

리조트 개발사업에서 토지이용 변화에 따른 비점오염물질 부하량 변동 산정

Changes of NPS Loading Rates by Landuse Changes in Resort Development

정 용 준* / 이 은 주** / 김 이 형***+

Jung, Yong-Jun* / Lee, Eun-Ju** / Kim, Lee-Hyung***+

:: Abstract ::

The nonpoint pollutants are originated from various land uses. Of the landuses, the development means the changes of the soil cover and the increases of imperviousness rate, which will increase the nonpoint pollutant emissions during a storm. Therefore, the Ministry of Environment in Korea has programed TPLMS(Total Pollution Load Management System) for four major large rivers to improve the water quality in rivers by controlling the total pollutant loadings from the watershed area. The study area was forest landuse before development plan, however it is now changing to the resort. Some of the forest areas will be changed to parking lots, roads and buildings. The paved areas are highly polluted landuses because of high pollutant accumulation rate by vehicle activities during dry periods. Therefore, this research is achieved to determine the changes of pollutant loading rate by development plan and to provide the best management practices for controlling nonpoint pollutants.

Keywords: Best Management Practices, First Flush, Nonpoint Sources, TPLMS

:: 요 지 ::

환경부에서 국내 4대강에 도입한 수질오염총량관리제는 점오염원뿐만 아니라 비점오염원의 관리를 통해 주요 상수원수인 4대강의 수질을 개선하고자 함이다. 비점오염원의 주요 근원은 토지이용이며, 개발사업은 토지이용의 변화를 의미하고 비점오염물질의 유출 증가를 의미한다. 따라서 본 연구는 수질오염총량관리제가 도입되어 있는 한강수계의 리조트 개발사업에서 개발계획에 따른 토지이용의 변화와 더불어 유출이 증가하는 비점오염물질의 양을 추정함으로써 관리방안을 수립하고자 한다. 이러한

+ Corresponding author, leehyung@kongju.ac.kr

* 비회원·환경관리공단 유역관리처

** 정회원·공주대학교 건설환경공학부·방재연구센터

*** 정회원·교신저자·공주대학교 건설환경공학부·방재연구센터

목적 달성을 위하여, 개발사업 전후의 토지이용에 따른 비점오염물질의 발생 및 배출 부하량 변화를 산정하였으며, 이를 근거로 비점오염물질 유출 관리가 요구되는 토지이용을 선정하였다. 또한 그 결과를 이용하여 적정 비점오염물질 관리방안(최적관리방안)을 수립하고자 한다.

핵심용어: 비점오염원, 리조트, 초기강우, 토지이용, 최적관리방안

1. 서론

1989년 이전까지의 국내 스키장사업은 대관령의 용평스키장을 비롯한 5개소에 불과하였으나, 1990년과 1992년에 추가적으로 각각 2개소가 개장하여 전체 9개소로 증가하였고, 이후 1996년을 기점으로 하여 스키장비의 저렴화와 대기업의 리조트 개발과 맞물려 대중화의 기틀을 마련하면서 급속한 성장을 보여(윤병국, 2001), 계획 중인 스키장 개발사업이 순조롭게 진행될 경우 전국의 스키장 수는 지속적으로 증가할 전망이다(김 등, 2000).

하지만 임야를 스키장 등으로 지목을 변화시키는 개발사업은 포장율의 증가를 초래하며, 이러한 포장지역은 다양한 차량의 운행으로 인하여 비점오염물질의 축적과 함께 초기 강우시 다량의 고농도 오염물질의 유출이 발생하는 토지이용을 의미하게 된다. 스키장 리조트의 경우 임야였던 토지이용이 스키장 루프, 주차장, 도로, 건물 등으로의 토지이용이 변경됨에 따라 불투수층 면적의 증대를 유발함과 동시에 비점오염물질의 유출 증가를 초래하게 되어 인근 하천의 수질에 지대한 영향을 미치게 되므로, 이러한 토지이용 변화에 동반하는 비점오염물질의 관리방안 수립이 필요하게 된다.

특히 포장지역에서의 강우유출수는 그 양이 매우 크므로 경제적인 관점에서 볼 때 모든 강우유출수를 처리한다는 것은 불가능하므로, 비점오염물질 저감시설 설계시에는 고농도의 오염물질이 유출되는 초기 강우(김 등 2005a; 이 등 2006)의 범위를 설정해야 한다.

환경부 및 건설교통부에서의 비점오염원 저감시설 설치대상 사업들 중에서 리조트 스키장 개

발사업과 관련되는 사업을 정리해 보면, 도로건설(도로, 교량 건설), 관광단지(관광사업, 관광지 및 관광단지, 온천, 도시공원, 유원지, 자연공원), 체육시설(청소년수련시설, 체육시설, 경정·경륜시설) 등은 비점오염물질 저감시설 설치대상으로 분류되어 있으므로 사업의 계획단계부터 비점오염물질 처리 및 저감을 위한 시설의 설치가 고려되어야 한다. 또한, 환경영향평가 및 사전환경성 검토시 비점오염원에 대한 관리시설 신고 및 설치의 의무화가 요구되고 있다.

환경부는 산업의 발달과 토지이용의 고도화로 인해 기존의 농도규제로는 하천의 수질개선이 어렵다는 판단하에 유역으로부터 하천수계로 유입되는 오염물질의 총량을 규제한다는 목적으로 오염총량관리제(Total Pollution Load Management System)를 실시하고 있지만, 국내 4대강 비점오염원의 오염부하량 기여율이 22~40%를 차지하고 있어 비점오염원의 관리없이 오염총량제의 성공적인 정착을 기대할 수 없는 실정이다(환경부, 2003).

따라서 본 연구는 리조트 스키장 개발사업에 함여 있어 발생 가능한 비점오염물질의 경향을 예측하고, 이에 대한 관리 방안을 제시함으로써 개발사업으로 인한 비점오염물질의 유출 가능량을 최소화하는데 목적을 두었다.

2. 재료 및 방법

2.1. 개발 현황

리조트 스키장 개발사업에 포함될 예정인 토지이용별 비점오염원 면적은 그림 1에 표시한 바와 같이 대부분 임야로서 127.4 ha로 96.6%를 차지하고, 그 외는 논 0.8%, 밭 1.1%, 도로 0.1%

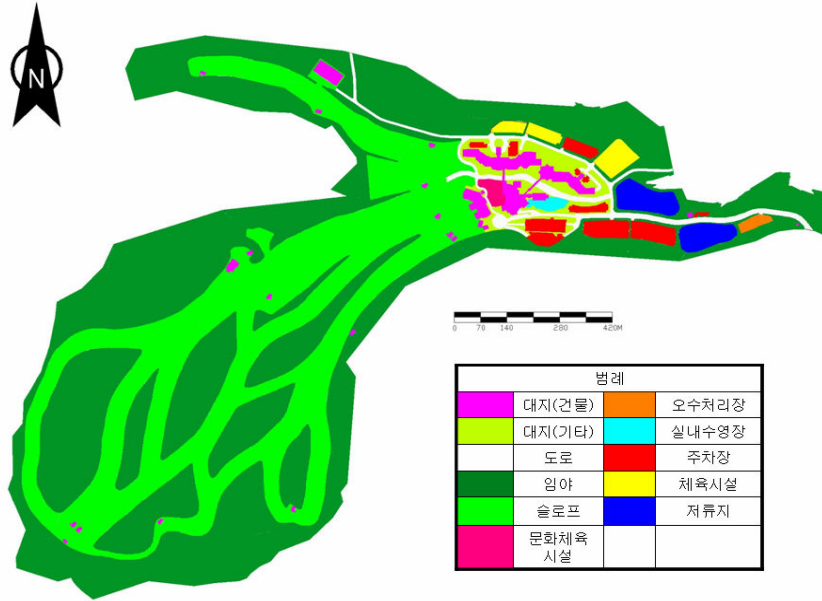


그림 1. 리조트 스키장 토지이용 계획도

및 기타 1.4%이다. 개발 완료후의 토지이용계획은 131.9ha의 전체 면적 가운데, 체육시설이 128.9ha, 관광·휴양 시설인 숙박시설이 2.9ha를 차지하고 있다.

2.2. 기상 자료

개발 대상 예정지 인근에 위치하고 있는 이천 지역 기상청의 과거 10년간, 즉 1996~2005년 동안의 일별, 월별 강수량 및 평년 강우량 자료를 분석하였다. 본 연구에서는 강우량 해석을 통하여 비점오염물질의 자연형 저감시설 설계시 요

구되는 적정 용량을 검토하였다.

2.3. 비점오염물질 원단위

스키장 리조트 개발사업에 적용될 토지이용별 발생 원단위는 환경부(1999)에서 고시한 수질오염총량관리계획수립지침에 의거하여 다음 표 1의 값을 적용하였다. 도로의 경우는 대지보다 BOD, T-N 및 T-P의 값이 낮지만, 수질오염총량관리계획수립지침(환경부, 1999)에서 언급하였듯이 충분한 안전율을 부여하기 위하여 대지의 원단위를 적용하기로 하였다.

표 1. 토지이용별 비점오염물질 EMC 및 원단위

구 분 (단위: kg/km ² ·일)	BOD	TN	TP
논	2.3	6.56	0.61
밭	1.6	9.44	0.24
임 야	1.0	2.20	0.14
대 지	85.9	13.69	2.10
목 장	35.1	5.37	1.72
골프장	1.0	3.56	2.76
기 타	1.0	0.06	0.03

비고 : 1. 밭은 지역별 면적중 전과 과수원을 포함

2. 대지는 대지, 공장용지, 학교용지, 도로, 철도용지, 체육용지(골프장 제외), 유원지, 종교용지, 사적지 포함

3. 기타에는 광천지, 염전, 제방, 구거, 유지, 수도용지, 공원, 묘지, 잡종지를 포함

3. 결과 및 고찰

3.1 강우사상해석을 통한 적정 처리용량 산정

대상 유역내의 최근 10년간의 년 평균 강수량은 국내 평균보다 약간 높은 1362.8mm를 나타냈고, 강우량별 발생빈도는 그림 2에 표시한 바와 같다. 1mm 이하의 강우 발생빈도는 평균 20.4%, 5mm 이하의 강우 발생빈도는 평균 52.4%를 나타내고 있으며, 10mm 이하의 강우 발생빈도가 65.7%를 나타내고 있어, 대부분 대상 유역내에서 발생하는 강우는 65.7% 정도가 10mm 이하의 소강우로 분석되었다.

그림 3은 최근 10년간의 강우사상별 누적발생빈도에 따른 누적 강우량 해석 결과를 나타내고 있다. 강우 사상 발생빈도에서 누적 강우량은 발생빈도 60%이상에서 급격히 증가하는 것으로 분

석되었고, 이때의 누적강우량은 7.4mm로 나타났는데, 이는 향후의 비점오염원 저감시설 설계(김 등, 2005)시 비용 효율적 측면에서 시설의 용량 산정 결정에 중요한 자료가 되리라 판단된다.

환경부 비점오염원관리 업무편람(2004)에서는 자연형 시설의 규모 산정을 위해 요구하는 최소 기준은 누적 강우량으로 환산하여 5mm로 제시되어 있다. 이는 그림 3에 나타낸 바와 같이 최소 기준을 누적 강우량 5mm로 판단할 경우 평균 55% 정도의 강우사상을 차집할 수 있을 것으로 해석된다.

또한 비점오염원관리 업무편람(2004)에서는 80% 강우사상에 해당하는 누적 강우량도 또 하나의 방안으로 추천하고 있는데, 최근 10년간의 강우량 자료를 활용하여 80% 강우사상에 해당하는 누적강우량을 산정한 결과 평균 20.3mm로 매우 큰 값을 나타냈다(그림 4). 발생빈도 60%

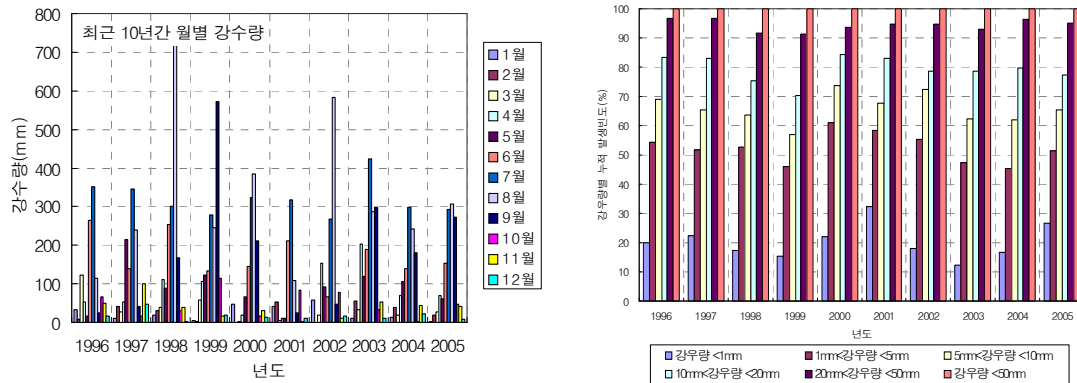


그림 2. 최근 10년간 월별 강수량 및 강우사상별 누적 발생빈도

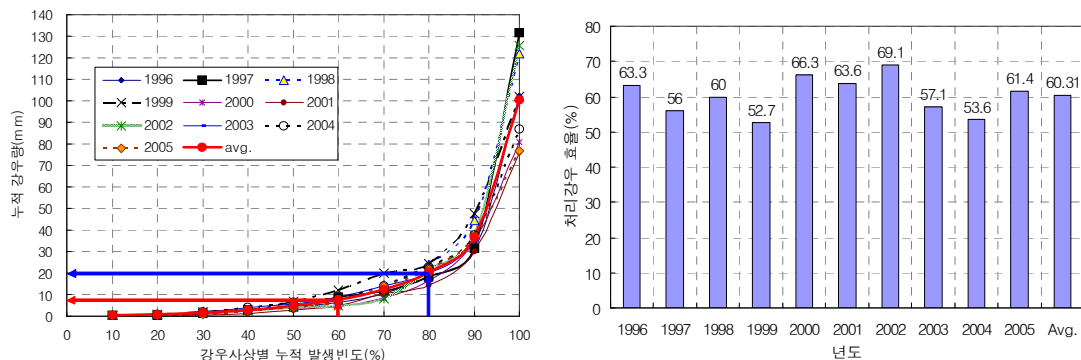


그림 3. 강우사상별 누적발생빈도에 따른 누적 강우량

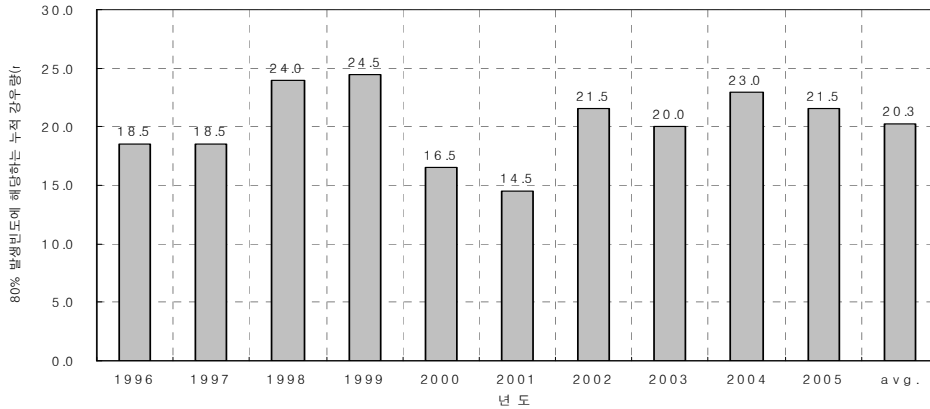


그림 4. 최근 10년간의 강우량 자료를 활용한 80% 강우사상에 해당하는 누적 강우량

일 경우 발생빈도가 20~25% 증가할 경우 누적 강우량은 약 13~15mm 정도가 증가한 것으로 비점오염원 시설 설계시 규모 측면에서는 엄청난 차이를 초래하는 결과라 할 수 있으므로 비용효율 측면에서는 20.3mm가 바람직하지 않다는 것을 의미한다. 이는 포장지역의 경우 강우초기에 고농도의 오염물질이 유출되는 초기강우 현상을 고려하지 않았기에 나타나는 결과로서 비점오염물질의 적정 처리용량 산정을 위한 기준 도출을 위해서는 오염물질의 농도와 유출유량 또는 강우량이 고려되는 초기강우의 검토가 필요할 것으로 사료된다.

따라서 대상유역 내 포장지역의 비점오염물질이 다량 포함된 초기강우를 자연형 시설로 처리하고자 할 경우에는 비점오염물질 저감시설의 적정 처리용량의 산정시 필요한 초기강우 기준을 누적강우량으로 7.4mm로 설정함이 타당한 것으로 판단된다.

3.2. 개발 전후의 비점오염물질 발생 및 배출 부하량 산정

개발 전 토지이용분석결과, 임야가 96.56%, 밭이 1.11%, 논이 0.82%, 도로가 0.13% 그리고 기타 1.38%로 분포되어 있는 것으로 분석되었고, 비점오염물질 발생부하량 및 배출부하량 산정 결과를 표 2에 나타내었다. 개발사업 전의 발생부하량을 살펴보면, BOD의 경우 1.5741kg/day가 발생되고, TN의 경우 3.0508kg/day, TP의 경우 0.1948kg/day가 발생되며, 발생 부하량 중 배출부하량으로 BOD의 경우 0.3935kg/day, TN의 경우 0.7627kg/day, TP의 경우 0.0487kg/day가 배출되는 것으로 분석되었다.

발생부하량 산정시 재활용저류조, 저류지, 하천 등은 비점오염물질을 발생시키는 토지이용이라기보다는 비점오염물질을 저류하여 저감시키는 토지이용계획으로 발생부하량에 포함시키지 않았다. 토지이용 계획에 따른 비점오염물질 발생부

표 2. 개발 전 비점오염물질 발생부하량 및 배출부하량

토지이용 (비점오염원)	면적(m ²)	발생부하량(kg/day)			배출부하량(kg/day)		
		BOD	TN	TP	BOD	TN	TP
논	10,860	0.0250	0.0712	0.0066	0.0062	0.0178	0.0017
밭	14,608	0.0234	0.1379	0.0035	0.0058	0.0345	0.0009
임야	1,274,212	1.2742	2.8033	0.1784	0.3186	0.7008	0.0446
대지(도로)	1,769	0.1520	0.0242	0.0037	0.0380	0.0061	0.0009
대지(체육용지)	959	0.0824	0.0131	0.0020	0.0206	0.0033	0.0005
기타	17,206	0.0172	0.0010	0.0005	0.0043	0.0003	0.0001
계	1,319,614	1.5741	3.0508	0.1948	0.3935	0.7627	0.0487

표 3. 개발 후 토지이용별 비점오염물질 발생부하량 및 배출부하량

토지이용 (비점오염원)	면적(m ²)	발생부하량(kg/day)			배출부하량(kg/day)		
		BOD	TN	TP	BOD	TN	TP
임야	1,162,840	1.1629	0.929	0.0791	0.4069	0.3252	0.0277
대지	73,493	6.3045	1.0048	0.1544	3.7826	0.6027	0.0927
도로	28,060	2.4104	0.3842	0.059	1.4462	0.2305	0.0353
주차장	27,037	2.3312	0.3715	0.057	1.3987	0.2229	0.0342
하천	8,810						
기타	19,374						
계	1,319,614	12.2087	2.6893	0.3491	7.0345	1.3814	0.1897

하량을 살펴보면, BOD의 경우 12.2087kg/day, TN이 2.6893kg/day 그리고 TP가 0.3491kg/day를 나타내고 있으며, 개발 후 비점오염물질 배출부하량은 BOD 7.0345kg/day, TN 1.3814 kg/day, TP 0.1897kg/day를 배출하고 있는 것으로 분석되었다.

3.3. 개발 전후의 토지이용 변동에 따른 오염물질 발생 및 배출 부하량 비교

그림 5는 개발 전·후의 토지이용 비율 변동 현황을 나타내고 있는데 임야가 96.6%에서 90%로 줄어든 반면, 개발 후에는 대지, 도로 및 주차장의 면적은 5.7%, 2.2% 그리고 2.1%로 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 토지이용 변동 상황과 비점오염물질 발생 부하량과 비교할 때, 대지, 주차장 및 도로의 면적은 전체 면적의 10.0%만 차지하고 있지만, BOD 발생부하량 90.5%, TN의 경우 65.0%, 그리고 TP의 경우 77.2%로 매우 큰 비율을 차지하고 있다.

개발이 완료된 이후의 토지이용으로부터 스키장 루프를 제외하고는 대지(콘도미니움, 체육시설 등), 주차장 및 도로 건설등과 같이 포장지역의 증가를 알 수 있으며, 이런 지역들이 대표적으로 비점오염원이라고 할 수 있다.

개발사업 전후의 토지이용에 따른 비점오염물질 발생부하량 및 배출부하량의 증감을 표 4와 그림 6에 나타내었다. 개발에 따른 토지이용변화에 따라 발생부하량의 경우, BOD와 TP가 10.6346kg/day 및 0.1543kg/day가 개발로 인하여 부하량이 발생하는 것으로 분석되었고, TN의 경우에는 개발에 따라 0.3615kg/day 만큼 발생량이 감소하는 것으로 나타났다. 개발에 따라 비점오염물질의 발생부하량을 증가시키는 요인으로는 대지, 도로 및 주차장의 토지이용의 변화임을 알 수 있다. 개발로 인하여 BOD 배출부하량은 6.6410kg/day, TN은 0.6187kg/day 그리고 TP는 0.1410kg/day이 증가되어 배출되는 것으로 나타났다.

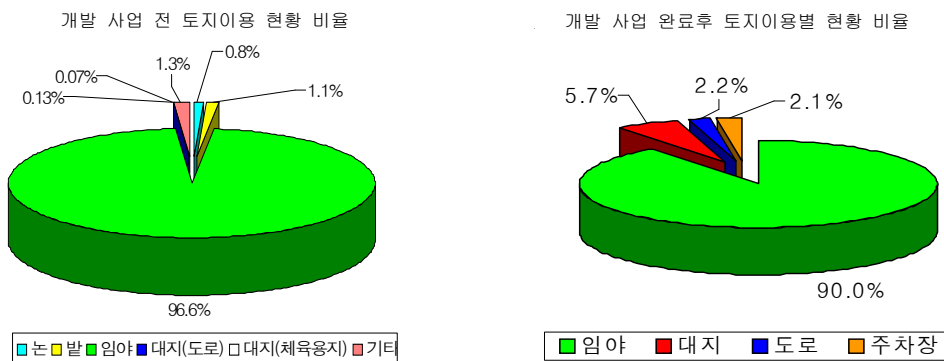


그림 5. 개발 전·후의 토지이용 비율 변동 현황

표 4. 개발에 따른 비점오염물질 발생부하량 및 배출부하량 증감

항목	발생부하량 (kg/d)			배출부하량 (kg/d)		
	개발전	개발후	증감	개발전	개발후	증감
BOD	1.5741	12.2087	+ 10.6346	0.3935	7.0345	+ 6.6410
TN	3.0508	2.6893	- 0.3615	0.7627	1.3814	+ 0.6187
TP	0.1948	0.3491	+ 0.1543	0.0487	0.1897	+ 0.1410

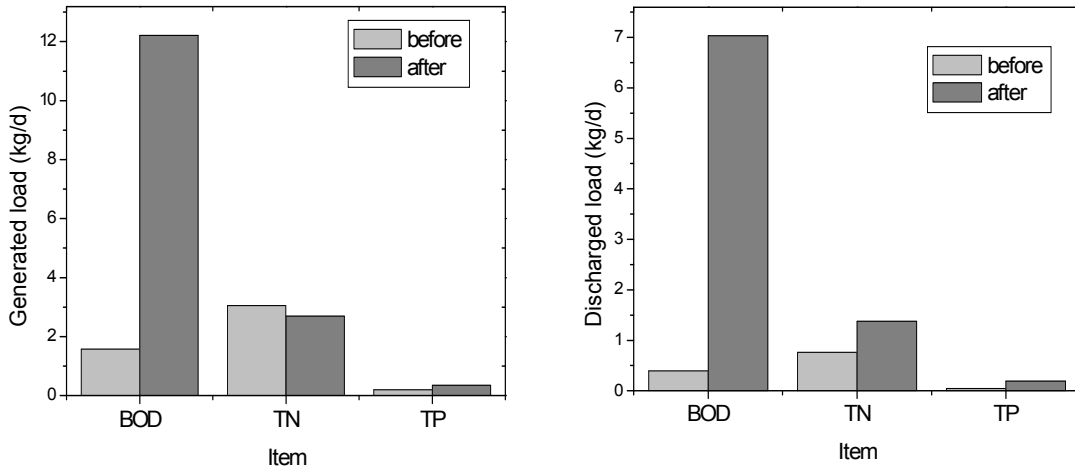


그림 6. 개발 전후 비점오염물질 발생부하량 및 배출부하량 비교

개발 전·후의 토지이용별 BOD와 TN의 발생 부하량 비율 변동분석결과를 그림 7과 그림 8에 각각 나타내었다. 개발 전에는 임야로부터 BOD 발생부하량이 80.9%를 차지하였으나, 개발 이후에는 9.5%로 줄어들었으며, 도로로부터의 부하량이 9.7%에서 19.7%로, 그리고 새롭게 대지와 주차장으로부터 BOD 오염부하가 전체부하의

51.6% 및 19.1%로 급격히 늘어남을 관찰할 수 있었다.

개발 전·후의 TN 발생 부하량 비율 변동분석 결과, 개발 전에는 임야로부터 TN 발생부하량이 91.9%를 차지하였으나 개발 이후에는 35.0%로 줄어들었고, 도로로부터의 부하량이 0.79%에서 14.2%로 그리고 추가적으로 대지와 주차장으로

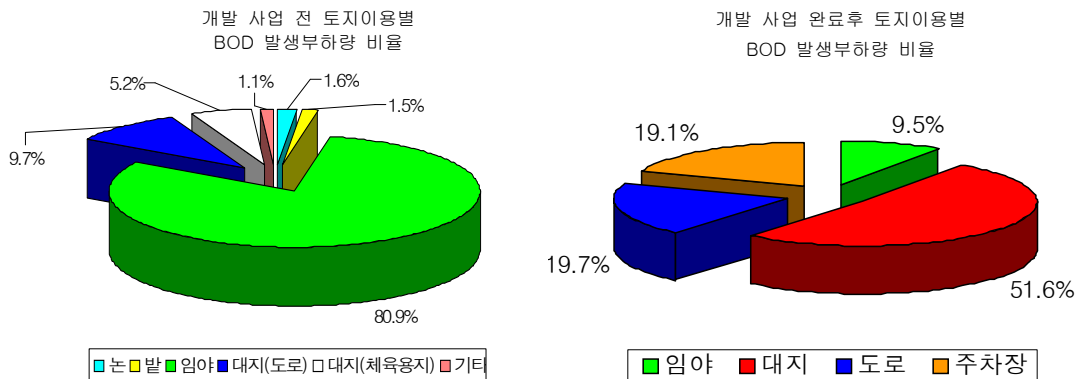


그림 7. 개발 전·후의 BOD 발생부하량 비율 변동 비교

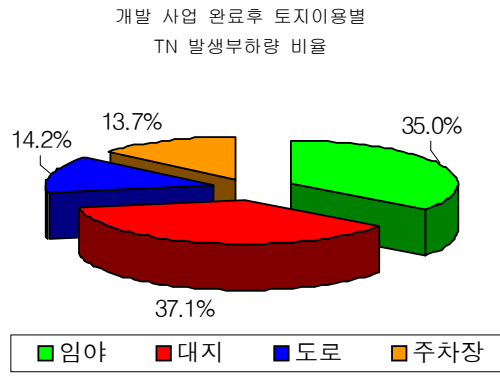
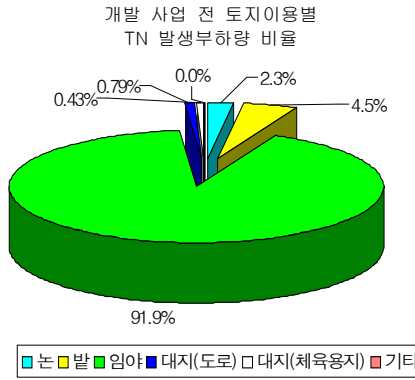


그림 8. 개발 전·후의 TN 발생부하량 비율 변동 비교

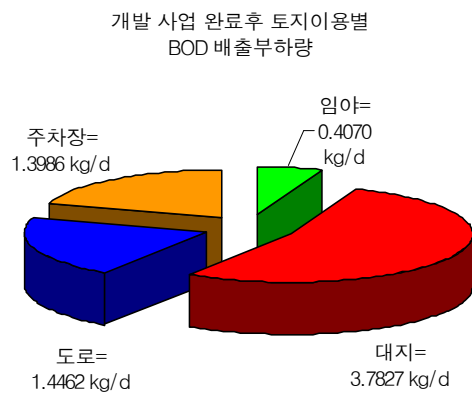
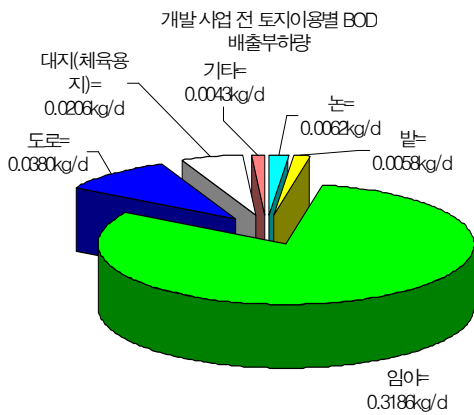


그림 9. 개발 전·후의 BOD 배출부하량 변동 비교

부터 TN 오염부하가 전체부하의 37.1% 및 13.7%로 급격히 증가함을 관찰할 수 있었으며, T-P의 경우도 이와 유사한 것으로 나타났다.

그림 9에는 토지이용별 개발 사업 전·후의 비점오염물질의 배출부하량 변동 현황을 표시하였는데, 대지, 도로 및 주차장에서 가장 많은 비점오염물질이 유출되는 것으로 분석됨에 따라 토지이용에 대한 대책 및 저감 시설의 설치가 요구되고 있다.

다음 그림 10은 개발에 따른 토지이용 중 대지로부터 배출되는 부하량비율을 나타낸 것으로, BOD의 경우 94.2%, TN 76.5%, TP 85.4%로 차지하는 것으로 나타났으며, 이것은 전체토지이용 중 대지면적의 증가로 인하여 기인하는 것을 알 수 있다.

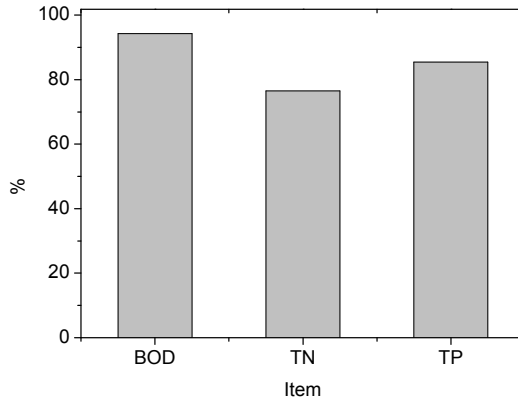


그림 10. 전체 배출부하량에 대한 대지의 배출부하량 비율

이상에서 살펴본 바와 같이 리조트 스키장 개발사업에서는 토지피복 상태가 변화하여 포장 지

역 즉, 대지, 주차장 및 도로의 면적이 증가함에 따라 비점오염물질 유출을 저감 및 처리할 수 있는 시설의 설치가 요구된다. 개발 완료 후에는 시설녹지가 늘어나는 만큼, 이러한 공간을 활용하여 대지, 주차장 및 도로로부터 유출되는 비점오염물질을 저감 및 처리할 수 있는 대책 및 시설의 계획이 필요하다. 특히 대지, 주차장 및 도로의 경우 포장율이 높고 인간 및 차량의 활동이 빈번하여 비점오염물질 발생부하량 및 배출부하량이 높은 특성을 가지고 있으며(김 등 2004b; 김 등 2005c), 초기강우의 현상을 나타내는 토지이용이므로 초기강우에 대한 대책수립이 필요하다.

4. 결론

본 연구에서는 리조트 스키장 개발사업에 따른 발생 가능한 비점오염물질의 경향을 예측하고, 이에 대한 관리방안을 제시하기 위하여 수행되었으며, 도출된 결과는 다음과 같다.

- 1) 포장지역의 비점오염물질이 다량 포함된 초기강우를 처리하고자 하는 비점오염물질 저감시설의 적정 처리용량의 산정시 필요한 초기강우 기준은 누적강우량으로 7.4mm가 적합한 것으로 판단된다.
- 2) 개발 전·후의 BOD 발생부하량 비율 변동을 비교한 결과, 개발 전에는 임야로부터 BOD 발생부하량이 80.9%를 차지하였으나, 개발 이후에는 9.5%로 감소하며, 도로로부터의 부하량은 9.7%에서 19.7%로, 대지와 주차장으로부터 BOD 오염부하가 전체부하의 51.6% 및 19.1%로 급격히 증가하는 것으로 분석되었다.
- 3) 개발 사업 전·후의 비점오염물질의 배출부하량 분석 결과, 대지, 도로 및 주차장에서 가장 많은 비점오염물질이 유출되는 것으로 분석됨에 따라 토지이용에 대한 대책

및 시설의 설치가 우선적으로 요구되는 것으로 나타났다.

참고문헌

김숙자, 허현미 (2000). “스포츠시설 개발과 환경 보전 방안 -골프장과 스키장을 중심으로-”, 한국스포츠사회학회지, 13(2), pp. 411-426.

김이형, 강주현 (2004). “고속도로 강우 유출수 내 오염물질의 EMC 및 부하량 원단위 산정”, 한국물환경학회지, 20(6), pp 631-640.

김이형, 이선하 (2005a). “강우시 주차장 및 교량에서 유출되는 비점오염물질의 특성 비교 및 동적 EMCs”, 한국물환경학회지, 21(3), pp. 248-255.

김이형, 이선하 (2005b). “주차장 및 교량 강우 유출수의 중금속 오염물질 특성과 동적 EMCs”, 한국물환경학회지, 21(4), pp. 385-392.

김이형, 이병식, 권수열 (2005c). “산업단지내 비점오염물질 처리를 위한 적정 저류용량 산정 및 처리효율”, 한국습지학회지, 7(3), pp. 75-85.

이은주, 고석오, 강희만, 이주광, 이병식, 임경호, 김이형 (2006). “포장지역에서의 강우사상별 EMC 산정 및 단순 샘플농도와의 비교”, 한국물환경학회지, 22(1), pp. 104-109.

윤병국 (2001). “스키장의 지리적 조건과 이용행태 분석 -강원도 P리조트를 중심으로-”, 한국관광정보학회, 7, pp. 29-62.

환경부 (1999). [수질오염총량관리계획수립지침, 환경부 고시 제 1999-143호] 1999. 9. 15.

환경부 (2003). 관계기관 합동 비점오염원관리 방안 수립.

환경부 (2004). [비점오염원관리 업무편람]