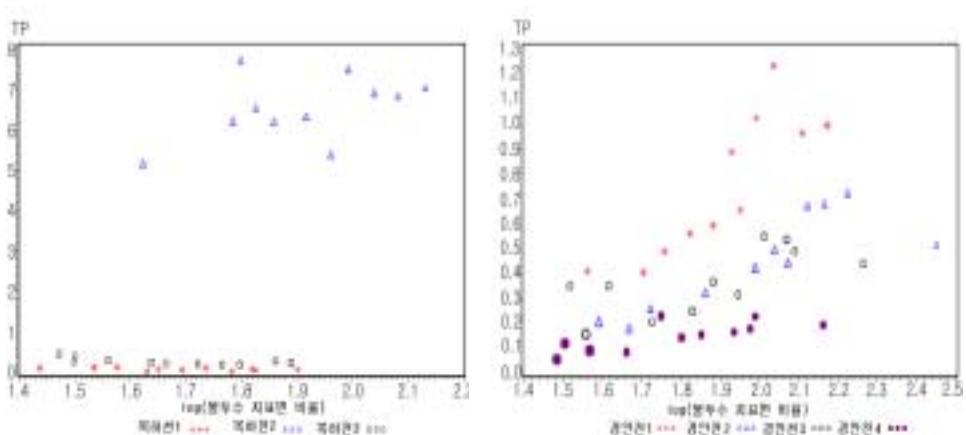
<표 2-16> 유역별 TP에 대한 영향분석(추정계수 -t 검정통계) 결과

설명변수	북하천	경안천	안양천
Intercept	-22.358(-12.7)**	-2.242(-3.77)*	-1.549(-1.13)
ln_imper(불투수면 비율)	-2.311(-3.15)*	0.168(0.96)	0.828(2.14)*
ln_popden(인구밀도)	4.886(20.33)**	0.288(2.51)*	-0.201(-1.44)
ln_treat(하수처리량)	-0.014(-0.85)	0.008(2.14)*	-0.008(-0.11)
ln_forest(임야의 면적 비율)	-0.705(-2.35)*	-0.071(-1.38)	-0.008(-1.84)
ln_area(유역의 면적)	0.991(8.28)**	0.129(2.67)*	0.590(3.09)*
R ²	0.95	0.71	0.37

경안천 유역의 경우 TP에 대한 영향을 주는 인자는 인구밀도, 하수처리량, 유역의 면적이며, 인구밀도의 증가와 유역 면적 크기는 TP 농도 상승에 영향을 준 것으로 나타났다으며, 하수처리량도 결과적으로 농도 상승 영향을 나타냈다.

안양천 유역의 경우 불투수면적과 유역 면적의 증가가 TP 농도 상승에 영향을 준 것으로 나타난 반면 하수처리량, 인구밀도, 임야면적비율은 농도 감소에 영향을 주는 것으로 나타났다.

불투수면 비율의 증가에 따른 TP 농도 변화 경향은 <그림 2-18>와 같다. 복하천의 경우 유역별로 TP 농도 경향이 군집을 보이고 있으며 복하천 2유역이 다른 지역에 비해 TP 농도가 높은 것으로 나타났다. 경안천 유역의 경우 경안천 1유역이 동일한 불투수면 비율에서도 다소 높은 농도 경향을 보였으며, 경안천 4유역은 다소 낮은 경향을 보였다. 그러나 경안천 유역은 복하천 유역과는 다르게 불투수면 비율의 증가에 따라 농도변화 경향이 뚜렷하게 나타났다.



<그림 2-18> 불투수면 비율에 따른 TP 농도 변화

○ SS

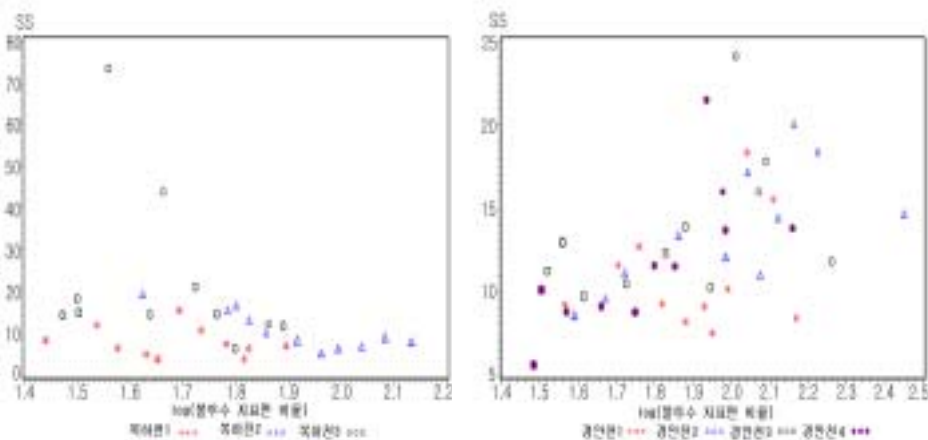
복하천 유역의 경우 SS에 대한 영향 분석 결과 독립변수로 취한 인자 중 유의하게 영향을 주는 인자는 없는 것으로 나타났다. 경안천 유역의 경우, SS에 영향을 미치는

인자는 불투수면 비율, 하수처리량인 것으로 나타났다. 불투수면의 증가는 SS 농도 상승에 영향을 준 것으로 나타났으며, 하수처리량은 SS 농도 감소에 영향을 준 것으로 나타났다. 안양천 유역의 경우도 불투수면 비율증가는 SS 농도 상승에 영향을 미쳤으며, 하수처리량의 증가는 농도 감소에 영향을 준 것으로 나타났다.

<표 2-17> 유역별 SS에 대한 영향분석(추정계수 -t 검정통계) 결과

설명변수	북하천	경안천	안양천
Intercept	4.450(0.09)	-53.443(-2.51)*	-6996.16(-0.6)
ln_imper(불투수면 비율)	-21.239(-1.25)	18.985(2.61)*	106.967(3.89)*
ln_popden(인구밀도)	6.421(1.43)	2.868(0.86)	-0.978(-0.05)
ln_treat(하수처리량)	-0.433(-0.99)	-4.115(-2.71)*	-55.624(-6.3)**
ln_forest(임야의 면적 비율)	10.909(1.09)	2.172(1.49)	12.674(1.62)
ln_area(유역의 면적)	-6.291(-1.54)	0.4749(0.28)	1797.437(0.64)
R ²	0.38	0.91	0.85

불투수면 비율의 증가에 따른 SS 농도 변화 경향을 나타낸 산점도는 <그림 2-19>와 같다. 북하천의 경우 불투수면 비율이 증가하면서 오히려 SS 농도는 낮아지는 경향을 보였으며, 경안천 유역의 불투수면 비율 증가에 따른 농도 증가 경향을 보였다.



<그림 2-19> 불투수면 비율에 따른 SS 농도 변화

<표 2-18> 하천의 수질에 미치는 유역내 인자의 영향

		BOD	COD	TN	TP	SS
북하천	불투수면 비율	×	_*	_*	_*	×
	인구밀도	+**	×	×	+**	×
	하수처리량	×	×	×	×	×
	임야면적비율	×	+*	+*	_*	×
	유역면적	_*	+*	+*	+**	×
경안천	불투수면 비율	+*	+**	+*	×	+*
	인구밀도	×	×	×	+*	×
	하수처리량	+**	+**	+*	+*	_*
	임야면적비율	×	+**	×	×	×
	유역면적	×	×	×	+**	×
안양천	불투수면 비율	+*	+*	+*	+*	+*
	인구밀도	_*	×	_*	×	×
	하수처리량	_*	_*	+*	×	_*
	임야면적비율	_*	_*	+*	×	×
	유역면적	+*	+**	+*	+*	×

주) + : 수질농도의 상승에 영향을 줌,
 × : 영향이 나타나지 않음,
 ** : 1% 수준에서 유의성을 가짐

- : 수질농도의 감소에 영향을 줌,
 * : 5% 수준에서 유의성을 가짐,

유역별로 하천의 수질에 영향을 미치는 요인에 대한 분석 결과를 요약하면 북하천의 수질 오염은 불투수면의 증가와 관련이 없거나 오히려 불투수면이 수질 농도를 낮추는 것으로 나타났다. 이는 불투수면은 오염농도의 증가에 영향을 미치지 않는 범위 내에서 증가하였거나 불투수면 비율이 다른 유역에 비해 상대적으로 적거나 또는 불투수면의 분포형태에 기인한 것이라고 가정할 수 있다. 즉 불투수면의 분포가 투수면의 분포와 혼합되어 있는 경우 강우시 불투수면에 의한 수질 영향은 적게 나타날 수 있다. 또한 불투수면이 수질의 농도를 떨어뜨리는 것으로 나온 것은 경작지에서 낮은 밀도의 개발지로 전환될 때의 오염물질 감소 현상일 수 있다. 경안천 유역은 안양천 유역과는 약간 다른 경향을 보이고 있다. 즉 안양천 유역의 수질영향 분석에서 불투수면이 수질농도 증가에 영향을 주고 있는 것으로 나타난 반면 경안천의 TP 농도는 불투수면과 관련이 있다고 보기 어려우며 인구밀도와 하수처리량이 농도 증가에 영향을 준 것으로 나타났다. 기타 수질영향 분석에서는 경안천의 불투수면 추정치

가 안양천보다 모두 작게 나와 경안천 유역 불투수면의 수질오염 탄력성이 안양천 유역보다 작은 것으로 나타났다. <표 2-18>는 본 연구의 결과를 요약한 것이다.

2) 강우에 의한 불투수면지표의 수질영향 분석

가) 분석 모형의 설정

월별 자료를 이용한 강우일의 수질 분석은 강우시의 유역에 따른 수질영향분석과 강우시의 불투수면 비율에 따른 수질영향분석으로 나누어 검토하였다. 이때 이용되는 분석방법은 상호작용효과(interaction effect)분석으로 두 변수의 동시적 출현이 각 변수의 개별적인 강우에 어떠한 영향을 미치는지를 분석하는 것이다. 즉, 앞의 분석이 불투수면을 포함한 유역내 개별 인자에 대한 영향을 고려하였다면 여기서는 불투수면과 강우, 유역과 강우의 상호효과를 볼 수 있다는 점에서 의의가 있다. 불투수면에 강우가 내린 경우, 안양천에 강우가 내린 경우, 복하천에 강우가 내린 경우를 비교 검토해 볼 수 있기 때문에 강우의 영향과 불투수면의 영향, 유역에 따른 영향을 조합하여 볼 수 있다는 장점이 있다. 여기서는 불투수면이 증가함에 따른 강우시 수질 경향을 추정하고, 도시화된 안양천 유역에서 강우시의 수질변화와 덜 도시화된 복하천 유역에서의 강우시 수질변화를 비교하기 위하여 강우시의 유역별 분석과 강우시의 불투수면에 따른 상호작용분석을 통하여 살펴보았다.

먼저 유역과 강우라는 두 속성의 동시적 출현이 수질변화에 어떤 영향을 가져오는지를 추정하기 위해 유역별 강우시 상호작용효과모형을 제시하면 다음과 같다.

$$Y=a+b_1D_1(\text{유역 하천구분})+b_2D_2(\text{유역 하천구분})+b_3D(\text{강우})+b_4D_1D+b_5D_2D$$

여기서, D_1 과 D_2 는 유역을 구분하기 위해 취한 가변수로서 3개의 유역을 가변수로 나타내기 위해 안양천은 (1.0) 복하천은 (0.1) 경안천은 (0.0)의 조합을 갖게 된다.

D_1 : 안양천 1, 복하천과 경안천은 0

D_2 : 안양천 0, 복하천 1, 경안천 0

D : 강우(1)와 비강우(0)를 나타내는 가변수

강우시 안양천에서의 영향은 강우시의 영향과 안양천에서의 영향 그리고 안양천에서의 강우시의 영향을 더해야 한다($a+b_1+b_3+b_4$). 반면 상호작용을 고려하지 않은 경우는 강우시의 영향과 안양천에서의 영향만을 고려하게 되어($a+b_1+b_3$), 안양천에서의 강우시 영향(b_4)은 누락되게 된다. 불투수면 비율별 강우시 상호작용효과모형은 다음과 같이 제시된다.

$$Y_i = \alpha_1 + \alpha_2 D_2 + \beta_1 X_i + \beta_2 (X_i) D_2 + u_i$$

D_2 : 강우시 1, 비강우시 0

X_i : 불투수면 비율

이 분석에서는 불투수면 비율증가에 따라 강우시의 수질영향이 어떠한 형태로 나타나는지를 볼 수 있는 장점이 있다.

나) 자료의 구축

불투수면이 수질에 미치는 영향에 대한 분석은 강우시에 발생하는 문제이기 때문에, 각 지표가 수질에 미치는 영향에 대한 분석뿐만 아니라 강우시와 비강우시의 수질영향 분석도 큰 의미가 있다. 본 연구에서는 1994~2002년의 9년 동안 매월 실시한 수질조사일과 같은 기간동안의 강우일을 파악하여 강우일과 수질조사일이 동일한 일을 그렇지 않은 일과 구분하여 수질에 대한 영향을 보고자 하였다. 비강우시와 강우시의 수질조사 데이터를 취합하는 과정에서 강우일과 수질조사일이 겹치더라도 검사 이후에 강우가 발생한 것은 강우일로서 의미가 없기 때문에, 수질조사 날짜에 강우가 발생하였음에도 불구하고 SS가 감소한 일자는 비가 오지 않은 날로 판단하였다. 복하천1-3 유역, 경안천1-4 유역, 안양천1-2 유역, 안양천4 유역의 9년 동안의 매월자료로 총 1081일의 사례 중 139일은 강우일자와 수질조사 일자가 일치하고 있었다. 안양천3 유역은 1994~2002년의 수질조사일자 자료 누락으로 수질-강우 연계분석에서 제외하였다.

다) 강우에 의한 불투수면의 수질영향

(1) 유역별 강우영향 분석

여기서는 유역별, 불투수면 비율별 강우시 상호작용효과를 분석하였다. 먼저 유역과 강우의 상호작용을 분석한 결과, 복하천과 경안천에 비해 안양천 유역에 강우가 내렸을 때 BOD와 COD 농도가 높아지는 것으로 나타났다. 또한 안양천 유역은 다른 유역에 비해 평상시에도 BOD, COD, TN, TP, SS 농도가 높은 것으로 나타났으며, 복하천은 평상시 다른 유역보다 COD, TN, TP 농도가 유의하게 낮은 것으로 나타났다. 불투수면 비율에 따른 강우와의 상호작용 분석에서는 불투수면 비율이 높을수록 강우시 BOD와 COD 농도는 높아지는 것으로 나타났다. 불투수면 비율만의 영향을 보았을 때는 불투수면이 수질항목의 농도 증가에 영향을 미쳐 온 것으로 나타났다.

분석 결과 도시화된 유역(본 연구에서의 안양천), 불투수면 비율이 높은 유역에서 BOD와 COD 농도가 평상시에도 높고, 강우시에는 더욱 상승하는 것으로 나타났다. 그러나 유역별 또는 불투수면 비율별 강우 상호작용효과에서 TP, TN, SS에 대한 추정치의 값은 유의성이 없었다. 이러한 원인으로는 TN, TP와 같은 영양염류의 강우시 유출은 강우 강도에 따른 토양유출로 인해 일어나게 되므로 본 연구에서 분석한 강우, 비강우만으로는 강우에 의한 영향물질 이동을 해석하는데 어려움이 있기 때문인 것으로 판단된다.

(2) 유역별 강우시 수질영향 분석

여기서는 유역과 강우라는 두 속성의 동시적 출현이 어떠한 결과를 가져오는가에 대해 분석하였다. BOD의 경우 D_1 의 추정치가 12.069이고 t value가 유의한 값으로 나왔으며 D_2 의 추정치는 유의하지 않았다. 따라서 안양천 유역의 경우 다른 유역에 비하여 BOD 농도가 높게 나타났으며, D_1D 의 추정치는 4.024로 다른 유역에 비해 안양천 유역에 강우가 온 경우 BOD 농도가 상승한 것으로 나타났다.

<표 2-19> BOD에 대한 상호작용 분석 결과

	비표준화 계수	t value	유의확률
(상수)	6.037	15.076	.000
D	1.847	1.857	.064
D ₁	12.069	20.081**	.000
D ₂	-.631	-1.041	.298
D ₁ D	4.024	2.384*	.017
D ₂ D	-1.755	-1.107	.269
R ²		0.38	

주) *는 5% 수준에서 유의성을 가짐, **는 1% 수준에서 유의성을 가짐

COD에 대한 영향도 BOD와 마찬가지로 안양천 유역에 비가 오는 경우 COD 농도가 유의하게 높아지는 것으로 나타났다. 반면 복하천의 경우는 추정치가 유의하게 나오지 않아 복하천 유역에서 강우시 경안천 유역보다 수질이 나빠진다고나 좋아진다고도 볼 수 없다.

<표 2-20> COD에 대한 상호작용 분석 결과

	비표준화 계수	t value	유의확률
(상수)	7.879	26.152**	.000
D	1.471	1.966	.050
D ₁	10.834	23.962**	.000
D ₂	-1.528	-3.350*	.001
D ₁ D	3.724	2.933*	.003
D ₂ D	-1.283	-1.075	.282
R ²	.488		

TN의 경우 안양천은 경안천과 복하천보다 농도 수치를 증가시키는 요인이 있지만 복하천은 안양천과 경안천보다 농도가 유의하게 떨어지는 것으로 나타났다. 그러나 강우시의 영향은 나타나지 않았다.

<표 2-21> TN에 대한 상호작용 분석 결과

	비표준화 계수	t value	유의확률
(상수)	9.174	24.170**	.000
D	.782	.830	.407
D ₁	14.798	25.978**	.000
D ₂	-3.503	-6.096**	.000
D ₁ D	-.243	-.152	.879
D ₂ D	-1.006	-.669	.503
R ²	.528		

주) *는 5% 수준에서 유의성을 가짐, **는 1% 수준에서 유의성을 가짐

TP의 경우도 TN과 마찬가지로 안양천은 경안천과 복하천보다 농도 수치를 상승시키는 요인이 있지만 복하천은 안양천과 경안천보다 농도 수치가 유의하게 떨어지는 것으로 나타났다. 그러나 강우시의 영향은 TN의 경우와 마찬가지로 볼 수 없었다.

<표 2-22> TP에 대한 상호작용 분석 결과

	비표준화 계수	t value	유의확률
(상수)	.402	13.668**	.000
D	3.549E-03	.049	.961
D ₁	.836	18.933**	.000
D ₂	-.142	-3.190*	.001
D ₁ D	3.972E-03	.032	.974
D ₂ D	-2.014E-02	-.173	.863
R ²	.357		

주) *는 5% 수준에서 유의성을 가짐, **는 1% 수준에서 유의성을 가짐

<표 2-23> SS에 대한 상호작용 분석 결과

	비표준화 계수	t value	유의확률
(상수)	11.798	12.888**	.000
D	2.913	1.281	.201
D ₁	14.957	10.886**	.000
D ₂	.418	.302	.763
D ₁ D	3.409	.883	.377
D ₂ D	-.825	-.227	.820
R ²	.141		

주) *는 5% 수준에서 유의성을 가짐, **는 1% 수준에서 유의성을 가짐

SS의 경우 안양천은 경안천과 복하천보다 농도 수치를 상승시키는 요인이 있는 것으로 나타났다. 그러나 예상과는 달리 강우시의 영향은 볼 수 없었다.

(3) 불투수면 비율에 따른 강우의 상호작용

강우가 하천에 미치는 영향정도는 유역내 비점오염원의 양상에 따라 달라진다. 여기서는 도시내 주요 비점오염원 중 하나인 불투수면의 비율에 따라 강우시의 수질오염이 어떤 양상을 띠는지 보고자 한다. 분석에는 유역별 강우 효과와 마찬가지로 상호작용효과를 이용한 다중회귀분석 방법을 사용하였다.

$$y=a+b_1D+b_2(\ln_imper)+b_3(D \cdot \ln_imper)$$

D : 강우시 1, 비강우시 0

ln_imper : 불투수면 비율에 자연로그 취한 값

D · ln_imper : 불투수면 비율에 따른 강우시의 영향

BOD의 경우 D · ln_imper의 추정치가 유의한 양(+)의 값으로 나타나 불투수면에서 강우시에 BOD 농도 수치가 상승하는 것으로 나타났다. 불투수면에서 강우시 발생하는 BOD 농도는 불투수면이기 때문에 상승하는 BOD 농도와 강우시에 발생하는 BOD 농도 상승분 그리고 불투수면에서 강우시 발생하는 상호작용(D · ln_imper)으로 인한 농도 상승분을 더한 값이다. 그 결과, BOD 농도는 강우의 영향을 받는다고 할 수 없는 것으로 나타났다. 그러나 강우와 불투수면의 상호작용효과는 BOD 농도 상승에 유의한 영향을 주는 것으로 나타났다.

<표 2-24> BOD에 대한 상호작용 분석 결과

	비표준화 계수	t value	유의확률
(상수)	-5.014	-5.916**	.000
D	-4.790	-1.977	.048
D · ln_imper	3.128	3.068*	.002
ln_imper	6.091	18.172**	.000
R ²	.283		

주) *는 5% 수준에서 유의성을 가짐, **는 1% 수준에서 유의성을 가짐

COD의 경우 강우시 유의하게 농도가 떨어지는 것으로 나타났으며 불투수면에서 강우가 내린 경우 COD 농도가 상승한 것으로 나타났다.

<표 2-25> COD에 대한 상호작용 분석 결과

	비표준화 계수	t value	유의확률
(상수)	-3.987	-6.311**	.000
D	-4.404	-2.438*	.015
D · ln_imper	2.869	3.775*	.000
ln_imper	6.159	24.649**	.000
R ²	.417		

주) *는 5% 수준에서 유의성을 가짐, **는 1% 수준에서 유의성을 가짐

TN에 영향을 미치는 인자에 대한 분석에서는 강우시 영향과 강우와 불투수면의 상호작용효과가 없는 것으로 나타났다. 그러나 불투수면 단독의 영향은 TN 농도 상승에 영향을 미친 것으로 나타났다.

<표 2-26> TN에 대한 상호작용 분석 결과

	비표준화 계수	t value	유의확률
(상수)	-9.833	-12.899**	.000
D	-.786	-.361	.719
D · ln_imper	.661	.720	.471
ln_imper	9.402	31.184**	.000
R ²	.507		

주) *는 5% 수준에서 유의성을 가짐, **는 1% 수준에서 유의성을 가짐

TP와 SS의 경우도 TN과 마찬가지로 강우시의 영향은 없는 것으로 나타났다. 그러나 불투수면 비율이 증가하면서 각 유역마다 TN, TP, SS 농도가 상승하여 왔음을 볼 수 있다. 인과 질소의 유출은 강우자체보다는 강우강도에 의한 토양유출로 인해 일어나게 되므로 본 연구에서 분석한 강우, 비강우만으로는 강우에 의한 영향물질 이동을 해석하는데 어려움이 있다.

<표 2-27> TP에 대한 상호작용 분석 결과

	비표준화 계수	t value	유의확률
(상수)	-.617	-10.596**	.000
D	-.889E-02	-.534	.594
D · ln_imper	4.454E-02	.636	.525
ln_imper	.515	22.379**	.000
R ²	.348		

주) **는 1% 수준에서 유의성을 가짐

SS에 대한 분석 결과는 불투수면의 증가에 따른 강우시 SS의 증가는 일어났다고 할 수 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 농지 등에서의 강우시 토양 유출에 의한 SS의 증가가 현저할 수 있다는 것을 암시하는데 이를 분석하기 위해서는 유역내인자 변수로 농지, 초지 등을 추가해야 할 것으로 보인다.

<표 2-28> SS에 대한 상호작용 분석 결과

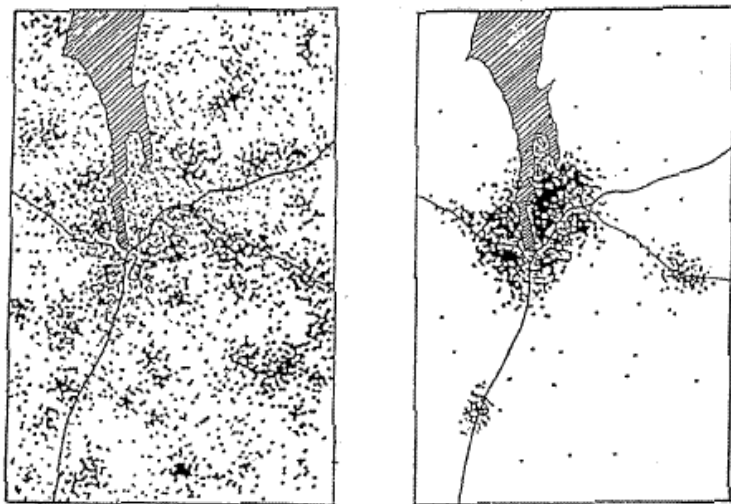
	비표준화 계수	t value	유의확률
(상수)	-1.019	-.556	.578
D	-4.042	-.771	.441
D · ln_imper	3.308	1.501	.134
ln_imper	7.333	10.117**	.000
R ²	.108		

주) **는 1% 수준에서 유의성을 가짐

다. 경제·사회적 영향

유역에서 인위적으로 조성된 불투수면은 도시의 주차장에서부터 농지의 비닐하우스까지 지금은 어디서나 볼 수 있는 현상이 되었다. 특히 환경적으로 민감한 지역에서 불투수면 증가는 산림지와 농경지를 주거지역, 상업지역, 도로 및 고밀도 집약농업지로 전환시키면서 확산되어 왔다. 이와 같은 불투수면 증가는 대부분의 유역에서 하천, 호수, 그리고 습지의 질을 악화시키는 주된 원인으로 밝혀지고 있다. 불투수면 비

율에 대한 연구를 종합하여 보면 약 10%의 불투수면 비율에서부터 유역 수환경의 악화가 시작된다. 또한 불투수면 증가는 개별적인 개발지의 환경악화 뿐만 아니라 전체 유역의 질을 악화시키는 주요 인자로 작용하고 있다. 불투수면 증가로 인한 영향은 개발이 일어난 지역보다 훨씬 넓게 유역 전반에 걸쳐 영향이 미치게 된다.



<그림 2-20> 지역적인 규모에서의 분산된 개발과 밀집한 개발

현재 유역에 대한 불투수면 증가 현상은 <그림 2-20>에서 보는 바와 같이 밀집하여 불투수면이 증가하는 경우와 유역에 걸쳐 광범위하게 불투수면이 증가하는 경우, 두 가지로 구분할 수 있다. 상수원지역과 같은 농촌지역에서는 왼쪽의 분산된 낮은 밀도의 불투수면 증가 유형을 보이며, 반면 기존의 도심지와 같은 성장 중심지에는 오른쪽과 같이 좀 더 밀집한 개발 형태로 불투수면이 증가하는 유형을 보인다. 유역 전체 차원에서 보면 개발 총량을 밀집하여 개발하는 방법은 불투수면을 더 적게 만들며, 악화될 수 있는 유역도 더 적어진다. 이와 같이 밀집개발은 도시 토지이용의 효율성 측면뿐만 아니라 유역의 물순환에 있어서도 확산형 개발보다 바람직한 토지이용 형태로 보이므로 기존의 개발 중심지 주위에 새로운 성장을 집중시키면 불투수면의 증

가 문제에 대응할 수 있을 것으로 사료된다. 밀집 개발은 성장을 전략적으로 수용함으로써 농업지와 민감한 자연지역을 보존할 수 있으며, 새로운 하부시설의 건설비용도 절감할 수 있다.

그러나 밀집개발의 경우도 다양한 물순환 촉진방안을 도입을 통해 물순환과 오염관리를 고려하여야 한다. 아직까지는 많은 사람들이 불투수면 증가의 부작용이 그것이 창출해낸 경제적 이익에 의해 보상된다고 생각하였다. 그러나 특히 왼쪽과 같은 불투수면의 확산은 오히려 환경적 뿐만 아니라 경제적으로도 문제가 있음이 최근에 분석되고 있다. 여기서는 <그림 2-20>의 왼쪽 경우와 같이 불투수면의 평면확산이 지역의 경제, 정부 예산, 토지 및 자산 가치, 그리고 지역사회에 미치는 부정적인 영향에 대해 검토해보기로 한다.

1) 지역경제

지금까지는 환경을 훼손하면 경제에 끼치는 영향은 미미하다는 것이 일반적인 인식이었고, 특히 경제적인 차원에서 고려할 때는 오염처리비용 또는 복구비용과 같은 좁은 의미에서 접근하였다. 그러나 환경훼손은 지역경제 전체에 타격을 줄 수 있다. 건강한 지역 경제는 시스템내의 각각의 부문이 다른 부문에 의존하고 있는, 다양성에 의해 형성된 상호 연결망이라 할 수 있다. 불투수면 증가의 환경적인 영향이 생태계를 통해 감지될 수 있는 것처럼 불투수면 증가의 경제적 영향은 경제에서도 감지될 수 있다. 환경악화는 결국 재산가치의 저하로 나타난다. 이러한 영향은 개발지가 일부는 부동산 시장에서 일시적으로 가격이 상승하나, 전체 지역의 측면에서 보면 환경악화로 인해 전반적 재산가치 저하는 저하된다. 이러한 현상은 도시의 슬럼에서 관찰된다.

한편 농업, 어업, 산림업, 관광업과 같은 전통적인 지역의 1차 산업 지역에서는 불투수면의 증가가 1차 산업에 불리한 영향을 가져오기 때문에, 이는 전반적인 지역 경제의 다양성을 약화시킬 수 있다. 일례로 한 연구 결과에 따르면 캘리포니아의 경우 불투수면 증가는 농업용 토지의 12% 손실과 더불어 생태계 연결축의 훼손으로 결국 Central Valley에서 2040년까지 매년 210억달러씩 농작물의 가치를 감소시킬 것으로

예측되었다(American Farmland Trust, 1995). 이는 뉴욕이나 버지니아, 오레곤 등의 전체 농산물 생산량에 해당한다. 이와 같은 불투수면 증가로 인해 비료산업, 영농 설비업, 식료품 가공업과 같은 사업의 간접적인 손실은 1년에 32억 달러에 이르고 근로자와 농민의 소득 손실은 같은 기간 동안 27억 달러에 이를 것이라 하였다. American Farmland Trust(AFT)연구는 이와 같은 불투수면 증가와 농지감소로 2040년까지 약 720억 달러의 Central Valley 농업 세입을 감소시킬 것으로 결론지었다. 이와 같은 생산 감소는 결국에는 유역 전체의 산업에 영향을 미쳐 시장에서부터 제조업까지 다양한 부문에 영향을 미친다.

2) 지방정부 재정

지방정부에서 불투수면 증가에 대한 한 가지 가정은 도시용 토지개발을 촉진함으로써 지방의 세수입은 증가된다는 것인데, 이는 결과적으로는 지방정부의 예산지출을 늘리는 원인이 될 수도 있다. 불투수면의 평면적인 확산은 분명 지자체의 지방세를 증가시키나, 개발에 따른 새로운 주택과 산업은 도시 서비스(도로, 학교, 하수처리, 물공급, 화재서비스, 도서관 그리고 공원과 레크레이션 등)의 비용을 또한 증가시킨다. 불투수면을 증가시키는 개발은 결과적으로 거주지와 상업지의 개발로 이어졌다. 거주지의 개발은 세금에서 불리한데, 이는 한 가족의 단독주택을 유지하기 위해서는 시에서 많은 서비스를 제공하기 때문에 많은 비용이 소요된다. 반면 상업지의 개발이 세금확보에 긍정적일 수는 있지만, 이로 말미암아 새로운 주거지 개발을 끌어들이는 경향이 있다.

새로운 주택과 사업장이 기존의 서비스와 하부시설을 이용할 수 없는 경우에는, 새로운 하부시설을 건설해야 한다. 따라서 도로, 하수도, 상수도관이 필요하고, 이는 결국 서비스 비용의 증가를 의미한다. 이와 같이 불투수면을 증가시키는 분산된 개발의 경우 하수시설, 학교, 도서관 등 지자체에 제공해야 하는 하부시설비용이 증가하여 중장기적으로는 도시 재정에 악영향을 끼친다. 불투수면 증가에 의한 경제효과 연구에 따르면(SMRC, 2003), 밀집(密集) 성장은 농장, 산림, 그리고 자연지역을 더 많이 보호하는 것으로 나타났다. 계획된 개발은 그렇지 않은 경우에 비해 약 45%의 토지가

절감되고, 도로에 있어서는 약 25%, 시설의 경우에는 약 15%, 주택의 경우에는 약 5% 정도의 비용이 절감되며, 기타 재정적 측면에서도 약 2%의 비용을 아낄 수 있다. 뉴저지주는 현재의 불투수면이 계속 증가하는 것을 허용하기보다는 집약적인 개발이 이루어지도록 촉진하여 20년 동안 14억 달러(1992년 가격)를 줄일 수 있었다. 불투수면 증가 비용을 나타내는 다른 방법은 단독 주택에 도로나 하수처리 등의 서비스를 제공하는 비용을 조사하는 것이다. Frank(1989)는 불투수면이 도시재정에 미치는 영향에 대한 연구에서, 도심에서 떨어진 저밀도 개발지의 주택에 공공 서비스를 공급하는 것이 밀집개발지에 비해 2~3배의 비용이 더 든다는 결론을 내렸다<표 2-29>.

<표 2-29> 단일 주거 단위에 대한 서비스의 자본비용 비교

개발 유형	자본비용(1987년 달러)
밀집 성장	\$18,000
낮은 밀도의 불투수면 증가	\$35,000
낮은 밀도의 불투수면 증가, 기존의 개발지에서 10마일 떨어진 곳	\$48,000

자료 : Frank, 1989

3) 토지소유자

불투수면 증가는 결과적으로 서비스에 대한 수요증가를 충족시키기 위해서 지역의 토지세를 증가시킨다. 이는 적어도 이것을 지불할 수 있는 기존의 토지 소유자에 대한 더 높은 세금 부과를 의미한다. 더 많은 기반시설이 각각의 필지에 대해 건설되어야 하기 때문에 불투수면을 평면적으로 증가시키는 개발은 또한 새로운 주택의 비용을 높이는 경향이 있다. 필요한 하부시설은 더 긴 도로, 우수하수관, 하수와 상수, 그리고 기타 시설에 대한 증가된 비용을 포함한다. 대부분의 구획에서 하부시설 서비스 비용은 개발 총비용의 절반을 차지한다.

개발자에 의해 초래된 기반시설 비용이 직접적으로 주택구매자에게 높은 판매가격의 형태로 전이되는 경우가 종종 있으므로, 이것은 적정가격대의 주택 공급을 어렵게 하는 요인이 되기도 한다. 게다가 불투수면 증가는, 더 많은 유출수를 가져오며, 결과

적으로 우수 배수와 처리시스템에 비용이 더 많이 소요된다. 교외지역의 낮은 토지가 격은 종종 불투수면을 증가시키는 개발을 부추기기도 한다.

2. 불투수면 지표의 유역관리 활용성 검토

가. 유역관리와 불투수면 지표

유역의 환경 특히 수질, 수량, 수생태 등 전반적인 수환경은 불투수면 증가에 따라 부정적인 영향을 받는다. 불투수면 증가가 전체 유역에서 차지하는 비율이 적다하더라도 이는 하천 생태계에 심각한 영향을 줄 수 있다. 불투수면 증가와 하천 수질과의 관계는 경안천 및 중량천 비교 연구(한국환경정책·평가연구원, 2003)에서 나타난다. 각 지역별 불투수면은 지속적으로 증가하고 있는데, 특히 자동차 보급의 확대로 많은 도시에서 1970년대부터 이는 급속히 증가하였다. 최근 11년간(1991~2001)은 신도시, 개발지역 및 중소도시에 급격하게 불투수면이 증가하여 성남시 184%, 고양시 236%, 부천시 169%가 증가하였다. 농촌의 경우도 농경용 중장비 사용과 비닐하우스 설치 등으로 인해 불투수면이 크게 증가하였다.

이와 같은 불투수면의 증가로 유역의 수환경은 급속히 악화되고 있다. 이들 지역의 전체 불투수율은 성남 22.8%, 부천 50.2%, 군포 25.6%로, Schueler(1994)의 불투수면 비율에 근거한 하천분류에 의하면, 하천이 생태적 건전성을 유지할 수 없는 수준이다. 우리나라 주요 대도시별 불투수면 범위에 따른 하천수준은 다음 <표 2-30>과 같다.

<표 2-30> 불투수면에 근거한 하천 특징

하천의 다양성	민감하천	손상하천	생태적 건전성 유지불능 하천
불투수면 비율(%)	1~10%	11~25%	26% 이상
수로 안정성	안정함	불안정함	매우불안정함
수질 및 생물학적 다양성	좋음	보통	나쁨
우리나라 도시수준	조종천(2.2%) 가정천(3.1%)	성남(22.8%) 고양(17.8%) 군포(25.6%)	서울(48.3%) 부천(50.2%) 안양(32.3%)

주) 조종천과 가정천은 북한강 유역 지천임

자료 : 한국환경정책·평가연구원, 2003

불투수면 증가는 논, 밭, 산림 그리고 습지 서식지를 분절시킴으로써 경관의 질을 악화시킨다. 이는 낚시, 레크레이션 그리고 기타 관광활동을 위한 토지 수입을 감소시켜 관광에 의한 소득 손실을 초래할 수 있다. 최근 들어 국내외를 막론하고 환경복원에 막대한 비용이 투자되고 있다. 현재 국내 각 지자체에서 오염하천 복원사업에 매년 많은 돈이 낭비되는 상황을 고려할 때, 불투수면 증가에 의해 악화된 서식지를 복원하거나 회복하는데에는 상당한 비용을 소비하게 될 수도 있다.

불투수면 증가의 경제적·환경적인 영향은 <표 2-31>에 요약되어 있다. 저밀도개발(평면확산식)로 인한 불투수면 증가는 지방정부, 자산소유자, 개발자 그리고 환경에 상당한 장·단기적 비용을 초래하는 것으로 나타났다.

<표 2-31> 불투수면 확산에 의한 긍정적 및 부정적 영향

경제주체	긍정적인 영향	부정적인 영향
지방정부	- 토지세수 증가	- 서비스에 대한 증가된 수요/비용
지방경제	- 건축, 서비스 부문에서의 증가	- 농업, 어업 그리고/또는 산림부문에서의 감소
기존의 토지소유자	- 재산가치 증가	- 높은 재산세 - 교통혼잡 증가 - 토지이용 갈등
새로운 주택구매자	- 알맞은 가격의 주택(토지비용이 낮은 경우에만)	- 높은 재산세 - 새로운 주택에 대한 하부시설 비용증가
환경	- 없음	- 습지를 포함한 수자원의 악화 - 대기질의 악화 - 그린 스페이스의 단절 - 오염발생량 증가 - 우수유출수/하폐수 처리비용 증가

불투수면 증가추세는 앞으로도 크게 둔화되지는 않을 것이므로 단지 계획 등을 통해 불투수면의 악영향을 저감할 수 있는 다양한 방안을 강구하여야 한다. 우리나라는 최근까지만 해도 준농림지제도 등을 통해 농촌지역에 사실상 많은 개발을 허용한 반면 불투수면 증가를 억제하기 위한 대책은 적용하지 못했다. 물론 절대농지, 녹지지역, 보전임지 등과 같은 제도가 있지만 이들은 당해 법 목적을 달성하기 위한 것이지 불투수면 관리를 염두에 둔 정책은 아니다. 따라서 불투수면 증가를 촉진하기 보다는 이를 제한하기 위하여 공공토지를 사용해야 하고 불투수면 증가에 의한 경제적·환경적 결과에 대한 정확한 이해를 바탕으로 적절한 관리방안을 수립할 필요가 있다.

나. 유역관리에서의 불투수면 지표 활용방안

유역내 토지이용관리가 유역의 수환경 관리를 위한 중요한 수단임이 밝혀지고 있다. 그러나 토지이용관리는 대부분 개발자에 의해 결정되기 때문에 환경적으로 적절한 관리를 위해서는 토지이용계획시 수환경에 가장 큰 영향을 미치는 인자를 유역관리지표를 도입해 관리하는 방안이 합리적이다. 유역에서의 경제 활동 증가로 인해 유

역의 수환경 관리는 단순히 발생한 오염원 처리만으로는 한계가 있기 때문이다. 불투수면이 효율적인 유역관리 지표라는 점은 이미 밝혀진 바 있는데(한국환경정책·평가연구원, 2003) 불투수면은 사전에 토지 이용계획 개선을 통해 발생량을 저감할 수 있고, 기존에 생성되었다 하더라도 각종 물순환 시설을 설치해 그 영향을 완화할 수 있어 유역관리 지표로서 매우 유용하다.

유역의 불투수면 증가는 인구집중, 경제활동의 확대, 생산성의 향상을 가져오고 또한 편리성, 쾌적성, 효율성 등의 생활수준 향상을 가져왔다. 그러나 한편으로는 불투수면 확대는 유역의 물환경에 악영향과 피해를 주고 있다. 불투수면 증가에 따른 물순환 장애로 우수유출수 증가로 인한 수질악화, 갈수시 하천기능 악화, 지하수 수량고갈, 도시미기후변화 등의 영향이 나타나고 있다. 특히 시가지 확대 및 고밀도화에 따라 불투수면 확대는 범람원 기능 저하, 식물·동물의 서식처 감소 등이 생기고 기저유량감소, 홍수시 침투유량의 증대와 유출시간의 단축에 의한 도시형 홍수피해 증가, 생활계 변화 등의 영향이 나타나고 있다. 따라서 유역의 불투수면은 유역관리에 있어 홍수, 수자원 보존, 수질오염, 하천유지유량, 생태계의 보전·복원지표로 활용이 가능하며 구체적인 지표로서 적용방안은 다음과 같다.

1) 환경영향평가 및 사전환경성 검토지표

각종 개발사업의 계획단계부터 유역의 물순환을 고려하기 위해 환경영향평가 단계에서 영향평가협의 중에 불투수면을 최소화하기 위한 지표로서 불투수율을 활용할 수 있다. 즉 민감한 유역의 경우 불투수면 비율을 10% 이내로 하고, 또 직접 하천으로 배출하는 불투수면이 발생하지 않도록 하는 등의 지표로 활용이 가능하다. 또 도시지역이라 하더라도 필지별 불투수율이 최대한 50%를 넘지 않도록 하고 50%를 상회할 경우 침투시설, 저류시설 등의 설치를 권장하거나 의무화하도록 하는 방안 등을 고려할 수 있다.

2) 오염총량관리제에서의 오염원 할당지표

오염총량관리에서 오염원을 할당지표로서 오염발생량과 처리수준, 기술능력 등을

고려함과 동시에 당해 필지의 불투수율을 고려하여 차등 적용할 수 있을 것이다. 당해 유역에 불투수율이 적을수록 유역의 자정능력이 커지기 때문에 이를 반영함이 바람직하다. 이는 시군별 오염부하량 할당시 유역의 불투수면적 비율도 동시에 고려하여 물순환이 잘되어 건기에도 어느 수준의 기저유량이 흐를 수 있도록 관리한 시군의 경우는 기타 지역보다 유리한 수준의 할당을 하는 지표로 활용하는 것이 가능하다.

3) 홍수관리 지표

시가지 확대에 따라 불투수면이 확대되고 빗물의 토양침투도가 낮아진 결과, 유역의 보수기능이 감소하고 있다. 이는 우수의 표면유출성분의 증대 또는 홍수도달시간의 단축이라는 형태로 호우시 유출형태에 변화를 가져오고 홍수침투유량의 증대를 초래하고 있다. 한편으로는 범람원에 인구·자산이 집적하여 도시 홍수피해잠재력을 증대시키고 있다. 일례로 중랑천의 경우 최근 들어 홍수가 빈발한데 이는 불투수율이 1970년대만 하더라도 미미한 수준이었으나 2003년에는 36.34%로 증가하면서 홍수량과 홍수도달시간(침투강우에서 침투유량까지의 시간)이 크게 단축되었기 때문이다. 최근 발생하는 홍수의 대부분은 불투수면 증가에 따른 도시 내부에서의 홍수량 증가가 중요한 원인 중의 하나이다. 시가화율이 10% 수준에서 80% 수준으로 증가하면 홍수도달시간(침투강우에서 침투유량까지의 시간)이 10시간에서 3시간으로 단축되고 피크홍수량은 10배 이상 증가한다. 이는 투수지역이 불투수지역으로 바뀌면서 홍수량은 증가하고 홍수도달시간은 빨라지기 때문이다. 따라서 홍수의 관리를 위해 불투수면은 유용한 지표로 이용될 수 있다.

4) 수자원의 개발·보존 지표

우리나라는 세계 평균에 비해 수자원이 빈약한 나라로 알려져 있다. 한편, 물사용량의 추이를 보면, 도시용수(생활용수와 공업용수의 합계)는 70년대 이후 고도성장기에 급증하여 2000년대에는 1970년대보다 16배나 증가하였다. 또한 유역에서는 불투수면의 증가로 인해 지하로 충전되는 지하수량이 감소하여 유역전체의 물순환에 장애가 초래되고 있다. 뿐만 아니라 도시지역에서 지하수위의 하락으로 인해 지하구조

물에의 악영향이 우려된다. 그리고 지하수 함량의 감소에 따른 기저유출 감소로 건기의 하천유량이 급감하여 도시지역은 건천화가 발생하기도 한다. 이에 유역 수자원의 보존지표로서 불투수율을 활용한다면, 일정 수준이상 유역의 물순환에 지장을 초래하는 경우 이와 연계된 다양한 관리방안을 모색할 수 있을 것이다.

5) 오염관리 지표

도시화 및 개발 확대에 의해 유역에서 배수되는 물을 수용하는 하천과 호소에는 다양한 오염물질이 유입되고 심각한 수질오염이 일어나게 되었다. 점오염원은 각종 환경기초시설의 확충에 따라 어느 정도 수질개선이 되었으나, 하수도 미정비지역의 생활하수, 소규모 미규제사업장의 폐수, 산림, 농지, 도로 등에서의 비점오염물질 특히, 불투수면의 증가에 따른 비점오염원 발생 및 배출이 문제시 되고 있다.

발암성 물질로 알려진 유기염소계화합물의 문제, 병원성대장균 O-157, 크립토퓔리지움 등의 병원성미생물 문제, 생물의 생식기능 등에 중요한 영향을 미치는 환경호르몬 문제 등 인간건강과 생태계에 유해한 영향을 미치는 신규 수질문제가 등장하고 있고, 이는 비점오염원의 형태로 수체로 유입되어 이수과 하천환경에 심각한 영향을 미칠 수 있다. 따라서 불투수면을 유역의 주요 오염관리지표로 활용해 수환경의 건전성을 파악하는데 십분 이용할 수 있다.

6) 생태계 보전·복원 지표

도시지역의 확대에 따른 수변녹지공간의 감소, 하천의 직선화와 하수배수로화, 기저유량감소 등 유역의 개발은 물순환계에 대한 환경 부하를 증대시켰고 그 결과 생태계에 변화가 발생하고 있다. 그 예로 시가지 확대에 의해 생태계를 지탱하는 습지 등이 감소하고 하구부터 연안까지 생태계가 변화하여 수생자원 등에의 영향이 두드러지고 있다. 최근 하천사업에는 오염하천정화사업, 자연형 하천사업 등 자연의 다양성을 보존하는 시공법이 각지에서 사용되고 있으나, 하천개수가 실시되는 지역에 한정되어 있다. 그리고 이와 같은 방법은 많은 비용이 수반되고 유지 관리비가 소용되기 때문에 근본적인 유역의 물순환 대책이 필요하다. 이에 불투수면 관리를 통한 유역관

리는 생태계 보전 및 복원을 위한 지표로서 유용하게 활용될 수 있다.

7) 도시하천 유지유량 관리지표

지하로 침투한 우수는 지하수로 함양되어 있다가 건기시 유출되어 하천수를 맑게 하기도 한다. 불투수지역의 확대는 우수의 지하침투를 감소시키는데 도시화가 심각한 지역은 이로 인해 용수고갈 등이 발생하여 하천을 맑게 하는 기능이 소실될 수 있다. 또한 도시용수로서 타 유역에서 도수를 하거나 처리수 또는 미처리수를 하천에 방류하여 평상시 하천유량이 증가하기도 한다. 따라서 불투수면 비율은 도시하천유지유량 관리에 좋은 지표가 될 수 있다.

8) 도시 열수지 개선지표

도시는 집중된 인구를 지탱하고 쾌적한 공간을 유지·창조하기 위해 다량의 화석연료를 열에너지로 소비하며 지구온난화의 주요 물질인 이산화탄소를 배출하고 있다. 특히, 수면·녹지면적의 감소와 빌딩·포장면에 의한 토양의 피복은 열의 운송매체인 증발산량의 감소를 초래하여 태양에너지의 축적을 가져온다. 이렇듯 도시화에 따른 경제사회활동의 변화와 토지이용형태의 고밀도화가 기온상승과 건조화를 가져오는 것을 도시의 열섬효과라고 한다. 이러한 열섬 효과를 관리할 수 있는 지표로서 불투수면 지표를 활용할 수 있다.

제3장 국내외 불투수면 관리 실태 및 시사점

최근 들어 유역내 각종 경제활동 증가에 따른 불투수면 증가가 유역 물순환에 장애를 가져와 수질 및 수량, 생태에 심각한 악영향을 미칠 수 있다는 사실이 규명되고 있다. 개발 전에는 강우의 일정 부문이 지하로 침투하여 기저유출로 이어지던 것이 불투수면의 증가로 일시에 유출됨에 따라 도시내 증소하천에서는 일회의 폭우에도 홍수, 범람이 빈번하게 되었다. 이러한 지표유출증가와 지하침투 감소로 지하수위와 기저유출 저하 현상이 발생하여 평상시 하천유량이 감소하고 하천의 건천화가 촉진되게 되었다. 또한 지하수위 저하는 갈수의 위험을 증대시킬 뿐 아니라 녹지, 가로수 등의 고사로 이어져 도시 온도변화, 건조화 등 도시기후의 변화를 가져오는 소위 열섬현상의 한 원인이 되고 있다. 유역내에서의 이같은 물순환 문제는 비단 우리나라 뿐만 아니라 미국 일본 등 국외에서도 제기된 것으로 이미 이의 해결을 위한 노력이 집중되고 있다. 본 장에서는 우리나라의 불투수면 관리실태 및 문제점을 고찰해 보고 일본, 미국, 독일에서의 불투수면 관리실태를 소개한 뒤 이의 시사점을 도출해보고자 한다.

1. 우리나라의 불투수면 관리실태

우리나라가 매년 홍수피해를 반복적으로 겪게 되는 주요 원인은 우기에 강수량이 지나치게 편중된다는 강우특성 때문이기도 하지만, 인구의 도시집중에 따른 도시화에도 그 원인이 있다 하겠다. 70년대 이후 급속한 산업화 및 도시집중으로 인해 하천변의 개발이용과 자연녹지지역이 포장 등에 의해 불투수면으로 변화되었고 이는 도시지역 물순환 체계에 여러 가지 문제점을 야기하고 있다. 지하로 스며들어야 할 빗물이 콘크리트 배수시설을 통해 하천으로 방류됨에 따라 강우시 침투유출 증가에 따른 도시형 홍수피해가 증가하고 있으며, 오염된 초기우수가 하천으로 유입되어 수질 오염을 야기하고, 지하수 부족으로 하천이 건천화되는 등 하천생태계에 심각한 영향

을 미치고 있다. 그간 인구의 도시집중으로 인한 주택난 해결 등을 위해 각종 개발이 이루어져 왔으며, 그 과정에서 수리수문학적인 면밀한 검토 없이 불투수면 등이 확대되어 도시지역의 물순환 체계에 심각한 불균형을 야기시켰다. 본 절에서는 현재 우리나라가 추진하고 있는 불투수면 관련 우수배제체계와 각종 지침에 대해 검토하기로 하겠다.

가. 우수배제 체계

오랜 기간동안 우리나라 도시지역의 우수관리 대책은 홍수피해 방지에 그 초점이 맞추어져 있었다. 따라서 지표면에 떨어진 빗물을 우수관거 등을 통해 신속히 배제시킴으로써 해당 지역의 침수피해를 최소화하고자 하는 것이 주요 목표였으며, 이에 따라 우수배제를 용이하게 하기 위해 우수관거를 개보수하고 빗물펌프장을 건설하는데 대부분의 비용을 투자하였다. 그러나 시간이 지날수록 도시규모가 확대되면서 해당 시설의 용량이 부족하게 되고 기상이변에 따른 기록적인 집중호우에 기존 시스템은 허점을 드러내게 되었고, 이제는 매년마다 발생하는 도시형 홍수피해에 대한 근본적인 대책 마련이 시급한 지경에 이르렀다.

도시형 홍수피해를 방지하기 위한 대안은 빗물을 저류시키거나 토양에 침투시켜 하류지역으로 유출되는 양을 최소화하는 것이다. 도시지역에서 토양침투와 저류 등을 통한 유출량 저감은 도달시간을 지연시켜 홍수피해를 줄이는 것은 물론, 지하수 복원, 증발산에 의한 대기냉각 및 습도조절, 생물서식환경 형성 등에 기여하는 환경친화적인 물순환체계의 복원방법이라 할 수 있다. 그러나 우리나라의 물관리 정책은 아직도 물순환을 염두에 두지 못하고 있으며, 물순환을 고려한 물관리에 대한 관심은 최근에 들어서야 높아지고 있는 실정이다.

물관리 정책이 물순환이 아닌 치수 위주로 운영되고 있음을 우리나라 토목공사 및 택지개발 관련 시방서 및 지침에서 확인할 수 있다. 본 시방서 및 지침에 따르면, 지표면에 내린 우수는 저류나 지하침투 과정 없이 최대한 빠르게 우수배제시설을 통해 하천으로 유출될 수 있도록 설계하도록 규정되어 있다. 본 설계에 따르면, 우수배수

체계에서 집수와 배수를 신속하게 하기 위해 도로, 주차장, 공원, 운동장, 그리고 심지어 녹지지역에 대해서도 집수 및 배수시설을 설치하여야 한다. 도로의 경우는 도로변에 우수받이를 설치하여 노면에서 유출된 우수가 즉시 배출될 수 있도록 하고 있으며, 지붕에서 유출된 빗물의 경우는 가급적 지표면에 저류되지 않도록 하며, 신속하게 우수관거로 유입될 수 있도록 할 것을 규정하고 있다<표 3-1>.

<표 3-1> 국내 도시지역의 집수구역별 배수체계

집수 구역	배 수 체 계
지붕	○ 지붕(표면배수) → 건물발코니 우수드레인 → 지하 연락관 → 주거동 전·후면 녹지내 집수정 → 지하연락관 → 지선 지하 우수관 → (본선 지하 우수관) → (단지밖) 도시계획도로 우수관
도로 및 주차장	○ 도로 및 주차장 변 보행로(표면배수) → 도로 및 주차장 측구 → 도로 및 주차장 빗물받이 → 지하 연락관 → 지선 또는 본선 지하 우수관 → 맨홀 → (단지밖) → 도시계획도로 우수관 ○ 지하주차장 상부 지상 주차장(표면배수) → 주차장 주변 차집트렌치 측구 → 빗물받이 → 지하연락관 → 지선 또는 본선 지하 우수관 → 맨홀 → (단지밖) 도시계획도로 우수관
녹지	○ 녹지(표면배수) → 주거동 전·후면 녹지내 집수정 → 지하연락관 → 지선 또는 본선 지하 우수관 → 맨홀 → (단지밖) 도시계획도로 우수관 ○ 녹지(표면배수) → 도로 및 주차장 변 보행로(표면배수) → 도로 및 주차장 측구 → 도로 및 주차장 빗물받이 → 지하연락관 → 지선 또는 본선 지하 우수관 → 맨홀 → (단지밖) 도시계획 도로 우수관
생활 시설 공간	○ 생활공간 녹지(표면배수) → 녹지내 포장공간 또는 보행로(표면배수) → 보행로내 우수 차집 트렌치 → 주변 빗물받이 → 지하 연락관 → 지선 또는 본선 우수관 → 맨홀 → (단지밖) 도시계획도로 우수관 ○ 마사토 등 투수면 운동장(표면배수) → 측구 또는 집수정 → 주변 빗물받이 → 지하 연락관 → 지선 또는 본선 우수관 → 맨홀 → (단지밖) 도시계획도로 우수관

이런 과정에서 우수관련 관거설치가 복잡해지고 규모가 커짐에 따라 관거의 설치 및 유지관리 비용이 증가하는 부작용도 야기된다. 도시지역의 경우 녹지를 제외한 대부분의 지역이 불투수성 포장재로 포장되기 때문에 우수의 지하침투를 기대하기는

어려운 실정이며, 보도블럭이나 투수성 포장은 어느 정도의 투수성이 기대되나 원활한 표면배수를 위해 횡단 및 종단구배를 크게 하여 실질적인 우수침투 효과는 기대하기 곤란하다. 또한, 투수성이 큰 녹지의 경우도 도로변의 경우는 소음을 차단할 목적으로 마운딩 형태로 조성되어 기대만큼의 효과는 나타나지 않는다.

나. 관련 시방서 및 지침 검토

우수배제 관련 시방서 및 지침을 검토한 결과 대부분의 경우 지표면에 내린 우수를 가급적 신속하게 배제할 수 있도록 규정하고 있다. 주요 검토 대상 시방서는 건축공사표준시방서(건설교통부, 1999), 주택건설전문시방서(건설교통부, 1998), 그리고 건설교통부 및 한국토지공사, 대한주택공사, 한국도로공사의 시방서 및 설계지침을 대상으로 하였다. 국내 대부분의 토목·건축시방서는 건설교통부 시방서를 근간으로 하고 있어 기관에 구분 없이 유사하게 규정되어 있었다. 따라서 여기서 언급하고 있는 시방서상의 문제점은 우리나라 관련 시방서에 대한 전반적인 사항이며 특정 기관의 시방서에 국한된 것이 아님을 밝혀둔다.

1) 도시지역에서의 배수

도시지역의 배수는 도시개발에 관한 업무를 수행하는 대한주택공사, 한국토지공사의 설계지침 등이 있다. 우선 대한주택공사의 「2002 토목설계지침」에서 표면배수와 지붕우수처리, 우수받이 등에 대한 사항은 다음과 같다.

가) 표면배수

표면 배수는 가능한 빨리 배제를 주목적으로 하고 있으며 표면 배수에 대한 주택공사 설계지침은 다음과 같다.

- 도로·보도·광장·운동장·잔디밭 기타 포장지역의 표면은 배수가 용이하도록 일정한 기울기를 유지해야 하며, 표면유수가 계획된 집수시설에 흘러들어가도록 한다.

- 식재지역 및 구조물 쪽으로 역기울기가 되어서는 안되며, 식재지역에 타 지역의 우수가 유입되지 않도록 해야 한다.
- 옹벽 하부 녹지에는 옹벽배수구에서 유출되는 우수로 인한 수목 및 잔디의 고사를 방지하기 위한 별도의 배수처리시설을 할 수 있으며, 잔디밭 등 녹지에 필요시 식생수로를 설치한다.

나) 지붕우수처리

주택공사 지침의 지붕우수처리는 연결방법에 대해 언급하고 있으며 연결방법 역시 빠른 배제와 교통소통에 장애가 없도록 유도하고 있다. 구체적으로 우수흡통받이에 연결하는 지붕우수 횡주관은 가급적 도로부위를 통과하지 않도록 빗물받이에 연결하되, 부득이 곤란한 경우에는 녹지대에서 집수한 후 근거리 우수본관 및 맨홀에 지붕우수 연결관으로 연결한다. 또한 지붕우수관이 유입되는 차도측 빗물받이는 걸름망을 적용하여야 하며, 지하주차장 상부 차도측 빗물받이에는 지붕우수관을 연결할 수 없도록 하고 있다.

다) 우수받이

아래처럼 주택공사 우수받이는 설계위치에 대해 언급하고 유역내 물순환이나 침투 등에 대한 사항보다는 역시 우수배제에 관한 사항만 언급하고 있다.

- 우수받이는 도로 옆에 물이 모이기 쉬운 장소나 L형 측구는 유하방향 하단에 반드시 설치한다. 단, 횡단보도 및 가옥의 출입구 앞에는 가급적 설치하지 않는다.
- 우수받이의 설치위치는 보·차도의 구분이 있는 경우에는 그 경계로 하고 보·차도의 구분이 없는 경우에는 도로와 사유지와의 경계에 설치한다.
- 표면수가 원활히 집수될 수 있는 도로모서리, 커브시 종점에 설치한다.

2) 도로관련 시설

도시지역의 불투수면을 형성하는 요인의 절반이상이 도로 등 교통관련 시설에 의한 것이다. 특히 도로는 물순환 뿐만 아니라 각종 도로에서 유출되는 각종 비점오염

원 관리를 위해서도 도로관련 시설의 물순환 고려는 필요하다.

가) 중앙분리대가 있는 도로에서의 우수받이

한국토지공사(2001)는 「Koland형 단지설계지침」에서 “중앙분리대가 있는 경우 우수받이는 편구배도로의 내측과 중분대에 설치하게 되고 이 경우 설치간격은 일반 도로의 현행기준을 따른다”라고 언급하고 있다. 이 경우 외측부 유역이 있는 경우 우수관 연결이 불가능하므로 보도 등에 별도 우수관 설치 등을 검토한다. 도로의 외측의 경우 다음과 같이 고려하도록 하고 있다.

- 외측유역이 없는 경우 : 곡선도로가 지구계에 접하거나 하여 외측에 우수유역이 없는 경우에는 편구배 도로의 외측은 측구만을 설치하고 우수받이는 중분대 쪽에 설치한다. 이 경우 설치간격은 일반도로의 현행기준을 따른다.
- 외측유역이 있는 경우(소규모 필지) : 소규모 상업용지 또는 근린생활시설용지의 경우(단독필지는 중분대가 있는 도로에 직접 접하는 경우가 없으므로 고려하지 않음) 도로를 절개하고 중분대 쪽의 우수받이나 중분대를 지나 우수분관에 연결할 수 없으므로 중분대 쪽의 우수받이 이외에 별도의 우수관을 보도에 매설하여 필지의 연결관 설치가 용이하도록 한다. 중분대가 있는 규모가 큰 도로에는 일반적으로 양측보도에 우수관이 매설되므로 이런 경우 별도의 관을 설치할 필요가 없으며 이면도로를 이용하여 배수가 가능한 경우도 별도의 관을 매설하지 않는다.

나) 보차도경계석(연석) 설치기준

한국토지공사(2001)의 「Koland형 단지설계지침」 중 보차도경계석 설치기준은 보차도경계석(연석)은 차도와 보도를 구분하고 교통흐름을 유도하며 교통사고시 자동차의 이탈을 방지하여 보행자를 보호하는 시설임을 기본개념으로 하고 있다. 보차도경계석의 설치목적 및 기능은 차도와 보도를 구분; 운전자에게 주행로의 구분을 명확히 하여 진행방향을 유도; 노면배수를 유도; 자동차의 차도이탈을 방지; 충돌차량의 노외이탈시 속도저하 및 그 진행방향을 바로 잡아줌을 목적으로 하고 있다. 본 목적

에서 보듯이 모든 내용이 본 지침의 목적달성을 위주로 하고 있고 이로 인해 파생되는 유역문제는 언급이 미흡하다.

기타 관련규정 및 기준은 도로부대시설 배수시설·안전시설편(건교부, 1998), 도로교표준시방서(건교부, 1996), 도로의 구조·시설기준에 관한 규정 및 해설지침(건교부, 1995), 도로안전시설 설치편람(건교부, 1989), 도시계획도로의 계획 및 설계기준(건교부, 1988) 등에서도 기준을 높이에 대해서만 개략적으로 규정하고 있고 폭과 사용자제는 규정하고 있지 않다. 높이기준은 일반적으로 20~25cm(보도폭이 좁거나 차도양측 여유부족시: 15cm), 중앙분리대, 교량, 터널은 25cm를 기준으로 한다. 도로기능별(도시계획도로의 계획 및 설계기준)로는 주간선도로는 20~25cm, 보조간선·집산도로는 10~15cm, 국지도로는 10cm 이하로 하고 시가지도로에서의 연석의 높이는 주정차 차량의 문을 열고 닫는데 지장이 있으므로 높이 20cm 정도를 한계로 하는 등 일반적인 높이기준만 제시하고 도로 기능별, 우수유출수 발생 및 오염정도에 따른 오목형 분리대 설치 등이 지침상 어렵게 되어 있다.

다) 보도포장 관련

도로포장에 대한 설치기준은 유역의 물순환을 고려하여 포장의 선정에 투수성 포장 설치에 대한 기준이 제시되고 실제로 시공되는 등 투수성 포장에 대한 인식은 어느 정도 되어 있다. 주택공사에서 제시한 도로 포장기준은 <표 3-2>와 같다.

도로 포장공법의 선정도 아직까지 유역의 물순환 고려가 미흡하다. 대한주택공사의 「2002 토목설계지침」에 따르면 단지내 포장의 경우 일정 부문은 투수성 등 포장의 도입이 검토가 가능하나 모두 불투수성을 기본으로 제시하고 있다. 지침에 따르면 포장공법의 선정은 아스팔트 콘크리트 포장을 원칙으로 하되, 다음과 같이 부득이한 경우에는 시멘트콘크리트 포장을 할 수 있다.

- 아스팔트 콘크리트의 공급이 불가능한 지구
- 지역 여건상 아스팔트 콘크리트 포장이 지극히 곤란한 지구
- 포장면적이 소규모 지구로서 공정관리상 불리한 지구
- 기타 지구로서 타 포장보다 경제적인 면에서 유리한 지구

<표 3-2> 보도포장 선정기준

구 분	재 질
도시계획도로 (자전거도로, 보도)	인터로킹블럭, 투수아스팔트콘크리트, 투수시멘트콘크리트
상가 등 주요 시설물 주변	인터로킹블럭, 투수아스팔트콘크리트, 투수시멘트콘크리트
단지내 보도	인터로킹블럭
프로그램 주차장	인터로킹블럭, 투수시멘트콘크리트, 칼라팔트, 칼라아스콘
보차혼용도로	인터로킹블럭, 칼라팔트, 칼라아스콘

- 주) 1. 칼라팔트, 칼라아스콘은 시공물량이 적은 경우(10a 미만) 자체구입이 곤란하므로 설계시 이를 고려하여야 한다.
2. 투수성 포장은 동결에 영향을 받으므로 동결지수 460 이상인 A, B 구역에서는 적용을 지양하고, 특히 일조량이 적은 건물복측 및 지하주차장 상부 등은 동결심도를 고려하여 적용하여야 한다.

3) 도시계획시설 관련 규정

반면 도시계획시설 관련 규정에서는 물순환에 대한 발전된 인식을 찾아볼 수 있다. 도시계획시설의 결정·구조및시설기준에관한규칙 중 도로의 구조 및 설치에 관한 일반적 기준에 따르면 도로의 배수시설에는 노면의 배수에 지장을 주지 아니하는 범위 안에서 빗물이 땅속에 스며들게 유도하는 시설을 설치할 것을 제안하고 있다. 도시계획시설에 물순환의 중요성이 인식되고 있음을 보여주는 기타 설치기준은 다음과 같다.

- 보행자 전용도로의 구조 및 설치기준 : “포장을 하는 경우에는 빗물이 땅에 잘 스며들 수 있도록 투수성재료를 사용할 것”
- 자전거 전용도로의 구조 및 설치기준 : “포장을 하는 경우에는 빗물이 땅에 잘 스며들 수 있도록 투수성 재료를 사용할 것”
- 광장의 구조 및 설치기준 : “주민의 휴식·오락·경관 등을 목적으로 하는 광장에 포장을 하는 경우에는 주변의 자연환경과 미관을 고려하고, 빗물이 잘 스며들 수 있도록 투수성 포장재를 사용할 것”
- 공공용지의 구조 및 설치기준 : “주변지역의 개발사업으로 인하여 증가하는 빗물을 모아두거나 땅속으로 스며들게 하는 시설을 설치할 수 있을 것”

4) 빗물이용시설의 설치

수도법에서도 법 목적에 따라 물의 수요관리 측면에서 빗물이용에 관하여 다루고 있으며 시설 설치에 관한 조항은 다음과 같다.

- 종합운동장·실내체육관 등 지붕면적이 넓은 시설물 중 대통령령이 정하는 시설물을 신축(대통령령이 정하는 규모 이상으로 증축·개축 또는 재축하는 경우를 포함한다)하고자 하는 자는 빗물이용시설을 설치·운영하여야 한다.
- 빗물이용시설의 시설기준 및 관리 그 밖의 필요사항은 환경부령으로 정한다.
- 국가 및 지방자치단체는 빗물이용시설을 설치한 시설물의 소유자에 대하여 그 빗물이용시설의 설치비용을 지원할 수 있으며, 지방자치단체는 조례가 정하는 바에 따라 수도요금을 경감할 수 있다.

빗물이용시설의 설치대상은 운동장 또는 체육관으로서 지붕면적이 2,400㎡ 이상이고, 관람석 수가 1,400석 이상인 시설물을 말한다. 빗물이용시설의 시설기준으로는 지붕에 떨어지는 빗물을 모을 수 있는 집수시설, 비가 내리기 시작한 후 처음 내린 빗물을 배제할 수 있는 시설이거나 빗물에 섞여 있는 이물질들을 제거할 수 있는 여과장치 등 처리시설, 처리시설에서 처리된 빗물을 일정기간 저장할 수 있는 빗물저류조로서 제곱미터 단위로 표시한 지붕면적에 0.05미터를 곱한 규모 이상의 용량, 물의 증발이나 이물질이 섞이지 아니하도록 되어 있어야 하며, 햇빛을 차단할 수 있는 구조, 내부 청소에 적합한 구조 등을 요구하고 있다. 그리고 처리한 빗물을 화장실 등 빗물을 사용하는 곳으로 운반할 수 있는 펌프·송수관·배수관 등 송·배수시설도 필요하다. 이와 같이 수도법의 특성상 물 이용측면에 중점을 두고 있으며 물순환에는 크게 강조를 하고 있지 않다.

5) 도시공원내 저류시설

도시지역에서 물순환이 화두로 떠오르자 이를 위한 다양한 방안이 강구되었는데 그 중 하나가 건설교통부의 도시공원내 저류시설 설치를 위한 운영지침이다. 이 지침은 도시공원안에 겸용공작물로 설치하는 저류시설의 계획·설계·관리 등에 관한 세

부적인 운영지침을 정함을 목적으로 한다. 운영범위는 도시민의 휴식공간인 도시공원안에 설치하는 방재기능을 갖는 저류시설에 대하여 본 운영지침을 적용하고, 저류시간에 관한 사항은 저류시설에 저류된 빗물은 가능한 한 수일내에 배수되도록 설계하여야 하며, 공원시설 설치지역은 가능한 한 짧은 시간내에 배수되도록 설계하여야 한다. 수질관리는 수생식물에 의한 수질정화를 원칙으로 하고, 지역특성에 따라 적합한 수질정화 방법을 도입하여야 하며, 유입부에는 계단식 폭포 및 보의 설치, 중앙부에는 부도의 설치 등을 통하여 수질오염을 방지하여야 한다.

6) 재해영향평가

물순환중 홍수와 연계된 부분은 재해영향평가에서 다루고 있다. 재해영향평가의 목적은 재해에 미치는 영향이 큰 사업에 대한 계획을 수립, 시행함에 있어서 당해 사업이 재해에 미칠 영향을 미리 평가, 검토하여 건전하고 지속가능한 개발이 되도록 함으로써 쾌적하고 안전한 국민생활을 도모하는 것이다. 이와 같이 재해영향평가는 사업이 홍수 등 재해의 가능성과 재해의 정도 및 규모 등에 미치는 영향을 예측, 분석하고 이에 대한 대책을 강구하기 위한 것으로 재해영향평가서를 작성(「재해영향평가서작성등에관한규정」, 행정자치부고시 제2001-1호)하여야 한다.

재해영향예측 및 평가는 당해 사업의 시행으로 인하여 증가되는 홍수유출량, 토사유출량, 사면불안정 등 재해영향요인에 대하여 객관적으로 분석하여야 한다. 사업시행으로 인해 유발되는 재해영향 요인은 당해 사업 시행 전·중·후로 구분하여 과학적 방법으로 예측·평가하여야 한다. 재해영향 저감대책은 재해현황 및 재해영향의 예측·분석·평가 등의 내용을 토대로 합리적이고 구체적인 내용으로 수립되어야 하며, 평가서에 제시하는 저감방안은 사업지구내에 한하여 사업의 시행 중·후로 구분하여 수립하여야 하며, 가능한 모든 대안을 비교하여 선정하고, 그 선정사유를 명시하여야 한다.

한국토지공사(2002)는 「재해영향평가 업무편람」 평가서 작성방법에서 재해영향 예측 및 분석은 홍수유출해석, 토사유출해석, 사면안정해석과 유역변경에 따른 영향 예측 및 분석(유역변경을 실시하는 경우 변경에 따른 홍수·토사유출변화)으로 구분

하여 작성하여야 하고 홍수유출해석은 강우량 분석, 설계강우의 지속시간 및 유출량 산정 등으로 구분; 토사유출해석은 유출량 산정 모형설정, 적용계수 결정, 유출량 산정 등으로 구분; 사면안정해석은 자연사면 분석, 인공사면 안정해석으로 구분하여야 한다. 이와 같이 재해영향 평가도 주요 목적이 재해방지측면에 강조하고 있으며 유역의 물순환을 상당부분 고려하고 있다.

7) 투수성 유출저감시설 설치

최근 홍수 등에 의한 재해방지를 위해 유역의 물순환을 고려한 대책의 필요성이 증가함에 따라 행정자치부 소방방재청에서는 투수성 유출저감시설 설치기준안(2004)을 제시하였다. 이는 강우시 우수의 직접 유출을 억제하기 위하여 인위적으로 우수를 지하에 침투시키거나 저류시키는 시설 중 침투시설에 대하여 각 시설의 설치에 따르는 일반사항, 재료, 시공에 필요한 기준을 정한 것으로서 우수유출저감시설 사업에 관계되는 기술과 방법을 체계화하고 기술수준의 보급과 향상을 기여하는 것을 목적으로 한다. 대상 시설로는 침투통, 침투트렌치, 침투측구, 투수시멘트 콘크리트 포장, 투수아스팔트 콘크리트 포장, 투수성 보도블럭 등이 있다. 주요 내용으로는 시설개요와 설계요구사항이 기재된 일반사항, 각각의 재료와 시설의 구조 등에 대한 사항, 시공에 관한 사항, 유지관리에 관한 사항 등으로 구성되어 있다.

다. 국내 도시지역 우수유출 저감방안의 문제점

도시화가 진행되고 불투수면적이 증가함에 따라 강우시 유출량이 증가하는 동시에 우수유출수가 자연수로가 아닌 콘크리트 관거를 통해 유하함에 따라 도달시간이 짧아지고 침투유출량이 증가하여 도시지역의 침수피해가 자주 발생하고 있다. 이에 따라 도시지역의 침수피해 대책 마련이 요구되었는데, 이에 우리나라가 추진한 정책은 지표면에 내린 빗물을 가급적 신속하게 우수관거를 통해 하천으로 방류시킴으로써 강우가 내리는 지역의 침수피해를 최소화하고자 하는 치수 중심적 제도였다. 이를 위해 우수배제를 위한 관거의 정비 및 빗물펌프장 등의 시설확충이 꾸준히 이루어져

왔고 이는 건설교통부나 한국토지공사 등이 제시한 우수배제 관련 지방서 및 규정에서 확인된다.

그러나 기상이변에 의한 기록적인 집중강우와 도시규모의 대단위 확장에 따라 이 같은 우수배제시설은 더 이상의 치수대책이 되지 못하고 있다. 원래 유역에서 발생하는 우수를 우수관을 통해 하천으로 배제함으로써 도시지역의 침수피해를 줄이려는 방법에는 한계가 있다. 발생원에서의 홍수량을 줄이기보다는 증가하는 홍수량을 신속하게 배제하는 대응으로 일관한 그간의 대책은 발생원인 도시 상류부의 침수피해만 막을 수 있을 뿐 하천 하류지역에는 침수피해를 초래하는 결과를 가져왔다. 물순환을 고려하지 않은 이러한 치수 위주의 대응책은 지표유출증가와 지하침투 감소로 지하수위와 기저유출 저하 현상을 발생시켜, 하천의 평균적인 유량을 감소시키고 건천화를 촉진하였다. 또한 이로 인한 지하수위 저하 현상은 갈수의 위험, 녹지의 고사 등을 초래해 도시 온도변화, 건조화 등 도시기후의 변화를 가져오는 열섬현상의 원인이 되고 있다. 따라서 도시 홍수 대책을 위해서도, 건전한 물순환을 되돌려 쾌적한 수환경을 창출하기 위해서도 도시 및 해당 유역의 전체적인 물순환 체계를 고려한 우수유출수 관리 방안이 마련되어야 하며 그 핵심은 불투수면 관리방안에 있다고 할 수 있다.

2. 주요국의 불투수면 관리실태

불투수면 관리 등 유역의 물순환의 중요성을 인식하고 최근 들어 이에 대한 정비 및 보완을 위해 각국에서는 노력하고 있다. 이런 노력에 대해 일본, 미국, 독일 등의 선진사례를 검토코자 한다. 일본의 경우 물순환을 고려한 사업을 단지 규모와 유역규모로 구분하여 후자에 좀 더 중점을 두어 검토하였으며, 물순환 복원을 위한 장기적인 목표와 시책을 소개하였다. 미국의 경우 핵심적인 유역관리방안인 BSD/LID를 중심으로 이를 도입한 두 가지 사례를 거주지와 상업지역으로 소개하였다. 개발이전 상태, 물순환을 고려하지 않은 전통적인 설계, 물순환을 고려한 설계의 세 가지 상태에

관리방안 도입 여부를 조합한 5가지 시나리오를 통해 각 경우에서의 물수지 및 영양염류의 부하를 비교·분석하였다. 독일의 실태는 물관리체제와 우수이용방안으로 나누어 소개하였으며, 후자에는 빗물이용 관련법규와 각 도시의 지원제도 실태를 다루고 이어 국내에도 도입을 고려해볼 수 있는 실제적인 우수침투방안을 소개하였다.

가. 일본

일본에서는 1995년 건설성의 중점시책의 하나로서 “도시내 적정 물순환계 재생방안”이 제시되어 “도시의 물순환계 재생구상 책정매뉴얼”의 작성과 동시에 사례연구로서 전국의 6개 유역을 대상으로 “각 유역의 물순환계 재생구상”이 추진되었다. “도시의 물순환계 재생구상 책정매뉴얼”의 작성에 대해서는 건설성 하천국 하천환경과, 도시국 하수도부 공공하수도과·유역하수도과가 중심이 되어 검토위원회가 설치되었고, 6개 유역에 대해 각 자치체를 중심으로 학자와 전문가를 위원장으로 하는 유역협의회가 설치되어 각각 검토가 추진되었다(流出機構の定量的解明 研究會, 2000)

특히 1998년 7월에는 하천심의회 종합정책위원회 수환경 소위원회에서 “유역에서 물순환이 어떻게 이루어지는가”라는 주제로 중간보고가 이루어졌다. 이 보고에 따르면 국토관리에 물순환계의 시각을 투영하여 물순환계를 공유하는 권역마다 관계자 등으로 조직을 만들고 거기서 종합적인 물순환계의 마스터플랜을 책정하고 하천행정 뿐 아니라 관계행정과의 횡적인 연계를 통해 유역전체에서 치수·이수·환경의 균형을 잡고, 건전한 물순환계의 형성에 노력할 것을 주장하고 있다. 지속적으로 관계부처(환경청, 국토청, 후생성, 농림수산성, 통산산업성, 건설성)가 연계하여 건전한 물순환계의 구축에 노력하고 “건전한 물순환계구축에 관한 관계부처회의”의 설치가 합의되어 1999년 10월에 중간보고서가 제시되었다. 본 보고서에서는 건전한 물순환계를 “유역을 중심으로 한 일련의 물 흐름과정에서 인간사회의 영위와 환경보전에 미치는 물의 기능이 적절한 균형 하에 이루어지는 상태”로 정의하고 있다.

유역의 물순환을 고려한 사업은 단지규모와 유역규모로 나누어 고려해 볼 수 있다. 우수저류침투시설을 유역단위로 보급시키는 사업이 구체적으로 실시된 것은 뉴타운

개발사업에서부터이다. 그리고 유역을 대상으로 한 물순환계의 건전화를 도모하는 시도는 “도시의 물순환계 재생 선도과제”가 시작되면서부터이다. 이 각각에 대한 구체적인 사례는 다음과 같다.

1) 단지규모(뉴타운)에서의 물순환계 보전

우수저류침투시설을 유역단위로 보급시키는 사업이 구체적으로 실시된 것은 뉴타운개발에서이며 이 계획은 처음에는 홍수대책에 중점을 두었으나, 평상유량확보대책으로 효과가 인정되어 많은 뉴타운에서 물순환계의 보전을 의식한 계획이 검토되고 있다. 그후, 하도정비의 용지확보가 곤란한 지역에서는 면적인 대책을 실시하기가 곤란했었는데, 홍수대책이 검토되면서 유지유량확보대책을 포함한 물순환계로서 검토가 이루어지게 되었다. 다음은 뉴타운 개발과 도시하천유역에서의 물순환계재생구상 사례이다.

가) 동경도 昭島 고밀도 주거단지

昭島 고밀도 주거단지는 동경도 소도시에 있는 면적 27.8ha의 부지에 고층주택 2673호를 1977년에 착공, 1981년에 입주가 시작되었다. 이 단지는 지형적으로는 입천단구상에 있고, 표고는 약 105m로 동남방향으로 완만한 경사를 가지고 있다. 개발전에는 골프장이었다. 지층은 지표면에서 수십cm의 표토는 흑토이고 그 하부 2~3m는 입천톱층, 그 밑은 옥석혼합의 입천자갈층이다. 지하수위는 지표면하 약 10m이다.

이 지역은 북측 블록에는 침투공법을 사용하고 남측 블록에는 전통공법에 의한 하수도를 설치하였다. 침투공법의 효과를 검증하기 위해 지구내에 우량계 및 유량계를 설치하고 1981년부터 현재까지 관측을 계속하고 있다.

강우량에 대한 지구밖에서의 유출고비율을 유출율로 하고 1981년부터 1991년까지 40회의 강우에 대해 침투공법지구의 유출율을 구한 결과, 최소 0.00에서 최대 0.23의 범위로 평균은 0.063이다. 이는 전통공법지구의 유출율 평균치 0.541의 약 11%로 침투공법에 따라 유출량의 억제효과가 큰 것이 확인되었다.

<표 3-3> 昭島 고밀도 주거단지 우수유출특성

기별	기간	평균강수량 (mm)	침투공법지구		전통공법지구	
			유출율	피크시 유출고(mm)	유출율	피크시 유출고(mm)
I 기	81~85년 (14회 강우)	56.1	0.11	1.9	0.60	6.5
II 기	86~90년 (15회 강우)	62.6	0.07	1.5	0.53	5.8
III 기	91~95년 (36회 강우)	55.9	0.10	2.6	0.64	9.5
전체	81~95년 (65회 강우)	57.5	0.10	2.2	0.60	8.0

자료 : <http://www.mlit.go.jp/crd/city/seweraage/fiscal/sinki.html#2>

나) 동경도 八王子뉴타운

구역내를 흐르는 兵衛川の 유지용수 확보, 용수보전, 지하수함양 및 홍수유출억제를 목적으로 계획목표에 따라 구역내 침투시설, 저류시설 등을 배치하였다. 또한 용수보전을 위해 불투수층을 인공적으로 연결시키는 특별한 시도를 하였다.

뉴타운개발에 따른 불투수층의 증대와 취수·배수계통의 변화는 홍수시 유출량의 증대, 유지유량의 감소는 물론 지하수에도 영향을 미치고, 도시의 열섬현상도 가속화시킨다. 이의 대책으로 조성단계부터 저류침투시설을 면적으로 정비하는 등 구역의 종합적인 치수대책과 용수복원, 하천의 유지유량확보를 목적으로 개발전의 물순환계의 보전·복원계획을 입안하였다. 계획의 개요는 다음과 같다.

- 구역의 초중학교, 계획주택, 일반주택, 유치시설용지등에 면적으로 정비되는 on-site저류침투시설로 홍수유출량을 제어하고 지하수함양을 적극적으로 도모
- 함양된 지하수를 병위천으로 유도하기 위해, 조성공사중 이전의 대수층을 복원하고 유지유량을 확보

이상의 대책에 따라 구역의 피크유량 감소, 개발전 물수지 회복, 최저유량의 개선 등의 효과가 발휘되었고 구체적인 사항은 다음과 같다.

- 저류침투시설의 면적 정비를 통해 피크유출량을 대폭 제어할 수 있고, 그 결과 현재의 개수단면인 1차개수계획(3년 확률 : 50mm/hr)의 안전도는 20~30년 확률

정도로까지 향상된다. 또한, 향후 2차 개수계획(70년 확률 : 100mm/hr)에 대비할 수 있게 되었다.

- 과거 6개년 강우자료를 토대로 물수지 시뮬레이션을 실시한 결과, 물순환계 보전시스템을 도입할 경우 개발전의 물수지에 가까운 상태까지 보전이 가능하였다.
- 병위천의 하천유황을 시뮬레이션한 결과, 최저유량이 개발전에 23.3L/s였으나 물순환계보전시스템의 도입에 따라 26.7L/s로 개발전보다 개선되었다.

2) 유역차원의 물순환계 복원

도시하천유역을 대상으로 한 물순환계의 건전화를 도모하려는 시도가 1996년에 건설성하천국과 도시국하수도부가 연계하여 “도시의 물순환계재생 Leading Project”로 시작되었다. 모델유역으로 東京都의 神田川유역, 千葉縣의 海老川유역, 埼玉縣의 東川유역, 神奈川縣의 和泉川과 平戸永谷川유역 및 奈良縣의 菩提川유역의 6개 유역이 결정되어 각 유역에서 물순환계재생구상을 마련하였다. 그 후, 몇 개 유역에서는 구체적인 실시계획을 책정하여 실시하고 있다. 이중 海老川과 東川의 사례는 다음과 같다.

가) 海老川유역 물순환계재생구상

海老川은 船橋市 북부 구릉지대에서 발원하여 중심시가지를 흘러 동경만으로 유입되는 하천이다. 유역에서는 1950년대 후반이후 시가지가 급격히 확장되어 유역의 침투·보수능력이 저하한 결과 홍수가 빈발하고 특히 오염부하의 증가에 따라 하천수질의 악화가 문제되고 있다. 이들 문제의 대책을 검토하기 위해 海老川유역 물순환계재생프로젝트가 실시되었다.

이 프로젝트는 다수의 행정부 국 및 지역·주민과의 연계와 협동이 필요하기 때문에 하천, 하수도, 환경, 도시계획, 공원, 건축, 주택, 택지, 도로, 교육위원회 등의 현과 시의 행정분과, 도시기반정비공단 및 전문연구자들이 지역주민의 의사와 정보를 반영하기 위해 민간환경단체를 포함하여 구성된 海老川유역물순환계재생구상검토협의회를 설치하였다.

(1) 기본방침·계획목표

구상검토협의회에서는 “지속적인 도시활동을 지원하고 영구적인 환경공생을 가능하게 하고 특히 인간과 물과의 친밀한 관계를 위한 새로운 물순환계의 창출을 도모한다”라는 기본이념을 가지고 다음과 같은 기본방침·계획목표를 수립하였다.

<표 3-4> 海老川の 기본방침과 기본목표

기본방침		계획목표	
		단기목표(21세기 초)	장기목표(21세기 말)
침수피해가 적은 안심할 수 있는 지역만들기		5~10년 빈도의 강우에 침수피해가 없도록한다.	50년 빈도의 강우에 침수피해가 없도록한다.
맑고 풍부한 유량 확보	양호한 수질의 확보	BOD 5mg/L까지 개선 하천내에 폐기물이 부유하지 않고 경관이 수려한 하천만들기	BOD 3mg/L까지 개선
	유지유량 확보	현재의 풍부한 수량을 유지	하여 생물서식에 필요한 수심·유속을 확보
	용수의 보전과 복원	강우의 지하침투량을 도시화가 진전되기 이전인 1960년대 말의 수준으로 회복	아스팔트와 콘크리트 등 불투수층이 거의 없고, 자연지상태의 침투기능을 가졌다고 볼 수 있는 1940년대 말의 유역침투량으로 회복
갈수와 재해에 강한 물이용		우수와 하수처리수의 이용, 절수를 촉진하고 갈수와 재해를 대비한 수자원확보 추진	
자연과의 공생		생물서식·생육에 적합한 지역을 보존하고 신규개발과 도시기반정비시 적극적으로 생태계 배려	

자료 : 流出機構の定量的解明 研究會, 2000年 12月

<표 3-5> 海老川 유역의 수환경개선 대책

시책	시책의 유형		시책의 내용
우수저류침투시설	신규개발지	저류시설	대규모개발지(1ha이상)는 1ha당 1,300m ³ , 중소규모개발지(1ha미만)는 1ha당 550m ³ 의 저류시설 설치
		침투시설	침투적지의 개발지에는 시간당 20mm의 침투능력을 가진 시설설치
	학교	저류시설	시설미설치의 23개 학교를 대상으로 1ha당 약 1,000m ³ 의 저류시설 설치를 매년 2개 학교씩 추진
		침투시설	침투적지에 위치하는 시설미설치 11개 학교의 학교주변을 대상으로 시간당 20mm의 침투능력을 가진 시설 설치를 매년 2개씩 추진
	공공시설	저류시설	주민관과 행정시설을 대상으로 저수용량 500m ³ , 집수면적 3,000m ² 정도의 저류시설 설치를 매년 추진
		침투시설	침투적지에 위치하는 주민관과 행정시설을 대상으로 매년 2,500m ² 에 대해 시간당 20mm의 침투능력을 가진 시설 설치를 추진
	도로	침투시설	침투적지의 보도와 자동차의 교차량이 적은 좁은 도로를 대상으로 계획적으로 투수성포장설치 추진
공원·녹지정비와 보전	녹지보전	생산녹지 유지	현재 유역내 생태녹지 84ha를 관계자 협력을 얻어 앞으로도 농지로 보전
		지정수림유지	船橋市조례에서 지정하고 있는 유역내 지정수림 10ha를 관계자의 협력을 얻어 앞으로도 보전
		시가화조정구역 개발규제·유지	시가화조정구역에서 향후계획에 적정한 개발규제와 유도를 하고, 농지·자연지를 보전
	녹지창조	도시공원정비	船橋市전역의 목표치로 “船橋市녹지기본계획”을 제시하여 1인당 도시공원면적을 목표로 계획적으로 정비추진 · 21세기 초반→5.0m ² /1인, · 21세기 후반→9.0m ² /1인 또한, “船橋市 녹지기본계획”에 따라 海老川에서 北谷津川에까지 물과 綠의 net-work 구축
		개발지 녹화의무부여	“船橋市 녹지보전과 녹화추진에 관한 조례”에 따라 개발지역에 일정규모의 녹지확보를 의무화
하천정비	하도개수		공공하수도, 유역하수도 정비를 추진하여 21세기 초반까지 인구 보급을 83%를 목표로 한다. 또한 21세기 중반까지 전유역이 하수도정비구역이 되도록 정비추진
	조절지 건설		21세기 초반까지 기존 長津川조절지를 포함, 해노천조절지, 飯山滿川방재조절지, 飯山滿川上池조절지의 건설을 추진 약 70만m ³ 의 저수량을 확보한다. 21세기 중반까지는 해노천조절지, 장진천조절지를 증강하여 11만m ³ 의 저수용량을 확보하여 이용
	환경유지수량 확보		주요 조절지 등에 환경용수를 위한 용량확보에 노력하여 평상시 하천유지수량의 보급에 이용
	다자연형 하천조성		하도개수와 조절지 건설시에 동식물 서식, 경관, 친수성에 배려한 다자연형 정비를 추진. 21세기 초반까지 기존 장진천조절지에 더해 현재 계획중인 해노천중류부, 반산만천하류부 등에 다자연형 정비를 추진
	하천정화시설		21세기 초반까지 기존 高根川하천정화시설을 포함 前原川의 상류부 및 하류부, 장진천상류부의 총 4개 지역에 설치를 추진. 특히 21세기 중반까지는 반산만천, 장진천 지천에도 설치

자료 : 流出機構の定量的解明 研究會, 2000年 12月

(2) 대책안의 설정

계획목표를 달성하기 위해 우선 실시가능성이 높은 대책을 선정하여 그 효과를 평가하고 최종적으로 대책안을 설정하였다. 효과평가시에 이용할 평가지표로는 계획목표의 달성여부가 판단가능한 것으로 홍수피크유량, 평상시하천유량, 유역침투량, 오염부하량, 하천수질(BOD)을 선정하였다.

각종 대책이 물순환계를 통해 상호 연결되어 있으므로 이들을 동시에 실시할 경우 물순환계에 대한 전체적·복합적인 효과를 평가하는 것이 중요하다. 海老川유역에서는 분포형의 물순환계해석모델을 적용하여 대책효과평가를 실시하였다. 전체 대책을 실시할 경우도 평가하였으며, 개별대책의 효과를 단순히 가산하지 않고 지천별로 상세한 평가를 실시하였다.

이상의 검토를 통해 유역의 수환경개선 대책을 우수저류 및 침투시설 설치, 공원 및 녹지정비와 보전, 하천정비 등으로 나누었다. 우수정비 및 침투시설은 다시 신규개발지, 학교, 공공시설, 도로 등으로 나누어 각각에 대해 저류시설과 침투시설 설치 등을 제안하였다. 공원 및 녹지의 보전에 있어서도 녹지의 보전과 개발로 나누어 생산녹지 유지, 지정수림유지, 시가화조정구역 개발규제·유지, 녹지창조, 도시공원정비, 개발지 녹화의무부여 등의 시책을 제안하였다. 하천정비도 하도개수, 조절지 건설, 환경유지수량 확보, 다자연형 하천조성, 하천정화시설 등으로 나누어 접근하였고 각각에 대해 결정된 대책 세부내용은 <표 3-5>와 같다.

나) 東川유역 물순환계 재생구상

東川유역은 狹山丘陵地내의 狹山湖부근에서 발원하여, 시가지를 관통하여 所澤市坂의 밑에 위치한 柳瀨川으로 합류하는 유역면적 18km², 연장 12.6km의 일급하천이다. 고도성장기 이후 시가지의 확대에 따라 우수가 양호하게 침투하던 지표가 콘크리트 등으로 포장됨에 따라 홍수유량이 증가하였고, 유지유량이 감소되었다. 소택시의 중심가에는 국소적인 침투피해가 빈발해서 1995년에 기옥현, 소척시의 관계부국을 위원으로 한 東川유역협의회를 발족시켜, 東川유역의 물순환계의 재생에 대해 기본방침을 검토하고 “東川유역물순환계재생구상서”를 작성하게 되었다.

(1) 기본이념·계획목표

협의회에서는 물순환계를 재생하기 위해 다음과 같은 기본적인 이념에 따라 계획 목표를 설정하였다.

- 물순환계의 전체에 대한 균형을 회복하기 위한 개선사업을 실시한다.
- 많은 과제에 대해 효과적인 대책에 우선순위를 둔다.
- 대책의 종합성(다면적인 대책을 구상하는 것)에 우선순위를 둔다.

<표 3-6> 東川에서 환경 관련 계획목표

과 제	계획목표	
	단기목표(21세기 초반)	장기목표(21세기 중반)
유지유량 확보	정취가 남아있는 1950년대 후반의 자연유량(상류지점 0.004, 중류지점 0.018, 하류지점 0.036m ³ /s)의 확보	지역의 상징으로 경관에 배려한 수면폭확보를 위해 친수성에 배려한 유량(중류지점 0.162m ³ /s)의 확보
생태계의 보전과 복원	생물서식·생육에 적합한 지역을 보전하고 신규개발과 도시기반정비시 적극적으로 생태계에 배려	--
오염제어	도시화가 심각한 중류지점에 대해 경관·친수성에 배려한 수질(BOD 3mg/L)까지 개선	東川전 구역에 경관·친수성에 배려한 수질(BOD 3mg/L)까지 개선

자료 : 流出機構の定量的解明 研究會, 2000年 12月

(2) 대책안의 선정

계획목표를 달성하기 위한 종합적 대책으로 우수저류시설 보급, 수자원의 순환이용, 우수침투시설 보급, 자연지 보전, 하수도 정비(분류식 하수도 정비), 하천 정비 중 효과적으로 조합한 대책안을 선정하였다. 이들 대책은 물순환계를 통해 상호 영향을 미치고 있으며, 지하수유출량의 변화에 가장 큰 영향을 준다.

<표 3-7> 하수도 사업 및 주민 참여를 통한 물순환 제고사업

주요사업	단위사업	사업 목표	
하수도 정비	하수도 건설	공공하수도, 유역하수도의 정비를 추진, 21세기 초반까지 인구보급율 83%를 목표로 하고 21세기 중반까지 전지역이 하수도보급구역이 되도록 정비추진	
	하수도 不明水대책 (누수대책)	기존 설치관중 지하수위보다 낮은 것을 대상으로 누수방지대책을 검토하고 있음. 특히 신설관은 누수방지에 배려한 공법을 사용하도록 노력	
	하수처리수이용	21세기 초반까지 유역하수도연결간선내를 흐르는 고도처리수를 환경용수(최대 38,6000㎥/일·0.45㎥/s)로 하천에 방류하는 계획 실시	
시민 참여형 대책	우수침투시설 설치	사업소, 주택단지 등	침투시설에 위치하는 사업소와 주택단지 등에 대해 시간당 10mm의 침투능력을 가진 시설을 설치. 설치면적은 대상지역에 대해 면적대비 21세기 초반까지는 22%, 21세기 중반에는 36%가 목표
		일반 주택	침투시설에 위치하는 일반주택에 대해 시간당 5mm의 침투능력을 가진 시설을 설치. 설치면적은 대상지역에 대해 면적대비 21세기 초반까지는 22%, 21세기 중반에는 36%가 목표
	합병처리정화조 보급		21세기 초반까지는 하수도 정비가 추진되지 않은 지역을 대상으로 보급률 80%를 목표로 합병처리정화조 설치를 추진. 하수도정비에 따라 용도가 상실된 합병처리정화조를 우수저류조 등으로 전용하는 등 물이용의 합리화 추진
	수자원 유효 이용	우수이용 시설 보급	일반주택, 사업소, 공공시설 등을 대상으로 우수를 일시 저류하는 탱크설치를 촉진하고 화장실 세정용수와 정원수, 세척수 등으로 이용
		재생수의 이용	주택단지와 사업소 등에 설치된 대규모 오수처리시설에서 고도처리를 실시하고, 화장실세정용수와 하천·수로의 유지용수로서 이용촉진. 향후 건축되는 일정규모이상의 건축물에는 “잡용수 이용촉진에 관한 지도요강”(千葉縣)에 따라 화장실세정용수에 오수처리수의 재이용을 도모
		절수	일반가정에서 화장실 세정횟수를 줄이고, 목욕용수를 세탁, 정원수로 이용, 절수형 화장실 등 절수형기구 설치 등 절수를 생활화한다.

자료 : <http://www.milt.go.jp/crd/city>

東川유역에서는 사면요소형의 물순환계해석모델을 적용하고 각종 대책의 복합적인 효과를 평가하였다. 그 결과 다음과 같은 대책안이 책정되었다.

<표 3-8> 東川에서의 수환경 개선대책

	기본대책	종합 대책
21세기 초반	합병정화조 보급	시가화정비구역에서 하수도정비가 된 지역은 정화조의 보급에 노력(대상인구수는 현재 500인 정도로 그중 약 10%는 합병정화조로 하고 나머지 90%는 단독으로 한다)
	우수저류시설 보급 (조절지의 환경용수 용량확보)	계획중인 조절지 및 학교·공원의 지하를 이용한 시설에 치수용량과 별도로 이수용량 확보(그 양은 치수용량의 30% 정도로 한다)
	우수침투시설 보급 (우수침투계측기설치)	현재까지 21세기 초반까지 증가할 것으로 예상되는 주택 약 3,600호의 70%정도에 침투계측기를 설치 현재 및 기존 주택 내 설치가능한 주택 약 24,000호에 침투계측기를 설치
	보도침투대책 실시	도시계획도로로 신규구조의 보도부분은 침수대책을 실시
	자연지의 보전 (생산녹지 보전)	동천유역내 생산녹지 약 38ha를 적극 보전하고 개발된 경우에는 이전의 기능을 확보하기 위한 대책을 실시
	하수도 정비 (분류식하수도 정비)	시가지구역내의 지금까지 정비한 구역에 대해서는 극소수를 제외하고 분류식하수도로 정비
	하천정비 (二層하천등의 정비)	동천 잠정계획에서 수립한 이층하천 및 조절지(합계용량 약 54만m ³ 정도) 등의 정비를 추진
	우수저류시설 보급 (조절지 환경용수 용량 확보)	계획 중인 조절지 및 학교·공원의 지하를 이용한 시설에 치수용량과 별도로 이수용량 확보(그 양은 치수용량의 30% 정도로 한다)
21세기 중반	수자원 순환이용 (하수처리수 등의 하천 환원)	동천의 여울을 복원하기 위해, 하수처리수등 수자원의 유효이용 도모
	우수침투시설 보급 (우수침투계측기 설치)	현재부터 21세기 중반까지 증가할 것으로 예상되는 주택 약 9,100호에 침투계측기를 설치 현재 및 기존 주택내 설치가능한 주택 약 24,000호 모두에 침투계측기를 설치
	(보도침투대책 실시)	도시계획도로를 포함한 간선도로의 보도부분은 신규축조 및 개수시 침투대책을 실시
	자연지의 보전 (생산녹지 보전)	동천유역내 생산녹지 약 38ha를 적극 보전하고 개발된 경우에는 이전의 기능을 확보하기 위한 대책을 실시
	하수도 정비	동천유역전역을 분류식하수도로 정비
	하천 정비 (이층하천 등의 정비)	동천의 잠정계획에서 수립한 이층하천 및 조절지(합계용량 약 54만m ³ 정도) 등의 정비를 완료

자료 : 國土交通省 都市環境部(<http://milt.go.jp/crd/city/>), 2003

3) 일본의 물순환계 복원 목표

가) 복원 목표

일본은 50~100년 후의 미래상을 설정하였다. 물순환계 복원 목표를 수량의 경우, 본래 유역이 가진 지하수를 포함한 유역전체의 물의 면적 흐름을 회복하기 위해, 도시화가 진행하기 이전의 토지이용을 염두에 두고 침투량을 회복하고 그 침투량에 따라 하천유량을 확보한다. 오염부하량의 경우, 유역 밖으로의 부하량 삭감을 위해 각 가정과 사업소 등의 시설에서 절수와 우수이용, 화장실용수로 처리수이용을 추진하여, 타유역에의 부하량을 경감한다. 참고로 동경도의 물이용 목표는 다음과 같다.

<표 3-9> 동경도물순환최종계획에서 물의 유효이용에 관한 목표사례

	시책의 기본방침
절수· 누수방지	· 절수를 추진하기 위해 절수기기의 개발과 이용촉진을 도모하고 수도사용에 절수노력이 반영되는 요금체계를 검토 · 수도수의 공급에서 수도관의 계획적인 개선과 급수관의 재질개선 등으로 누수율을 5%대로 하는 것을 목표로 누수방지대책 추진
우수이용	· 우수이용시설의 실적분석과 채산성에 대해 검토하여 우수이용 상담창구체제의 충실을 도모하고 3천㎡이상의 개발사업과 연면적 1만㎡이상의 건축물에 대해 우수이용·우수침출촉진망에 기초한 우수이용의 보급을 촉진
광역순환	· 하수재생수를 이용한 광역순환을 확대하여 현재의 하루 약 6만(계획수량)에서 20만톤으로 하는 것을 목표로 잡용수 이용을 촉진 · 공급의 효율성을 고려하여 기존에 사업을 추진하고 있는 지역에 더해 업무상업시설의 집적이 높은 구역과 현재 공업용수를 공급하고 있는 구역을 공급예정지역으로 하는 것을 검토

자료 : 下水道·流域管理小委員會, 2003년 4월

나) 시책의 추진방향 분류

기본이념, 과제에 따른 시책의 방향성에 준해 유역내에서 효율적·효과적으로 시책을 실시하기 위해서는 물순환계 재생을 위한 장래 목표에 대해 단계적인 계획을 수립하고 연구개발과 시책입안 역시 실시할 필요가 있다. 시책의 실행계획입안에 대해서

는 (1) 역사적 변천과 그 교훈에 대한 고려, (2) 현재 및 장래의 자연적 사회적 제약조건에 대한 고려, (3) 목표달성예의 기여도, (4) 시책의 검토 빈도 등을 고려하여 각 시책의 매뉴얼에 다음과 같이 분리하여 계획을 입안하였다.

- 시책-1 : 현재 사업 등의 실적이 있고, 시책평가에서의 계속 진행가능성, 관계자와의 개별협의내용, 해당장소별로 구체적인 설계의 필요성 등을 고려할 때 시책의 실시예 장기간이 필요한 시책
- 시책-2 : 시책의 평가에서 향후 진행할 필요가 있다고 판단되는 시책으로 현재 구상단계와 지금까지 추진과정에서 합의 형성과 재원확보, 조사·기술개발 등이 필요한 시책
- 시책-3 : 현재 사업 등의 실적이 있고 시책평가에서도 계속 단기적으로 집중 추진될 수 있는 시책

다) 블록마다 채택된 시책과 그 효과(30년간 시행계획)

시책효과분석을 위해 신전천유역의 수량, 수질, 수변환경 상황 및 배후지, 침투능, 상하수구역을 고려하여 신전천과 묘정사의 합류점보다 상하류에서 분할하였고, 상류 구간을 본지천에서 3개로 분할하여 다음의 4개 블록으로 하였다. 블록마다 시책의 선정에 따라 시책투입량은 다음과 같이 정하였고, 블록마다 취한 시책은 시책추진분류에 따라 나타내었다.

- 시책의 방향성 및 시책의 추진방향의 분류에 따라 앞으로 30년간 시책효과 검토
- 블록마다의 시책은 시책메뉴 중에서 각 블록내에서 실시메뉴 선정
- 시책투입량은 지속시책은 이제까지 전체 계획 등을 따라 설정하고 신규시책은 100년 동안 물순환계의 목표달성이 되는 것으로 상정하여 최종적인 시책투입량을 시간축에 비례 배분하여 설정
- 선정한 시책은 상정한 시책의 효과에 관하여 감도분석을 하고 효과의 크고 작음에 따라 평가

**시책 1 : 현재 사업 등의 실적이 있고 시책평가에서도 지속적으로 추진되는 것으로
관계자간 개별협의, 구체적 설계가 시책실시에 장기간 필요한 것**

시책 1	신전천상류블럭	선복사천블럭	묘정사블럭	신전천하류블럭
녹지보전	생산녹지 보전, 녹지보전지구보전	좌동	좌동	좌동
공원정비	1인당 7m ² 의 공원·녹지면적 확보	좌동	좌동	좌동
우수침투시설 설치	대책량:660m ³ /연, 대책면적:1.1ha/연(근 10년의 평균 연간대책면적)	대책량:420m ³ /연, 대책면적:0.7ha/연(최근10년의 평균 연간대책면적)	대책량:480m ³ /연, 대책면적:0.8ha/연(최근10년의 평균 연간대책면적)	대책량:1,140m ³ /연, 대책면적:1.9ha/연(최근10년의 평균 연간대책면적)
택지에 우수침투시설 설치	침투조설치수:5,968개/연, 대상면적:18ha/연(case1)	침투조설치수:3,715개/연, 대상면적:11ha/연(case1)	침투조설치수:4344개/연, 대상면적:13ha/연(case1)	침투조설치수:7,288개/연, 대상면적:22ha/연(case1)
	침투조설치수:4,821개/연, 대상면적:14ha/연(case2)	침투조설치수:3,235개/연, 대상면적:10ha/연(case2)	침투조설치수:3,967개/연, 대상면적:12ha/연(case2)	침투조설치수:0개/연, 대상면적:0ha/연(case2)
지하수취수 조정	지하수의 이용을 최대한으로 하고, 보전. 새로 이용할 경우에는 이용량상당분의 지하수함량을 할 것	좌동	좌동	좌동
타유역에서 하수재생수도수	“清流復活全體計劃”에 따라 실시	좌동	-	-
지하수 연속성 보전	구조물예의 침출수 금지, 지하공사에 의한 지하수백에의 피해 조심	좌동	좌동	좌동
식생·자연하상에 정화	수생식물육성을 통해 하천자정작용 복구	좌동	좌동	좌동
하상의 일부자연화	미개조구간 개조시 다양한 생물서식이 가능하도록 배려	좌동	-	미개조구간 개조시 다양한 생물서식이 가능하도록 배려
낙차공 해소	미개조구간의 개조시 낙차공을 없애 어류의 소통이 가능하도록 하상정비	좌동	-	미개조구간의 개조시 낙차공을 없애 어류의 소통이 가능하도록 하상정비
어도 설치	미개조구간 개조시 낙차공마다 어류의 이동이 가능하도록 어도설치	좌동	-	미개조구간 개조시 낙차공마다 어류의 이동이 가능하도록 어도설치
식생거점 정비	미개조구간의 개조시 하천변에 공원과 미개밭지를 활용하여 녹의 저점으로 일체 정비	좌동	좌동	좌동
관리용통로	미개조구간의 개조시 하천변의 관리용통로를 綠化	좌동	좌동	좌동
수변접근성 개선	미개조구간의 개조시 접근성이 높아지도록 계단식호안과 테라스 등 정비	좌동	좌동	좌동
오수배출량 조정	油脂유출방지 등	좌동	좌동	좌동

**시책 2 : 시책평가에서 앞으로 추진이 필요하나 현재 구상단계에 있는 시책으로
시책실시에 합의형성과 재원확보, 조사·기술개발 등이 필요한 것**

시책 2	신전천상류블럭	선복사천블럭	묘정사블럭	신전천하류블럭
침출수로 지하수함양	지하구조물에서 침출수를 지하로 함양	좌동	좌동	좌동
침출수를 지하침투로 정화	지하구조물에서 침출수를 지하로 함양하고 토양정화기능 활용	좌동	좌동	좌동
지하구조물에서 침출수를 하천으로 환원	지하철등 지하구조물에서 침출되는 지하수를 하천으로 환원	-	-	지하철등 지하구조물에서 침출되는 지하수를 하천으로 환원
하천 수경	직립호안의 경관개조, 친수화	좌동	좌동	좌동
하천변 범람원 복원	하천변의 범람원 복원	좌동	좌동	-
녹지대 확대	상류수원지등의 녹지대의 거점확대	좌동	좌동	-
하천변 숲조성	하천변 녹화로 물과 녹지대의 네트워크형성	좌동	좌동	좌동
하상·하안 자연화	하상, 하안의 자연화	좌동	좌동	좌동
소실된 수로·수면 복원	암거화 또는 소실된 수로, 하천복원	좌동	좌동	좌동
하수재생수 활용	하천으로의 처리수 도수	좌동	좌동	좌동
절수	각 가정에서 절수	좌동	좌동	좌동
우수이용	우수를 잡용수로 이용	좌동	좌동	좌동
순환형이용	하수재생수 등 잡용수로 이용	좌동	좌동	좌동
고도처리기술 향상	기술향상으로 오염부하삭감	좌동	좌동	좌동
오수·우수 분리	개발사업시 관거분류를 통해 오수와 우수 분리	좌동	좌동	좌동

시책 3 : 현재 사업실적이 있고 시책평가에서 단기간에 집중적으로 진행해야 할 것

시책 3	신전천상류블럭	선복사천블럭	묘정사블럭	신전천하류블럭
고도처리	落合處理場	-	中野處理場	-
합류개선시책	간이합류개선시설 정비, 찻집관거 능력보강(3Q화)	좌동	좌동	좌동

자료 : 下水道·流域管理小委員會, 2003년 4月

나. 미국

미국에서는 이미 불투수면을 감소시키는 유역관리방안을 토지이용계획이나 개발 시 오염부하를 줄이고 자연지역을 보존하며 개발 및 관리비용을 줄이고 자산가치를 증가시키는 핵심적인 방안으로 인식하여 이에 대한 연구와 집행을 활발히 진행하고 있다. 이러한 유역관리방안으로 대표적인 것은 “개선된 단지계획(Better Site Design : BSD)” 또는 “저영향 개발(Low Impact Development : LID)”(이후 BSD/LID로 표시)인데, 불투수면적을 줄이고 유출수를 분산하며 자연적인 서식지를 보존하기 위한 다양한 기법들을 포함하고 있다.

BSD/LID는 거주지, 상업지 등 용지의 성격에 따라 방안에 차이가 있기는 하지만, 기본적으로 모든 개발지에서 불투수면의 저감, 자연적인 토지 보전, 우수유출수를 효과적으로 처리하기 위한 투수지역 활용이라는 3가지 목표만은 동일하다. 설계자는 이러한 목표에 부합하도록 주차장, 부지규모, 도로 등의 구체적인 정보를 입수하고 조사해서 부지 계획을 세우게 되는데 이때, 우수의 침투량을 증가시켜 우수유출수를 줄일 수 있는 기술적인 방안을 십분 활용하게 된다.

그러나 실제 미국내에서는 많은 지자체가 BSD/LID 방안을 쉽사리 채택하지 못했는데 이는 기존 개발 규정이 까다롭고 상충되는 부면이 많아 승인에 오랜 시간이 걸렸기 때문이다. 이러한 상황 때문에 미국내에서 BSD/LID 도입이 많이 회피된 것이 사실이었다.

다행히, 1997년부터 BSD/LID의 도입을 촉진하기 위한 일련의 움직임이 일어나고 있다. 먼저 1997년에, 국가부지계획 회의(National Site Planning Roundtable)가 소집되어 좀 더 많은 지자체에서 BSD/LID를 도입할 수 있는 실질적인 방안들이 본격적으로 모색되었다. 2년의 논의 후에, 22개의 BSD/LID기법이 추천되었는데 이는 위에서 언급한 BSD/LID의 기본 목표 중 적어도 하나는 달성할 수 있도록 돕는 지침을 포함하고 있다.

본 기법에 해당하는 것은 거주지역의 거리와 주차장, 부지개발, 자연지역의 보존으로서 이는 엄격한 규정으로 일관하는 것이 아니라 지역의 상황에 맞게 융통성있게

적용하도록 되어 있다.

다음 두 가지 사례는 주거지역 및 상업지역에서 BSD/LID기법을 어떻게 적용할 수 있고 그 결과 수질 및 물순환이 어떻게 개선되었는지를 보여주고 있다.

1) 저밀도 거주지 개발 사례

거주지 개발 사례 지역은 메릴랜드 동부 해안지역 Wicomico County에 위치한 Duck Crossing(SMRC, Article 46, 2003)인데 이곳은 넓은 부지의 거주지 해안 평원 부지로서 개발 이전에는 전체적으로 경사가 완만한 해안습지와 육지초지로 이루어진 곳이다. 토양은 주로 모래질이어서 배수가 매우 양호하였다. 개발 이전에는 이 지역에 세 가구가 거주했는데, 하수처리는 정화조시스템에 의해 이루어졌지만 기존의 정화조시스템은 영양염류를 제대로 정화하지 못해서 상당량의 오염물질이 지하로 배출되었다.

1990년대 초에 총 97,104m²의 부지에 8개의 단독주택이 들어섰는데 각 주택 규모는 12,138m²에서 20,230m²에 이르며, 접근로로부터 수 km 뒤에 위치한다<그림 3-1>. 이 부지에는 폭 9m의 접근로가 만들어졌는데, 이는 큰 직경의 cul-de sac에서 끝났고, 거리의 양가에 보도 역시 만들어졌다. 각 주택부지는 약 920m² 면적의 1차처리만 되는 전형적인 정화조시스템을 도입했고, 우수유출수 관리의 경우 연석과 도랑을 통하여 유출수를 우수배출시스템으로 운반하고, 이를 다시 소규모의 건식 습지로 배출하는 형식을 도입하였다. 이 지역에는 저습지(tidal marsh)가 있었는데 이를 제외하고는 모두 개인의 소유였으며, 유일한 공지(空地)라 할 수 있는 저습지는 주와 연방의 습지법에 의해 보호되었다. 건물이 들어서자, 기존의 초지는 전체적으로 잔디로 전환되었으며, 부지의 불투수면은 8%이상 증가하였다.

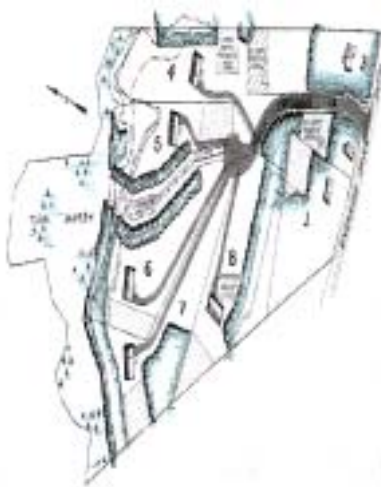
가) 물순환을 고려한 단지설계

개발이 이루어진 기존의 부지를 물순환을 고려하여 재설계하였는데 이때 중요 요소는 이미 수만 m²에 이르는 부지규모를 2,760m²의 작은 규모로 축소하는 것이었다. 이를 통해 전체 부지 면적의 약 74%가 기존의 산림, 습지, 그리고 초지의 대부분을

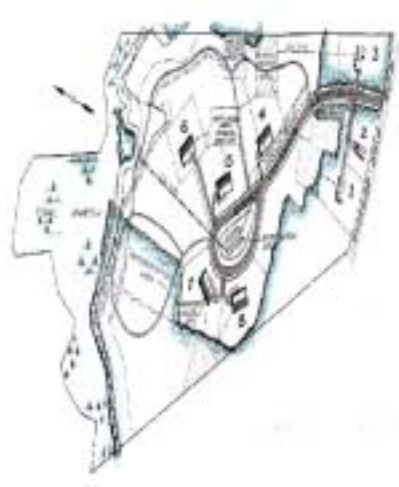
포함하는 공지로서 보호되고 관리될 수 있었고 잔디는 대부분 개인 소유에만 국한되게 되어 전체 부지 면적의 19%로 줄어들게 되었다<그림 3-2>.

물순환을 고려한 공지 재설계에서는 8개의 주택부지 중 여섯 가구로 이어지는 접근로의 공유부분을 늘려 더 짧게 만들고 폭은 6m로 좁혀 좁은 면적에서 효율성을 극대화하였다. 도로 선화지점은 기존의 cul-de-sac bulb가 아닌 loop를 도입하였고, Wood Chip Trail System은 도로를 따라 있는 인도 대신 오픈스페이스에 설치하였다. 뿐만 아니라 각 주택 부지를 민감한 자연지역과 100년 빈도의 범람원 지역에서 멀리 위치시킴으로서 자연환경이 보호받을 수 있는 설계를 도입한 점도 주목할만하다.

지역의 물순환을 고려한 BSD/LID 기법을 통해 부지 전체의 불투수면이 5%로, 물순환을 고려하지 않은 기존 설계의 수치인 8%에 비해 약 1/3로 줄었다. 재설계된 우수유출수 운반시스템은 연석과 도랑 시스템 대신 건식수로로 도입하였고, 우수유출수의 처리를 위해 도로 루프에서의 생물학적 체류지를 이용하였다. 효율적인 여과와 침투를 결합한 이러한 우수유출수 관리방안을 통해 더 효과적으로 오염물질을 제거할 수 있었다.



<그림 3-1> 물순환을 고려치 않은
설계(거주지)



<그림 3-2> 물순환을 고려한
설계(거주지)

재설계 전략에서 가장 중요한 목적 중 하나는 주택부지에서 하수를 처리하는 정화조시스템의 위치와 성능을 개선하는 것이었다. 여섯 주택은 개인 소유의 부지에서가 아닌 공지 내에 위치한 3개의 공동 정화조 구간을 이용하였는데 이의 위치를 적합하게 조정하고, 기존의 문제였던 영양염류를 더 효과적으로 제거하기 위한 재순환 사여과 시스템(re-circulating sand filters)을 도입하였다.

나) 개발유형에 따른 수문환경 비교

이 지역에서의 연중 물수지를 개발전, 물순환을 고려하지 않은 기존 계획, 물순환을 고려한 공지계획의 3가지 경우로 나누어서 그 유출과 침투량을 관리방안의 여부에 따라 고려하였다. 이 지역은 불투수면 비율이 비교적 작고 투수가 잘되는 토양으로 이루어진 곳이므로 Duck Crossing에서의 물수지는 개발후일지라도 침투에 의해 좌우되었다.

예측한 바와 같이, 기존 계획은 세 가지 경우 중 침투량이 가장 작고 지표수 유출량은 가장 큰, 가장 바람직하지 않은 물순환을 나타내었다. 공지설계는 기존의 전통적인 설계보다, 연중 지표수 유출이 약 25% 적었고 침투는 약 12% 많아서 물순환의 확연한 개선을 나타냈지만, 개발 이전의 상태까지 회복되지는 못하였다. 또한 이 지역에서는 우수유출수 관리방안을 이용한다 하더라도 전통적인 설계나 공지 설계에서 물수지에는 실질적인 변화가 없었다<표 3-10>.

<표 3-10> Duck Crossing의 연중 물수지

		개발전	전통적인 계획	공지 계획
유출 (cm/년)	관리방안 없음	5.8	7.3	9.9
	관리방안 있음	--	7.3	9.4
침투 (cm/년)	관리방안 없음	46.2	38.8	43.2
	관리방안 있음	--	38.8	43.7

자료 : SMRC, Article 46, 2003

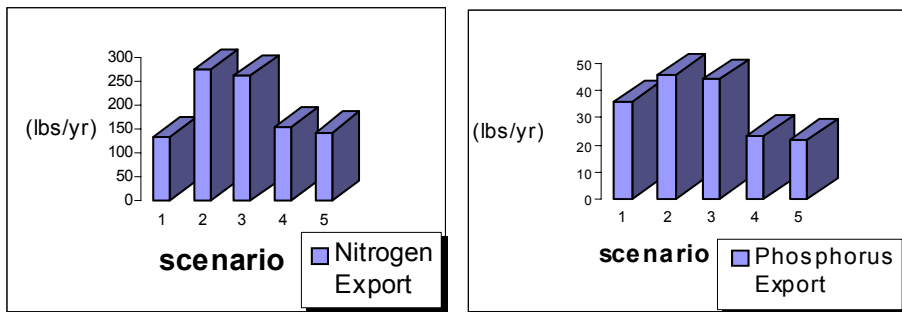
다) 개발유형에 따른 수질환경 비교

수질에 미치는 영향을 알아내기 위해 영양염류의 유출을 검토하였다. 이를 위해 물

순환을 고려하지 않은 기존 계획, 물순환을 고려한 공지계획에 관리방안의 도입 여부를 조합하여 4가지 경우를 만들고, 여기에 개발전의 경우를 합하여 도합 5가지 경우에서의 연간 질소와 인 부하량을 고려하였다.

Duck Crossing에서의 영양염류 유출은 지표수 유출보다는 지표 하 수체 흐름에 의해 더 많이 좌우된다. SUNOM⁵⁾ 모델을 통해 영양염류의 주요한 원인이 정화조시스템으로부터 나오는 지표 하부 배출이고, 이는 전형적으로 모든 개발 시나리오에서 총 부하의 60~80%를 차지하고 있음을 모의하였다<그림 3-3>.

공지설계를 통해 기존의 영양염류 유출을 줄일 수 있었는데, 이는 주로 재순환사여과를 공동 정화조시스템에 이용한 결과 지표 하 영양염류 감소를 돕기 때문이다. 물론 불투수면 감소, 잔디 커버 감소, 그리고 다양한 우수유출수 관리 방안 등 공지 설계의 다른 요소도 영양염류의 유출을 줄이는데도 도움이 되지만, 전자에 비해서는 그 영향이 크지 않았다. Duck Crossing 지역에서의 5가지 시나리오에 따른 상대적인 영양염류 유출을 <그림 3-3>에 제시하였다.



- 주 : 1 - 개발전 2 - 재래적인 방법으로 설계(우수유출수 관리방안 비도입)
 3 - 재래적 방법으로 설계(우수유출수 관리방안 도입)
 4 - 공지 설계(우수유출수관리방안 비도입) 5 - 공지 설계(우수유출수 관리방안 도입)

<그림 3-3> 주거단지 설계유형별 질소와 인 부하량

5) Simplified Urban Nutrient Output Model(SUNOM)으로 알려진 spreadsheet모델로서 단지설계 시 쉽게 유추되거나 측정될 수 있는 간단한 투입변수를 이용하여 개발부지에 대한 하부시설 비용과 영양물질 유출, 물수지를 계산한다.

2) 상업지역 개발사례

상업지역 개발사례로 소개될 Old Farm 쇼핑센터((SMRC, Article 47, 2003)의 개발 예정지는 Maryland에 위치하는데 이 지역은 원래 관목으로 이루어진 숲과 축사가 있는 목초지였고 두개의 주요 간선도로에 의해 경계가 구분되었으며, 전형적인 공공상 하수도 설비가 되어 있는 곳이었다.

쇼핑센터 장소의 필지 조성이 1992년에 착수되었다<그림 3-4>. 토지이용 측면에서 고려할 때, 쇼핑센터는 총 면적의 50%를 주차장으로 이용하고, 16%를 소매 건물에 할당하였다. 또한 지표면의 24%는 우수유출수 처리와 경관조경에 할당되어 있었으며, 자연적인 커버는 10% 미만에 불과했다. 부지 전체의 경사가 건설기간 동안에 상당히 변경되었고, 기본적인 레이아웃에 따라 상점의 앞에 위치한 큰 주차장에 차를 수용하기로 계획되었다. 주차장 계획은 소매점 공간의 92m²당 5.2구획이었는데 이는 92m²당 5구획이라는 지방 주차요건을 초과하는 것이었다. 뿐만 아니라 가장 최근의 주차장에 대한 연구에 따르면, 쇼핑센터를 유지하는데에는 4.0~4.5구획만이 필요할 뿐이므로 기존 설계에서의 주차장 크기는 과도하게 할당된 것이었다.



<그림 3-4> 물순환을 고려치 않은
설계(상업지역)



<그림 3-5> 물순환을 고려한
설계(상업지역)

우수유출수 처리 시스템의 경우, 쇼핑센터 뒤편부근에 위치한 침투조가 전 면적의 약 1/3의 지역으로부터 나오는 유출을 포착하고, 나머지 2/3의 유출수는 세 개의 오일그릿 분리기를 통과하여 배출된 후 도로를 따라 확장된 우수배수관을 통해 이동하여 결국은 하천으로 배출된다. 그러나 최근의 수행된 연구에 따르면 오일 그릿분리기는 오염물질 제거 능력이 매우 미미하므로 실제적인 수질 개선에는 도움이 되지 않았다.

물순환을 고려한 설계에서는 근교환경에서 현실적인 가능성을 반영하고자 효과적인 방법으로 규명된 공동 주차, 다공성 재료의 포장, 시설물에 의한 주차 등을 배제하였고 건물의 크기 역시 줄이지 않았다. 대신에 전체적으로 주차장 면적을 줄이고, 절약된 공간내에서 더 효율적인 우수유출수 처리 방법 및 경관조경을 택하였다.

가) 물순환을 고려한 단지설계

Old Farm Shopping Center는 주차장으로 할애되는 부지 면적은 확실히 줄이고, 같은 초지면적을 유지하는 “U-자 모양의” 레이아웃을 이용하여 재계획되었다<그림 3-5>. 새로운 설계를 통해 동선을 짧게 하여 도보 거리를 줄이고, 주차 면적을 소매점 면적 92m²/당 기존 5.2구획에서 연구에서 제안된 4.4구획으로 줄여서, 전체 주차장 총 면적을 50%에서 38%로 감소시킬 수 있었다. 주차장을 줄이고 남은 면적은 우수유출수 처리 시스템과 녹화 및 경관조경을 위해 할당하였다.

주차장 내의 일부 지역을 할당해, 우수유출수를 처리하기 위한 생물학적 체류지 지역으로 전환시켰다. 우수유출수 처리 시스템은 이러한 생물학적 체류지 이외에도 모래 필터, 침투 트렌치, 그리고 여과대 등을 포함하게 된다. 또한 격자형 포장재(grid pavers)를 일반적인 포장 재료보다 더 많이 이용하여 주차장에서의 강우를 수 cm에서 수 m까지 저장할 수 있었다. 이러한 물순환 고려 계획으로 인해 재식림이 가능하게 되었고 수변완충지를 효과적으로 보전할 수 있었다. 부지에서 자연적인 커버의 비율은 주차장 재계획에 힘입어 기존 7%에서 19%로 증가하였다.

나) 개발유형에 따른 수문환경 비교

이 지역에서의 연중 물수지를 개발전, 물순환을 고려하지 않은 기존 계획, 물순환을 고려한 재계획의 3가지 경우로 나누어서 그 유출과 침투량을 관리방안의 여부에 따라 고려하였다.

예측했던 바와 같이, 전통적인 설계에서의 쇼핑센터 건축은 부지에서의 수문을 극적으로 변화시켰다<표 3-11>. 1%에서 70% 이상으로 증가한 불투수면은 연중 유출량을 크게 증가시켰고, 침투조를 도입해 유출수를 일부 저류시켰음에도 불구하고 연중 유출은 개발전 상태보다 7배 이상이나 증가하였다. 물순환을 고려한 재계획의 경우, 주차장은 더 낮은 불투수면과 개선된 우수유출수 관리방안으로 기존 설계에 비해 유출되는 양이 약 20% 적었다. 그럼에도 불구하고, 물순환을 고려한 재계획 및 우수유출수 방안을 결합하더라도 개발 전 수문상태에 근접하기는 역부족이었다.

<표 3-11> Old Farm Shopping Center 사례지역의 수문변화

		개발전	전통적인 주차장	혁신적인 주차장
유출 (cm/년)	관리방안 없음	6.6	62.2	52.3
	관리방안 있음		46.0	38.4
침투 (cm/년)	관리방안 없음	30.0	6.7	8.6
	관리방안 있음		23.1	22.6

자료 : SMRC, Article 47, 2003

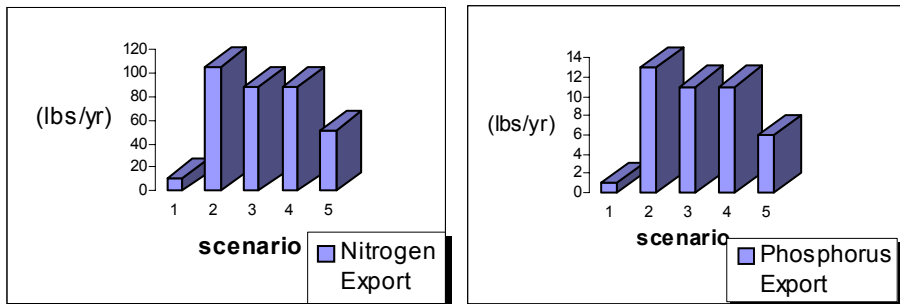
다) 개발유형에 따른 수질환경 비교

수질에 미치는 영향을 알아내기 위해 영양염류의 유출을 검토하였다. 이를 위해 물순환을 고려하지 않은 기존 계획, 물순환을 고려한 재계획에 관리방안의 도입 여부를 조합하여 4가지 경우를 만들고, 여기에 개발전의 경우를 합하여 도합 5가지 경우에서의 연간 질소와 인 부하량을 고려하였다.

초지에서 쇼핑센터로 전환하게 되면서 부지에서 영양염류 유출이 크게 증가되었는데, SUNOM 모델에 따르면 연중 인과 질소 유출이 전통적인 개발로 인해 10배나 증가하게 되었다<그림 3-6>. 쇼핑센터로부터 나오는 영양염류 유출은 우수유출수에 의해 좌우되며, 모의 결과 우수유출수는 전체 부지의 연중 영양염류 유출 부하총량의

약 95%를 차지하고 있었다. 영양염류 부하는 기존 주차장에 설치되었던 오일그릿 분리기나 침투지에 의해 많이 줄어들지 않았기 때문에, 이러한 우수유출수 관리 시설이 설치된 후에도 영양염류 유출은 여전히 개발전 상태보다 8~10배 더 높을 것으로 예측되었다.

대조적으로, 재계획된 주차장은 영양염류 유출량을 급격히 감소시켰다<그림 3-6>. 실제로, 재계획된 주차장은 우수유출수 관리방안을 도입하지 않더라도 이를 도입한 전통적인 주차장과 동일한 영양염류 부하를 나타내었는데 이는 재계획된 주차장에서 불투수비율이 많이 낮아졌기 때문에 생긴 직접적인 결과였다. 재계획된 주차장이 생물학적 체류지, 모래필터, 침투트렌치, 여과대 등의 정교한 우수유출수 관리방안과 결합하면, 전체 영양염류 유출은 관리방안이 도입된 전통적인 주차장에서의 유출량의 절반 수준으로 감소하게 된다. 그러나 주거지의 실패와 마찬가지로, 물순환을 고려한 재계획을 실시하고 효과적인 우수유출수 관리방안을 도입한다고 하더라도 개발이전 초기 상태의 부하보다 5배 가량 큰 부하량이 발생한다는 점을 주목할 필요가 있다.



- 주 : 1 - 개발전 2 - 재래적인 방법으로 설계(우수유출수 관리방안 비도입)
 3 - 재래적 방법으로 설계(우수유출수 관리방안 도입)
 4 - 공지 설계(우수유출수관리방안 비도입) 5 - 공지 설계(우수유출수 관리방안 도입)

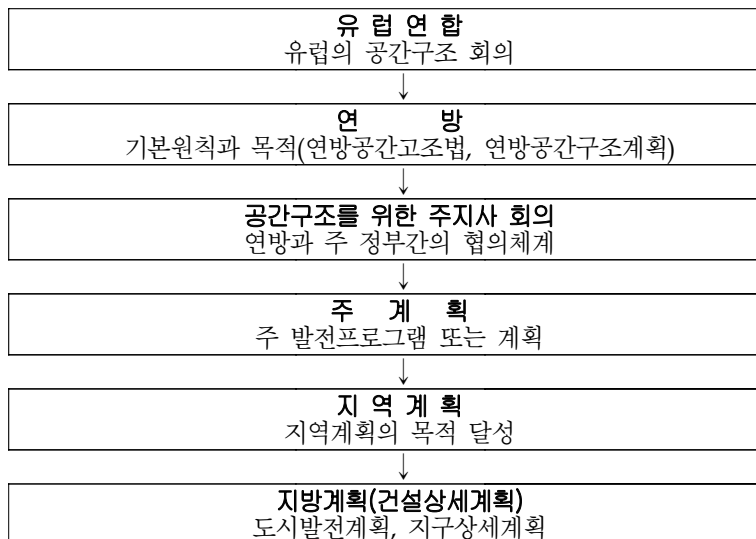
<그림 3-6> 상업단지 설계유형별 질소와 인 부하량

다. 독일

독일의 우수관리체계는 우수관거나 합류식관거와 같은 전통적이고 일반적인 우수 처리시설로 이루어져 있다. 그러나 80년대 이후부터 우수관거나 하수관거와는 독립적으로 지역내에 내린 빗물을 침투시키고 또는 흘러 들어간 빗물을 걸러서 저장조 내로 모으는 우수 분산 침투 방법들이 개발되기 시작하였다.

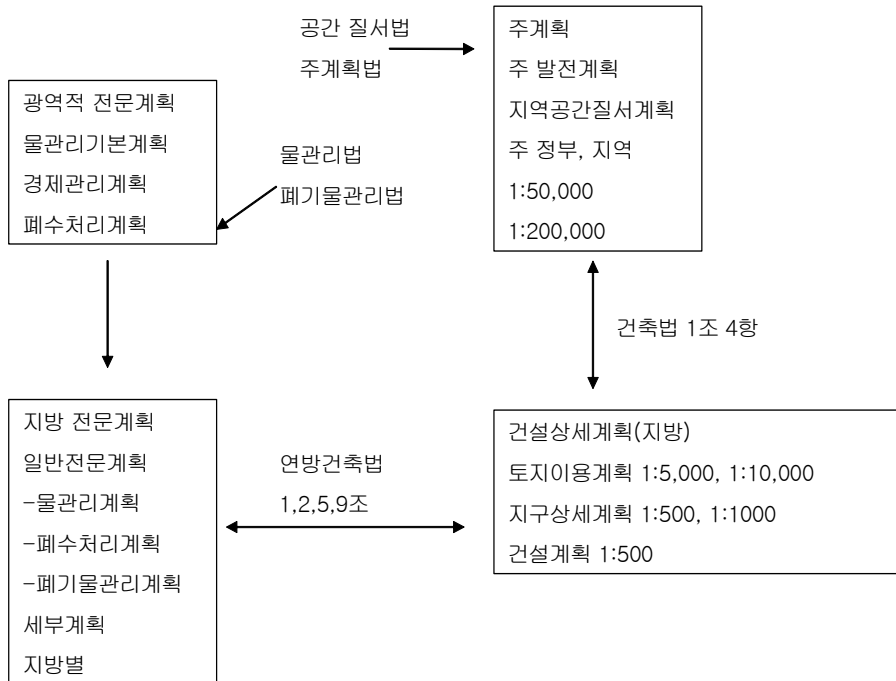
1) 물관리체계

독일에서는 자연친화적 우수관리가 추가된 물관리 법에 따라 1999년부터 기술적으로 가능한 경우, 우수는 침투시키거나 하수관과 분리하여야 한다. 이 물관리법은 독일 연방정부가 2002년에 강화한 우수의 토지 침투, 우수와 폐수의 분리배출 등을 골자로 한 자연친화적 우수관리 연방 물 보호법과 더불어 각 주에서 우수관리를 강화할 것을 규정하고 있다(<http://europa.eu.int/eur-lex/>, 2004). 우수는 오염된 하수나 폐수와 달리 화장실, 자동차 세척, 정원, 세탁 등의 용도로 사용되며, 또한 지하수 보유력을 향상시키는데 중요한 역할을 하고 있다. 따라서 우수를 효율적으로 이용하기 위해서 총 유출수량을 줄이는데 주안점을 두고 있으며 우수가 시간적으로 불규칙하게 발생하기에 반드시 저장이 필요하다는 점에 착안하고 있다.



<그림 3-7> 독일의 공간계획체계

자연친화적 우수관리를 위해서는 지속가능한 토지 관리, 지하수, 지표수의 관리 및 우수와 오수 분리가 이루어져야 한다. 각 지자체는 건설계획에 앞서서 자연친화적인 우수관리에 도움이 되고 기술적으로 가능한지를 고려하여야 한다. 독일의 공간계획의 체계와 물관리계획의 관계는 <그림 3-8>와 같다.



<그림 3-8> 물관리 계획과 공간관리계획과의 관계

독일은 연방 물관리법과 각 주마다 각각의 물 관리법이 있으며 특히 1999년 1월부터 우수에 대한 규정이 강화되었다(물관리법 1조a : 물을 절약하여 사용하여야 할 의무가 있으며, 하수에 생태적으로 해가 되는 것을 삼가여야 한다). 세부적인 내용은 아래와 같다.

- 연방건축법 9조(지구상세계획) 번호1 이하(참조 : 각 주별 주 건축법) : 녹지지붕, 공공 또는 개인토지에서의 우수침투, 배출 시설 등에 관하여 언급되었으며, 각 주마다 새로 강화된 우수관리에 대한 교육홍보가 추진되고 있다.

- 연방 물 관리법(WHG) 1조, 45조 이하 우수관리, 28조, 36조와 각 주별 물 관리법 : 우수관리에 대한 세부 사항(허가가 요구된 시설물, 조건 등)
- 기술규정 DIN 1989-Norm(독일공업규격) : I: 우수에 관한 시설물 계획, 추진, 관리; II: 필터검사 규정과 요건, 절차; III: 우수저장 시설과 관련된 사항

2) 우수이용방안

독일은 지속적인 상수도 요금 인상과 수자원의 근간을 이루는 지하수를 보다 안전하게 보전하고자 하는 노력의 일환으로 대체 상수원의 개발과 환경보전이라는 차원에서 1980년대 이후부터 도시지역에서 빗물을 지역적으로 분산시켜 지하로 침투시키는 기술과 시설을 개발하였다. 그리고 1990년대 후반부터는 빗물이용의 활성화를 위해 빗물에 대한 친환경적 처리, 관리계획 및 제도 등을 구축하였다. 전국적으로 20만 개 이상의 빗물이용시설을 설치하여 운용하고 있다. 2010년에는 유출되는 빗물의 24%를 회수하여 활용할 계획이다. 빗물이용시설의 경우, 1990년대에서 대규모 빌딩을 위주로 설치되었으나, 최근에는 주거단지 단위나 개별 주택을 대상으로 활발히 추진되고 있다.

가) 빗물이용 관련법규

지난 20년 동안 빗물과 관련된 기술 및 시설개발을 활발히 추진하였으나, 가정내 빗물 이용은 건설관련법에서 위생상의 문제로 이용을 금지함으로써 상대적으로 상당히 지체되어 왔다. 그러나 2000년도부터는 빗물의 집수 및 이용의 확산을 위해 가정에서도 빗물을 안정적으로 이용할 수 있도록 기술적인 규정을 마련하는 한편 빗물이용의 활성화를 위한 법규들도 마련하였다. 현재 독일에서 빗물과 관련된 중요한 법률은 다음의 네 가지이다(이승복, 2004).

- ① 빗물관련 구성요소들의 필요조건들에 관한 자세한 정보를 담고 있는 빗물집수 시스템에 관한 독일 산업규격인 'DIN 1989-1:2001-10'
- ② 빗물을 상수보급 용수로 사용하기 위한 법적 체계 및 내용을 설명하는 음용수법
- ③ 침투시설들의 건설과 계산을 위한 'guide line'

④ 지붕녹화의 계획, 수행, 관리에 관한 지침

주요 법률에서 보듯이 독일에서 빗물관련 시설물을 설치할 때에는 관련법을 준수하여야 한다. 그러나 시설물이 독일의 빗물이용 표준규격에 적합하다면 신고만으로도 설치·운영할 수 있다. 이를 충족하기 위한 요건들은 다음과 같다.

- ① 빗물이용시설물 설치시 가정용 하수배출시설물 설치요건을 충족하여야 함
- ② 빗물이용시설물은 일정규모까지 허가취득이 필요 없음
- ③ 수질보전법과 관련된 허가취득의 의무가 없음
- ④ 빗물이용시설물 설치시에 상수관과의 직접 연결을 금지함
- ⑤ 빗물 저장조에 상수관을 연결시킬 경우 역류 방지장치를 설치함
- ⑥ 빗물이용시설물의 유입, 유출부를 표시해야 함
- ⑦ 빗물이용시설물은 시설운영자가 모든 책임을 짐

빗물이용시설물을 설치할 때에는 가정용 하수 배출 시설물의 자격요건을 충족시켜야 하며, 빗물이용시설물은 일정규모까지는 허가취득이 필요 없지만 관련 법규정에 의거하여 지자체나 용수담당 기관에 그 시설물을 신고하여야 한다. 그러나 빗물이용 시설물은 시설운영자가 모든 책임을 지며 음용수로 사용하지 못하도록 하고 있다. 2001년 5월 새로 개정된 ‘음용수법’에서는 빗물의 관리 및 이용을 위한 법적 규정을 포함하고 있다. 즉, 빗물이나 재사용하는 물이 건물청소나 조경용수, 화장실용수로 어떠한 제한 없이 사용할 수 있도록 하여 가정내에서 보다 적극적으로 빗물을 활용할 수 있도록 제도적 장치를 완비한 것이다.

법적 개정과 더불어 독일 산업규격(DIN 1989-1:2001-10)에서는 빗물이용과 관련하여 계획, 시공, 운용, 관리를 위한 기술에 대해 규정하고 가정용, 상업용, 공업용 및 그 외 공공기관에서 빗물을 사용할 수 있도록 설명하고 있다. 이처럼 독일에서는 빗물이용을 위한 법적 규정 및 표준규격을 마련하고 있으며, 빗물침투시설의 설계 및 시공에 관한 규정(ATV guide line A138)과 옥상녹화 계획·설계 및 시행에 관한 기준 등을 마련하고 있다. 또한 국가자연보전법은 옥상녹화와 같은 분산형 수단들을 규

정하고 있으며, 시의 상하수도 행정당국은 하수도 시스템 또는 지표수로의 빗물 배출을 금지하는 규정들을 두고 있다.

나) 빗물이용 지원제도의 예

(1) 베를린

2000년 이후 베를린은 빗물을 하수도 시스템으로 배출하는 경우 부과금을 올려 징수하였다. 2000년 이전에는 하수 처리를 위해 수돗물 소비량에 따라 계산된 단일요금인 1.97유로달러만 부과되었으나, 2000년 이후에는 분리요금제로 부과하였다. 즉 하수처리를 위해 1.61 유로 달러를 부과하는 동시에 포장면적 1m²에 대해서도 매년 1.28 유로 달러를 부과하고 있다. 포장면적에 따른 부과요금은 건물주가 빗물이용시설을 설치하여 하수도 요금을 절약하도록 하는 중요한 경제적 동기로 작용하고 있다.

(2) 함부르크

빗물을 하수도 시스템으로 배출하는 경우에 대해서는 분리 요금제를 적용하지 않는다. 빗물과 합류된 하수의 처리에 대한 부과금은 1m³당 2.58 유로 달러이며 수돗물 소비량에 따라 요금을 부과한다. 따라서 빗물이용시설을 통해 수돗물 사용량을 감소시키는 것은 이러한 요금을 절약할 수 있으며, 현재의 요금체계로는 빗물의 처분을 위해 0.42유로달러가 소요됨을 의미한다. 그러므로 빗물이 전혀 하수도 시스템으로 배출되지 않는다는 점을 입증할 수 있다면, 전체요금은 상당 부분 감소시킬 수 있을 것이다.

(3) 오스나부르크

독일 북서부에 있는 오스나부르크시는 수돗물 소비량 증대를 억제하기 위해 1991년 9월부터 빗물이용시설에 대한 조성제도를 실시하고 있다. 지붕에 내린 빗물을 모아 화장실 세정수나 세탁수 등의 잡용수로 이용하고, 나아가서는 지하로 침투시키기 위한 일련의 설비시설에 대해서 필요한 자금을 시가 지원하고 있다. 오스나부르크시의 경

우 수돗물수원이 지하수인데, 수돗물 소비량 증가로 지하수위가 저하되어 물순환의 장애로 생태계에 심각한 영향을 미치고 있기 때문이다.

오스나부룩시에서는 빗물을 하수관거로 배수하지 않을 경우 시설경비 및 하수도 요금을 할인해 주는 제도를 시행하였다. 즉 시가 수돗물을 절약하게 유도함으로써 가계에 경제적인 인센티브(4인 가족의 경우 수도요금 50% 감면 효과)를 부여하는 효과를 창출함으로써 가계에는 경제적 효과를 주는 대신 시는 빗물이용의 활성화를 도모하였다.

빗물을 집수하여 잡용수로 이용하고 지하로 침투시키기 위해 필요한 일련의 설비를 신설하는 개인의 경우, 침투트렌치나 침투반이 등의 지하침투용설비는 집수면적 1㎡당 0.6 유로 달러를 지원하고 있다. 또한 빗물을 집수하여 탱크나 정원의 못 등에 저류한 후 그것을 살수용수 등으로 활용하면서 지하침투 설비를 설치하는 경우에도 똑같은 지원을 하고 있다.

다) 분산식 우수침투방법

우수이용은 하폐수재이용과 함께 중요한 물재이용 수원의 하나이다. 녹지지붕을 통한 가정(화장실 등)의 우수이용, 정원 우수이용 등과 함께 우수이용의 대표적인 방법에는 물 배관시설물 등으로 인한 경제성과 우수의 손실을 줄이기 위한 분산식 침투방법이 있다. 분산식 우수침투방법에서 침투시설은 유출과 침투능력을 비교하여 저장량을 계산하며, 지역의 특성에 따라 시설설치가 좌우된다. 분산적 우수침투방법에는 다음과 같은 것들이 있다.

(1) 녹지지붕

주변의 기후, 습도 등의 향상, 겨울철 보온효과, 전체 폐수비용에서 우수관리 시설에 대한 감면액 등의 폐수비용 절약 효과가 있으며, 녹지지붕 35~40년, 모래 및 자갈 등으로 이루어진 일반지붕은 지붕의 보수기간이 20~25년으로 길어진다.

(2) 토양침투

우수를 펌수나 하수관으로 배출하지 않고 직접적으로 토양에 침투시키는 방법으로 시설비가 적게 들고 토질의 여과효과를 이용한다. 하지만 우수를 저장하는 공간이 따로 없으며 상대적으로 많은 면적이 요구된다.

(3) 도랑형 침투

지하수의 오염도를 줄이고, 토양의 지층을 보호할 수 있다(최대 깊이 30cm). 저장이 가능하고 효율적인 여과효과와 시설비가 저렴하며 다양한 설치가 가능하다.

(4) 도랑형 또는 배관형 심층침투

저장시설물은 토양을 보호하기 위해 깊이를 최대 30cm로 제한하며, 배관에는 자갈 등을 채워 시설한다. 배수가 좋지 않은 토질에 적합하나 시설비가 많이 든다는 단점이 있다.

(5) 저수지 침투

저장용량은 크기에 따라 규모가 좌우하며 레크리에이션 등에 이용될 수 있고, 시설설비를 다양하게 할 수 있다. 그러나 상대적으로 많은 면적이 필요하고, 부실관리 등에 따른 위험성을 가지고 있다.

(6) 조합형 침투

침투가 가능한 다양한 시설을 조합하여 운영하는 경우로 강우가 작은 경우 우선 침투도랑을 통해 침투시키고 저장용량을 초과할 경우 침투지에서 침투시키는 등 침투, 저류, 재이용 등 우수를 종합적으로 활용하는 방안이다.

3. 외국의 불투수면 관리 시사점

외국에서는 불투수면 저감을 통한 유역의 물순환 회복에 대해 관심을 가지고 이 목적의 관리기법을 실제 유역관리에 적용하고 있는 국가도 있다. 대부분은 불투수면 비율을 유역관리지표나 법적, 제도적 관리수단으로 이용하지는 않고 있으나 그 필요성에 대한 인식은 증가하고 있고 독일처럼 이를 어느 정도 제도화를 추진한 경우도 있다.

물순환을 고려한 유역관리에는 불투수면 하나만을 관리기준으로 삼기보다는 유역의 물순환에 영향을 미치는 다양한 인자들이 고려되고 있다. 특히 불투수율 증가는 물순환을 왜곡시킨 원인이므로 각종 물순환 제고 대책도 기본적으로는 불투수면 저감 또는 침투촉진 등에 바탕을 두고 있다. 다음에서는 외국에서 유역 관리를 위해 불투수율 지표를 활용한 내용과 유역의 물순환 제고의 수단으로써의 불투수면관리 대책, 불투수면 저감에 의한 편익 등에 대해 검토하고자 한다.

가. 불투수면 지표 활용

유역관리를 위해 불투수면 지표를 활용하는 국가는 미국이 유일하지만, 중앙정부 차원에서의 법적 규제는 아직 없고 전문가 그룹이 모여 최적 설계방안을 마련하는 단계이다. 지방정부차원에서 불투수면 비율이 일정 수준을 넘지 않도록 건축허가시 관리하는 경우는 있으나 개발시 불투수면을 일정 비율로 유지하라는 등의 강제적인 규정은 아직 마련되어 있지 못하다. 그러나 불투수면을 억제하기 위한 개선된 단지계획(Better Site Development : BSD) 및 저영향 개발(Low Impact Development : LID) 방안이나 유역의 환경을 개선하기 위해 불투수면 모델(Impervious Cover Model : ICM)을 개발하여 적용하는 경우는 있다.

1) 불투수면 저감을 위한 새로운 기법 개발

BSD/LID는 불투수면을 최소화하는 비구조적인 방안으로 자연지역을 보존하고, 개

별적인 개발지에서 우수유출수 처리방안이 입지할 수 있는 공지를 조성할 수 있는 공간적 여지를 준다. BSD/LID는 보존개발(Conservation Development), 개발로 인한 악영향 저감, 친환경적 기반시설구축, 지속가능한 도시 배수체계로도 불린다. 일부는 전통적인 우수유출수관리방안의 대안으로 BSD/LID를 주장하지만, 대부분은 이를 오염부하량을 줄이는 보조적인 요소로 한정한다.

BSD/LID가 최근 몇 년 동안 거론되어 왔지만, 그 잠재적인 수행력을 평가한 연구는 거의 없다. 오염물질 배출을 줄이는데 있어서의 BSD/LID의 잠재적인 가치에 대해서는 모델링과 설계 분석을 통하여 추론되어 왔다. BSD/LID는 1~25% 불투수면 범위에서 매우 효과적인 방법인 것으로 나타났으나, 그 범위를 넘어서면 효과가 감소한다. 이 중에서 특히 LID는 단지 개발자들이 모여 전국적인 설계기준 작성을 위해 논의를 진행하는 등 기술 및 설계기법 개발과 이의 적용을 위해 노력하고 있다.

2) 불투수면 모델 활용

불투수면 모델에 의하면 대부분의 하천 질 지표들은 유역의 불투수면 비율이 10%를 초과할 때 악화되기 시작하며 25%를 넘으면 심각한 악화가 예상된다고 한다. 유역 관리에 있어서 불투수면의 중요성은 90년대에 들어와 활발하게 연구되기 시작하여 불투수면과 하천 질 사이에 강한 상관관계가 있음이 과학적으로 규명되기 시작하였고, 이러한 연구들을 통합하여 불투수면 모델(ICM)이 개발되었다(CWP, 1998b). 불투수면 모델은 많은 지역의 유역계획, 하천 분류, 토지이용규제에 큰 영향을 끼쳤고, 도시 유역환경관리에 널리 적용되어 왔다. 이 모델은 간단한 모델이면서도 유역관리자에게 중요한 메시지를 줄 수 있다. 그러나 한편으로는 불투수면 모델과 관련된 불확실성으로 인해 논쟁이 일어나기도 한다. 따라서, 불투수면 모델의 적용 가능성을 높이기 위해서는 다음과 같은 특징이 강조되기도 한다.

- 하천 순위 1차, 2차, 3차 하천에만 적용한다.
- 불투수면 비율에 대한 정확한 추정이 필요하다.
- 불투수면 모델은 실제 하천의 질보다 잠재적인 하천의 질을 예측한다. 그리고 일부 하천은 모델과 일치하지 않을 수도 있다. 예를 들면, 모니터링 지표에서는

‘민감한’으로 분류된 하천에서 불량한 수질을 나타내거나 ‘생태적 건전성 유지 불능’ 하천인 곳에서 놀랍게도 높은 생물다양성 점수를 보일수도 있다. 결과적으로, 불투수면이 초기에 하천 질을 진단하는데 이용될 수 있지만, 이를 실제로 확증하기 위해서는 추가적인 현장 모니터링이 필요하다는 것이다.

- 개별적인 하천질 지표의 정확한 점수는 예측할 수 없지만, 불투수면 비율에 따른 지표 집단의 평균적인 행동방식은 예측할 수 있다. 만약, 불투수면 모델을 이용하여 개별 종(예를 들어, 연어, 송어)의 거동을 예측하고자 한다면 많은 주의를 기울여야 한다.
- 불투수면 비율 10%와 25%라는 “한계값”은 정확한 ‘구분점’이 아니라 그 범위에 있는 불투수면 비율의 일반적인 변화를 반영한 값이다. 따라서, 실제로 유역의 몇 %내에서 하천질 지표의 실제 차이를 구분한다는 것은 불가능하다(예를 들면 9.9%와 10.1%).
- 모든 지역에 동일하게 적용할 수 없고, 적용시에는 각 지역의 특성을 반영한 조사자료를 바탕으로 활용하여야 한다.
- 하천이 아닌 수환경(예를 들면, 호수, 저수지, 대수층, 하구)에 대해서는 아직 유효하지 않다.
- 유역관리방안의 영향을 고려하여 예측하지는 않는다.

가) ICM에 대한 활용 정도

최근 많은 연구자들은 불투수면과 하천 질 사이의 관계를 조사해 왔다. 이를 바탕으로 한 불투수면 모델을 과학적으로 평가한 문헌들에 대하여 광범위한 분석이 행해졌는데, 이 분석은 26개의 도시하천 지표를 조사한 225개 이상의 연구를 대상으로 하였다.

분석 대상이 된 연구들은 3개의 그룹으로 분류할 수 있는데, 첫 번째 가장 중요한 그룹은, 소유역을 모니터링하여 불투수면/하천질 지표 관계를 직접적으로 조사한 연구들이다. 두 번째는 도시와 비도시 유역사이의 하천질 지표에서 현저한 차이가 있음을 보여줌으로써 불투수면 모델을 간접적으로 지지하는 2차적인 연구이고 세 번째는

하천질 지표를 예측하기 위하여 불투수면을 이용하는 공학적인 모델로써 널리 적용되고 있는 연구이다. 세 번째 연구에 대한 예가 불투수면의 직접적인 기능인 우수유출수 오염부하나 침투배출량을 예측하는 공학적인 모델이다. 대부분의 경우에서 이런 관계는 실험 연구에서 나왔다.

연구결과 대부분 지역에서의 유역개발은 거의 모든 26개의 하천질 지표에 부정적인 영향을 주는 것으로 나타났다. 50여 개의 연구에서는 수생 곤충이나 어류의 다양성과 같은 하천의 건강과 관련된 생물학적 지표를 주로 조사하면서, 불투수면/하천질 지표 관계를 조사했다. 또한, 150여 개의 연구는 하천질 지표가 도시와 비도시 유역사이에 현저한 차이가 있다는 증거를 보여주고 있는데, 이는 적어도 불투수면 모델(ICM)을 간접적으로 지지하고 있으나, 불투수면/하천질 지표의 직접적인 관계를 조사하기 위해서는 보다 추가적인 연구가 필요하다. 특정 경우, 특히, 수문·수질 인자의 경우는 불투수면/하천질 지표 관계가 오랜 연구에 의해 명확히 확립되어 있어서 공학적인 모델에 직접 통합되어 왔다.

불투수면 모델은 일반적으로 하천을 분류하고 관리하는데 유용한 도구로서 하천의 소유역을 관리하기 위한 통합적인 틀을 제공해 주고 있다. 여기서 불투수면 모델은 하천 분류를 위한 최종 결정을 위해서라기보다는 유역관리 방안 모색을 위한 초기 진단에 이용된다.

나) 소유역 계획에서 불투수면 모델의 역할

불투수면 모델은 유역의 토지이용이 하천 환경에 어떤 영향을 줄 것인가를 신속하게 예측할 수 있다는 점에서 유역계획을 위한 중요한 수단이 된다. 미국에서 현재와 미래의 불투수면을 추정하는 경우, 일반적으로 불투수면 모델이 0~30% 범위의 불투수면 비율을 가진 소유역의 변화를 잘 나타낸다고 하였다. 특히, 불투수면 모델은 유역관리 계획 과정에서 초기에 토지보존 문제와 토지이용계획의 중요성을 고려하도록 유역관리자를 촉구하는 지표가 되기도 한다.

소유역에서 불투수면 비율이 30%를 초과할 때는 유역계획에서의 불투수면 모델 적용이 제한되는데 여기에는 두 가지 이유가 있다.

첫 번째는 불투수면 모델은 불투수면 비율이 30% 이상으로 높아지면 하천의 상태를 구분하지 못하기 때문이다. 예를 들면, 불투수면 비율이 각각 39.6%, 58.4%인 소유역에서는 하천의 상태를 구분하지 않는다는 것이다. 두 번째는 생태적으로 유지가 불가능한 유역에서 중요한 문제는 그 유역이 복원될 수 있는가에 대한 것인데, 이러한 문제에 대한 해답을 구하기 위해서는 각 소유역에서 더 세부적인 분석과 현장 조사가 필요하기 때문이다.

불투수면에 대한 지식은 종종 이러한 타당성 평가에 이용되어 왔지만, 이는 고려되어야 하는 많은 요소 중의 하나라는 점을 인식해야 한다. 소규모의 유역계획에 불투수면 모델을 적용할 때는 다음과 같은 사항을 유의하여야 한다.

- 소유역 경계설정
- 직접적인 배수 면적 평가
- 가장 최근의 불투수면 데이터 구비

또한, 불투수면이 기존의 하천질에 대한 완전한 지표는 아니므로 하천과 소유역 기준은 최종 분류 결정이 이루어지기 전에 현장에서 평가되어야 한다. 특히, 하천이 두 개의 분류 사이의 경계 상에 있는 경우에는 더욱 그러하다.

다) 불투수면 모델의 시사점

불투수면 모델(ICM)의 시사하는 정책적 함의 중의 하나는 유역처리방안이 없는 곳에서는 아주 낮은 비율의 불투수면 개발도 하천에 부정적인 영향을 줄 것으로 예측된다는 점이다. 따라서, 만약 지자체가 중요한 수자원이나 특정 종을 보존하고자 한다면, 교외나 농촌 유역의 경우 현재의 지역지구제 보다 더욱 엄격하게 불투수면을 제한해야한다는 점을 불투수면 모델에서 제시하게 된다.

불투수면 모델에서 주요 논쟁거리 중 하나는 유역관리방안이 불투수면 제한에 대한 적절한 완화를 제공할 수 있는지에 대한 문제이다. 즉 해당유역 내에 더 높은 개발 밀도를 허용하면서 하천 완충지, 우수처리조와 기타 유역관리방안이 얼마나 많은 오염물질을 경감시킬 수 있는가에 대한 문제라는 것이다. 아직 이에 대한 연구는 별로

없으며, 그나마도 연구 방법에 많은 문제를 안고 있기 때문에 유역관리방안이 불투수면 비율 제한에 대한 어느 정도의 완화를 가져올 수 있을지는 정확히 알 수 없다.

연구자들은 유역 내에서 불투수면 비율이 25%를 초과하면, 수질기준에 도달할 수 없거나 물리적·생물적으로 심하게 악화된다는 것을 알게 되었다. 결과적으로 미국의 많은 하천은 Clean Water Act에서 “수질기준을 달성할 수 없는” 것으로 목록에 올라 있으며, TMDL(Total Maximum Daily Load) 규정에 의해 규제를 받고 있다. 몇몇 지자체들이 최근에 이러한 하천의 복원 및 복구에 착수하였지만 이러한 노력은 수질과 생물적 지표에서 단지 어느 정도의 개선만을 가져왔을 뿐이다. 특히, 불투수면 비율이 25%를 초과하는 도시유역이 수질 기준에 도달할 수 있다는 것을 보여준 지자체는 아직 없다. 많은 지자체는 유역복원을 위한 대규모 투자에도 불구하고 당해 유역의 하천이 수질기준을 달성하지 못할 것을 우려하고 있다.

불투수면 모델은 유역면적의 25%가 불투수면으로 되어 있는 경우, 하천 수질기준을 전면적으로 수정해야 함을 제시하고 있다. Clean Water Act 하에서 미국의 주정부들은 생태적인 건전성을 유지할 수 없는 하천에 대해서는 좀더 달성 가능한 기준을 만들 수 있는 권한을 가지고 있지만 아직까지 이를 시행한 주는 없다.

스마트성장(Smart Growth)의 중요한 전제는 새로운 개발이 필요하다면, 민감하거나 손상을 받은 유역보다는 생태적 건전성 유지가 불가능한 소유역내에서 개발을 수용하는 것이 바람직하다는 것이다. 그러나 스마트 성장이 소규모 지역 차원에서는 바람직할지라도 이는 생태적 건전성의 유지가 불가능한 하천 유역에서는 심각한 문제를 초래할 것이며, 결국 그 유역의 수질 기준을 만족시키는 것이 더욱 어려워질 것이다.

정책결정자는 결국 선택을 해야 한다. 생태적 건전성의 유지가 불가능한 하천 유역의 개발에 엄격한 기준을 적용한다면, 민감하거나 손상을 받은 하천 유역에서는 개발을 수용하는데 많은 추가적인 비용이 들 것이다. 한편, 만약 생태적 건전성의 유지가 불가능한 하천 유역에 느슨한 환경기준을 적용한다면 유역의 하천 환경은 더욱 더 악화될 것이다. 이러한 문제를 처리하기 위하여 생태적 건전성 유지가 불가능한 하천 유역에서는, 개발로 인한 하천질의 악화를 하천 복원 노력을 통해 개선하려는 “Smart

유역 프로그램”을 개발해왔다. Smart 유역 프로그램에는 우수유출수를 처리하고, 도시하천을 복원하고 도시유역에서 오염배출을 줄이도록 하는 17개의 공공부문 프로그램이 있다.

나. 유역 물순환 제고를 위한 불투수면 관리 정도

많은 국가에서 물순환 기능의 회복을 위해 불투수면 관리의 중요성을 이해하고 다양한 형태의 저감방안을 도입하고 있다. 여기에는 불투수면의 발생을 근원적으로 저감하고 물순환을 토지이용계획시부터 고려하는 사전적 관리수단과 불투수면 생성 후 물순환을 향상하기 위해 침투시설 등을 설치하는 사후적 관리수단으로 나눌 수 있으나 이 둘은 종종 서로 혼용되어 사용되기도 한다.

대부분의 국가에서는 불투수면을 저감하여 유역의 물순환을 정상적으로 만드는 것이 단순히 오염물질 배출 저감과 물순환 개선 외에 건설비용과 유역의 장기적인 환경관리 비용측면에서도 도움이 된다는 것을 이해하기 시작하였다.

유역에 설치한 우수유출수 처리시설에서는 물순환의 제고를 가져오는 만큼에 해당하는 영양물질을 줄일 수 있다. 따라서 우수유출수 처리와 비점오염원 관리를 위한 방안이 결합되면 오염물질 부하 저감과 함께 유역의 물순환 기능을 제고를 동시에 할 수 있는 효과를 얻을 수 있다.

1) 기존의 단지설계와 물순환을 고려한 단지 설계의 비교

지금까지는 한 가지 패러다임 즉, “우수유출수는 바람직하지 않으며, 가능한 빨리 단지로부터 제거되어야 한다”는 것이 단지 계획과 우수관리를 위한 기술적인 방법 선정에 있어서의 주요 사항이었다. 현재의 단지 개발 기술은 매우 효율적인 우수유출수 운반체계를 만들었다. 기존의 방식으로 개발된 모든 단지는 일반적으로 파이프 시스템에 의해 유출수를 빠르게 운반하도록 계획되어 있다. 도로, 지붕, 연석, 배수홈통, 연석, 파이프, 배수로, 주차장 등은 모두 우수유출수를 빨리 처리할 수 있도록 설계되어 있다. 이에 따라 기존의 단지는 자연적인 저장기능을 상실하고, 불투수면의 양이

증가하여 도달시간이 짧아지는 등 수문상태(유출률, 빈도, 유출량의 증가)의 변화가 커지고 있다. 기존의 단지 설계는 유출수를 저류하거나 침투, 이동하는 시간을 줄이면서 자연적인 특징을 없앤 개발을 가져온 것이다.

저영향개발의 목적은 유역의 수문학적 체계를 유지함으로써 방류수계의 생태학적 완전성을 최대한 보호하는 것이다. 이것은 개발 이전의 수문상태 유지를 목적으로 하는 설계방식으로 수문학적 기능을 창조적으로 도입함으로써 달성될 수 있는 것이며, 하천의 안정성, 서식지구조, 기저유량, 수질에 대한 긍정적인 영향을 가진다.

기존의 몇몇 우수유출수 관리방법이 유출수에서 효과적으로 오염물질을 제거할 수 있다는 것은 잘 알려진 사실이다. 그러나 수질은 방류수계의 생태학적 완전성이나 수체의 생체량에 영향을 주는 몇 가지 인자 중 하나일 뿐이다. 사실, 생물학적 군집이 열악하게 되는 것은 대부분이 열악한 서식지 구조(피복, 저질상태, 침전작용) 또는 수문적 상태(불충분한 기저유량, 수온변동)에 의한 것이다. 이러한 연구와 직접적인 경험으로부터 이끌어낼 수 있는 결론은 아마도 우수유출수 저류 기술은 유역을 보호하기 위한 능력에 있어서 제한적이며, 개발 이전의 수문학적 기능을 다시 만들어낼 수는 없다는 것이다.

2) 저감시설 이용

저감시설에는 단지 개발자/기술자가 단지 수준의 수문학적 통제에 중점을 둔 단순하고 비용효과적인 기법들이 주로 이용되고 있다. 많은 국가에서 이와 같은 기법들을 보급하고 있고 이것이 어떻게 작동하는지에 대한 예와 설명을 제공하고 있다. 또한 도시의 우수유출수를 관리하는 통합적인 기술에 기반한 접근 방법들도 많다.

우수유출수는 배수지역의 하부에 위치하는 고가의 대규모 연못 시설로 운반되어 관리되기보다는 각각의 부지에 위치한 소규모 시설에서 관리하는 것이 효과적임이 밝혀졌다. 오염원 통제 개념은 종래의 점오염원 처리와 완전히 다르다. 배출의 양과 빈도, 침투와 같은 수문학적 기능과 지하수 재충전은 불투수면을 줄이고, 기능적인 경사완화, 개수로, 수문학적인 흐름경로단절, 생물학적 체류지/여과지역 등을 이용하여 달성될 수 있다.

물순환 시설은 우수유출수 관리 계획안에 다양한 기능의 단지 계획 요소를 통합한다. 부지내 소규모 저류, 기능적인 녹화, 식생 개수로, 불투수면 저감, 우수유출수 이 동시간 증가와 저류와 같은 대안적인 우수유출수 관리 방안은 다기능적인 단지 설계 내에 통합될 수 있음을 제시하고 있다.

통합관리방안(Integrated Management Practices : IMPs)은 소규모로 분리된 단위를 통합하여 우수유출수를 관리하는 방법이다. 여기에서는 연못과 같은 중앙식의 최적 관리방안(Best Management Practice : BMP)이 필요하지 않고 소규모 시설들을 발생 지점 각각의 부지 여러 곳에 분포시켜 처리하는 것이 중요하다. 이러한 과정을 통해 개발된 단지는 개발 이전의 수문학적 기능을 유지할 수 있다. 자연적인 지형 제한인 자에 순응한 단지 계획의 개발을 통해 지역의 자연 상태를 유지하고, 단지의 수문 기능 유지와 심미적인 아름다움을 줄뿐만 아니라 기존의 우수유출수 관리방법보다 비용도 절감할 수 있다. 따라서 수문상의 관리목표와 경관상의 목표가 계획과정에서 통합되는 방향으로 나감이 적절하다고 본다.

다. 불투수면 저감에 의한 편익

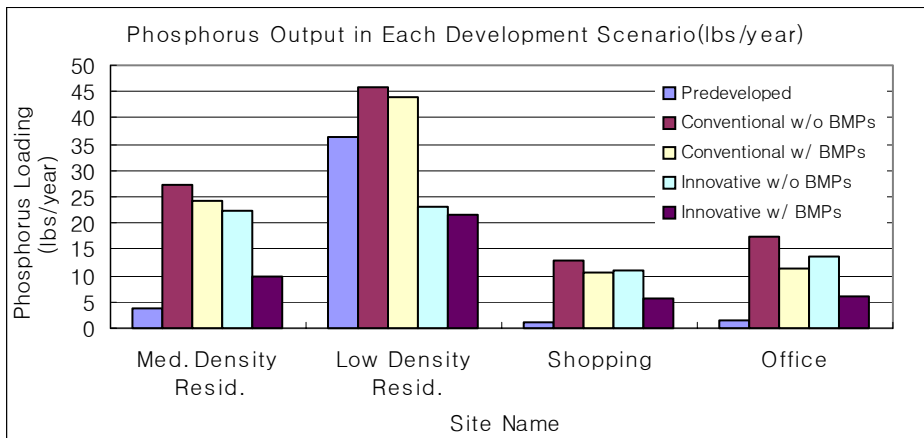
불투수면 감소에 의한 편익은 환경적인 편익과 경제적인 편익으로 구분할 수 있다. 환경적인 편익은 불투수면을 줄이고 유역의 물순환기능을 정상화시킴에 따라 개발지에서 나오는 영양물질 유출과 우수유출수를 현저히 줄일 수 있고 유역보호를 위한 효과적인 수단을 제공할 수 있다는 것이다.

공지 설계 자체가 구조적인 우수유출수 처리시설에 의해 달성되는 만큼에 상응한 영양물질 감소를 가져온다. 즉, 우수유출수 관리 없이 공지 설계에서 나오는 영양물질 유출은 우수유출수 처리를 하는 전통적인 설계와 비슷하다는 것이다. 공지 설계가 효과적인 우수유출수 처리와 결합되었을 때, 영양물질 부하는 현저히 줄어들었으나, 개발이전의 상태보다는 여전히 컸다. 우수유출수 저감을 통한 물관리비용의 절감 효과와 오염물질 유출감소에 의한 환경개선 편익의 사례는 다음과 같다.

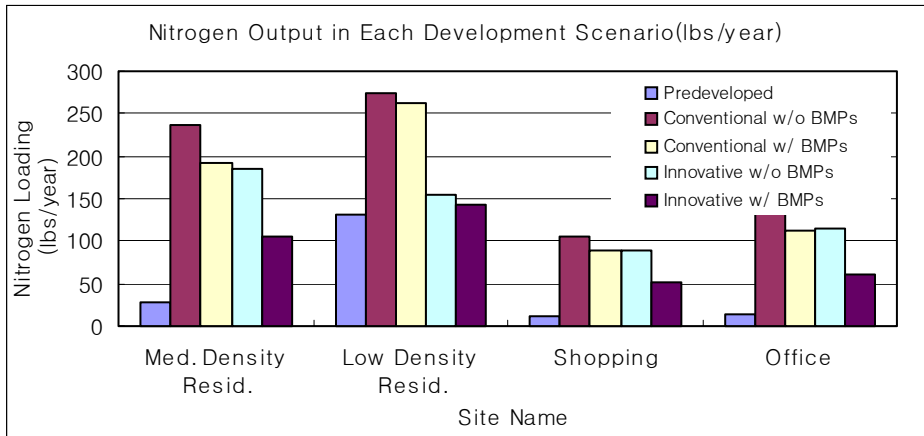
1) 환경개선 편의

물순환을 고려한 설계와 가장 정교한 우수유출수 관리방안이 적용된다 할지라도 새로운 개발지는 개발이전의 부지보다는 영양물질 부하 증가를 당연히 초래하기 마련이다. 따라서 유역내 새로운 오염원 증가가 허용되지 않는 경우는 새로운 개발지에서 나오는 영양물질 부하에서의 증가를 상쇄하기 위하여 우수유출수 장비개선 등을 통해 오염물질을 제거할 필요가 있다. 전통적인 계획에서 개발된 거주지의 불투수면을 30%에서 40%만큼 줄일 수 있다. 새로운 거주지의 구역에서 공지(空地)의 수용은 민감하거나 손상을 받은 하천을 보호하기 위해 불투수면 한계를 충족시키는데 중요한 전략이다.

다음은 기존의 개발지 및 불투수면 저감을 통해 물순환을 고려한 단지 간의 오염물질 부하 중 질소와 인에 대한 비교이다(SMRC, Artild 46, 2003). 각각은 개발 이전, BMP이 있는 기존의 개발지, BMP가 없는 기존의 개발지, BMP가 있는 환경친화적인 개발지, BMP가 없는 환경친화적인 개발지의 5가지에 대해 질소와 인의 유출정도를 나타내었다.



<그림 3-9> 5개의 개발 시나리오에 대한 4개 지역의 인 산출량 비교



<그림 3-10> 5개의 개발 시나리오에 대한 4개 지역의 질소 산출량 비교

위 그림이 가지는 의미는 다음과 같다. 우선 혁신적인 단지설계 기술과 확실하고 정교한 최적관리방안을 사용한다 해도 모든 단지에 있어서의 유기물 부하는 개발 전 보다 많이 발생한다. 또한 최적관리방안을 도입하지 않더라도 환경친화적인 설계가 BMP를 사용한 기존 설계에 비해 유기물 유출이 매우 적다는 점이다.

2) 경제적 편익

최근에 물순환을 고려한 토지이용은 환경적 편익뿐만 아니라 경제적인 편익도 큰 을 보여주고 있다. 주로 토지이용계획시 오픈스페이스 계획이 이에 해당하며 비용이 많이 드는 구조물을 통해서가 아닌 자연성 유지 그 자체만으로도 시설비용을 저감하고 유지관리 등의 소요비용도 줄이는 일석이조 효과를 거둔다. 그러나 이러한 경제적 환경적 편익에도 불구하고, 공지 계획은 많은 지자체에서 개발 옵션도 아니고, 이용할 수 있다 할지라도 개발자에 대부분은 이를 선호하지도 않는다. 따라서 지자체는 공지 계획을 매력적인 개발 옵션으로 만들기 위해서 그 지방의 개발법을 개선하는 노력을 기울일 필요가 있다.

<표 3-12>는 각 개발 단지에서 기존 설계와 환경친화적 설계의 일반적인 기반 비용을 보여준다. 표에 나타난 전체비용은 우수관리, 우수배출, 포장도로, 보도, 연석과 도

랑, 하수관과 정화조체계에 대해 산정된 비용의 합계이다.

경사도 조절, 침식과 침전물 통제, 건물 건축과 관련된 비용과 토지개발과 관련된 다른 부수적 비용은 검토되지 않았다. 일반적으로 이런 비용은 두 개발 옵션 사이에서 비교될 수 있다. 어쨌든, 환경친화적 단지개발은 기존 개발에 비해 교란되는 토지 면적이 더 작고 토지의 본래 지형을 추구하는 경향이 있기 때문에 경사도 조절과 침식 및 침전물제어 비용이 절감된다.

<표 3-12> 환경친화적 단지개발과 기존 개발에 따른 기반시설 비용 비교

개발 시나리오	구분			
	중간밀도의 거주지	낮은 밀도의 거주지	소매 쇼핑센터	상업적인 오피스 파크
기존의 설계	\$1,539,298	\$143,553	\$782,452	\$948,900
환경친화적 단지 설계	\$1,238,751	\$126,430	\$746,270	\$921,182

자료 : Liptan, T. and C. Brown, 1996

위 <표 3-12>를 보면, 각 토지이용 구분은 환경친화적인 단지설계를 사용해서 개발하는 것이 저렴하다는 것을 보여준다. 넓은 범위에서 비용절감은 얼마나 정교하게 단지를 관리하고, 그 단지내 우수를 얼마나 효과적으로 처리했으며 얼마나 많은 포장도로를 감소시켰는지에 달려있다. 예를 들어, 중간밀도의 거주단지는 불투수면이 현저히 감소하였고, 연석과 도랑도 이와 상응하여 감소하여 이는 결과적으로 약 300,000달러의 예산 감축효과를 가져왔다. 이 연구에서 모든 비용이 고려된 것은 아닌데 어떤 사업이 허가받는데 소요되는 시간은 비용측면에서 중요한 의미를 가질 수 있다. 몇몇 환경친화적인 설계기술은 많은 지방정부에 의해 변동이나 특별한 예외 또는 재검토를 필요로 하는데 이런 부가적인 승인으로 지연되는 시간은 기반시설설치에서의 실제적인 비용절감을 빠르게 상쇄시킬 수 있다.

이 연구를 통해 다음의 두 가지 중요한 결론을 도출할 수 있다. 첫째, 환경친화적인 단지개발 전략은 우수유출수 및 유기물 유출을 감소시킬 수 있다. 둘째, 환경친화적인

단지개발 전략은 건설과 기반비용에서 실질적인 예산절감을 가져온다. 이러한 결과는 <표 3-13>에 요약되어 있는데 BMP를 사용한 기존의 단지 설계에서 BMP를 사용한 환경친화적인 단지설계까지 불투수면, 우수유출, 우수침투, 인 유출, 질소 유출과 개발비용에 있어서의 비율 변화를 보여준다.

<표 3-13> 기존계획과 환경친화적인 설계시의 비율 변화

개발 시나리오	중간 밀도의 거주지	낮은 밀도의 거주지	쇼핑센터	오피스 파크
전통적인 설계와의 비율 변화				
불투수면	-24%	-35%	-18%	-22%
우수유출수	-25%	-23%	-17%	-21%
우수유출수 침투	+55%	+12%	-2%	+42%
인 생성	-60%	-50%	-46%	-47%
질소 생성	-45%	-46%	-42%	-45%
개발비용	-20%	-12%	-5%	-3%

자료 : Conservation Fund, 1999

중간 밀도 거주지, 소매 쇼핑센터와 상업적 오피스 파크 단지에서 최적관리방안을 도입하지 않더라도 환경친화적인 개발만으로 BMP를 활용한 기존의 개발에 비해 유기물 유출을 얼마나 줄일 수 있었는지 주목할 필요가 있다. 이것은 우수관리와 단지 설계에서 잘 설계된 계획이 통합되어 좋은 결과를 가져올 수 있음을 보여준다. 환경친화적인 단지 설계는 종종 그 자체만으로도 구조적인 BMP를 도입한 기존의 설계와 같은 효과를 발휘할 수 있다. 그러나, BMP를 활용했다고 하더라도 기존의 개발 단지로부터 유기물 유출이 개발 이전의 수준에 근접하기는 힘들다. BMP를 활용한 환경친화적인 설계 역시 기존 개발보다는 숲이나 목초지 등 개발 이전의 토지 사용과 가깝기는 하지만 개발 이전과 같지는 않다.

제4장 유역관리에서의 불투수면 지표 적용방안

지금까지 불투수면이 수환경에 미치는 영향과 각 국에서의 불투수면 저감을 위한 정책 및 관리기법 등을 검토하였다. 그리고 불투수면 비율이 유역의 수환경 관리를 위한 좋은 지표임을 실제 유역의 수환경 자료를 통해 검증하였다. 본 장에서는 유역 관리에서의 불투수면 지표 적용을 위한 제도개선 방안 및 각종 불투수면 대책저감 방안을 고찰하고자 한다. 유역에서의 불투수면 저감은 한 가지 방안만으로는 효율적이지 않으며 다양한 유역관리기법을 동시에 적용하여야 한다. 이러한 방안에는 토지이용 계획단계에서 불투수면의 생성을 억제하는 것에서부터 생성된 불투수면 완화하는 것까지 있을 수 있다. 즉, 불투수면 지표적용 방안에는 토지이용계획에 의한 불투수면 발생이나 영향을 사전에 고려하는 대책과 물리적 시설물을 이용하여 발생된 강우유출수 및 오염물질을 사후에 저감하는 대책의 크게 두 가지로 구분할 수가 있다. 사전대책으로는 토지이용계획에서 불투수율이 일정 수준을 넘지 않게 하거나 단지계획시 단지의 물순환을 고려하도록 하는 제도개선 방안이 해당되고, 사후대책으로는 불투수면 저감을 위한 투수지대 설치, 저류시설 설치 등이 있을 수 있다.

1. 제도개선 방안

제도개선 방안은 각종 지방서 및 설계지침에 유역의 물순환이 고려되도록 하는 것으로 유역의 물순환이 방해받지 않도록 토지이용계획 단계에서부터 고려하는 것이다. 대표적으로 Better Site Design(BSD)와 Low-Impact Development(LID) 등이 이에 속한다. BSD는 단지계획시 물순환을 고려해 설계하는 기법이고 LID는 개발계획 수립시 불투수면이 발생되지 않거나 저감되도록 하는 기법이다. 본 연구에서는 이들을 구분하지 않고 “물순환을 고려한 토지이용(Landuse considering Water Environment :LWE)”로 부르기로 하겠다.

LWE는 불투수면을 유역내의 다양한 물순환 요소와 연계시킨 광역적이고 효율적

인 불투수면 관리기법이다. 이는 과거와 같이 문제시되는 한 사건을 보고 해결하는 단편적이고 단기적인 해결방안이 아니라, 불투수면과 연계된 다양한 수단을 동시에 고려하는 근원적이면서도 예방적인 기법으로 유역관리의 중요한 진보를 의미한다. 또한 LWE는 유역차원에서 불투수면 관리 등 다양한 기법을 통해 물순환을 제고시킨 혁신적인 접근방법이다. 이는 이전의 방법처럼 불투수면이 생성된 후 이를 관리하는 방안에 의존하는 것이 아니라 토지이용이나 유역 물순환 관리와 연계해서 강우유출수를 전략적으로 관리할 수 있는 기법이기 때문이다. 제도개선 방안에서는 이와 같은 토지이용계획 단계에서의 물순환을 고려하는 방안에서부터 각종 지침의 보완 방안까지 검토하도록 하겠다.

가. 물순환을 고려한 토지이용 개념 도입

물순환을 고려한 토지이용(LWE)은 토지개발이 가져오는 수문과 수질상의 영향을 줄이기 위해, 오염방지 수단과 수문학적으로 자연적인 기능에 가깝게 설계하는 단지 설계기법을 결합하여 이용한다. LWE기법의 목적은 유출수를 저장, 침투, 증발, 저류하는 단지설계 기법을 이용하여 개발 이전의 수문상태를 최대한 유지토록 하는데 있다. 이러한 기법은 단지 바깥으로의 유출수를 줄이고 지하수를 충분히 저장할 수 있도록 해준다. LWE기법을 이용하면 대상 유역의 자연적인 수문 기능이나 유출, 침투, 저장, 지하수 재충전, 그리고 증발산 사이의 물수지를 가장 유사하게 모의할 수 있고, 유출수가 방류수계에 미치는 영향을 줄일 수 있게 된다. LWE의 주요 목적과 원리는 다음과 같다.

- 물순환의 지속가능성 확보를 통한 수계의 환경보호
- 친환경적 개발을 통한 경제적 편익 제공
- 환경적으로 안정된 단지 계획과 설계기법 개발
- 환경보호에 대한 주민교육과 참여 촉구
- 강우유출수 관리를 위한 기반시설의 건설 및 유지비용 절감
- 소규모 관리와 다기능적 경관조성(생물학적 체류지, 식생수로, 보존지역)과 같

은 강우유출수 관리를 위한 새로운 개념을 도입하여 수문학적 기능과 수계의 생물학적·생태학적 안전성 유지

- 규제를 융통성있게 적용하여 "스마트성장"을 촉진하기 위한 단지 계획 및 공법 도입이 가능
- 경제적, 환경적, 기술적 요소가 결합된 강우유출수 관리

토지이용계획에서 환경을 고려한 개발기법은 너무 단순하여 간과되는 경향이 있지만, 그 중요성은 아무리 강조해도 지나치지 않다. 여기에 대한 기본 개념으로는 통합적인 구조로의 물순환 이용, 소규모의 지역 관리, 발생원에서의 강우유출수 관리, 간단하고 비구조적인 방법의 적용, 다기능적인 경관 조성 등이 있다. 각각의 기본 개념에 대한 내용은 다음과 같다.

1) 수문시스템 개념의 활용

기존의 단지계획에서 배수시스템을 설계할 때는 신속하고 효율적인 배수체계를 구축하는 것이 주가 되었지만 이것은 자연적인 배수 기능과는 반대되는 방법이었다. LWE에서는 신속하고 효율적인 배수 대신에 단지의 자연적인 수문학적 기능을 보존하고 관리하는 방안이 주를 이룬다. 이는 “개발 이전의 단지에서 중요한 수문학적 기능은 무엇이며, 단지를 이용하면서 어떻게 이러한 중요한 기능이 유지될 수 있는가?”에 관심을 가지고 소규모 관리 방안을 이용하여 개발의 영향을 최소화하고, 유효불투수면을 줄여 침투력을 향상시키고 지하수 저장량을 증가시키며 유달시간을 길게 하는 등 수문학적으로 기능적인 경관을 만드는 방법을 의미한다.

단지계획과정에 수문학을 통합시키는 작업은 하천과 완충지, 범람원, 습지, 급경사, 침투력이 높은 토양과 산림 보존 지역 등 물의 순환에 민감한 영향을 주는 지역을 확인하고 보존하는 일에서부터 시작된다. 이것은 단지의 개발로 인한 수문영향을 최소화하고 중요한 자연적인 수문특징을 유지하기 위한 첫 번째 단계이다. 다음으로는 공공수역과 직접적으로 연결되는 불투수면을 최소화하기 위해 불가피한 불투수면적에 대한 심도 있는 분석이 필요하다. 생물학적 저류지역, 침투 시설, 식생수로, 저류지

역과 같은 기법의 도입은 이러한 불투수면적을 통제하고 관리하는데 이용될 수 있다.

수문학적 기능이 유지되는 단지는 심미적인 가치와 함께 여가에 이용할 수 있는 자원과 경관을 제공하는 것 외에도 개발이전의 수문을 유지하게 할 수 있다.

2) 소규모 단위의 관리

LWE 개념 중 가장 중요한 것은 소규모로 생각하는 것이다. 일반적인 지역은 물론이고 작은 하위 유역이나 거주구역에서 실행되는 소규모 관리기법은 전체 구역으로 강우유출수를 분산시킬 수 있게 해 준다. 이는 도달시간을 줄이는 것뿐만 아니라 침투, 저류를 포함하여 단지의 중요한 수문학적 기능을 유지하는데 중요한 기회를 제공한다. 소규모 관리기법의 이점은 다음과 같다.

- 단지 상황에 따라 다양하게 적용될 수 있는 관리 방안 제공
- 유량을 통제할 수 있고, 개발 이전의 지하수 충전기능을 유지할 수 있으며 침투 가능량의 변화에 대응할 수 있는 방안 제공
- 경관, 불투수면, 그리고 자연적인 특징과 통합되는 부지내 관리방안 제공
- 비용효과적인 설계와 시민참여를 통한 개발 및 장기적인 유지비용 절감

3) 발생원에서의 강우유출수 관리

개발 이전의 수문학적 기능을 복원하는데 있어서 중요한 것은 발생원 인근에서의 토지이용 활동으로 인한 수문학적 영향을 최소화하고 저감하는 것이다. 차단, 저장, 침투와 같은 자연적인 수문학적 기능은 개발되지 않은 단지에서는 고루 분산되어 있다.

발생원 말단 지점(end-of pipe)에서 강우유출수 관리 접근법을 이용하여 이러한 기능을 통제하고 복원하는 것은 어렵지만 불가능하지는 않다. 따라서 이러한 수문학적 기능을 보충하고 복원하는 것은 가능하면 발생원에서 가까운 곳, 교란이나 영향이 발생하는 곳에서 실행되어야 한다. 이를 분산된 발생원에서의 관리전략으로 불리는데 소규모 관리기법을 이용하여 달성할 수 있으며 비용이 적게 드는 방법이다. 가장 경제적이고 단순한 우수관리 전략은 발생원에서의 유출을 관리하는 것이다. 운반체

와 통제 및 처리구조 비용은 발생원에서 멀어질수록 증가한다.

4) 간단한 비구조적인 방법 이용

전통적인 우수관리 방법의 대부분은 발생원 말단 지점에서의 관리에 집중되어 왔으며, 작고 간단한 해결방법은 간과하는 경향이 있었다. 그런데 이런 간단한 해결책이나 시스템은 경관의 수문 기능을 보전하는데 있어서 효과적이며, 기존의 연못이나 콘크리트 운반체계와 같은 시설물보다 많은 장점이 있다. LWE기법을 이용하면 콘크리트 같은 불투수재료의 사용을 줄일 수 있다. LWE기법에는 자생식물, 토양, 자갈과 같은 재료를 이용하는데, 이런 재료를 이용한 시스템은 좀더 쉽게 경관과 융화될 수 있고 자연적인 모습을 갖추게 된다.

한편 소규모로 분산된 관리시스템은 기술적으로도 장점이 있다. 즉 하나 이상의 시스템이 실패하더라도 단지의 전체적인 통합관리에는 영향을 주지 않는다는 것이다. 또한 작은 시설은 담당하는 유역의 크기가 작기 때문에 안전에 대한 우려도 줄일 수 있다. 이런 시설을 경관에 도입함으로써 좀더 자연적인 수문기능과 심미적인 가치를 제고할 수 있고 유지관리를 쉽게 할 수 있으며, 관리비용 또한 절감할 수 있다.

5) 다양한 경관형성과 환경기능 제공

LWE는, 유출수를 발생원에서 관리하는 다양한 기법을 통해 지역 특성에 적합한 경관을 창출하고 전략적으로 여러 시설을 통합하여 강우유출수관리에 혁신적인 하부 시설을 제공할 수도 있다. 즉, LWE는 경관의 고려와 함께 강우유출수에 영향을 주는 요인(지붕, 거리, 주차장, 인도, 녹지공간 등)을 적절히 관리함으로써 저류, 여과 또는 강우유출수를 이용한 여러 가지 기능들이 가능하도록 할 수 있다.

생물학적 저류지는 다기능적인 방안의 예이다. 나무나 풀은 빗물을 차단함과 동시에 야생동물의 서식지 기능을 가진다. 유기물인 식물잔재물은 오염물질을 제거하고 물을 저장하는 기능을 한다. 식물이 심어져 있는 토양은 유출수를 여과하고 여러 과정을 통해 오염물질을 제거하며, 지하수의 재충전과 식물을 통한 증발산 기능을 한다. 이와 같이 LWE를 토지이용에 적용하면 지역에 적합한 독특한 다기능적인 경관을 만

드는 것과 동시에 강우유출수를 저감하고 오염물질을 처리하는 등 다양한 제 역할을 하도록 도울 수 있다.

나. 불투수면 저감을 위한 단지계획

단지 계획과정에서 LWE 개념의 도입시에는 개발 이전의 수문상태를 유지하고 수문학적으로 기능적인 경관을 만들기 위하여 새로운 기법들이 많이 이용된다. 이러한 개념에는 설계의 중점으로써 기존의 수문상태를 고려하는 것, 불투수면을 최소화하는 것, 불투수면을 공공수역에 연결하지 않는 것, 흐름경로를 증가시키는 것, 그리고 소규모 관리 방안의 이용 등이 포함된다. 단지 계획과정은 지역지구제, 토지이용계획, 구획분할과 기타 지역의 규정 확인, 개발지 한정, 설계 요소로써 배수지/물순환 이용, 단지의 총 불투수면 줄이기/최소화하기, 단지 배치계획의 통합, 파이프로 직접 연결된 불투수면 지역의 최소화, 배수구역의 흐름경로 조절 및 증가, 개발 이전과 개발 이후의 수문 비교 등의 단계로 구성된다.

1) 적용가능한 지역지구제 확인

토지에 대한 지역지구제는 도시성장과 보전 사이에서 도시를 관리하는 토지이용 및 도시설계의 기본 틀을 제공하고 있다. 지역지구제 규정에서는 도시의 설계 목적에 적합하도록 개발된 지리학적 지역의 이용과 물리적 특성을 미리 지정하고 있다. 일반적인 지역지구제 요소는 <표 4-1>에 요약되어 있는 바와 같다. 지역지구제는 자연보호지역을 정의하고 도로 폭과 주차장, 배수구역의 요건을 상세히 기술하고 개발의 형태와 강도를 규제하고자 하는 것이다.

LWE 접근법에 의해 얻을 수 있는 환경적인 편익과 경제적인 이익을 적정화하기 위한 노력을 하여야 하고, LWE 기술 적용을 용이하게 할 수 있도록 환경적으로 민감하고 유연한 지역지구제 적용을 고려하여야 한다. LWE 접근법은 도시의 성장을 방해하지 않고 환경목표를 충족시키기 위하여 많은 지역지구제 옵션을 이용하고 있다.

<표 4-1> 일반적인 지역지구제 요소

지역지구제 요건	목 적
부지 설계 요건	
동일 용도 및 규모 또는 비슷한 형태의 개발유도	적정 개발 유도
최소한의 부지 규모	난개발 방지
도로에서의 앞, 뒤 일정거리 제한	거주구역사이의 일정거리를 두어 과밀한 불투수면 억제
도로 설계 요건	
도로폭	운전자와 도보자의 안전을 고려함과 동시 단지여건 고려
인도	불필요한 보행 포장도로 억제
배수구역과 경사 완화	
연석/도랑과 우수배수	교통의 유지를 위한 것과 물순환 고려
강우유출수의 질과 양 구조	강우유출수량과 질을 고려하고 유역에 대한 개발의 과도한 부담 방지
배수를 고려한 단지구조 및 설계	배수로 인한 토양침식을 방지

2) 개발 한계와 보호지역 확인

지역지구제 규정을 통해 개발한계와 보호지역을 확인한다. 이때 보호지역에는 범람원, 하천완충지, 습지와 같은 강변 지역, 산림, 기존의 중요 수목, 급경사, 투수도가 높고 침식성이 있는 토양 등이 포함된다.

이들 지역에서의 벌목과 토지형질변경을 최소화할 수 있는 방법들이 연구되어야 하며, 수문학적 영향을 줄이기 위해서는 교란에 덜 민감한 지역이나 수문학적 기능에서 낮은 수치를 가진 곳을 개발하여야 한다(불모의 점토질 토양을 개발하는 것이 산림의 사질 토양을 개발하는 것보다 수문학적인 영향을 덜 가져온다). 적어도, 개발지역은 하천, 범람원, 습지, 급경사와 같은 민감한 지역 외에 위치하여야 하고 실제로 수문학적 영향을 최소화하기 위하여 높은 침투율을 가진 토양은 개발하지 않는다.

3) 토지교란최소화

토지교란최소화 기법은 벌목과 토지형질변경을 줄이는데 이용될 수 있으며 이를 통해 개발로 인한 수문학적인 영향을 최소화할 수 있다. 토지교란최소화 기법은 개발이 가능한 지역과 민감한 지역을 확인하고 단지에 그것을 명확하게 표시함으로써 지표의 교란을 규제하는 것이다. 토지의 교란을 최소화할 수 있는 기법은 다음과 같다.

- 투수력이 높은 토양의 포장 및 압축 저감
- 사업의 건설단계 동안에 개발지내에서 적재 및 재료 저장 지역, 건설 지역권의 크기 최소화
- 가능하면 기존의 수목을 제거하지 않기 위해 건물 계획, 벌목과 경사 완화
- 총 포장면을 줄임으로써 불투수성을 최소화
- 단지 내에서 토양 압축을 최소화하기 위해 최소 단지 교란지역을 명시하여 표시하고, 이러한 지역에서 건설 장비의 일시 보관 규제
- 유출을 줄이고 침투가능성을 증가시키기 위해 불투수면 지역을 가능한 많이 분리
- 기존의 지형을 유지하고 유출수의 분산된 흐름을 촉진하기 위해 관련 배수지역 분리

4) 설계요소로써 배수지역/수문을 이용

도시화와 이를 통한 불투수면 지역의 증가는 단지의 수문에 많은 변화를 주고, 불투수면의 증가가 방류수계에 직접적으로 영향을 주고 있다는 사실이 많은 연구에서 증명되고 있다.

토지개발에서 오는 이런 영향을 줄이기 위하여, LWE 계획에서는 단지에 대한 수문학적 평가를 실시하고, 단지의 공간적인 배치를 수문학적으로 평가토록 하고 있다. 수문학적 평가절차는 LWE 유출 잠재성을 줄이는데 이용될 수 있으며, 유출 도달시간을 개발 이전으로 유지하는데 이용될 수 있다. 이런 절차는 단지의 상태를 이해하고 그 장점을 이용하기 위해서 초기에 LWE 계획 과정에 통합된다.

단지 배치의 공간적인 구성 또한 중요하다. 지표 아래에 물을 저장하고, 지표의 지

형과는 별도로 작용하는 관을 통한 배수체계와는 달리, LWE의 개방수로체계는 단지 계획의 주요한 설계요소가 되는 자연토지 형태와 토지이용을 함께 조화시킬 수 있다. 이런 배수체계는 도시형태를 통합하고, 단지내의 자연적인 특징이 잘 살아나도록 하는데 도움이 된다. 또한 토목공사 작업을 줄이고 비용이 많이 드는 배수 체계의 건설을 줄임으로써 개발 비용을 절감할 수 있게 해준다.

5) 총 불투수면 최소화

단지 개발도를 작성하고 나면 교통유형과 도로배치, 건물 부지 배치도를 만드는데, 이때 총 교통분포망(도로, 인도, 고속도로, 주차지역)은 단지내 불투수성의 가장 큰 요인이 된다. 불투수면 지역에서의 변화는 유출을 변화시키고 지하로 들어가는 재충전량을 변화시켜 결국 단지의 수문상태를 변화시키므로 LWE에 있어서, 도로와 주차지역의 포장이 차지하는 불투수면을 관리하는 것은 단지 계획과 설계 과정의 중요한 요소이다. 불투수면으로부터 전체 유출량을 줄이는데 이용될 수 있는 방법은 아래와 같다.

가) 대안적인 도로 배치

교통 또는 도로 배치는 단지 계획의 총 불투수성과 수문에 매우 중요한 영향을 미칠 수 있다. 다음의 대안적인 도로 배치를 선택하면 총 26%의 불투수성을 줄일 수 있다.

- 좁은 도로 구간 : 감소된 폭의 도로 구간은 벌목과 경사변경의 영향만큼이나 단지의 총 불투수성을 줄이는데 이용될 수 있는 대안이다. 한 예로 주요 거주지 도로구간의 경우 포장의 폭은 36피트였으며 폭에는 연석과 도랑이 포함되어 있었는데 주요 거주지의 도로 대신에 교외의 거주지 도로를 이용함으로써 포장폭을 36피트에서 24피트로 줄일 수 있었다.
- 주요 도로의 한쪽 면에만 인도 적용 : 주요 도로의 한쪽 면에만 인도를 설치하여 총 불투수성을 줄일 수 있다.
- 도로변 주차 장소 축소 : 도로변 주차 장소를 한쪽 면에만 한정하거나 주차장소

모두를 제거하여 도로 표면을 줄임으로써 단지내 총 불투수비율을 25~30%까지 줄일 수 있다.

○ 차도 : 차도는 단지의 총 불투수면을 줄일 수 있는 또 다른 요소이다. 여기에는 몇 가지 기법이 이용될 수 있다.

- 토지이용으로 인한 영향을 민감하게 받는 지역에서는 가능하면 공유차도를 이용한다.
- 차도의 폭을 2.7m 정도로 제한한다.
- 차도 길이를 최소화할 수 있도록 건물 뒷부분을 최소로 줄인다.
- 투수포장이나 자갈과 같이 유출수의 이동시간을 증가시키고 유출수를 줄일 수 있는 재료를 차도와 주차장 지역에 이용하여 불투수면의 영향을 줄인다.

나) 지붕

주택의 유형, 형태와 규모는 유역의 불투수성에 영향을 줄 수 있다. 예를 들면, 단독 주택의 경우에는 더 많은 지붕 면적이 필요한데 이런 관점에서, 지붕의 면적을 줄이기 위해서는 건물을 위로 올리는 것이 옆으로 짓는 것보다 효과적이다.

6) 통합 단지계획의 개발

개발지가 정해지고, 단지의 총 불투수면이 최소화된 이후에 주요 단지 계획에서는 개발 이전과 개발 이후의 수문상태를 분석, 비교해서 수문학적으로 기능적인 단지를 만든다는 전체 목표가 충족되었는지를 확인한다. 최종계획에서는 주요 계획을 조율하여 개발 후의 강우유출수 도달시간이 가능한 한 개발 이전의 상태에 가깝게 유지될 수 있도록 배수흐름로를 조절하고, 피할 수 없는 불투수면인 경우 분리한다.

7) 직접 연결된 불투수면 최소화

총 불투수면을 최소화하는 단지 계획을 개발한 후에, 불가피한 불투수면을 가능한 많이 분리하면 추가적인 환경적 편익을 얻을 수 있고 수문학적인 영향도 줄일 수 있다. 여기에는 다음과 같은 방법들이 있다.

- 지붕 유출이 직접 배수체계와 연결되지 않도록 하고 식생지역으로 유출수가 흘러들어가도록 한다.
- 차도와 같은 포장된 지역에 내리는 강우유출수는 안정화된 식생지역으로 들어올 수 있도록 한다.
- 대규모의 포장된 표면으로부터 유출방향을 분산시킨다.
- 식생지역을 거쳐 흐를 수 있도록 한다.
- 자연계, 식생 완충지역, 자연자원지역 또는 침투가능한 구역/토양으로 배수되도록 고려하여 불투수면을 위치시킨다.

8) 배수흐름 경로 조절/증가

도달시간은 단지의 수문학적인 상황과 결합하여 강우 동안의 침투유출율을 결정한다. 단지와 하수시설에서 도달시간에 영향을 주는 요소에는 이동거리(흐름경로), 지표면/수면의 경사, 표면의 조도, 수로의 형태, 유형, 구성요소 등이 있다. 도달시간에 영향을 주거나 이를 통제할 수 있는 기법에는 지표면 층류 최대화, 흐름경로 증가, 단지와 부지의 경사를 길고 평평하게 하기, 식생수로 시스템을 최대로 이용, 단지내 식물 증가시키기 등이 있다.

가) 지표면 층류 조성

단지 개발 이후의 흐름경로에 따라 지표면 층류의 길이를 최대화하고 산림지의 교란을 최소화하기 위하여 경사를 완만히 하여야 한다. 이렇게 하면 유출수의 이동시간을 증가시켜 도달시간을 늘릴 수 있고, 결과적으로 침투유출율을 줄일 수 있다. 자연적인 배수 형태로 경사가 완만해진 지역에서의 유속은 토양 침식을 막을 수 있을 정도로 가능한 한 낮게 유지해야 한다. 완충지 상부면에 약 30피트 폭의 평평한 초지를 만들거나 완충지의 상부 가장 자리를 따라 유도장치를 설치하면 유속을 줄일 수 있다.

나) 흐름경로

지표유출수의 흐름경로를 증가시키면 침투가 증가되고 이동 시간이 길어진다. 지

붕과 차도의 유출수가 잔디에 도달하기 전에 포집될 수 있도록 웅덩이나 생물저류시설, 침투트렌치, 건조정 등을 만들거나 경사의 완화정도와 지표면의 조도(거칠기)를 크게 하여 유출수의 이동시간을 길게 할 수 있다.

다) 단지와 부지의 경사

가파른 경사지역을 따라 불필요하게 도로를 건설하는 것은 토양의 교란을 증가시킬 수 있으므로 급경사 지형에 도로를 건설하는 것은 피하도록 한다. 자연적인 배수 방식에 미치는 영향을 최소화하기 위해서는 부지 배치와 도로 설계에 경사를 고려해야 한다. 저영향 개발 단지에서는 유출수의 침투와 이동시간을 증가시키기 위하여 경사도가 최소한 1%에 가깝게 한다. 거주지 개발의 경우, 저영향 개발 방안은 건물입지 지역 바깥쪽의 부지에 적용해야 한다. 건물 입지지역은 4%의 양호한 배수 경사를 가진 건물 주위의 3m 둘레의 지역을 말한다. 부지의 경사가 100년 빈도의 홍수를 야기하지 않도록 해야 하며, 토양의 침투 능력을 극대화하기 위해 부지지역에서의 토양 압착은 피해야 한다.

라) 식생수로

LWE 설계에서는 가능하면 기존의 우수배수 시스템 대신에 다기능적인 개방형 배수체계를 이용한다. 식생이나 초지에 있는 개방배수 체계는 부지와 부지 사이 또는 도로를 따라 지표유출수를 운반하며 기존의 우수배수 시스템이 가진 범람문제를 완화시킬 수 있다. 개방수로 체계에서는 부지의 경사를 완화해서 지표유출수의 양과 속력을 줄일 수 있어야 한다. 지표유출수의 이동시간을 늘리고 유출되는 양을 줄이기 위해 침투통제와 테라스(단)를 이용할 수 있다.

마) 단지와 부지 식생

경사가 완화된 지역을 재식생하고 기존의 식생지역을 보호하여 지표에 조도(거칠기)를 형성해 주면 유출수의 양을 줄이고 이동시간을 증가시키며 지하로 저장되는 양을 늘릴 수 있다. 식생완충지역을 기존의 식생 또는 산림지역과 연결하면 유출수를

저류시켜 침투유출을 줄일 수 있는 효과를 얻을 수 있는데 이러한 기법은 경관측면에서 심미성을 향상시키는 한편으로 서식지의 통로를 제공해주는 장점이 있다.

9) 개발 이전과 개발 이후의 수문 비교

단지 설계자는 수문분석 절차를 통해 개발 이전과 개발 이후의 수문을 비교해야 한다. 저영향 개발단지 계획은 일반적으로 여러번의 반복적인 설계 단계를 거쳐 완성되는데 수문학적인 평가 결과에 기초하여 저영향 개발 단지의 부가적인 우수유출수 통제 요건을 규명한다. 이러한 요건은 단지에 분산된 저감시설을 이용하여 충족시킬 수 있다. 단지설계 단계의 반복과정은 모든 우수유출수 관리 요건이 충족될 때까지 이용된다. 단지 요건이 저감시설만으로 충족될 수 없는 경우, 저류조와 같은 종래의 우수유출수 관리방법을 추가할 수 있다. 개발 이전의 수문상태가 충족되면, 단지 설계자는 일반적인 단지 개발사항을 고려하여 계획을 세울 수 있다.

다. 불투수면 관리 강화를 위한 관련 지침 보완 방안

1) 우수관리 실태 및 문제점 분석

국내 우수관련 지방서 및 관련규정에서 언급하고 있는 우수관리체계는 지표면에 내린 빗물을 가능한 한 신속하게 배수시설로 모으고, 우수관거를 통해 하천으로 유출시키는데 그 목적이 있다고 할 수 있다. 도시지역은 신속한 우수배제를 위해 도로·보도·운동장 및 심지어는 투수기능을 가진 잔디밭도 일정한 구배를 두어 신속한 배수가 이루어지도록 설계하고 있으며, 식재지역에는 빗물이 유입되지 못하도록 하여 식재지역에서의 투수기능을 기대하기 어렵게 하고 있다.

이러한 지역에서 우수침투를 촉진할 수 있는 방안이 요구되며, 자전거도로 및 보도 등은 투수성 포장으로 시공하고, 녹지에 대해서는 저류 및 침투기능을 유지할 수 있도록 설계하는 방안이 필요하다. 도시지역 주요 우수배제시설인 우수받이의 경우, 도로 옆 보차도경계석(연석)에 설치하도록 규정하고 있는데, 보차도경계석은 도로노면

빗물의 신속한 배수를 유도하고 보도와의 구분을 위해 20~25cm 높이로 설치됨에 따라 도로노면 배수가 저류나 침투작용 없이 직접 우수받이로 배제됨으로써 관거 및 하천에 유출량 부하를 가중시키고 있다. 이에 대한 대안으로는 도로변에 연석을 제거하고 대신 식생수로를 설치해 노면배수가 식생수로를 통과해 우수받이로 유출되도록 함으로써 우수의 침투를 극대화하여야 한다.

지붕에서 발생하는 지붕우수의 경우도 빗물받이 등을 통해 직접 우수관거로 유입될 수 있도록 규정하고 있는데, 지붕우수를 따로 집수할 수 있는 빗물이용시설을 설치하거나, 시설설치가 곤란한 경우 집수된 우수가 식생을 통과해 우수관거로 유입될 수 있도록 한다. 빗물의 지하침투를 촉진하기 위해 설치되고 있는 투수성 포장의 경우 현재의 제한된 일부지역 외에 주차장 및 보도 등 통행차량의 하중이 크지 않은 지역으로 설치를 확대하는 방안이 필요할 것으로 사료된다.

단지내 도로를 투수성 포장으로 시공시 동결에 의한 파손이 우려될 경우에는 단지내 도로는 블럭포장을 시도하는 방법도 적용가능한데 블럭포장은 우수의 침투와 아울러 차량의 속도제한 효과도 기대할 수 있다.

외국의 사례를 인용하여 투수성 포장을 일반 도로에 대해서도 적용하려는 주장이 일부 제기되고 있으나, 우리나라의 기후특성을 고려할 때 겨울철 동결에 의한 도로파손으로 일반 도로에 적용하기는 곤란할 것으로 판단된다. 우리나라 지구단위계획 수립지침에는 강우시 유출수에 의한 환경오염을 저감하기 위하여 투수성 포장 등 비점원오염 물질을 줄일 수 있는 방안을 고려할 것을 명시하고 있다(제1종지구단위계획수립지침 3-4-3, 제2종지구단위계획수립지침 3-3-3). 불투수면을 줄이기 위한 지침 내용은 <표 4-2>과 같다.

<표 4-2> 불투수면 관리와 관련된 지침

	지침 내용
주차장관련 부문	- 지상의 녹지공간이 일정비율 이상 확보되도록 하기 위하여 공동주택단지에서는 지하주차장 확보비율을 정할 수 있다. - 보도나 공동주택 단지내 도로 등 인공포장이 필요한 경우에는 투수가 될 수 있도록 유도하고, 공동주택단지 등의 지하주차장 지상부분은 식재가 가능하도록 하여 자연친화적 환경이 조성되도록 한다. - 주거용지와 면하는 철도부지변에는 폭 30m 이상의 완충녹지, 폭 25m 이상의 도시계획도로변에는 폭 10m 이상의 완충녹지, 철도역 등과 인접해서는 폭 10m 내외의 완충녹지를 설치하는 것이 바람직하다. - 농촌지역의 주거지를 계획하는 경우에는 친환경적 요소를 도입하기 위하여 마을의 진입광장을 조성하며, 필요시 공동주차장으로 활용할 수 있도록 함으로써 불필요한 공간 낭비를 막고 최대한 지형의 원형을 보존한다.
지붕관련 부문	- 자연지형의 원래 모습이 그대로 유지되도록 특별한 사유가 없는 한 구역면적의 20% 이상은 원지형을 보존하여야 한다. - 녹지, 공개공지 등이 적절히 확보되어 보행공간 및 녹지공간이 확충되도록 건폐율을 따로 정할 수 있다 - 가로변 건축물의 지붕형태에 대한 통일성을 부여할 필요가 있거나 옥상공간을 정원화하여 부족한 녹지공간을 보완할 필요가 있는 경우에는 지붕의 형태와 옥상부분의 처리기준을 제시한다.

자료 : 지구단위계획 수립지침에서의 불투수면 관련 지침 개정 2003. 3.25

도시관리계획수립지침(건설교통부, 2003.1.2) 제7편 환경성검토에서는 도시관리계획이 환경에 미치는 영향을 고려한 환경성검토를 시행함으로써 환경적으로 건전하고 지속가능한 정주환경을 조성하는 것을 목적으로 하고 있다. 환경성검토는 도시관리계획의 입안과정에서 도시관리계획이 환경에 미치는 영향을 검토하여 환경부하요인을 사전에 해소하거나 최소화함으로써 개발과 환경을 조화시키기 위하여 실시하는 계획환경성검토를 말한다. 불투수면과 관련하여 환경성 검토에서 다루는 부문은 토양 및 지반부문에서는 자연지반의 보전을 통하여 생물서식, 우수의 저장 및 침투 등 토양의 생태적 기능 보전 및 개선을 목표로 함을 명시하고 있다. 또한 생물의 서식

기능과 함께 공기 및 우수의 침투, 저류 등 물순환 기능을 종합하여 영향 요인과 정도를 정량적·정성적으로 평가토록 하고 있다. 정량적 평가지표로는 토양포장률과 토양기능계수 등을 이용할 수 있으나 토양포장률을 우선적으로 검토하고, 단위 도시관리계획수립시 녹지율 및 개발면적의 구분이 가능한 경우에 적용한다. 토양포장률은 포장된 대지면적(도로·건축·시설물 등 자연토양기능을 상실하게 되는 모든 면적)을 전체 대지면적으로 나누어 구한다.

물순환 부문에서는 물순환 기능은 1차적으로 토양의 투수기능에 좌우되므로 토양의 불투수면적, 우수유출량을 평가지표로 활용할 수 있으나, 토양의 불투수면적을 도시관리계획 안에서 평가하기가 어려우므로 우수유출량을 평가지표로 활용하여 검토한다. 유출량은 소유역별로 검토하여 이를 최소화할 수 있는 보완 방안을 검토하도록 되어 있다. 또한 도시기본계획수립지침(건설교통부, 2003.1.2)의 5장에서는 ③ 상습수해지역 등 재해가 빈발하는 지역과 하천 하류지역의 수해를 유발할 가능성이 있는 상류지역은 원칙적으로 보전용지로 지정하되, 시가화예정용지로 설정하고자 하는 경우에는 당해 지역에 유수되는 우수의 흡수율을 높이기 위하여 녹지비율을 강화하는 등 방재 대책을 미리 수립하는 내용을 포함하고 있다. 또한 상습침수지역을 시가화예정용지로 부여할 때에는 집중호우에 의한 배수유역에서 충분한 우수를 저류할 수 있는 유수지를 확보하거나 충분한 녹지를 확보하여 도시내 담수능력을 배양하도록 하는 등 재해예방대책을 수립토록 하고 있고, 지역내 각종 건축물 설치시 우수 침투가 용이하도록 투수성 포장재를 사용하여 담수능력을 배양토록 하는 방안을 검토하도록 되어 있다.

2) 보완 방안

앞의 우수관리 실태 및 문제점에서 본 바와 같이 그간 우리나라가 추진해 온 도시지역의 우수관리 정책에서 빗물은 빨리 없애버려야 할 '성가신' 존재였다고 할 수 있다. 현재 발생원에서의 유출을 저감시키고 재이용할 대책 없이 유출된 빗물을 어떻게 처리할 것인가에 초점을 둔 정책의 결과로 우수관련시설에 대한 시설투자는 꾸준히 증가하였으나 오히려 도시지역에서의 홍수피해는 계속되고 있는 실정이다.

이에 대한 대안으로는 증가한 홍수량을 처리하기 위한 방법뿐만 아니라 발생원에서의 우수유출량을 저감시킬 수 있어야 한다. 또한 우수유출수관리는 우수유출수와 같이 배출되는 비점오염원의 관리를 위해서도 필요하다.

우리나라 불투수관련 계획 지침은 “ ~ 정할 수 있다” “ ~ 바람직하다” 등의 재량 위주의 불확정적인 개념을 포함하고 있다. 그러나 실질적인 효과를 가져오기 위해서는 귀속을 강화하는 내용이 들어가서 관련 공무원에게 지침으로써의 효과 및 실행이 뒤따르게 하여야 한다. 아래는 불투수면관리와 관련하여 지침에 추가되어야 할 사항을 기술한 것이다.

가) 지구단위계획지침

지상의 녹지공간이 일정비율 이상 확보되도록 하기 위하여 공동주택단지에서는 지하주차장 확보비율을 정할 수 있도록 하고 있지만, 구체적인 비율 명시는 되어 있지 않다. 포장면에 영향을 주는 가장 큰 요소는 건폐율이므로 이를 강화하는 것도 고려할 수 있다. 또한 녹지 비율 확보 및 불투수면 감소를 위해서는 하한선 등을 제시하여 건설업자에게 불투수면 감소를 구체적으로 요구할 수 있어야 한다. 이때 비율 명시뿐만 아니라 녹지 등의 투수면이 도시수문, 도시생태계 등에 영향을 미칠 수 있는 토양 두께, 면적, 식생 등을 제시하여야 한다.

또한 불투수면을 줄이고 녹지 면적을 늘리며, 우수침투시설을 건설할 수 있도록 일반주택이나 공동주택, 주택단지에서의 실행방안을 제시하도록 해야 한다. 예를 들면, 투수성 포장, 침투지, 침투트렌치, 저류조 등에 대한 구체적인 방안을 제시하도록 해야 한다. 지구상세계획에서 단지의 개발로 가장 영향을 받는 것은 수문환경이므로, 지구상세계획에서 수문환경계획이 중요한 위상을 차지할 수 있도록 적극 고려할 수 있어야 한다.

나) 도시관리계획지침

소유역에서의 유출량을 최소화할 수 있는 방안을 검토할 수 있도록 한다. 예를 들면 소규모 택지개발사업에 대해서는 가구 및 건물 단위별 우수량의 저류조 설치를

유도한다. 또한 불투수면 증가로 인한 증가된 유출량의 침투유도방안으로서 공원, 운동장 등 공공시설내 침투시설 설치 및 식생의 침투능력 활용방안을 들 수 있다. 이외에도 우수지의 적정 운영을 통한 내수위 저감방안을 들 수 있는데, 소유역별 최하구부 우수지 및 빗물펌프장을 운영하여 내수위 및 외수위 피해 방지방안과 우수지 및 빗물펌프장의 용량 확충을 통한 내수위 및 외수위 피해 방지방안을 고려할 수 있다.

다) 도시계획지침

현재의 도시기본계획수립지침에는 상습수해지역 등 재해가 빈발하는 지역과 하천하류지역의 수해를 유발할 가능성이 있는 상류지역은 원칙적으로 보전용지로 지정하되, 시가화예정용지로 설정하고자 하는 경우에는 당해 지역에 우수되는 우수의 흡수율을 높이기 위하여 녹지비율을 강화하는 등 방재 대책을 미리 수립하도록 제시되어 있으나, 재해빈발지역과 수해가능성이 있는 상류지역은 보전지역으로 설정하여 수변 1km내에는 산림으로 조성할 수 있는 방안이 필요하다.

지역내 각종 건축물 설치시 우수 침투가 용이하도록 투수성 포장재를 사용하여 담수능력을 배양토록 하는 방안은 건설업자 및 건축물 주인에게 인센티브를 제공하여 투수성 포장재를 선호할 수 있도록 유도하여야 한다.

라) 재해영향평가 제도의 개선

우선적으로 검토할 수 있는 방안은 도시개발사업 시행시 재해영향평가 협의과정에서 침투시설의 적용을 적극 유도하는 것이다. 현재 재해영향평가 평가서 작성방법에서 강조하고 있는 사항은 홍수유출량을 정확히 산정하였는가와 증가된 홍수유출량을 저감시키기 위한 저감대책으로 어느 정도 규모의 저류지를 설치할 것인가이다.

재해영향평가 협의과정에서도 정확한 홍수유출량 산정을 위해 강우분포는 어떤 방법을 적용했는지, 유출량 산정은 어느 식을 이용하였는지가 주요 쟁점사항이며, 저감대책으로 설치되는 저류지를 On-line 방식으로 할 것인지 Off-line 방식으로 할 것인지와 저류지의 규모가 적정한지에 관심이 집중되어 있다. 즉, 발생원에서의 유출량 저감방안에 대한 검토는 없고 단지 유역으로부터 어느 정도가 유출되고 증가된 침투

유출을 저감시키기 위한 저류지 규모가 어느 정도인가만 평가 대상인 것이다.

발생원에서의 유출량을 줄이고 환경친화적인 물순환체계 구축을 위해서는 저류 및 침투시설 설치가 절실하지만, 재해영향평가 과정에서는 이에 대한 검토가 미미하다. 물론, 협의과정에서 투수성 포장 등 침투시설을 설치할 것을 협의의견으로 제시하고 있으나, 행정적인 구속력을 갖지 못해 협의의견 이행을 기대하기는 곤란한 수준이다. 이는 비단 사업시행자의 인식 부족만을 탓할 수는 없다. 왜냐하면 침투시설을 설치하여 발생원에서의 우수유출량이 감소되더라도 현 제도하에서는 이 감소분을 고려해 주지 않기 때문이다. 즉, 도시지역에 다양한 침투시설을 설치하여 발생원에서의 유출량을 저감시켜도 재해영향평가 협의과정에서의 저류지 규모는 줄어들지 않는다.

이러한 제도적인 한계로 인해 침투시설 등을 설치해 발생원에서의 유출량을 저감시키려는 사업시행자의 노력은 기대하기 힘들다고 할 수 있다. 따라서, 현 재해영향평가 제도를 개선하여 침투시설을 설치할 경우 저류지의 규모를 줄여줄 수 있는 방안을 마련하는 것이 시급하다. 이러한 제도개선을 위해서는 도시지역에 적용되는 침투시설별 투수효과에 대한 계량화가 선행되어야 한다. 즉, 저감시설 설치로 인해 감소되는 유출량에 대한 정확한 평가가 선행되어야 한다는 것이다. 물론 이를 위해서는 저감시설에 대한 장기간의 모니터링이 필수적이기 때문에 단기간에 제도에 반영되기는 어려울 수도 있지만, 신규 도시개발 지역에 시범지역을 지정해 저감시설을 설치하도록 하여 모니터링 시스템을 구축하는 방안도 가능할 것으로 판단된다.

마) 관련규정 및 지방서의 개정

앞서 언급한 바와 같이 우리나라 토목공사 및 택지개발 관련 지방서 및 지침을 살펴보면 지표면에 내린 우수는 저류나 지하침투 과정없이 최대한 빠르게 우수배제시설을 통해 하천으로 유출될 수 있도록 설계하여야 한다. 이로 인해 우수관거 등에는 우수유출 부하가 증가하게 되고 유역의 하류부는 강수시마다 침수의 위험에 노출되곤 한다. 이에 대한 대안으로는 지표면에서의 우수침투를 촉진하여 발생원에서 유출량을 저감시키는 방안이 가장 효과적인 방법이며, 국내 관련 지방서 및 관련규정도 이러한 방향으로 개정되어야 한다.

차량통행에 의한 부하가 크지 않은 도로 및 주차장 등에 대해 투수성 포장을 확대하며, 도로변 L형 측구와 우수받이의 구조를 개선하여 노면배수가 녹지대를 통과한 다음 우수관거로 집수될 수 있도록 하는 방안이 가능하다. 단지내 녹지나 공원, 시설 녹지 등은 도로노면보다 낮게 설계하여 빗물이 유입될 수 있도록 하고, 식생수로를 통해 우수가 우수관거로 유출될 수 있도록 하면 지표면에서 유출되는 유출량 저감과 아울러 지하침투를 통한 오염물질 정화와 지하수 복원을 기대할 수 있을 것이다.

지붕에서 발생하는 지붕우수의 경우도 현재 시방서상에는 직접 우수관거로 유입될 수 있도록 규정하고 있으나, 외국의 사례와 같이 녹지 및 자갈층과 같은 투수층에 유입시켜 지하침투를 촉진하거나, 빗물이용시설에 저류하는 방법에 대한 검토가 요구된다.

바) 수도법 개정에 의한 빗물이용시설 설치대상의 확대

수도법 제11조의3에 의해 빗물이용시설을 의무적으로 설치해야 하는 시설은 종합운동장·실내체육관 등 지붕의 면적이 넓은 시설물 중 지붕의 면적이 2,400㎡ 이상이고, 관람석 수가 1,400석 이상인 시설물이다. 하지만, 이러한 기준을 만족하는 시설물은 국내 대규모 체육시설에 국한되어 있어 실질적인 빗물저류효과 및 유출량 저감효과를 기대하기는 어렵다. 보다 실질적인 저감효과를 거두기 위해서는 기준을 강화해 일정면적 이상의 지붕을 갖는 공공건물 시설은 의무적으로 빗물이용시설을 설치하도록 하여야 한다.

사) 투수성 유출저감시설 설치(안)

2004년 7월 소방방재청에서 투수성 유출저감시설 설치(안)를 제시하였다. 본 설치안은 침투통, 침투트렌치, 침투측구, 투수시멘트 콘크리트 포장, 투수아스팔트 콘크리트 포장, 투수성 보도블럭 등 다양한 안을 구체적으로 제시하였다. 그러나 대부분의 내용을 방재 목적에 한정하여 제안하였다는 한계가 있다. 향후 시설의 설치시 오염저감을 위한 방안에 대해서도 심도있는 검토가 필요하며 설치 목적에 방재 뿐 아니라 수환경관리도 포함시켜 두 목적이 동시에 달성될 수 있도록 고려함이 적절하다.

2. 시설설치 방안

사전 대책에서는 토지이용 계획과정에서 어떻게 기본적인 설계 기법이 개발지에서
의 수문학적인 영향을 최소화하는데 이용될 수 있는지를 알아보았다. 그리고 토지이
용 및 개발관련 각종지침에서의 물순환을 고려할 수 있는 방안도 검토하여 제안하였
다. 여기서는 불투수면으로 형성된 지역에서 구체적인 물순환을 촉진하는 시설의 설
치에 관한 사항을 검토코자 한다.

가. 불투수면 효과 저감을 위한 시설

물순환 촉진시설은 불투수면이 형성된 지역에 인위적인 물순환 환경을 조성하여
발생원 말단에서의 유출을 통제하기 위한 것이다. 시설 설치로 인해 침투에 의한 지
하수 재충전, 유역내 저류나 보류, 식생수로와 완충 띠를 통해 천천히 유출수를 운반
함으로써 오염물질 침전과 포착 등 수질과 수량 측면에서 바람직한 결과를 나타낸다.
구체적인 시설로는 다음과 같은 종류가 있다.

1) 식생체류지

식생체류지(bio-retention)는 얇은 저지대에 저장된 유출수를 식물이나 토양을 이용
하여 처리하고 관리하는 방안이다. 식생체류지 개념은 원래는 1990년대 초 메릴랜드
주 Prince George County의 Department of Environmental Resources에 의해 종래의
BMP 구조물에 대한 대안으로 개발되었다. 이 방법은 물리적인 여과와 생물학적 과정
의 흡착작용이 결합되어 있으며 식생수로, 입구지역에 전처리 여과띠, 얇은 표면수
저수지역, 식생체류지 식재 지역, 토양지역, 하부배수 구조, 월류 및 유출구조 등으로
구성되어 있다.

식생체류지 설계시의 주요 요소로는 전처리지역(웁션), 저수지역, 현장 토질, 조립
재료, 지표면 덮개 층, 입구와 출구 통제, 조립지 토양, 유지관리 등이 있고, 각 요소에
대한 내용은 <표 4-3>에 요약되어 있다.

<표 4-3> 식생체류지 설계 요소

설계요소	내용
전처리지역	많은 양의 식물 잔재물과 쓰러기, 부유 물질이 예상되는 주차장이나 상업지역에 필요함. 초지 완충띠 또는 식생수로는 일반적으로 전처리 장치에 이용된다.
저수	일반적으로 15cm로 제한됨
지표면 커버 지역	8cm의 성숙한 뿌리덮개가 적당
조립토양	깊이=1.2m 토양 혼합에는 모래, 비옥토(loam)의 사질, 사질 비옥토, 진흙 함량≤10%
In-situ soil	침투율≥1.3cm/시간(배수시설 불필요) 침투율≤1.3cm/시간(배수시설 필요)
조립 재료	자생종, 최소한 3종
입구와 출구 통제	침식을 일으키는 속력이 아님(15cm/sec)
유지	일상적인 경관 유지
수문적인 설계	주나 지방청에 의해 결정됨

자료 : Prince George's County Bioretention Manual(ETA, 1993)

2) 건조정

건조정(dry well)은 작은 구덩이에 완두콩 모양의 자갈이나 돌로 채워져 있다. 건조정은 건물의 지붕으로부터의 유출수를 통제하는 데 이용되는 침투체계 기능을 한다. 여기서 유입은 직접적인 지표 유출수의 형태이다. 건조정에서는 흡착, 포착, 여과, 박테리아 분해 등 토양 침투와 관련된 대부분의 처리과정이 일어난다.

<표 4-4> 건조정 설계시 고려사항

설계요소	내용
설계강우	지역에 따른 값 활용
토양 침투력	$\geq 0.7 \sim 1.3 \text{cm/시간}$
저장 시간	3일 이내
뒷채움	여과 포에 의해 둘러쌈 $\leq 8 \text{cm}$
유출수 여과	스크린은 지붕의 홈통에 설치되어야 하고, 그리스, 오일이 떠다닐 수 있는 유기물질과 침전가능한 고형물은 건조정으로 들어가기 전에 제거되어야 한다.
출구 구조	우물의 수용력을 초과하는 지표면위의 지표수 흐름로가 확인되어야 하고 평가되어야 한다. 수로침식이 일어나지 않는 구조이어야 한다.
관측정	10cm의 PVC 관정도로 설치
우물깊이	1~4m
수문학적인 설계	지역에 따라 적정한 수문학적 계수 활용
수질	오염물질 제거능력 자료는 <표 4-10>을 참조
유지	정기적인 모니터링-처음에는 분기마다 그 이후는 해마다 실시

자료 : Maryland Standards and Specifications for Infiltration Practices(MDDNR, 1984);
Maintenance of Stormwater Management Structures, Departmental Summary(MDE, 1986);
그리고 Maryland Stormwater Design Manual(MDE, 1998)

3) 여과띠

여과띠(filter strips)는 일반적으로 뺏뺏하게 자라는 식생의 띠를 말하는데 보통 초지로 되어 있으며 오염원 발생지역과 하류의 방류수계 사이에 만들어 우수유출수 통제 방안을 위한 전처리나 출구로 이용할 수 있다. 저영향개발 단지의 경우, 여과띠는 우수유출수 관리 체계에서 단지 하나의 요소로 보아야 한다. 여과띠 설계시 중요 고려사항은 <표 4-5>와 같다.

<표 4-5> 여과띠 설계 고려사항

설계요소	내용
설계 강우	지역에 주어진 값 사용
배수지역	여과띠에 대한 최대의 배수지역은 투수면의 경우 45m, 불투수면의 경우 23m 지상 흐름 제한으로 제한된다.
경사	최소경사=1.0% 최대경사=현장상황에 따라 달라짐
흐름	지표면 층류만을 통제하기 위해 이용되어야 함
길이와 크기	여과띠의 크기는 요구되는 처리용량에 의해 달라짐, 최소한의 길이로 6m를 추천
수질	여과 띠의 오염물질 제거효능은 <표 4-10>에 요약되어 있음
유지	일상적인 경관유지가 요구됨

자료 : Maryland Standards and Specifications for Infiltration Practices(MDDNR, 1984), Design of Stormwater Filtering Systems(CRC, 1996), 그리고 Maryland Stormwater Design Manual(MDE, 1998)

4) 식생완충지

식생완충지는 식생으로 이루어진 띠로 수체, 습지, 산림지 또는 침식이 잘되는 토양과 같은 민감한 토양 주위에 자연적으로 형성되어 있거나 조성된 것을 말한다. 민감한 지역을 보호하는 것 이외에도 식생띠는 침전물질과 침전물질에 있는 오염물질을 제거하고, 우수유출수를 어느 정도 침투시키거나 넓은 면적으로 흐름을 느리게 분산시킴으로써 우수유출수의 영향을 줄이는데 도움을 준다.

5) 층류흐름 유도장치

층류 유도장치(level spreaders)는 일반적으로 집중된 흐름을 얇은 흐름으로 전환시키거나 출구 침식을 방지하기 위해 경사에 따라 균일하게 유출수를 분산시키는 장치이다. 유도장치의 유형 중 하나는 잘게 부순 돌로 속을 채운 얇은 트렌치이다. 유도장치가 적절히 작용하려면 가장자리가 평평해야 한다. 설계시 고려사항은 우수유출

수가 넓은 표면위에서 일반적으로 2.5cm 이하의 얇은 층으로 이동되도록 하는 것이다. 유도장치는 경사가 완화된 지역에서 잔디지역으로부터 식생체류지 시설과 전이 지역으로 층류를 운반하는데 이용할 수 있고, 주차장이나 기타 불투수면에서 으로부터 침투 지역으로 유출수를 운반하는데도 이용할 수 있다.

출구의 방류지역은 경사가 균일해야 하고 침식에 강해야 한다. 세류와 계류의 형성을 피하기 위해 교란되지 않은 토양에서 유출구를 건설할 때에는 특별한 주의를 해야 한다. 침식위험을 최소화할 수 있는 설계로는 견고한 구조물, 조밀한 초지, 유출량의 흐름을 끊어지게 할 수 있는 소규모 시설물 등이 있다. 층류는 물의 저장과 도달시간을 늘리기 위해 식생지역, 특히 잔디 위를 지나도록 해야 한다.

6) 식생수로

일반적으로 수로란 도로에서 나오는 우수유출수를 운반하는데 주로 사용되는데 것으로 식생수로(grassed channels)와 간단한 배수로가 있다. 단지의 수문상태를 적절히 하는데는 건조수로와 습식수로, 두 가지 유형의 식생수로가 이용된다.

건조수로는 우수유출수 침투를 용이하게 함으로써 수량과 수질을 통제한다. 습식수로는 식생을 이용하여 침투배출을 줄이고 체류시간을 늘려 하류 지역으로 배출하기 전에 오염물질을 처리하는데 사용된다. 일반적으로 습식수로에는 정제된 물에 항상 자라는 내성이 강한 수종식물을 심는다. 이런 시스템은 고속도로 설계에 자주 이용된다. 식생수로에 대한 중요한 설계 고려요소는 <표 4-6>과 같다.

<표 4-6> 식생수로 설계 고려요소

설계요소	내용
설계강우	각 지방에 따라 주어진 값 활용
수로 수용량	설계 강우의 침투 배출을 운반할만한 크기로 만들어야 한다.
토양	토양 침투율은 건조수로 또는 습식수로를 이용할 수 있는지를 결정한다. 건조수로에 이용되는 토양은 시간당 0.7~1.4cm의 침투율을 가진다.
수로 형태	계란형 또는 포물선형태가 좋다
바닥폭	최소한 60cm, 최대한 120cm
옆면 경사	3:1 또는 평평한
수로 세로 경사	최소한 1.0%, 최대한 6.0%
흐름 깊이	수질처리의 경우 10cm
Manning's value	수질처리의 경우 0.15(깊이<10cm); 10~30cm의 깊이에는 0.15~0.03; 30cm 이상의 깊이의 경우 최소한 0.03
유속	수질처리의 경우 30cm/sec; 2년 빈도 강우의 경우 1.5m/sec
수로의 길이	10분 정체 시간에 필요한 길이
수질	식생수로의 오염물질 제거효율은 <표 4-10>에 나와 있음
유지	일상적인 경관 유지 필요

자료 : Maryland Standards and Specifications for Infiltration Practices(MDDNR, 1984), Design of Stormwater Filtering Systems(CRC, 1996), 그리고 Maryland Stormwater Design Manual(MDE, 1998)

㉡ 우수통

우수통(rain barrels)은 비용이 적게 들고, 효과적이면서 쉽게 유지할 수 있는 저류 장치로서 거주지와 상업지, 산업지 모두에 적용가능하다. 표면유출수 파이프는 우수통의 저류 용량을 초과하여 어느 정도의 저류가 가능하도록 한다. 우수통은 유출수를 저장하여 잔디나 정원 관개용수로 이용하는데도 사용된다.

지붕에서 흘러내리는 빗물을 우수통으로 들어가도록 설계할 수 있다. 우수통은 경관상으로도 보기 좋게 만들어 부지의 경관계획이나 집의 정원 또는 지붕설계에 도입

할 수 있는데 주택 정면 각 코너에 위치시켜 눈에 띄지 않도록 설계한다. 낙수홈통과 세로홈통은 지붕에서 내려오는 빗물을 우수통으로 운반하는데 이용된다. 낙수홈통에는 쇠설물에 의한 막힘을 방지하기 위하여 침투 스크린을 설치하여야 한다. 우수통은 빗물관개시스템과 연결이 적합하도록 배수꼭지가 있어야 한다. 큰 강우시 발생할 수 있는 많은 양의 유출수를 우회시킬 수 있도록 표면유출수를 위한 출구도 설치되어야 한다. 우수통은 탈부착이 가능하도록 하고 입구에는 어린이를 보호할 수 있는 덮개와 스크린을 갖추어야 한다. 우수통의 크기는 저장되는 강우의 양뿐만 아니라 통으로 배수되는 지붕 표면 면적에 의해 결정된다. 예를 들어 160리터 용량의 우수통은 약 12m²의 지붕면적에 대한 1.3cm의 유출수를 저장할 수 있다.

8) 저수조

우수유출수 저수조(cisterns)는 지붕에 모인 빗물을 저장하기 위한 지하 저장탱크를 말하며 거주지, 산업지, 상업지에 적용할 수 있다. 상업지 또는 산업단지의 지붕 면적과 배수지역의 불투수면 양에 따라 더 큰 용량의 저수조가 필요할 수 있다. 개별 저수조는 각각의 세로홈통 아래에 위치할 수 있다. 저수조는 관리 및 재배치가 용이하도록 위치시켜야 한다.

9) 침투트렌치

침투트렌치는 지하침투를 촉진시키기 돌을 채운 도랑을 말한다. 우수유출수는 트렌치로 들어가고 토양으로 침투될 수 있을 때까지 대개는 며칠동안 저장된다. 침투트렌치는 실용적인 외형을 가지고 있어서 작은 도시의 배수지역에서 적합하고 설계시 전처리를 고려하면 더 오랫동안 사용할 수 있다. 전처리에는 식생여과 떠나 식생수로와 같은 기법이 포함된다. 침투트렌치의 막힘을 방지하기 위해서는 특히 부지의 건설 활동을 주의해야 한다. 침투트렌치에 대한 중요한 고려사항은 <표 4-7>에 요약되어 있다.

<표 4-7> 침투트렌치 설계 고려사항

설계요소	내용
설계강우	각 지역에서 산정된 값 사용
토양투수성	시간당>0.7~1.4cm
깊이	1~4m
저장시간	3일 이내
뒷채움	<8cm 이하를 여과포로 씌
유출 여과	
여수로	침투트렌치의 용량을 초과하는 지표수 유출의 지표면 위 흐름경로를 확인하고 평가해야 한다. 침식이 되지 않는 흐름 조건을 제공하기 위한 장치를 포함하여 안정화된 수로 또는 물의 경로를 유도하는 월류시스템이 갖추어져야 한다.
관측정	잠금장치가 있는 뚜껑 설치, 10cm PVC로 설치
수문학적 설계	지역의 특성을 반영해 결정
수질	오염물질 제거능력 자료는 <표 4-10>을 참조
유지	정기적인 모니터링 : 첫해는 분기별로 그 이후에는 1년에 한번

자료 : Maryland Standards and Specifications for Infiltration Practices(MDDNR, 1984), Maintenance of Stormwater Management Structures; A Departmental Summary(MDE, 1986), Maryland Stormwater Design Manual(MDE, 1998)

10) 기타 관리 방안

우수유출 억제시설은 비교적 새로운 개념이다. 앞으로도 추가적인 시설개발과 우수관리 방안이 많이 개발될 것이고 이러한 방안들을 이용하면서 개선이 있을 것으로 예상된다. 현재 개발 중인 방안으로 흥미있는 것 중의 하나가 지붕녹화기법이다. 지붕녹화는 독일의 Strodthogff & Behrens이 개발했는데 미리 재배된 식물 매트를 이용하는 것으로 다음과 같은 장점이 있다.

- 공기질의 개선(먼지 입자의 85%까지 공기를 거르는 역할을 할 수 있다)
- 자연적인 증산활동을 통하여 대기 중의 온도를 낮추고, 습도를 높일 수 있다.
- 연중 강우의 30~100%를 저장할 수 있어 우수배수관과 세류를 줄일 수 있다.

○ 녹색 지붕으로 경관이 보다 아름다워질 수 있다.

나. 저감시설의 선정과 설계 절차

시설설치와 같은 구조적인 방법을 통해 불투수면의 영향을 저감시키고자 하는 것은 단지 개발 이전의 유출량을 유지하게 할 수 있게 하기 위함이다. 이때의 적합한 관리 시설로는 식생체류지, 건조정, 필터/완충지 띠와 기타 다기능적인 경관 지역, 식생수로, 식생체류지, 우수통, 저수조, 침투트렌치 등이 있다. 이들 시설의 선정과 설계는 필요한 수문상황 분석, 제한인자 평가, 대안에 대한 스크린, 다양한 배치로 대안시설 평가, 배치와 설계 선정, 필요시 기존 방안 보완 등의 단계를 거쳐 결정된다.

1) 필요한 수문상황 분석

시설설치는 단지의 수문체계를 개발 이전의 상태가 되도록 하여 개발이전의 유출량, 침투유출율, 빈도를 유지하기 위함이므로, 시설의 선정과 관리는 배출수의 빈도와 양, 침투, 지하수 재충전과 같은 수문적인 기능을 고려하여 이루어져야 한다. 여기에는 유출량, 침투배출, 배출의 기간과 빈도, 지하수 재충전, 수질 요소 등이 포함한다.

2) 단지의 가능성과 제한인자 평가

각각의 단지는 독특한 성격을 지니고 있으므로 통제 가능성도 각각 다르다. 따라서 단지의 가능성과 제한인자에 대한 평가가 있어야 한다. 예를 들어 단지 위치는 저감 시설 설치가 용이하도록 이용가능한 공간, 침투 특성, 경사와 같은 물리적 조건들이 갖추어져야 한다. <표 4-8>은 저감시설에 필요한 요소들을 요약한 것이다.

<표 4-8> 저감시설의 고려요소

	식생채류지	건조정	필터/완충띠	식생수로(초지, 습지)	우수통	침투트렌치
필요한 공간	최 소 표 면 적:5-20m ² 최소폭:13-39m 최소길이:3-6m 최 소 깊 이 : 0.6-1.2m	최 소 표 면 적:0.8-1.8m ² 최 소 폭 :0.6-1.2m 최 소 길 이 : 1.2-3.2m 최 소 깊 이 : 1.2-3.2m	최소 4.5-6m	바닥 폭: 최소 0.6, 최대 1.8m	제한인자가 아님	최 소 표 면 적 : 0.8-2m ² 최소폭: 0.6-1.2m 최 소 길 이 : 1.2-3.2m
토양	침투율이 시간당 0.7cm 이상인 침투가능 토양이 좋음. 토양제한은 지하배수를 이용하여 극복	침투율이 시간당 0.7cm 이상인 침투가능한 토양이 좋음	침 투 가 능 한 토양은 더 잘 수행하나 토양은 제한이 되지 않음	흡수가능한 토양은 좀 더 나은 수행력을 제공한다. 그러나 토양 제한은 없다. 식생수로, 초지 또는 습지의 유형 선정은 토양에 의해 영향 받음	제한인자가 아님	시간당 1.3cm이상의 침투율을 가진 흡수가능한 토양 권장
경사	일반적으로 제한은 없으나 설계를 고려해야 한다	일 반 적 으 로 제한은 없다. 그러나 설계를 고려한다. 빌딩과 건물기초의 아래에 위치해야 한다	일 반 적 으 로 제한 없 으 나 설계를 고려해야 함	식생수로 측면경사: 3:1; 평평한 경사: 최소 1% 최대한 허용할 수 있는 유속에 근거한 최대	일반적으로 제한인자가 아님	일반적으로 제한요건이 아니다. 그러나 설계요건을 고려해야 한다. 건물과 건물기초의 아래 방향으로 위치해야 한다.
지하수위	지하수위/기반암(bedrock) 위의 0.6-1.2m 별목 권장	지하수위/기반암 위의 0.6 - 1.2 m clearance권장	일 반 적 으 로 제한인자가 아님	일반적으로 제한인자는 아님	일반적으로 제한인자가 아님	0.6 - 1.2 m clearance
건물기초접근성	건물과 건물기초로부터 최소한 3m거리 권장	건물과 건물기초로부터 최소한 3m거리 권장	건물과 건물기초로부터 아래 방향으로 최소 3m거리 유지	빌딩과 건물의 기초에서 아래 방향으로 최소한 3m거리가 권장됨	일반적으로 제한인자가 아님	건물과 건물의 기초로부터 아래 방향으로 최소한 3m거리 권장
최대 깊이	토양유형에 따라 0.6-1.2m	토 양 유 형 에 따라 1.2-3m 깊이	적용할 수 없음	적용가능하지 않음	적용가능하지 않음	토양 유형에 따라 1.2-3m 깊이
유지	낮은 요건, 단지 경관 유지에서 포함가능	낮은 요건	낮은 요건 일반적인 경관 유지	낮은 요건 일반적인 경관 유지	낮은 요건	중간에서 높음

단지 설계자는 저감시설을 선정할 때 다음과 같은 요소들을 고려하거나 평가해야 한다.

- 공간/부동산 요건 : 우수관리에 필요한 공간의 양을 항상 고려한다. 저감시설은 단지내에서 분산 배치될 수 있기 때문에, 반드시 분리된 지역을 확보해놓을 필요는 없다.
- 토양 : 토양과 하층토의 상태는 단지의 계획과정, 수문학적 고려, 적절한 저감시설의 선정을 포함하여 LWE기술의 모든 면에서 중요한 고려사항이 되어야 한다. 저감시설의 선정 및 도입에서 소규모 관리를 활용하면 토양으로 인한 제약을 상당히 극복할 수 있다.
- 경사 : 기존의 우수관리에서 경사는 제한인자가 될 수 있다. 그러나 소규모로 분산된 저감시설을 적용한다면 경사는 제한인자가 아니라 단순히 수문적인 기능을 하는 경관계획에 통합되는 설계요소가 된다.
- 지하수면 : 수위가 높아지면 단지 계획과 우수유출수 관리의 모든 면에서 특별한 주의가 필요하다. 일반적으로 지하수면은 계절 중 가장 높은 지하수면이 저감시설의 바닥과 사이가 0.6~1.2m정도는 떨어져 있어야 한다. 또한 지하수의 오염가능성이 있는 지역을 고려해야 하며 특히 도시내 오염물질과 관련된 위험지역인 경우는 더욱 주의해야 한다.
- 건물토대와의 접근성 : 건물과 기타 구조물의 토대에 너무 근접하여 침투 저감시설을 위치시키지 않도록 주의한다. 고려사항으로는 거리, 깊이, 경사 등이 있다.
- 최대 깊이 : 소규모 관리 방안에서 깊이는 그다지 주요 관심가는 아니다. 예를 들어 식생체류지 한 칸의 깊이는 보통 15cm면 된다. 식재지역의 경우에는 0.6~1.2m의 깊이가 필요하다.
- 유지비용 부담 : 기존의 우수관리방법에서는 유지비용이 초기 건설비용과 비슷하거나 이보다 더 높아 지방정부나 지역사회에 상당한 부담이 되었다. 이에 비해 현재의 많은 저감시설 유지비용은 일반적인 경관유지 비용보다 약간 높은 정도이다. 게다가 이 비용에 대한 책임은 보통 각각의 토지 소유자에게 있다.

3) 대안에 대한 스크린

단지의 가능성과 제한인자의 평가에 기초하여 이용가능한 방안을 비교한다. 특정 단지에 이용가능하지 않거나 적절치 않은 저감시설은 더 이상 고려하지 않는다. 대안 스크린에는 단지의 제한인자와 <표 4-9>에서 명시된 수문과 수질 기능을 고려한다.

<표 4-9>는 저영향 개발관리방안의 수문기능에 대한 평가를 보여주고 있고, <표 4-10>은 저영향개발 IMP에 의한 수질 편익을 요약한 것이다. 저영향 개발의 우수관리가 단순한 선택의 문제가 아니라는 사실을 인식하는 것이 중요하다. 오히려 이는 통합계획이고 설계 과정이라고 할 수 있다. 이미 기술된 단지 계획과정은 저영향 개발 우수 관리 개념의 중요한 요소이며 필수적인 요소이다.

<표 4-9> 저영향 개발통합관리방안(저감시설)의 수문학적 기능

수문적인 기능	PMP						
	식생 체류지	건조정	여과/ 완충	식생수로	우수통	웅덩이	침투 트렌치
차단	H	N	H	M	N	N	N
일시저류	H	N	H	H	N	N	M
침투	H	H	M	M	N	N	H
지하수 재충전	H	H	M	M	N	N	H
유출량	H	H	M	M	L	M	H
침투유출	M	L	L	M	M	M	M
유출빈도	H	M	M	M	M	M	M
수질	H	H	H	H	L	L	H
기저유량	M	H	H	M	M	N	L
하천 질	H	H	H	M	N	L	H

H=높음 M=중간 L=낮음 N=없음

자료 : CRC, 1996; Davis et al. 1997; Urbonas &Stahre, 1993; Yousef et al., 1985;
Yu et al., 1992; Yu et al., 1993에서 재작성

<표 4-10> 저감시설의 오염물질 제거 능력

PMP	총부유고형물	총인	총질소	아연	납	BOD	박테리아
식생체류지	-	81	43	99	99	-	-
건조정	80~100	40~60	40~60	80~100	80~100	60~80	60~80
침투트렌치	80~100	40~60	40~60	80~100	80~100	60~80	60~80
필터/ 완충식생대	20~100	0~60	0~60	20~100	20~100	0~80	-
식생수로 된 수로	30~65	10~25	0~15	20~50	20~50	-	Neg.
침투수로	90	65	50	80~90	80~90	-	-
습식수로	80	20	40	40~70	40~70	-	-
Rain Barrel	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
웅덩이	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

자료 : CRC, 1996; Davis et al. 1997; Urbonas&Stahre, 1993; Yousef et al., 1985;
Yu et al., 1992; Yu et al., 1993에서 재작성

4) 다양한 형태의 대안 시설평가

다양한 대안 시설을 확인한 후에는 단지 곳곳에 이를 배치한 후 수문통제 목표를 충족시키는지를 검토할 필요가 있다. 일반적으로 첫 설계 시도에서는 수문통제 목표가 제대로 충족시키지 못하고 과대평가되거나 과소평가되는 경향이 있다. 따라서 수문통제 목표가 적정화될 때까지 반복해서 저감시설의 수와 규모를 조정해야 한다.

5) 선호되는 형태와 설계의 선정

일반적으로 설계과정을 반복하면서 식생체류지 구조물, 우수통, 웅덩이, 건조정, 침투트렌치, 식생수로 등 단지에서 가능한 저감시설의 형태와 수를 확인해 볼 수 있다. 공간 요건, 단지 경관, 건설비용과 같은 설계요소를 고려하여 합리적인 비용으로 수문통제를 할 수 있도록 저감시설을 선택하고 조합할 수 있어야 한다.

6) 필요시 기존 방안 도입 설계

저감시설을 이용해도 여러 가지 이유로 해당 단지에서 수문목표를 달성할 수 없다

면 기존의 관리 방안을 추가할 수 있다. 상업이나 산업단지처럼 토지를 매우 집약적으로 이용하거나 지하수위의 압력이 높거나 또는 암반이 단단하거나 토양의 침투력이 낮은 경우에 설치된 저감시설만으로는 수문설계의 목표, 특히 침투유출 기준을 충족시키지 못할 수 있다. 이럴 때는, 저감시설 외에 부가적으로 기존의 관리방법, 저류지, 보류지 등을 설치할 수 있다.

다. 우수유출 저감시설의 도시지역 적용

여기서는 불투수면이 가장 많은 도시지역에 적용가능한 저감시설과 관리방안을 제시하고자 한다.

1) 적용가능한 우수유출수 저감시설의 종류

도시 지역에 설치된 우수유출수 저감시설은 <표 4-11>에서와 같이 우수를 일정시설에 일시적으로 저장하였다가 홍수가 지난 후 방류하는 저류형 시설과 우수가 지표면이나 배수로로 통해 흐를 때 지하로 스며들게 하는 침투형 시설로 크게 구분할 수 있는데, 이는 저류 또는 침투과정에서 오염물질이 침강 또는 여과되어 제거되는 원리이다. 저류형 시설은 다시 빗물이 떨어지는 지점에서 소규모 단위로 처리하는 지역내 저류와 유역내 분할된 일정 소유역의 출구나 유역 출구에 유수지, 저류지 등을 설치하여 유출수를 저장하는 지역외 저류로 다시 세분된다.

지역내 저류 시설은 공원, 학교운동장, 광장과 같은 공공시설, 공동주택의 동과 동사이, 주차장 등에 설치할 수 있고 단독주택인 경우에는 지상화단이나 우수관거 유입이전 지점에 소규모 저류효과를 나타낼 수 있도록 설치할 수 있다. 이런 시설물들은 빗물이 흐르거나 저장시에 지하침투를 유도하여 저류와 침투가 동시에 가능한 방향으로 발전하고 있다.

미국이나 유럽과 같이 땅이 넓은 지역에서는 유수지, 저류지와 같은 지역외 저류시설이 많이 발달되어 있으며, 일본의 경우에는 지역의 저류시설도 함께 활용하지만 땅값이 비싸 침투형 시설물과 지역내 저류시설을 최대한 활용하고 있다. 침투형 시설물

은 기존의 침투가능 지역 즉, 집 앞의 뜰, 공원, 녹지 등을 이용하여 침투율을 높이는 방법과 보도, 주차장 등 기존의 불투수면을 투수성 재료로 포장하여 지속적인 침투가 가능토록 하는 방법들이 있다. 또한, 우수관거로 유입된 빗물이 수로를 따라 흐를 때 지하 침투가 최대한 발생할 수 있도록 유도하는 침투트렌치, 침투측구, 침투통 등의 시설물도 이에 속한다.

<표 4-11> 우수유출저감시설의 종류

적용기술 유형		저 감 시 설
저류형	지역외 저류형	· 다목적 우수지 · 치수녹지 · 우수녹지 · 방재조절지
	지역내 저류형	· 대규모 택지개발에 따른 저류지 · 공원 저류시설 · 운동장 저류시설 · 광장 저류시설 · 주차장 저류시설 · 주택간 저류시설 · 주택내 저류시설
	저류침투형	· 공공시설용지 저류시설 · 저류침투조 · 침투우물
침투형		· 침투지 · 침투트렌치 · 침투측구 · 침투통 · 침투성 포장

<표 4-12> 도시지역내 시설별 적용가능한 우수유출저감시설

시 설	적용 가능한 우수유출저감시설
단독주택	침투통
공동주택	침투성 포장 + 침투통 + 침투트렌치 + 침투측구 + 지붕우수 저류시설
공원	침투통 + 침투트렌치 + 침투측구
주차장	침투성포장 + 침투통 + 침투트렌치 + 침투측구
공공시설	침투성 포장 + 침투통 + 침투트렌치 + 침투측구 + 지붕우수 저류시설
학교	침투통 + 침투트렌치 + 침투측구 + 지붕우수 저류시설
도로	침투통 + 침투트렌치 + 침투측구

2) 도시지역 우수유출 저감시설의 적용

가) 우수유출 저감시설 선정시 고려사항

도시지역에서의 효율적인 우수유출 저감시설 선택시는 현재의 지리적, 제도적, 기술적 여건을 고려하여야 한다. 또한 선택된 시설이 원하는 수준까지 유출량을 저감시키는지, 도시지역에 적용하는데 토지확보가 가능한지, 빗물을 처리하는데 있어서 최

적의 배수지역인지, 지하수위에 의한 영향이 없는지, 시설에 대한 주민의 수용여부에 문제가 있는지 등을 선별단계에서 고려하여야 한다.

도시지역에서 우수유출 저감시설 적용시 고려할 사항은 시설의 우수유출 저감효과 뿐만 아니라 시설설치에 필요한 부지면적과 주민의 수용여부 등이다. 이러한 측면을 고려할 때 저류시설은 부지소요가 크고 주민의 수용여부가 불투명해 도시지역에 적용할 경우는 면밀한 검토가 필요하다. 저류시설과 침투시설은 우수유출 저감효과와 아울러 비점오염원의 정화효과도 기대할 수 있기 때문에 추천되고 있긴 하지만, 시설 설치에 필요한 부지면적이 커 기존 도시인 경우 새로이 설치하기에는 무리가 있다. 이와 같은 경우에는 기존 시설을 최대한 활용할 수 있는 방안을 모색하여야 하며, 빗물펌프장의 유수지와 수해방지를 목적으로 설치된 저류지가 대상이 될 수 있다.

유수지와 저류지는 기존 도시지역에 대부분 설치되어 있는 시설이며, 침수피해가 우려되는 수준의 강우강도를 설계기준으로 하고 있어 대부분의 강우시에는 이용되지 않는 실정이다. <표 4-13>는 최근 5년간의 서울지역 연중 강우특성을 분석한 결과인데 연중 내리는 비의 85% 가량이 20mm 미만의 강수량을 보이고 있음을 알 수 있다. 따라서 관거구조 등을 변경하여 설계기준 이하의 강수량에 대해서도 유수지에 저류시킬 수 있도록 한다면 상당한 유출저감 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 빗물펌프장의 유수지를 활용하는 방안은 중랑하수처리장에 시범 도입된 사례를 참조하여 기존 관로체계를 개선하는 방안이 가능할 것이다.

<표 4-13> 국내(서울) 강우사상의 강수량 분포 특성

년도	연중 강수일수 (일)	20mm 이상 강수일수 (일)	20mm 이상 강수일수의 비율	최대 일강수량 (mm)	연강수량 (mm)
평균	137	20	14.8 %	202.6	1,541
1999	121	22	18.2 %	261.6	1,733
2000	148	17	11.5 %	122.9	1,187
2001	134	19	14.2 %	273.4	1,386
2002	137	18	13.1 %	178.0	1,388
2003	143	24	16.8 %	177.0	2,012

나) 우수유출 저감시설 적용단계

도시지역에 우수유출 저감시설 적용시에는 비용부담 등을 고려하여 단계별로 시행하여야 한다. 먼저, 현재의 시방서와 관련 규정에 크게 위배되지 않고, 공사비 부담이 크지 않으며, 수리·수문학적으로 간단하고, 시공이 용이한 방법이어야 하며, 투수성 포장, 식생형 수로, 자갈수로 등의 집수시설을 우선 적용한다. 다음 단계로는 기존의 배수시설 외에 추가적으로 설치되는 배수시설 또는 기존 배수시설에 침투유공관, 침투정과 같이 배수기능이 추가되는 배수시설로서, 공사비용은 상승하나 수리와 수문에 관한 기술적인 문제가 없고 약간의 유지관리가 필요한 침투집수정, 투수지, 침투트렌치와 같은 지중 배수시설을 적용한다. 지하저류조와 같이 기존의 배수시설 외에 추가로 설치되는 배수시설로서, 공사비 상승이 크고 저류시설내 수질유지 등을 위해 유지관리 비용도 큰 시설은 최종적으로 검토되어야 할 시설이다.

다) 우수유출 저감시설 적용시 고려사항

우수유출 저감시설 적용시에 고려할 사항으로는 수류(水流)에 의한 침식, 침수에 의한 식물고사, 지반지지력 약화, 모기 등 해충서식 방지, 수질정화 등이다. 우수유출 저감시설에서 빗물에 의한 침식이 발생할 수 있기 때문에 유속이 빠른 곳, 선형이 급하게 변하는 곳, 낙수가 떨어지는 곳, 우수의 유입부 또는 유출부 등과 같이 유출수에 의해 토양이 침식될 가능성이 있는 곳에는 식재를 하거나 침식에 견딜 수 있는 재료로 처리한다. 내침식성을 높여주기 위한 방법으로는 식물피복, 자갈포석, 판석깔기, 자연석 놓기 등이 있으며, 침식이 심한 곳은 콘크리트 포장을 하고 식재지역이 장기간 침수되어 있을 경우 식재가 고사할 우려가 있으므로 일정기간 이상 침수되어 있지 않도록 한다. 잔디는 최소 5일, 최대 20일 이상 침수시 고사한다.

장기간 토양이 침수되어 있을 경우 과도한 수분함수에 의한 토양의 지지력 약화로 산사태 및 구조물의 안정성 확보가 우려된다. 따라서 산사태 위험지역, 급경사지는 피하고 주변건물의 안정성을 확보할 수 있는 지역에 설치한다.

도시지역에 침투 및 저류시설 설치시 반드시 고려할 사항 중 하나가 모기 등 해충서식에 대한 우려이다. 해충번식을 방지하기 위해서는 체류시간이 10일 이상 되지 않

도록 하고, 수면에 그늘을 조성하여 수온을 낮추고, 정기적인 배수와 방제를 실시하며, 저류되어 있는 빗물의 적정 수질을 확보하는 방안이 수립되어야 한다.

3) 우수유출저감시설의 유지관리 방안

침투시설의 유지관리상의 문제점은 빗물과 함께 유입되는 토사에 의해 침투시설의 공극이 막혀 침투능이 저하되는 것이다. 이를 방지하기 위한 토사유입 방지대책이 제시되고 있으나, 공극부가 막히는 문제에 대한 충분한 대책이 되지는 못하고 있다. 침투조 및 침투통 시설은 침투능을 고려하여 일정 주기마다 침투성 충전재를 교환해 주어야 하며, 투수성 포장에 대해서는 주기적으로 투수성 포장면을 고압세정하여 줌으로써 적정 수준의 침투능력이 유지되도록 하여야 한다. 저류형 시설의 경우도 주기적으로 침전물을 제거하여 저장용량의 감소를 방지하고 저류와 침투기능을 겸하는 경우는 저류능과 침투능이 손상되지 않도록 관리하여야 한다.

제5장 결론 및 정책제언

유역의 각종 토지이용행위가 각 사업별로 추진됨에 따라 유역전반에 미치는 영향에 대한 대처가 미흡하여, 유역 전체의 물순환 장애를 가져와 결국에는 유역의 수질, 수량, 생태에 악영향을 끼치고 있다. 이와 같은 유역의 수환경 문제는 유역의 토지이용과 직접적인 관련이 있으며 각국에서는 이의 완화를 위해 다양한 유역관리 대책을 강구하고 있다. 본 연구에서는 유역의 수환경에 가장 큰 영향을 미치는 유역관리지표로 불투수면 비율을 제시하였고, 이를 유역관리지표로 적용하는 방안을 제안하였다. 유역의 불투수면이 증가하면 물순환계 장애가 심화되어 유출율 증대, 홍수도달시간 감소, 침투유출량 증가, 지하침투량 감소, 비점오염원 유출 증가 등의 문제가 발생한다. 이처럼 물순환 장애 및 비점오염 유출을 저감하기 위해 유역의 불투수면을 적절히 관리할 필요가 있으며 이를 위한 제언은 다음과 같다.

1) 물순환을 유역관리 관점에서 고려

도시화가 현저한 지역에는 하천 및 하수도의 정비에 의한 우수배제뿐 아니라 우수의 유출을 제어하는 것이 효과적이고 이를 위해 주민을 포함한 유역전체 차원에서 물순환을 고려한 관리가 중요하다. 개별 필지의 토지가 합쳐 유역이 이루어지므로 각 필지별 우수관리는 전체 유역차원에서 검토해 유역의 물순환이 합리적으로 형성되도록 관리하여야 한다. 이를 위해 민간 소유의 각 필지도 유역 전체의 물순환에 미치는 영향을 검토하고 필요시 주민의 협력을 얻어 민간 소유지내에 우수관리시설 설치를 촉진하는 방안 등도 강구할 필요가 있다.

2) 토지이용계획시 우수침투시설 설치기준 등 마련

불투수면적의 감소를 위해서는 토지를 자연상태로 유지하는 것이 최선의 안이지만 각종 경제활동을 고려한다면 도시지역에서는 불가능 일이다. 따라서 경제활동이 왕성하게 일어나는 도시지역인 경우에는 인위적으로 형성된 불투수면을 저감하기 위한 다양한 방안이 강구되어야 한다. 가장 대표적인 것이 침투시설을 설치하는 것으로 여

기에는 이미 실용화된 많은 기술이 있다. 이와 같은 지하 침투기술은 지역의 토지, 경사 등 지형, 지질, 수문 조건 등에 따라 상이하므로 각 지역의 특성을 반영한 기술과 설치기준이 개발되어야 한다. 단순한 침투시설 설치가 아니라 당해지역의 기후와 지형여건을 반영해 최적의 기술을 마련하여 각 공사자에게 적용토록 하여야 할 것이다. 이를 위해서는 우선 각종 토지특성과 이용특성을 고려한 한국형 침투시설에 대한 설치기준 등이 마련되어야 할 것이다.

3) 도시 물순환 회복을 통한 도시침수 방지

도시 물순환 회복을 통해 도시에서 발생하는 홍수총량을 감소시키는 대책으로 우수침투와 자연지의 보전, 지붕우수의 이용 등과 우수저류에 의한 홍수대책으로 대규모 지하저류지의 설치 등의 대책도 있다. 하수도에 의한 우수대책은 도시 확대 등에 의한 불투수면 증가에 의해 대도시지역을 중심으로 침수피해에 대한 대응력이 약화되고 있으며 특히 국소 폭우피해가 빈발하고 있다. 따라서 침수에 대한 안전성을 향상시키고 피해 잠재력이 큰, 불투수율이 높은 지역에 대한 침수차원의 대책사업도 고려할 필요가 있다. 최근 도시지역 하천유역에서 침수피해가 빈발하고 시가화의 추진에 의한 침수피해 방지가 곤란해진 것을 감안하여 도시물순환 회복을 통한 도시침수 방지 방안도 적극 고려하여야 한다.

4) 하수도 개선사업에서 우수침투 시설 등 보완

강우시 미처리 하수가 공공용수역으로 방류되는 합류식 하수도는 공중위생상, 수질오염방지상 특히 문제가 된다. 이를 개선하기 위해 하수관거개선사업을 2003년부터 시작하였고, 특히 지속적인 추진을 위해 하수관거정비장기계획을 수립해 추진하고 있다. 하수관거 정비시 우수 및 오수분리관 설치, 외부불명수 유입차단, 차집관거 설치, 불량관거 개보수 등이 주로 이루어지고 있으나 강우시 유출되는 미처리하수의 일시 저류 및 처리, 저류조 설치 등 우수 유출을 억제하기 위해 지역실정에 적절한 우수유출관리 및 비점오염원 처리시설의 도입도 검토함이 바람직하다. 즉, 지역특성에 따라 관거개선사업을 실시하되 우수에 대해서는 침투측구 등의 우수침투시설 및

우수저류 및 침투 등을 통해 우수유입량을 저감하기 위한 방안을 마련하여야 한다.

5) 우수순환을 고려한 토지이용 계획

토지이용계획시부터 물순환을 고려할 경우 자연자원과 생태계 건전성을 유지할 수 있음과 동시에 지표수와 지하수의 수질을 보호하여 방류수계의 물리적 완전성을 보전하는데 도움이 된다. 이를 위해 불투수면과 연계된 물순환 관련 요소를 토지이용시부터 고려하여 새롭고 다양한 관리방안을 개발함과 동시에 경제적으로 타당하고 환경적인 설계가 되도록 하여야 한다. 이러한 단계는 첫 번째 단지 설계를 통하여 단지 개발에 의해 만들어진 수문학적 악영향을 최소화하는 것이다. 수문 기능 교란의 경우, 사후관리식 방안보다는 해당지역에서의 원인제거를 통해 교란을 사전에 방지하도록 하여야 한다. 이러한 접근 방법은 개발단지와 유역의 중요한 수문 기능을 보존하고 유지하여 수문학적으로 바람직한 물순환시스템이 구축되도록 한다.

6) 수환경 관련 각종 지침의 보완

불투수면 증가에 적극 대처하기 위해서는 불투수면을 증가시키는 도시개발 관련 시방서 및 규정이 개선되어 제도적인 뒷받침이 이루어져야 한다. 현재 지표면에 내린 빗물의 집수와 배제를 우선으로 하는 관련 규정을 개정하여 지표면의 빗물이 직접 우수받이로 유입되지 않고 주변의 녹지 등 투수성 지역을 통과하도록 함으로써 유출량 저감과 아울러 우수침투에 의한 지하수 함양을 기대할 수 있다. 또한, 시범적으로 일부 지역에 적용되고 있는 투수성 포장을 확대 시행하여 차량통행에 의한 하중이 크지 않은 자전거도로 및 주차장, 단지내 도로 등에 확대 시공하는 방안도 검토하여 각종 지침에 반영해야 한다.

도시개발에 따른 홍수피해 등을 저감하기 위해 실시하는 재해영향평가에서도 발생원에서 유출량을 저감시킬 수 있는 방안이 반영되어야 한다. 현재의 재해영향평가 평가서 내용을 보면 홍수유출량을 적정하게 산정하였는지와 증가된 침투유출의 저감시설로 설치되는 저류지의 규모가 제대로 산정되었는지의 여부에 대해서만 검토가 이루어지고 있는 실정이다. 우수침투시설의 설치가 협의 의견으로 제시되긴 하지만, 침

투시설 등을 설치한다고 해도 저류지의 규모 결정시 침투시설 설치에 따른 유출량 저감을 고려해 주지 않기 때문에 실효성을 기대하기는 어렵다고 할 수 있다. 따라서 재해영향평가 협의시 이에 대한 고려가 있어야 하며, 이를 위해서는 각 시설의 우수 유출저감효과를 계량화하기 위한 장기적인 모니터링이 수반되어야 한다.

우기에는 침수피해, 건기에는 용수부족의 순환을 되풀이하고 있는 우리나라 도시 지역의 왜곡된 물순환 체계를 복원하기 위한 가장 효과적인 방법은 빗물을 적절히 이용하고 관리하는 것이다. 특히 발생원에서 유출량을 저감시킬 수 방안이 적극적으로 검토되어야 하며, 지침, 시방서 등 관련 규정의 개정에 따른 제도적인 뒷받침이 있어야 한다.

참 고 문 헌

- 건설교통부. 1988. 도시계획도로의 계획 및 설계기준.
- 건설교통부. 1989. 도로안전시설 설치편람.
- 건설교통부. 1995. 도로의 구조·시설기준에 관한 규정 및 해설지침.
- 건설교통부. 1996. 도로교표준시방서.
- 건설교통부. 1998. 도로부대시설 배수시설·안전시설편.
- 건설교통부. 1998. 주택건설전문시방서.
- 건설교통부. 1999. 건축공사표준시방서.
- 건설교통부. 2003. 도시관리계획수립지침.
- 대한주택공사. 2002. 2002 토목설계지침.
- 소방방재청. 2004. 투수성 유출저감시설 설치기준.
- 이승복. 2004. “독일의 환경친화적 빗물이용 현황”. 「국토」 통권 276호. 국토연구원.
- 최지용, 장수환. 2003. 유역관리 효율화를 위한 불투수면 지표 개발과 적용(I). 한국 환경정책·평가연구원.
- 한국토지공사. 2001. KOLAND형 단지설계기법.
- 한국토지공사. 2002. 재해영향평가 업무편람.
- 國土交通省 都市環境部(<http://milt.go.jp/crd/city/>). 2003.
- 流出機構の定量的解明 研究會. 2000年 12月. 都市小流域における雨水浸透. 都市域における水環境系の定量化手法-水環境系の再生に向けて.
- 下水道・流域管理小委員會. 2003年 4月. 「今後の下水道の整備と管理及び流域管理のあり方はいかにあるべきか」. 社會資本整備審議會, 都市計劃・歴史的風土分科會, 都市計劃部會.
- American Farmland Trust. 1995. *Alternatives for Future Urban Growth in California Central Valley: The Bottom Line for Agriculture and Taxpayers*. American Farmland Trust. Washington, D.C. p.129.

- Baldi H. Baltagi, 1996. *Econometric Analysis of Panal Data*. John Wiley & Sons LTD. West Sussex. England.
- Center for watershed Protection(CWP). 1998a. *Nutrient Loading From conventional and environmental Site Development*. Ellicott City, MD. p.96.
- Center for watershed Protection(CWP), 1998b. *Better Site design: A Handbook for Changing Development Rules in Your Community*. Ellicott City, Maryland. p.202.
- Conservation Fund. 1999. *Pilot Conservation Development Evaluation System*. Great Lakes Office.
- CRC. 1996. *Design of Stormwater Filtering Systems*.
- Davis, A., M. Shokouhian, H. Sharma and C. Minami. 1998. *Optimization of Bioretention for Water Quality and Hydrological Characteristics. Final Report: 01-4-31032*. University of Maryland Department of Civil Engineering, Prince George's County Department of Environmental Resources. Landover, MD. p.237.
- ETA. 1993. *Prince George's County Bioretention Manual*.
- Frank, J. 1989. *The Costs of Alternative Development Patterns: A Review of the Literature*. The Urban Land Institute. Washington, D.C. p.46.
- Liptan, T. and C. Brown. 1996. *A Cost Comparison of Conventional and Water Quality-based Stormwater Designs*. City of Portland, Portland OR.
- Maurer. 1996. G. *A Better Way to Grow: For More Livable Communities and a Healthier Chesapeake Bay*. Chesapeake Bay Foundation. Annapolis, MD. p.24.
- MDDNR. 1984. *Maryland Standards and Specifications for Infiltration Practices*.
- MDE. 1986. *Maintenance of Stormwater Management Structures*. Departmental Summary.
- MDE. 1998. *Maryland Stormwater Design Manual*.
- National Association of Homebuilders. 1986. *Cost Effective Site Planning*.

- Washington, D.C.
- Nerenberg, S. and K. Freil. 1999. *The Conservation Development Evaluation System (CeDES): Evaluating Environmentally Friendly Developments*. Land Development Fall. pp.22-28.
- Porter, D., P. Phillips, and T. Lassar. 1988. *Flexible Zoning: How it Works*. Urban Land Institute, Washington, D.C. p.200.
- Schueler, T. 1987. *Controlling Urban Runoff: A Practical Manual for Planning and designing Urban BMPs*. Metropolitan Washington Council of Governments. Washington, D.C.
- Schueler, T. 1994. "The Importance of Imperviousness." *Watershed Protection Techniques* 1(3): 100~111.
- SMRC. 2003. *The Practice of Watershed Protection*. Stormwater Manager's Resource Center(<http://www.stormwatercenter.net>).
- Stankowski, S.J. 1975. *Population Density as an Indicator of Urban and Suburban Land-Surface Modification*. USGS Professional Paper 800-b:B224.
- Urban Land Institute. 1988. *Density by Design*. J. Wetling and L. Bookout, editors. Urban Land Institute. Washington, D.C.
- Urbonas, B. and P. Stahre. 1993. *Stormwater Best Management Practices and Detention for Water Quality, Drainage, and CSO Management*. PTR Prentice Hall. Englewood, NL. p.460.
- Yousef, Y, M. Wanielista, H. Harper, D. Pearce and R. Tolbert. 1985. *Best Management Practices-Removal of Highway Contaminants by Roadside Swales*. Final Report. University of Central Florida. Florida Department of Transportation. p.166.
- Yu, S, S. Barnes, and V. Gerde. 1993. *Testing of Best Management Practices for Controlling Highway Runoff*. Virginia Transportation Research Council.

FHWA/VA 93-R16. p.60.

Yu, S., M. Kasnick, and M. Byrne. 1992. "A Level Spreader/Vegetative Buffer Strip System for Urban Stormwater Management." *Integrated Stormwater Management*. Lewis Publishers. Boca Raton, FL. pp.93-104.

<http://europa.eu.int/eur-lex>

<http://www.milt.go.jp/crd/city>

<http://www.mlit.go.jp/crd/city/sewerage/fiscal/sinki.html#2>

Abstract

The Development and Application of Impervious Cover Indicators for Efficient Watershed Management

Even though the changes in the use of watershed land are an important factor which affects the quality of water, they have been rarely taken into account in management of water quality. As the land uses and economic activities in the watershed are increasing, we can no longer prevent the deterioration of water environment only with the old means of environmental management such as sewage treatment. Also, the need for developing and using new watershed management indicators that enable us to better manage land use is growing. Among these new indicators, Impervious Cover is being considered as a factor that closely affects water quality in a negative way, and its importance in water quality management is being highlighted.

This study reviewed the effects of increased Impervious Cover on the water quality and volume in watersheds. In addition, the practices of using Impervious Cover Indicators for watershed management, and methods for reducing impervious covers are examined. As a plan to reduce impervious covers to cut down their negative effects on watershed environment, considerations that must be taken at the land use planning stage, and after the development of land were introduced. Particularly, various methods of land use and its management to reduce impervious covers were examined, and environmental and economic benefits that can be obtained by applying these methods in actual watershed planning activities were also presented.

To summarize the contents of each chapter, Chapter 2 describes a positive analysis of the influence of the impervious covers and reviews various effects from the increasing impervious covers. The analysis of the influence of impervious covers was carried out for Gyeongan stream, Anyang stream, and Bokha stream watersheds. Chapter 3 describes the methods adopted in some countries to manage impervious covers and reduce their influence on water environment. These countries are trying various methods to relieve their negative effects on water quality, water volume, and ecosystem. These effects include difficulties of water circulation resulting from the increasing impervious covers due to growing economic activities, buildings and pavements in watersheds. Chapter 4 describes various measures to apply the impervious cover reduction methods. These measures for facilitating water circulation and cutting down pollutant runoff in watershed can be largely classified into two groups: the measures that take into consideration the causes and influence of impervious covers in the land use planning stage in advance and the measures to reduce rainwater runoff and pollutions by using physical facilities after the land is developed. Advance measures include limiting the percentage of imperviousness in the land use plan or considering water circulation in site planning. The posterior measures include the installation of pervious areas and undercurrent facilities to reduce impervious covers. The last chapter, "Conclusions and Policy Suggestions" presents the methods to cope with problems caused by the increased impervious covers in watersheds such as the growing runoff ratio, the reduced time of flood concentration, infiltration(internal water exclusion), increased peak runoff, reduced underground water infiltration, and increased nonpoint pollutant runoff. In summary, three basic suggestions are made.

The first suggestion is that we should take into account a rainwater circulation system at the land use planning stage; in particular, some measures to minimize

hydrological influence generated by site development through site design, and to relieve or restore the inevitable disturbance to the hydrologic system. The second suggestion is that we need institutional support; in other words, we should improve the specifications and regulations related to urban development that increases impervious covers. In particular, we should revise the regulations on the collection and exclusion of rainwater falling on the ground so that the rainwater would not directly flow into rainwater baskets but pass through surrounding pervious areas such as greens. In this way, we can expect to reduce runoff as well as cultivate underground water through rainwater infiltration. Furthermore, we should consider expanding pervious pavements that are used in some areas, such as bicycle paths, parking lots, and roads in housing areas that have a low traffic load. The third suggestion is that we should expand anti-inundation projects in cities. As measures for decreasing the total volume of inundation, we should actively consider such measures as the preservation of rainwater infiltration and natural areas, use of roof rainwater, as well as anti-inundation measures using rainwater undercurrent such as the installation of underground streams and underground water reservoirs. These measures for facilitating the rainwater infiltration, runoff control and reuse will not only normalize the water circulation system in watersheds but reduce the runoff of nonpoint pollutants as well as giving positive effects to the overall water environment including the water quality, water volume, and ecosystem of watersheds.