

분류식 하수지역의 초기 유출수 오염저감을 위한 용도지구별 적지 분석

박인혁¹·하성룡^{2*}

Zoning Suitability Analysis to Reduce First-flush Runoff Contamination in a Separated Sewer System

In-Hyeok PARK¹·Sung-Ryong HA^{2*}

요 약

본 연구에서는 강우 시 발생하는 초기 유출수의 오염부하를 저감할 수 있는 용도지구별 최적지를 분석하여, 용도지구를 재구성하고, 이에 따라 배출되는 오염물의 저감효과를 도시수문모형을 이용하여 모의하였다. 이를 위해 지표에 축적되어 있는 비점오염원의 양을 조사하였으며 대상지역의 강우유출수를 조사하였다. 조사된 결과를 이용하여 초기 유출수 오염저감을 위한 입지조건을 설정하고 각 인자별 적지를 분석하였다. 각 인자별 가중치 설정을 위해 AHP 분석을 실시하였으며 산출된 가중치와 입지조건별 적지 점수를 연산하여 최종 적지를 분석하고 도시수문모형을 통해 저감효과를 모의하였다. 적지분석 결과, 단독주택지와 아파트 지역은 현재 용도지구와 흡사한 지역에 적지가 분석되었다. 학교지역은 현재의 상업지역의 중심지가 적지로 분석되었고 공원지역은 소규모 공원의 적지가 추가되었다. 상업지역은 대상지의 가장 안쪽의 지역이 적지로 분석되었다. 용도지구 변경에 따른 저감효과 모의 결과, 초기유출수의 BOD 농도가 최대 91.2%에서 최저 0.09% 감소하였다. SS의 농도는 최대 72.74%에서 최저 0.31% 감소하였다.

주요어 : 용도지구, 초기 유출수, 적지분석, AHP분석, 비점오염

ABSTRACT

This paper aim to reorganize zoning areas for decreasing first-flush runoff contamination in a separated sewer system via suitability analysis, and to simulate the discharge pollution loads of first-flush runoff using SWMM. For these purposes, diffuse pollution, which is accumulated on a surface and first-flush runoff flow were investigated. Suitability conditions for zoning were defined using the results of these investigation and suitable zoning areas were analyzed for the each condition. AHP analysis was conducted to establish weights of the suitability conditions.

2007년 11월 1일 접수 Received on November 1, 2007 / 2008년 4월 30일 수정 Revised on April 30, 2008 / 2008년 5월 1일 심사완료 Accepted on May 1, 2008

1 충북대학교 환경 및 도시대학원 Department of Urban Engineering, Chungbuk National University

2 충북대학교 도시공학과 Department of Urban Engineering, Chungbuk National University

* 연락처 E-mail : simplet@chungbuk.ac.kr

The most suitable zoning areas were analyzed via overlaying weights and suitability conditions.

From the result, it was noted that the most suitable zones for detached houses & apartments are location they already occupied. Some school areas analyzed were found to be suitable as commercial centers. Some zones within the area analyzed were found to be suitable for commercial zones. From results obtained from simulation, the zone re-organization showed BOD and SS concentration to reduce from 91.2% to 0.09% and 72.74% to 0.31% respectively.

KEYWORD : Zoning, First-flush, Zoning Suitability Analysis, AHP Analysis, Diffuse Pollution

서론

도시유역에서 배출되는 하수에는 고농도의 오염물질이 다량 포함되어 있다. 이는 도시 내에 위치한 세차장, 세탁소 및 서비스 업체 등의 상업시설과 공장 등의 공업시설에서 배출되는 화학적 유기물뿐만 아니라, 생활수준의 변화로 인한 고농도의 유기물이 배출되고 있기 때문이다.(이은실, 1997) 또한 자동차 교통의 발달 등으로 인해 발생하는 각종 미세먼지 및 중금속 등은 도시유역의 비점오염원으로써 작용하며, 강우 시 방류되어 도시 내 하천의 수질에 직접적인 영향을 미치고 있는 실정이다(Atsushi. et. al, 1998).

하수배제 방식별로 약간의 차이는 있으나, 통상 강우 유출수에 포함되어 방류선으로 유입되는 비점오염부하는 주로 하수관거의 월류수에 포함된다(Franco et. al., 2007). 특히 초기세척현상(first flush)에 의해 발생하는 유출수는 건기 시 노면과 하수관거 등에 축적된 오염물질이 강우시작과 함께 일시적으로 유출되어 건기 시 하수의 수질에 비해 수 배 이상 높은 것으로 보고되고 있다(Kang et.al, 2007).

현재 도시유역에서 초기 유출수에 의한 오염부하 저감을 위해 시행되고 있는 저감시설 등은 근본적인 노력이라기보다는 임시적인 해결방안이며, 보다 근본적인 해결을 위해 토지이용계획, 지구단위계획 등의 도시계획단계에서 비점오염배출부하를 저감할 수 있는 계획이 수립되어야 할 것이다.

과거 도시계획과정은 주거환경 및 가로경관,

도로의 접근성 등을 주로 문제로 삼아 이들 문제를 해결할 수 있는 계획이 수립되었고, 환경보전은 논의의 사항이었다. 이재하 등(2000)은 택지개발의 적지분석 모형 설정 시 고려해야 할 인자로 표고, 경사, 사면방향, 지질, 수계 등과 도로 접근성, 토지이용, 지가 등을 중요 인자로 밝히고 있다. 구자훈 등(2001)은 토지이용계획의 용도별 적지를 분석함에 있어 AHP분석과 퍼지이론을 조합하여 소실될 수 있는 정보의 양을 최소로 줄였으나, 분석인자로 경사, 표고, 향, 도로접근성, 토지이용 등을 고려하였다. 이진덕 등(2001)은 토지이용적지 분석에 표고, 경사, 사면방향, 지질단층, 식생활력도, 후계, 도로 접근성, 토지피복 등을 고려하여 개발과 녹지보전이라는 첨예한 이슈의 해결책을 과학적 근거를 들어 제시하고 있다. 근래에 수행되고 있는 도시계획에서는 친환경이라는 테마로 도시계획이 수립되고 있으나, 이는 환경보전의 측면이 아닌, 인간이 자연과 접할 수 있는 기회의 확대라는 측면에서 주로 해석이 가능하다. 토지이용계획 단계에서 환경보전이라는 주제가 적극적으로 거론되지 않는 이유는 환경보전을 위한 토지이용계획의 구체적인 가이드라인이 수립되지 않았고, 환경적 요인의 적지를 위한 기준이 모호한 상태이기 때문으로 판단된다. 최근 도시 내 자연녹지의 필요성 대두와 확보의 노력으로 인해, 비교적 완충녹지 등의 녹지지역이 확보되어가는 추세이나, 도시를 흐르는 하천 혹은 강의 수질 개선을 위한 토지이용계획단계의 적극적인 움직임은 아직 극소수에 불과하다.

본 연구에서는 강우 시 발생하는 초기 유출수의 오염부하를 저감할 수 있는 용도지구별 최적지를 분석하여, 용도지구를 재구성하고, 이에 따라 배출되는 오염물의 저감효과를 도시수문모형을 이용하여 모의하고자 한다. 이를 통해 도시의 방류수체 수질개선을 위해 토지이용계획과정에서 고려해야 할 정량적인 지표 및 구체적인 방법을 수립할 수 있을 것으로 기대된다.

연구의 방법

강우 시 발생하는 초기유출수의 저감을 위한 적지분석을 수행하기 위해 대상유역의 기초 공간정보를 분석하고, 대표지역을 선정하여 지표면에 축적되어있는 오염물의 양을 측정하였으며, 오염물이 강우 시 지표면 유출수에 흘러나오는 양을 계측하였다. 또한 강우 시 연구 대상유역에서 발생하는 유출량을 우수토구에서 계측하여 도시수문모형에 활용하였으며, 용도지구의 입지조건을 일반적 조건과 환경적 조건으로 구분하여 정의하고 정의된 적지조건에 따라 인자별 적지를 분석하였다. 이후 선행 단계에서 수행되었던 연구결과 등을 종합하여

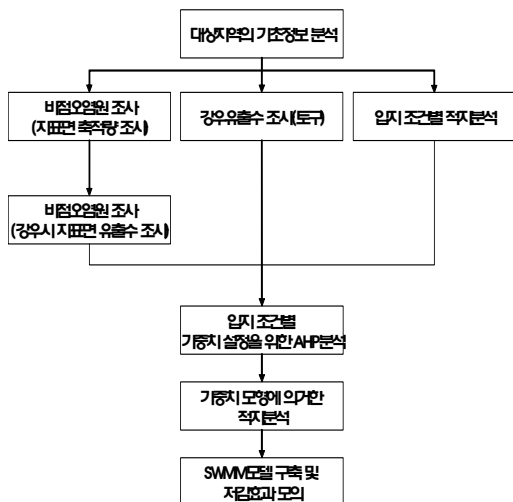


FIGURE 1. 연구수행 절차

각 인자별 표준화 Grid 등을 산출하고, 각 인자별 가중치를 산출하기 위해 전문가 집단에게 설문조사 의뢰 후 결과를 회수하여 AHP분석을 실시하고 분석결과를 토대로 적지분석모형을 설정하였다. 마지막으로 도시수문모형을 이용하여 최적지 분석에 기초한 용도지역에서 배출되는 오염량을 예측하여 용도지구 재구성에 대한 효과를 검증하였다. 그림 1은 연구수행 절차를 나타낸다.

1. 입지조건 가중치 산출 알고리즘

각 조사 및 분석단계에서 산출된 결과를 이용하여 입지조건별 적지를 분석하고, 그 결과를 최저 1점을 시작으로 Grid화된 대상지에 배치한다. Grid의 총합을 계산하여 표준화 시킨 뒤 표준화 Grid를 산출한다(그림 2). 각 인자별로 동일한 과정을 수행해 인자별 표준화 Grid를 작성한다.

산출된 입지 조건을 전문가 집단에게 설문조사를 의뢰하고 결과를 회수하여 각 인자별 가중치를 작성한다. 기초조사에 의한 표준화된 Grid값과 설문조사에 의한 가중치를 연산하여 각 인자별 적지점수를 산출한다(그림 3).

1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20



0.0048	0.0095	0.0143	0.0190	0.0238
0.0286	0.0333	0.0381	0.0429	0.0476
0.0524	0.0571	0.0619	0.0667	0.0714
0.0762	0.0810	0.0857	0.0905	0.0952

FIGURE 2. 입지조건별 Grid 생성 및 표준화

0.0048	0.0095	0.0143	0.0190	0.0238
0.0286	0.0333	0.0381	0.0429	0.0476
0.0524	0.0571	0.0619	0.0667	0.0714
0.0762	0.0810	0.0857	0.0905	0.0952

FIGURE 3. 가중치를 계산한 다중 레이어

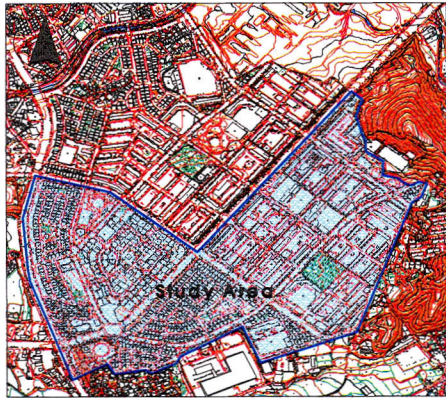


FIGURE 4. 연구대상지역

2. 연구의 범위

본 연구의 연구대상지역으로 충북 청주시 상당구 용암동의 일부 지역으로 그림 4는 대상지역을 나타낸다. 대상지역의 면적은 518,945km²으로 용암동 전체 면적 1,219,930m²의 약 42%에 해당한다. 대상지역은 약한 구릉지로 일부 상업지역이 포함되어 있는 아파트 위주의 주거 지역이다.

3. 대상지역의 기초정보

연구대상지역의 유역특성을 파악하기 위해 기초 정보를 분석하였다. 연구 대상지역의 경사도를 분석한 결과, 동고서저의 지형을 보이며 특히 경사 74이상인 지역이 60% 이상으로 다른 지역에 비해 높은 경사도를 보이고 있다. 표고 분석 결과, 주거 밀집지역이 다른 곳보다 상대적으로 표고가 높은 것으로 분석되었다.

용암동 지역의 행정구역상 면적은 주택용지가 583,989m²로 전체의 47.9%, 도로 309,156m²를 포함한 공공시설용지가 46.8%로 구성되어 있다.

4. 비점오염원 조사

건기 시 도시유역에 누적되는 비점오염원의 양을 조사하기 위하여 그림 5와 같이 용도지 구별 조사지점을 선정 후, 1m × 1m의 격자를 2개소씩 설치하고, 2002년 9월 9일~9월 11일 (단기), 2002년 10월 6일~2002년 10월 12일 (장기)의 2회에 걸쳐 격자 내에 축적되어 있는 오염물의 양을 채취하였다. 거리 청소 및 강우 주기를 고려하여 오염물의 축적기간을 단기와 장기로 구분하여 조사하였다. 이후 강우 시 대상지역에서 배출되는 지표면 유출수의 오염도 분석을 위하여 시료를 채취하고 수질분석을 실시하였다.

건기 시 누적되는 오염물의 크기 분석결과, 단기(3일)와 장기(7일) 모두 세립질(2mm이하)이 조립질(4.75~2mm이상)보다 공원 일부과 도로 일부 지역을 제외하고 약 86%이상 많은 것으로 나타났다. 이는 도시유역 내에 산재해 있는 미세먼지의 축적과 거리의 청소 등에 의한 것으로 판단된다. 전체 무게를 살펴보면 전반적으로 장기의 채취량이 단기의 채취량보다

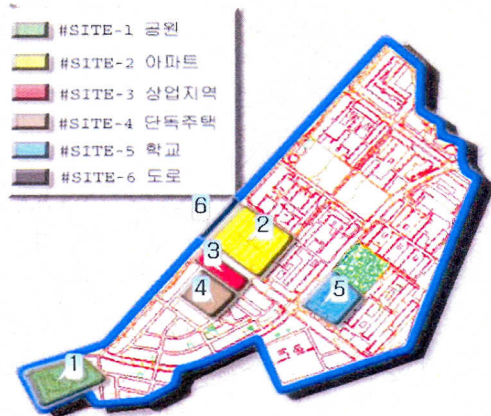


FIGURE 5. 대상지역 내 비점오염원 조사지점

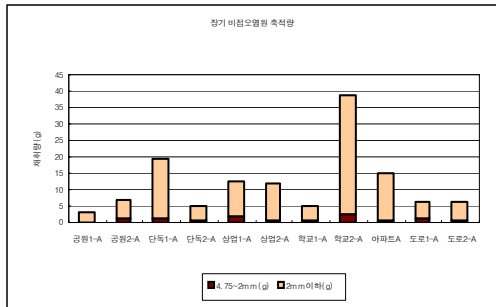


FIGURE 6. 장기 비점오염원 채취량

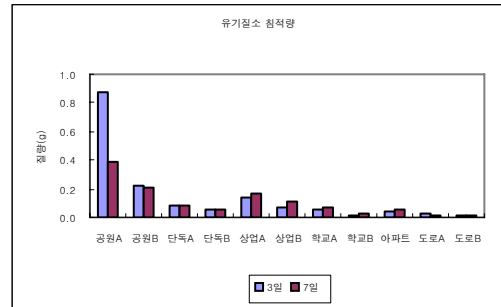


FIGURE 8. 유기질소 침적량

많았으며, 일정한 청소주기를 갖는 용도지구는 (단독, 학교, 도로)는 장기와 단기의 총 채취량이 유사한데 반해, 일정한 청소 주기가 없는 용도지구(상업)는 장기의 채취량이 단기의 채취량에 비해 약 3~10배 이상 많은 것으로 조사되었다. 특히 아파트 지역 등과 같이 불투수성 포장재로 지표면이 피복되어 있는 지역의 경우, 육안 상으로는 비교적 깨끗해 보였으나, 축적된 미세먼지의 양이 비교적 많은 것으로 조사되었다. 그림 6과 7은 조사된 비점오염물의 크기에 따른 양을 나타낸다.

채취한 시료 중 2mm이하의 시료에 대해 탄소와 질소의 침적량을 분석하였으며 결과는 그림 8, 9와 같다. 분석결과 대체적으로 공원과 상업지역의 오염도가 높게 나타나고 있으며, 도로지역은 주기적인 청소활동으로 인해 비교적 낮게 측정되었다. 공원 지역의 경우, 낙엽 및 기타 유기체 등으로 인해 분석결과가 비교적 높게 분석 된 것으로 판단된다.

강우 시 지표면에 누적되어 있는 비점오염물의 유출 특성을 분석하기 위하여 5회의 지표면 유출수 시료를 채취하여 수질분석을 실시하였다. 지표면 유출수의 수질분석결과는 그림 10, 11과 같다. 수질분석결과, 유동인구 및 차량소통이 많은 상업지역에서 발생하는 지표면 유출수의 농도가 가장 높은 것으로 나타났으며, 나대지 위주의 학교지역과 차량 소통에 의한 미세먼지가 많은 도로지역은 다른 항목보다 SS의 수치가 월등히 높은 것으로 나타났다. 단독주택지역은 CODcr의 수치가 다른 지역보다 월등히 높게 나타났는데 반해, 아파트 지역은 전체적으로 유출수의 오염정도가 양호한 것으로 나타났다. 이는 주기적인 노면 청소 등의 시행여부에 의한 것으로 판단되며, 특히 단독주택 지역에서 발생한 CODcr 항목의 높은 수치는 노상에 적재되어 있는 각종 쓰레기 등에 강우가 유입되면서 발생하는 침출수에 의한 것으로 판단된다. 표 1은 수질분석결과의 평

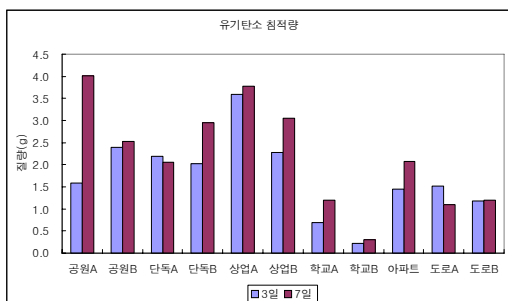


FIGURE 7. 유기탄소 침적량

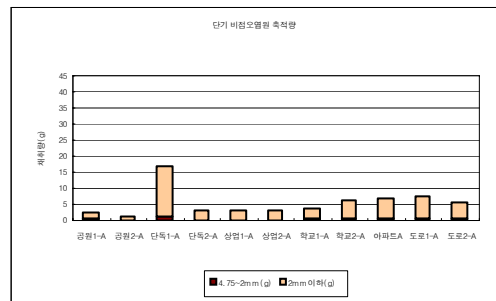


FIGURE 9. 단기 비점오염원 채취량

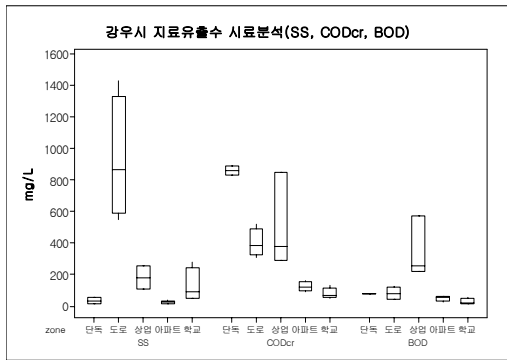


FIGURE 10. 강우시 지표면 유출수 수질분석 결과

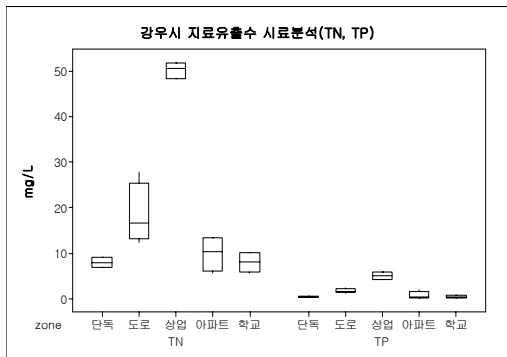


FIGURE 11. 강우시 지표면 유출수 수질분석 결과

균을 나타낸다.

비점오염원 조사 결과 상업지역의 오염배출량이 가장 높게 나타났으며, 단독주택지역이 아파트 지역보다 오염배출량이 큰 것으로 나타났다. 조사 및 분석된 결과를 바탕으로 입지조건을 정의하고, 이를 토대로 적지를 분석하였다.

TABLE 1. 강우시 지표유출수 수질분석 결과(평균)

Zone	SS	CODcr	BOD	TN	TP
단독	33.00	860.00	75.50	7.89	0.40
상업	178.00	506.67	348.32	50.15	4.95
학교	126.50	77.50	25.29	7.96	0.39
아파트	23.50	122.50	47.57	9.83	0.67
도로	931.00	400.00	80.79	18.36	1.72

5. 대상지역의 강우 유출수 조사

대상지역에서 배출되는 강우 유출수는 대상구역의 말단에 설치되어 있는 토구를 통해 방류선으로 방류되고 있다. 강우 유출수의 수질 분석을 통해 대상지역 내 축적되어 있는 비점오염물질이나 점오염물질의 유출정도를 파악하고자 하였다. 수질분석은 강우시작부터 침투유량을 보이는 시점을 기준으로 5분~10분 간격으로 7시간 동안 계속하였으며, 분석은 BOD5, CODcr, CODmn, SS, T-N, T-P의 6개 항목에 대해 실시하였다. 그림 12, 13과 같이 강우사상 발생 후 초기에는 고농도의 강우유출수가 하천으로 직접 방류되다가 시간이 지나면서 점차 희석되어 강우사상이 끝날 무렵에는 비교적 깨끗한 강우 유출수가 방류되는 것을 확인할 수 있었다. 최대값은 침투강우 시 BOD 1,503mg/L, CODcr 1,837.47mg/L, CODmn 266.67 mg/L, T-N 44.85mg/L 등으로 나타났으며 최저값은 강우가 종료된 후 지연 유출수가 배출된 후 계측되었다. 최저값은 BOD 4.3mg/L, CODcr 19.61mg/L CODmn 4.37mg/L, SS 4.3mg/L 등으로 분석되었다. 계측 Data는 도시수문모형을 이용한 수질변화 예측 시 검, 보정 자료로 활용하였다.

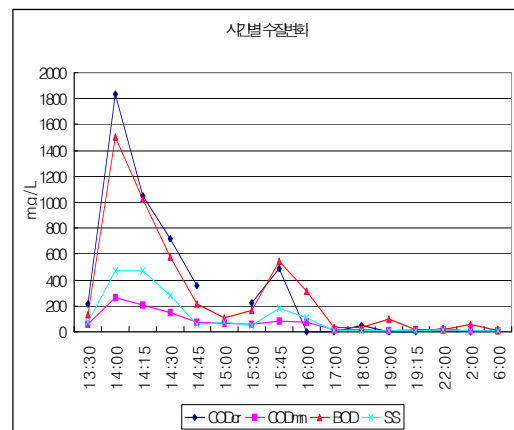


FIGURE 12. 시간별 수질변화 I

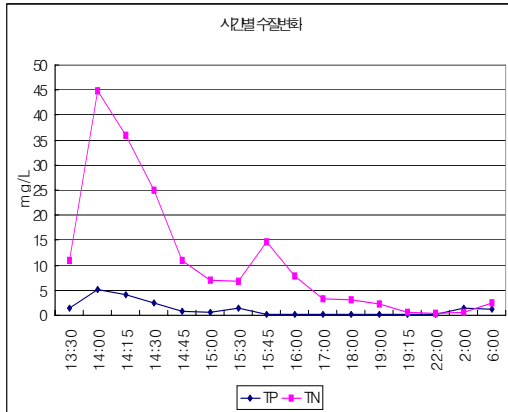


FIGURE 13. 시간별 수질변화 II

6. 용도지구별 입지조건 설정

도시 내에서 용도지구별 최적지를 분석하기 위해서는 인문, 사회적인 정보와 지형적인 정보 등 광범위한 분야에 대한 고려가 필요하다. 여기에 환경적 입지요인이 추가 된다면 더욱 복잡한 사항을 고려해야 한다. 또한 대상지가 갖는 상대적 특성, 즉 자연적 가치와 지역이 가진 특수성을 반영할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 입지조건을 토지이용계획에서 주로 고려되는 일반적 입지조건과 초기 유출수 저감을 위한 환경적 입지조건으로 구분하였다.

주거지역의 일반적 입지조건은 재해의 위험이 적고 저습지가 아닌 완만한 경사지로, 경사도는 4% 내외가 이상적이며 10%를 넘지 않는 것이 바람직하다. 표고는 도시의 기반시설이 입지해 있는 지역의 표고보다 50m를 넘지 않는 것이 좋다. 도시 내 주요간선도로와 연계되어 있어야 하며 주변의 편의시설, 고용지 등과 접근이 용이해야 한다. 주변 환경은 남향이 이상적이며 주변에 녹지 공간 등이 있으면 좋다. 녹지지역은 지형, 지반, 식생, 임상 등 자연조건에 대해 상세한 조사를 실시하여, 시가화에 부적당한 곳, 자연의 풍치를 보전해야 할 가치가 있는 곳과 기존의 양호한 산림이 위치해 있는 곳이 일반적인 입지조건이 된다. 또한 공

업지역이나 공항과 시가지의 사이, 간선도로와 철도의 연변, 혹은 위험 시설물 주변은 완충녹지로 설정할 필요가 있다. 상업지역의 일반적인 입지조건은 교통시설과 연계성이 좋고 유동인구의 왕래가 용이한 교통수단이 직접적으로 연결 가능한 지역이어야 한다. 또한 지가가 저렴하고 지구 내에서 접근성이 가장 좋은 곳이어야 한다.

한편, 비점오염원 조사에 기초한 주거지역의 환경적 입지조건은 아파트와 단독주택지역으로 구분된다. 아파트 지역은 지표면 유출수의 수질이 양호하므로 인근 수계와 가깝고 관로경사가 급한 고지대도 가능하며, 녹지가 비교적 적은 지역도 적지로 볼 수 있다. 단독 주택지의 경우, 지표면 유출수의 오염도가 심해 인근 수계와는 멀고 관로 경사가 낮은 지역, 녹지가 많은 지역을 적지로 설정했다. 녹지지역의 환경적 입지조건은, 지표면 유출수의 수질이 가장 양호한 점을 고려하여, 오염발생량이 가장 높은 지역의 주변에 입지하는 것이 바람직하다. 그 외에도 인근 수계와 가깝고 관로경사가 급한 곳을 적지 기준으로 설정하였다. 상업지역의 입지조건은 지표면 유출수의 수질이 가장 나쁜 특성을 고려하여 인근 수계와 거리가 멀고 방류선까지의 관로길이는 길며 관로경사는 작고 녹지는 많이 분포된 지역으로 설정하였다.

7. 용도지구별 입지조건 분석

용도지구별 입지조건에 따른 최적지를 분석하기 위해, 토지이용 계획 시 사용되는 일반적 용도지구의 입지조건과 초기 유출수의 오염부하 저감을 위한 환경적 입지조건으로 구분하여 분석을 실시하였다. 일반 입지조건은 표고, 경사, 향, 지가, 도로인접성의 5개 요소이며 초기 유출수 오염부하 저감을 위한 환경적 입지조건은 하천과의 거리, 인구밀도, 녹지율, 소유역 면적, 하수관로 경사 및 길이, 우수

발생량, 우수발생량의 8개 항목으로 구분하였다. 각 인자별 결과에 대해 최대 5개에서 최소 3개의 등급을 부여하여 적지를 분석하였다. 그림 13에서 그림 24는 그 결과를 나타낸다.

입지조건 중 지가는 2002년 표준공시지가를 지목별로 검색하여 단위 면적당 지가를 산출하고 해당 용도지구의 면적에 곱하여 값을 산출하였다. 상업지역과 아파트 지역의 지가가 비교적 높게 나타났으며, 단독주택지역은 가장 낮은 지가 군에 포함되고 있음을 알 수 있다. 인구밀도는 도시 구역의 오염 부하량과 비례 관계에 있다는 가정 하에 분석을 실시하였으며, 아파트가 밀집해 있는 대상지의 안쪽 지역이 인구밀도가 가장 높은 것으로 나타났다. 반면, 상업지역은 상주인구가 적어 인구밀도가 낮게 분석되었다. 녹지율 분석의 경우 기 분석된 통계자료를 기초로 현장조사를 통해 오차를 수정하는 과정을 거쳐 단위 면적당 녹지점유면적에 근거하여 녹지율이 가장 낮은 지역부터 높은 지역까지 3단계로 구분하였다. 소유역 입지조건은 지표면 유출수에 영향을 주는 면적, 폭, 길이에 가중치를 두어 계산한 뒤, 5단계로 구분하였다. 관로경사의 경우, 대상지역이 자연유하 방식을 따르고 있어 표고의 형태와 흡사한 양상을 보이고 있으며, 분석결과는 5개의 계급으로 구분하여 적지를 분석하였다. 관로길이 입지조건은 도구 및 차집 관거와 인접과는 관계없이 관망의 형태에 따라 크게 좌우되는 양상을 나타냈다. 관로길이 길어지면 관로 내 자정 및 퇴적작용에 의해 오염 부

하량이 감소하는 효과를 기대할 수 있다. 적지 등급은 분석 결과에 따라 5개로 나누었다.

8. 가중치 설정을 위한 AHP 분석

AHP(analytic hierarchy process)는 공통의 목적 혹은 기준에 대하여 대상들을 짝을 지워서 비교함으로써 의사결정문제를 해결하는 기법이다. 이러한 AHP분석에 필요한 2개의 필수적인 요소는 판단의 분석적 과정과 계층의 구축 및 분석의 창조적인 과정이라할 수 있다.(이은실, 1997) 즉 AHP분석은 의사결정의 문제를 형성하고 분석하기 위한 직관적이면서 비교적 쉬운 방법이고, 의사결정자가 일관성이 없을 수 있다는 것을 고려하는 유일한 의사결정지원 방법론이다.

AHP분석을 통해 의사결정자가 객관적으로 받아들일 수 있는 타협점과 최적 대안을 선택할 수 있도록 여러 기준들 사이의 중요도를 고려하고 충돌을 체계적으로 해결하기 위한 지표를 제시함으로써 의사결정의 효율을 높일 수 있다.

본 연구에서는 초기 유출수의 오염부하를 저감할 수 있는 다양한 입지인자 간의 가중치 설정을 위해 전문가집단에게 설문을 의뢰하여 각 인자별 가중치를 산출하였다. 회수된 설문지는 일관성 지수가 0.1 이내로 산출 되었으며 결과는 표 3, 4와 같다. 산출된 가중치를 이용하여 각 조건별 분석모형을 설정하고 설정된 모형에 의해 적지분석을 실시하였다.

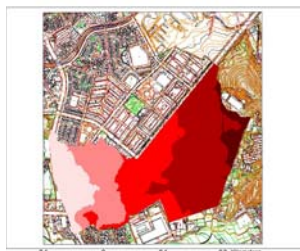


FIGURE 13. 표고



FIGURE 14. 경사

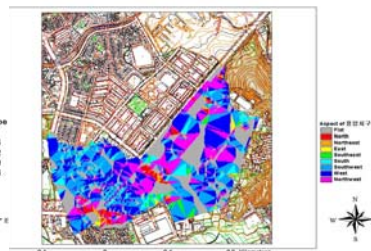


FIGURE 15. 향



FIGURE 16. 지가



FIGURE 17. 접근성

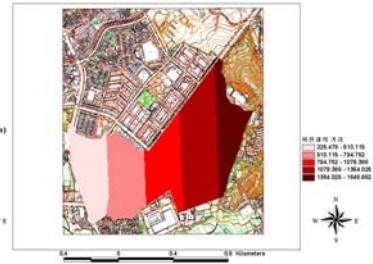


FIGURE 18. 하천과 거리

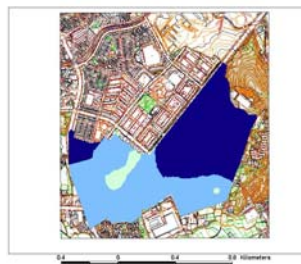


FIGURE 19. 인구밀도

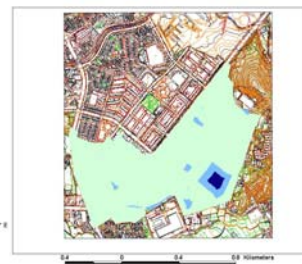


FIGURE 20. 오수발생량

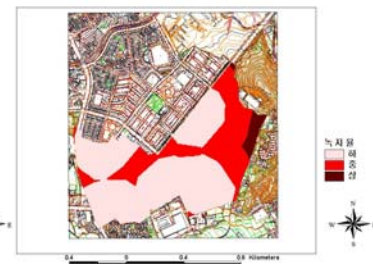


FIGURE 21. 녹지율



FIGURE 22. 우수배출량

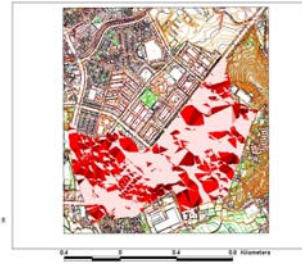


FIGURE 23. 관로 경사

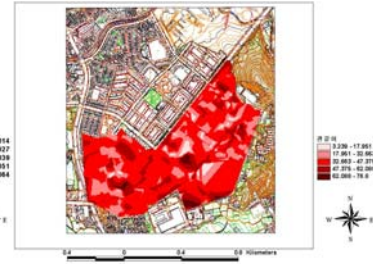


FIGURE 24. 관로길이

TABLE 3. 일반적인 입지요인의 가중치

	표 고	경 사	향	도로 인접성	지 가	일관성 지수
아 파 트	0.184	0.167	0.166	0.121	0.192	0.0737
단독주택	0.2	0.196	0.201	0.114	0.126	0.0481
학 교	0.122	0.141	0.298	0.143	0.174	0.0651
공 원	0.234	0.212	0.180	0.109	0.104	0.0401
상 업	0.152	0.143	0.117	0.246	0.211	0.0919

TABLE 4. 비점오염부하 저감을 위한 입지요인의 가중치

	단독주택	아파트지역	상업지역	학교지역	공원지역
하천과의 거리	0.11679469	0.11940917	0.12535514	0.11436928	0.11910703
인구밀도	0.15957947	0.17849608	0.13996816	0.13864542	0.10539068
녹지율	0.12958822	0.13598745	0.11927996	0.13258963	0.1852629
소유역	0.13176415	0.11524542	0.11323415	0.11604537	0.12360293
관로경사	0.11548733	0.10335175	0.11272485	0.11938818	0.10665309
관로길이	0.12013552	0.11152532	0.12868192	0.12170088	0.11933762
우수발생량	0.10293729	0.10475625	0.12049429	0.13040396	0.13473776
오수발생량	0.12371333	0.13122855	0.14026151	0.12685729	0.10590797
일관성 지수	0.0039484	0.00762613	0.05135641	0.00368731	0.00017734

9. 도시수문모형

용도지구별 적지분석에 의한 초기 유출수의 수질개선 효과를 모의하기 위해 SWMM 모델을 선정하였다.

SWMM(Storm Water Management Model)은 주로 도시 유역에 대하여 수질과 수문현상을 모의할 수 있는 프로그램으로서 단일 강우사상은 물론 연속적인 모의도 가능하다. SWMM은 다양한 토지이용현황을 고려하여 지표에 떨어지는 강우량을 시간의 변화에 따라 예측할 수 있고 이를 기초로 유출량을 예측할 수 있으며, 하수관거를 흐르는 우수 및 폐수의 유량도 산정할 수 있다. 뿐만 아니라, 오염물의 이동현상의 규명과 단일 강우사상 및 장기간의 강우사상에 대한 예측도 가능하다.

SWMM에서는 유역 특성의 공간적 변화를 반영하기 위하여 전체 유역을 소유역으로 분할하여 소유역의 유출을 계산하고, 각 소유역의 유출을 관거 망을 통해 추적함으로써 전체유역의 유출을 계산한다. 실제 유역은 직사각형으로 개념화되고, 면적, 폭, 경사도 등의 적절한 파라미터에 의해서 실제 유역의 특성을 반영할 수 있다. 유출량을 모의하기 위해 소유역을 기준으로 기상대에서 취득한 강수량 자료 등을 이용하여 강우강도, 수문곡선 등을 산출한 뒤,

각 소유역에서의 토지이용에 따른 유출특성을 반영하기 위해 소유역내의 각 토지이용별 배수구역을 연결할 수 있도록 한다(Huber Wayne C. et al. 1992).

결과 및 토의

1. 적지분석 결과

토지이용계획에서 사용하고 있는 일반적인 입지인자를 이용한 적지분석 결과는 그림 25~29와 같다. 각 결과는 인자별 점수와 AHP분석에 의한 가중치의 계산을 통해 산출되었으며, 각 셀의 값을 5등급으로 구분하여 적합도를 평가하였다.

단독주택지역은 경사가 완만한 대상지내 남쪽을 시작으로 북쪽까지 연결되는 지역에 적지가 분석되었고, 표고에 관계없이 대상지 전반에 걸친 분포양상을 보였다. 한편 지가가 높은 지역 외에는 입지조건이 비교적 양호한 것으로 분석되었다. 아파트지역은 비교적 표고가 낮은 지역에 입지하고 있으며 지가가 상대적으로 낮은 곳에 입지하고 있다. 단독주택지역에 비해 적지면적이 상대적으로 적게 나타났다. 상업지역은 도로와 밀접한 연계성 때문에 간선도로

주변의 지역과 비교적 지가가 높은 지역에 적지가 분석되었다. 학교지역은 도로와 일정한 거리를 두고 지가가 낮은 지역이 적지로 분석되었다. 상대적인 면적 또한 적은 편이다. 공원지역은 표고가 높은 지역과 지가가 낮은 지역, 도로와 접근성이 양호한 지역이 적지로 분석되었다.

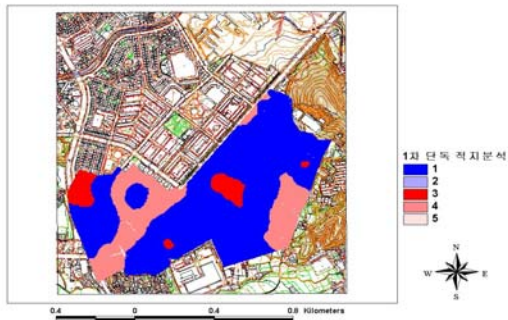


FIGURE 25. 단독주택지역 일반인자 적지분석 결과

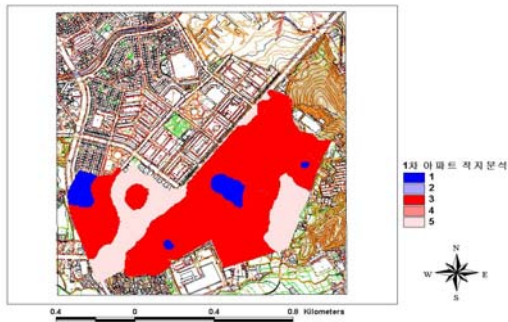


FIGURE 26. 아파트지역 일반인자 적지분석 결과

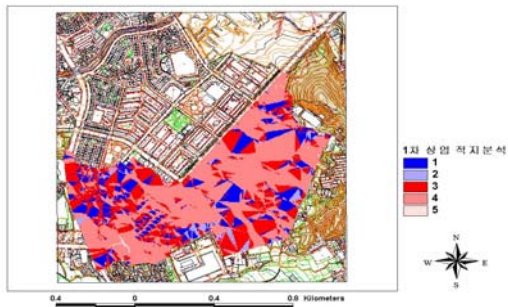


FIGURE 27. 상업지역 일반인자 적지분석 결과

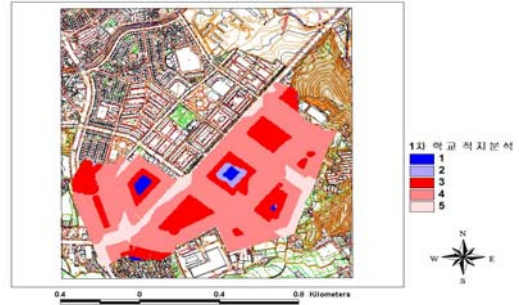


FIGURE 28. 학교지역 일반인자 적지분석 결과

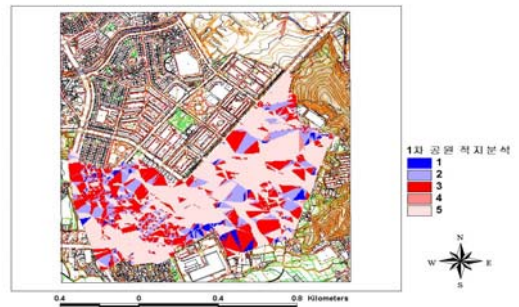


FIGURE 29. 공원지역 일반인자 적지분석 결과

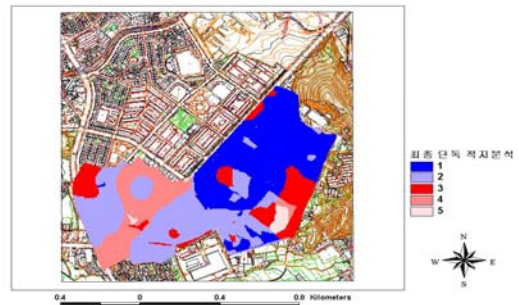


FIGURE 30. 단독주택지역 환경인자 적지분석 결과

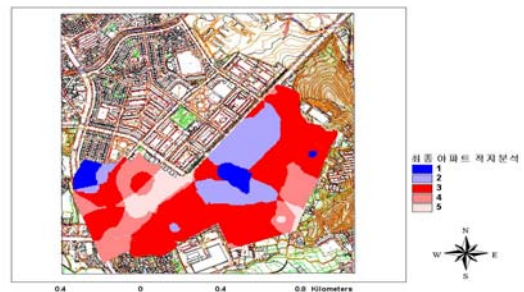


FIGURE 31. 아파트지역 환경인자 적지분석 결과

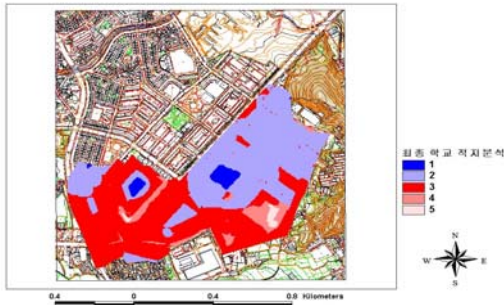


FIGURE 32. 학교지역 환경인자 적지분석 결과

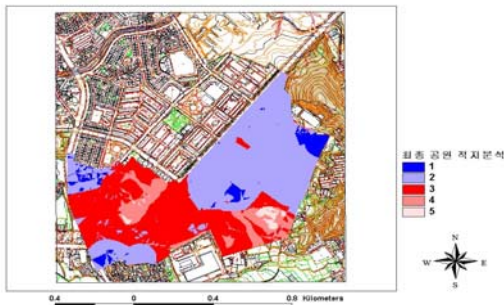


FIGURE 33. 공원지역 환경인자 적지분석 결과

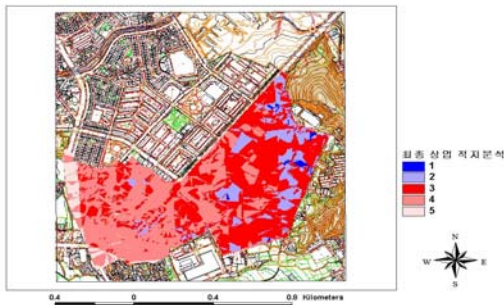


FIGURE 34. 상업지역 환경인자 적지분석 결과

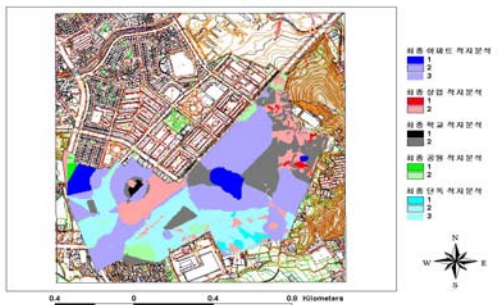


FIGURE 35. 최종 용도지구별 적지분석 결과

일반적 입지조건과 환경적 입지조건을 중첩한 적지분석 결과는 그림 30~34와 같다. 환경적 요인을 고려한 단독주택지역의 적지분석결과, 일반조건에 비해 면적이 상당히 축소되었고, 오염원 발생량이 높아 하천과 거리가 먼 지구의 안쪽에 적지가 분석되었다. 아파트의 적지분석결과, 일반조건에 비해 면적이 확대되었으며 오염 발생량이 적어 하천과 거리가 가까운 곳에 입지가 선정되었다. 학교지역의 적지분석결과, 일반조건에 의한 결과보다 면적이 증가하였으며 분포범위 또한 대상지의 안쪽에 분포되었다. 공원지역의 적지분석결과, 대상지 내에서 발생하는 오염량을 저감할 수 있는 기능이 고려되어 대상지 안쪽에 적지가 분석되었다. 또한 주거환경의 개선을 위해 적지가 주거지역 주위에 분포되어 있음을 알 수 있다. 상업지역의 경우, 오염 발생량이 가장 높은 용도지구로 일반조건에 비해 면적이 축소되었으며, 하천과 가장 먼 대상지 안쪽에 집중적으로 분포되어 있음을 알 수 있다.

각 용도지구별 적지를 중첩한 최종 적지 분석결과를 살펴보면, 단독주택지의 경우, 현재 용도지구와 매우 흡사한 양상을 보이고 있다. 현재 분포된 지역이 입지조건으로나 인문·사회적으로, 환경적으로 비교적 양호한 입지를 보인다고 할 수 있다. 아파트지역의 경우, 최적지는 약간의 차이를 보이지만 현재의 입지와 유사한 양상을 보이고 있다. 배출 오염 발생량이 비교적 적기 때문에 2차 분석 시 면적이 확대되었다. 학교지역의 경우, 현재의 입지와는 전혀 다른 입지를 나타내고 있다. 특히 현재 상업지역의 중심지인 대상지 왼쪽 하단 부분이 최적지로 분석되었는데, 이는 오염 발생량이 비교적 낮기 때문에 상대적으로 오염 발생량이 큰 상업지역을 대신하여 하천과 가깝게 위치한 것으로 판단된다. 학교지역의 후보지는 비교적 고르게 분포되었다. 공원지역의 경우, 대규모 공원의 경우 현재 입지와 유사하나 소규모 공

원의 경우는 입지가 추가되고 적지 또한 변경되었다. 상업지역의 경우, 하천에서 가까운 지역의 면적이 상당히 축소되었고 대부분의 적지가 대상지의 가장 안쪽으로 분석되었다.

2. 도시수문모형을 이용한 수질변화 예측

기존의 용도지구와 적지분석에 의한 용도지구의 두 가지를 대상지내 하수관망 및 지형에 기초하여 배수 구역도로 작성하였다. 그림 36은 기존 용도지구에 따른 배수구역도이고 그림 37은 최적 용도지구에 따른 배수구역도이다. 최적 용도지구에 따른 배수구역도는 기존의 배수구역도와 다소 차이가 있음을 알 수 있다. 1번 소유역의 경우, 기존 상업지역에서 단독주택지역으로 대체되었고, 상업지역의 일부가 하천과 거리가 떨어진 대상지역의 안쪽에 배치되었다. 또한 학교의 면적이 확대되었고 공원지역의 면적이 확대되었다. 여기서, 최적 배수구역도가 최종 적지분석결과와 다소 상이한 형태의 구성을 보이고 있는 것은, 기존 하수관망의 구성을 변경 없이 사용한다는 전제하에 작성되었고, 가급적 최적 용도지역의 면적이 기존 용도지역의 면적과 유사하도록 설정하였기 때문이다. 향후 도시계획단계에서 본 연구와 같은 적지분석을 활용하여 용도지구를 구성한다면, 보다 저감 효율이 높은 배수구역을 작성할 수 있을 것으로 판단된다.

상기의 두 가지 안에 따른 초기 유출수의 오염 발생량을 예측하기 위해 SWMM을 이용하였다. 수질항목은 BOD와 SS를 설정하였으며, 대상지역의 우수가 집수되어 하천으로 배출되는 연구대상 지역의 토구를 모의 지점으로 설정하였다. 모의는 1) 기 분석된 토지이용형태에 따라 소유역 분할, 2) 실측된 수질자료를 근거로 모형 검증 및 보정, 3) 적지 분석된 토지이용형태에 따라 소유역별 토지이용형태 지정, 4) 수질 모의 및 비교의 4가지 절차로 진행하였다.

대상지를 맨홀의 위치와 차집관로, 지선관로의 위치 등을 고려하여 총 15개의 소유역으로 구분하고 수질을 모의하였다. 2002년 9월 15일~17일 사이에 실시한 강우 유출수 조사에서 취득한 유량 및 수질데이터를 기초로 보정을 실시하였으며(그림 39), 2002년 8월 31일~9월 1일 사이에 계측된 유량 및 수질자료를 활용하여 검증(그림 40)을 실시하였다. 검·보정된 모형을 이용하여 최적 용도지구 선정에 따른 수질 변화예측을 수행하였다. 수행결과 초기 유출수의 BOD 농도가 최대 406.15mg/L에서 35.76mg/L로 약 91% 감소하였으며, 최저 120.05mg/L에서 119.94mg/L로 약 0.1% 감소하였다(그림 41). 평균 감소율은 12.22%로 분석되었다.

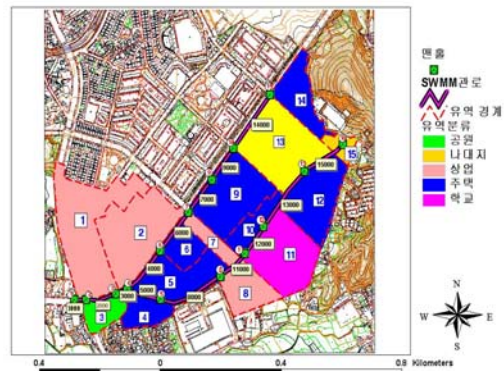


FIGURE 37. 기존 토지이용에 따른 배수구역

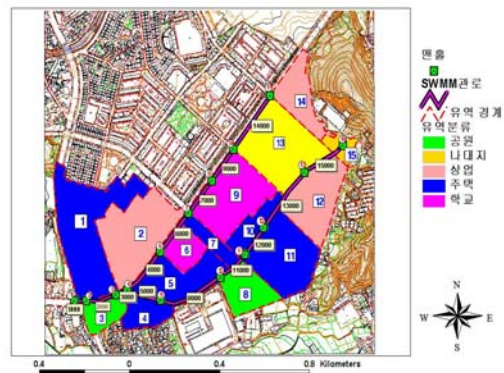


FIGURE 38. 최적 토지이용에 따른 배수구역

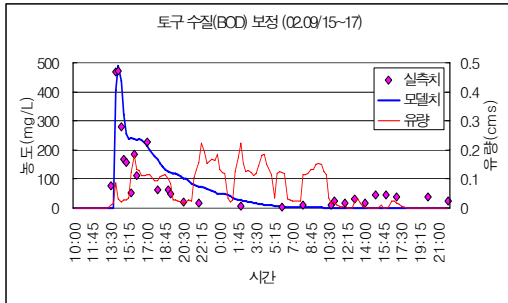


FIGURE 39. 토구 수질(BOD) 보정

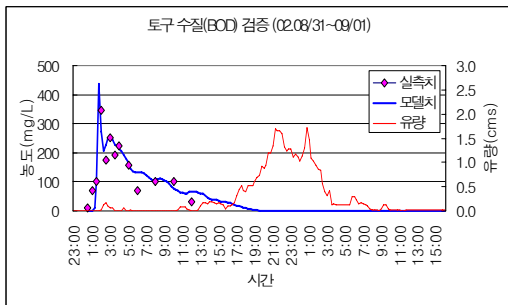


FIGURE 40. 토구 수질(BOD) 검증

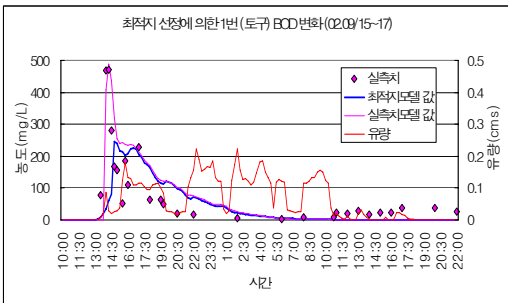


FIGURE 41. 최적지 선정에 의한 토구 수질(BOD) 변화

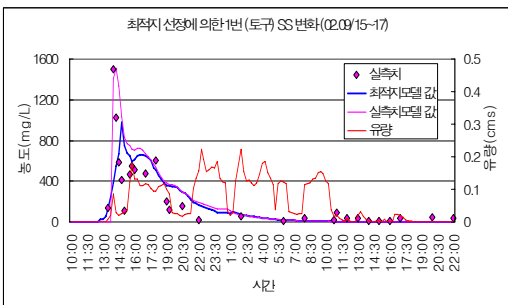


FIGURE 42. 최적지 선정에 의한 토구 수질(SS) 변화

SS의 농도는 최대 1405.47mg/L에서 383.14mg/L로 72.74% 감소하였으며, 최저 294.7mg/L에서 293.77mg/L로 0.3% 감소하였다(그림 42). 평균 감소율은 14.53%로 분석되었다.

초기 세척현상에 의해 유출수의 농도가 급격히 증가한 시점 이후, 최적 용도지구와 기존 용도지구의 수질농도의 차이가 비교적 근소하게 발생하고 있음을 알 수 있다. 이는 초기세척현상에 의해 대부분의 오염물질이 유출된 후, 미량의 오염물이 유입되어 유출되기 때문에 그 변화폭이 작은 것으로 판단된다.

결론

본 연구에서는 GIS를 이용하여 기존의 토지 이용계획에서 사용되는 용도지구의 적지분석 기준과 초기 유출수 오염저감을 위한 환경적 기준을 중첩하여 친환경적인 용도지구를 구성하였으며, 용도지구 구성에 따른 초기유출수의 저감효과를 SWMM모형을 이용하여 비교하였다. 이를 위해 지표에 축적되어 있는 비점오염원의 양을 조사하였으며 대상지역의 강우유출수를 조사하였다. 조사된 결과를 이용하여 초기 유출수 저감을 위한 입지조건을 설정하고 각 인자별 적지를 분석하였다. 이후 각 인자별 가중치 설정을 위해 AHP 분석을 실시하였으며 산출된 가중치와 입지조건별 적지 점수를 연산하여 최종 적지를 분석하고 SWMM모형을 통해 저감효과를 모의하였다.

일반적인 입지조건에 의해 용도지구별 적지를 분석한 결과, 단독주택지역은 대상지 전반에 걸쳐 경사가 완만한 대상지내 남쪽을 시작으로 북쪽까지 분포되는 양상을 보였다. 아파트지역은 비교적 표고가 낮고 지가가 낮은 지역에 적지가 분석되었다. 상업지역은 간선도로를 따라 비교적 지가가 높은 지역에 적지가 분석되었다. 학교지역은 도로와 일정한 거리를 두고 있으면서 지가가 낮은 지역이 적지로 분석되었다. 공원지역은 표고가 높고 지가가 낮

은 지역, 도로와 접근성이 양호한 지역이 적지로 분석되었다.

최종 적지 분석결과, 단독주택지와 아파트 지역의 경우, 현재 용도지구와 흡사한 지역에 적지가 분석되었다. 학교지역의 경우, 현재의 상업지역의 중심지가 적지로 분석되었으며 대상지역 전반에 걸쳐 비교적 고르게 분포되었다. 공원지역의 경우, 대규모 공원은 현재 입지와 유사하고 소규모 공원의 입지가 추가되었다. 상업지역의 경우, 하천에서 가까운 지역의 면적이 축소되었고 대부분의 적지가 대상지의 가장 안쪽으로 분석되었다.

적지분석에 의한 초기 유출수 저감효과를 분석하기 위해 기존의 용도지구와 적지분석에 의한 용도지구의 두 가지를 배수 구역도로 작성하고 총 15개의 소유역으로 구분한 뒤 수질을 모의하였다. 수행결과 초기유출수의 BOD 농도가 최대 91.2%에서 최저 0.09% 감소하였다. SS의 농도는 최대 72.74%에서 최저 0.31% 감소하였다.

본 연구를 통해 용도별 최적지 선정 과정에 강우 시 발생하는 초기유출수를 저감할 수 있는 환경적인 요인을 추가하여 기존의 적지분석과는 차별성을 두었고, 토지이용계획에 사용되는 용도지구의 단위로 대상을 세분화함으로써 보다 효율적인 토지이용계획의 수립을 가능하도록 하였다.

본 연구의 한계로 분석에 사용되는 입력데이터의 출처별 정보가 상충되는 경우, 정확성 검증이 어렵고, 통계자료의 경우, 공간분석 단위로 자료가 구축되어 있지 않기 때문에 적용과정에 추정과 생략이 포함될 수 밖에 없다는 점이다. 또한 일부 지역을 대상으로 분석을 실시하였기 때문에 해당 지역의 지역적 특성이 반영되었을 것으로 의심되나 이를 정량적으로 분석하기에는 어려움이 있었다. 향후 연구에서는

현장조사를 병행하여 자료의 정확성을 검증하고 통계자료의 공간자료 변환 알고리즘을 개발하여 보다 정확한 공간자료 구축이 되어야 할 것이다. 또한 지역특성을 객관화 할 수 있는 방안을 모색하여 지역특성인자를 개발해야 할 것이다. **KAGIS**

참고 문헌

- 구자훈, 성금영. 2001. 토지이용계획의 용도별 적지분석에 있어서 퍼지이론 및 계층분석(AHP)의 활용. 한국지리정보학회지 4(1): 34-46.
- 이은실. 1997. 하천수질 보전을 위한 토지이용적지분석. 충북대학교 대학원 석사학위 논문.
- 이재하, 이지영. 2000. GIS에 의한 택지개발 적지분석 모형 설정. 地理學論究 (20)號 : 71-83.
- 이진덕, 이현화, 김성길. 2001. 도시지역의 토지이용 적지분석을 위한 지리정보시스템의 이용. 한국지리정보학회지 4(4): 29-38
- Atsushi Ichiki, Toshiyuki Ohnishi and Kiyoshi Yamada. 1998. Estimation of urban nonpoint source pollution in Lake Biwa Basin, Water Science and Technology, Volume 38, Issue 10: 157-163.
- Franco Montalto, Christopher Behr, Katherine Alfredo, Max Wolf, Matvey Arye and Mary Walsh. 2007. Rapid assessment of the cost-effectiveness of low impact development for CSO control, Landscape and Urban Planning, Volume 82, Issue 3: 117-131.
- Huber Wayne C. and E. Robert Dickinson. 1992. Storm Water Management Model, Version 4 : User's Manual, EPA.
- Kang J. H., Masoud Kayhanian and Michael K. Stenstrom. 2007. Predicting the existence of stormwater first flush from the time of concentration, Water Research, In Press, Corrected Proof, Available online. **KAGIS**