

## 골프장에서 발생하는 비점오염원 유출특성

신민환 · 최재완\* · 최용훈 · 박운지 · 원철희 · 신동석\* · 임경재 · 최중대†

강원대학교 농업생명과학대학 지역건설공학과

\*국립환경과학원 수질총량연구과

## Runoff Characteristics of Non-point Source Pollutant Loads Generated on Golf Course

Minhwan Shin · Jaewan Choi\* · Younghun Choi · Woonji Park · Chulhee Won ·

Dongsuk Shin\* · Kyoung Jae Lim · Joongdae Choi†

Geum-River Environment Research Laboratory

\*Division of Agricultural Engineering, Kangwon National University

(Received 3 July 2011, Revised 9 September 2011, Accepted 7 October 2011)

### Abstract

Activities on golf courses are believed to contribute to the degradation of water quality in receiving waters due to the excessive use of farm chemicals including fertilizers and pesticides. The objective of this study was to collect basic data that could explain the characteristics of non-point source (NPS) pollution discharged from a golf course. Twenty seven water quality monitoring was conducted at a golf course during the rainy season of 2008 and 2009. The results indicated that the ranges of the Event Mean Concentration (EMC) at the golf course were BOD<sub>5</sub> 1.8~11.3 (ave. 5.6) mg/L, COD<sub>Mn</sub> 19.2~51.4 (ave. 39.6) mg/L, TOC 11.0~31.0 (ave. 16.8) mg/L, TN 1.545~16.098 (ave. 5.623) mg/L, TP 0.230~4.528 (ave. 1.525) mg/L, and SS 2.2~57.3 (ave. 10.1) mg/L. The unit loads of the golf course estimated were BOD<sub>5</sub> 3.35 kg/km<sup>2</sup>/day, SS 6.43 kg/km<sup>2</sup>/day, COD<sub>Mn</sub> 30.00 kg/km<sup>2</sup>/day, TN 4.04 kg/km<sup>2</sup>/day, TP 1.14 kg/km<sup>2</sup>/day, and TOC 12.16 kg/km<sup>2</sup>/day. Golf courses are currently classified as a grass field in which the unit loads are different from golf courses. Therefore, it was recommended that golf courses need to be separated from the grass field when the surveys and modelings for Total Maximum Daily Load (TMDL) development and the evaluation of TMDL implementation were performed.

**keywords** : Event Mean Concentration (EMC), Golf course, Non-point source (NPS), Runoff, Total Maximum Daily Load (TMDL), Unit loads

## 1. 서론

비점오염원은 주로 비가 올 때 빗물과 함께 배출되기 때문에 빗물오염이라고도 한다. 이러한 비점오염원은 생활하수나 공장폐수, 축산폐수와 같은 점오염원과 달리 오염물질의 배출경로가 일정하지 않기 때문에 한 곳에서 모아 처리하기가 어렵고, 바로 하천으로 유입되기 때문에 수계의 수질 및 생태계에 악영향을 미친다. 또한 비점오염원은 2003년을 기준으로 전체 수질오염의 42~69%를 차지하고 있으며, 2015년에는 65~70%까지 증가할 것으로 예시되고 있다(환경부, 2006). 이러한 비점오염원을 줄이기 '4대강 물관리 종합대책(98~05)', '수질오염총량관리', 그리고 비점오염원 비율이 상대적으로 높은 지역을 비점오염원 특별관리지역으로 지정하는 '4대강 비점오염원관리종합대책' 등 비점오염원에 대한 수질개선을 위한 노력을 하고 있다(환경부, 2004). 미국의 경우 1970년대부터 수질에 미치는 비점오염

원의 중요성을 인식하고 지속적인 연구를 수행하여 많은 자료를 축적하였지만 2000년대부터 시작된 오염총량제(Total Maximum Daily Load: TMDL)를 개발하고 수행하는데 자료가 부족하거나 자료의 호환성이 부족하여 TMDL 개발에 많은 어려움을 겪고 있다(Nebraska, 2004; U.S. EPA, 1983). 이러한 문제를 해결하기 위해 우리나라도 전국의 토지를 대분류, 중분류 그리고 세분류로 구분하고 지목별로 발생부하, 할당부하 및 삭감부하 등의 비점오염부하를 정량적으로 산정하여 오염총량제에 사용될 수 있도록 노력을 하고 있다(신동석, 2007). 그러나 현재까지 우리나라에서 수행된 모니터링은 유역단위의 비점오염부하를 산정하기 위한 방법으로써 유역에서 발생하는 오염부하의 규모를 정량화하기에는 유용하지만, 중분류 지목별 토지이용에서 발생하는 비점오염부하와 원단위를 산정하기에는 비효과적이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 토지분류체계의 지목별로 장기적인 모니터링을 통해 비점오염부하의 정량화가 이루어질 필요가 있다(신민환 등, 2007; 원철희, 2009).

우리나라는 국민소득의 증가와 레저생활의 고급화로 인해 골프장의 수요 및 신설이 급증하고 있다. 그러나 우리

† To whom correspondence should be addressed.  
jdchoi@kangwon.ac.kr

나라는 국토의 약 64%가 산림으로 이루어져 있지만(산림청, 2008), 대부분의 산림이 산악지대로서 골프장을 건설하고 운영할 수 있는 공간이 충분하지가 않다. 골프장의 운영과정에서 발생하는 오염원은 환경문제로 대두되고 있으며, 골프장의 무분별한 건설 등으로 인한 논란이 지속되고 있다. 서용찬(2005)에 의하면 골프장은 골프장의 잔디와 수목을 보호하기 위해 사용되는 농약 및 제초제 등으로 인해 주변토양과 수질환경오염 등 여러 가지 환경오염 문제를 야기시키고 더 나아가 환경오염에 의한 자연 생태계의 파괴를 초래한다고 하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해선 골프장에서 발생하는 오염원에 대한 저감기법이나 대책이 필요하며 오염원에 대한 정량적인 연구가 이루어져야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 수질오염총량제와 정책제안의 원활하고 합리적인 추진과 골프장에서 발생하는 오염원의 정량적인 연구를 위해 토지피복분류체계의 대분류 중 초지에 해당하고 중분류 중 골프장에 해당하는 지점을 선정하여 강우에 의해 발생하는 비점오염물질의 유출특성을 조사함으로써 골프장의 원단위 산정과 비점오염물질 유출특성에 대한 기초 자료를 수집하고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 유역현황

강우시 골프장에서 발생하는 비점오염물질의 유출특성을 조사하기 위하여 충청북도에 위치하고 있는 골프장을 선정하였다(Fig. 1). 선정된 골프장은 18개의 홀 중 2개의 홀에서 발생하는 유출수가 유입되는 곳으로 2개 홀의 유역면적은 5.5 ha이다. 골프장의 경우 강우가 발생하였을 때 강우의 원활한 배수를 위해 배수구가 설치되어 있으며, 배수구에 유량과 수질농도 측정을 위하여 위어를 설치하였다. 조사기간은 모니터링 장비가 설치된 2008년 6월부터 2009년

10월까지 총 27회의 강우유출수에 대하여 조사하였다. 골프장의 잔디는 티(tee)의 경우 쉐터티 블루글래스 초종이고, 그린(Green)은 벤틀글래스 초종에 해당하는 인공잔디로 이루어져 있다.

### 2.2. 모니터링 및 분석방법

강우에 의해 발생하는 강우유출수의 유량측정을 위해 Fig. 2와 같이 배출부에 90° V-notch 형태의 삼각위어(weir)를 설치하였다. 삼각위어는 직사각형 위어에 비해 유량에 의한 수위변화가 크기 때문에 정확한 수두(head)의 측정이 가능하다. 위어를 통해 유출되는 유출수의 수위를 ICSO 6712 Liquid Level Actuator (1640) 수위계를 이용하여 5분 간격으로 측정된 뒤 식 (1)의 공식을 이용하여 유량으로 환산하였다. 수질분석을 위한 시료는 자동수질시료채취기 ISCO sampler 6712를 설치하여 ‘강우유출수 조사방법’에 따라 초기에는 5~15분 간격, 2시간 이후에는 1~2시간 간격으로 시료를 채취하였다(환경부, 2009a). 채취된 시료는 아이스박스를 이용하여 실험실로 운반한 뒤 수질오염공정시험방법에 따라 BOD<sub>5</sub>, COD, TOC, SS, T-N, T-P 등 총 6개 항목에 대하여 분석하였다(환경부, 2005). 자동수질시료채취기는 수위계와 연동이 되도록 하였고, 강우에 의한 유출이 시작되면 수질시료 채취가 되도록 하였다. 또한 최근에 발생하고 있는 국지성 호우에 의해 각 지역마다 강우의 큰 차이가 발생하고 있기 때문에 본 연구에서는 정확한 강우분석을 위해 RG3-M 강우량계를 설치하여 0.2 mm 단위의 강우량을 측정하였다. 유량과 수질농도 그리고 강우량 측정에 있어서 정밀도와 정확도를 높이기 위해선 기기의 정확도와 수질분석의 정도가 중요하지만, 비점오염원 조사의 경우 나뭇가지나 잎사귀 그리고 곤충 등 예상치 못한 문제들이 발생할 수 있기 때문에 기기의 오작동을 방지하고 측정오차를 줄이기 위해 강우가 발생하기 전에 모니터링 지점에서 충분한 예비 작동과 청소를 실시하였다.

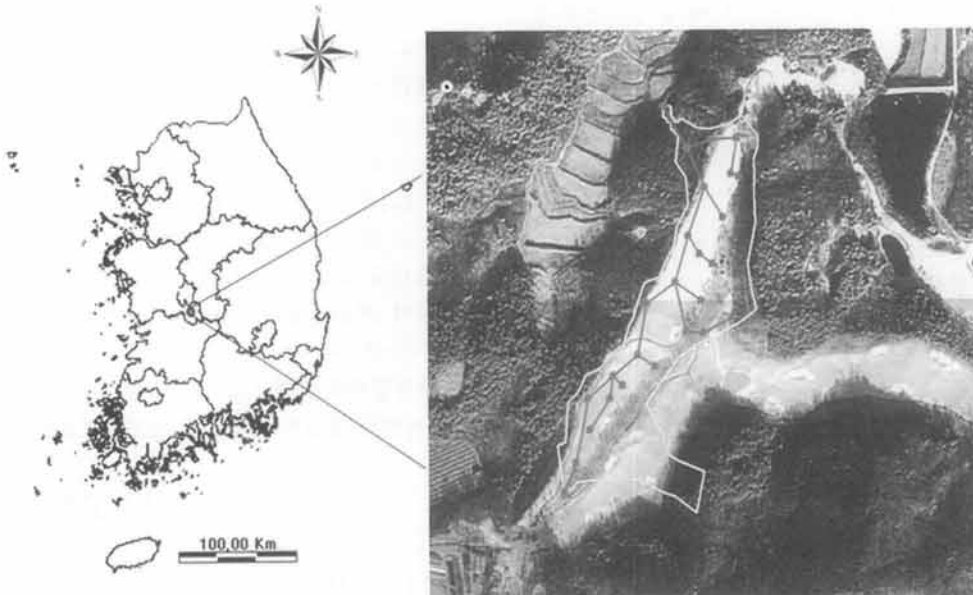


Fig. 1. Sketch of the golf course location.



Fig. 2. V-notch weir.

$$Q = 4.28C \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)(h+k)^{5/2} \quad (1)$$

여기서  $Q$ 는 유량(cfs),  $C$ 는 유출계수,  $\theta$ 는 위어의 각도,  $h$ 는 수위(ft) 그리고  $k$ (ft)는 수위 보정 factor이다.  $C$ 와  $k$ 는 아래의 수식을 이용하여 계산하였다.

$$C = 0.607165052 - 0.000874466963 \theta + 6.10393334 \times 10^{-6} \theta^2$$

$$k = 0.0144902648 - 0.00033955535 \theta + 3.29819003 \times 10^{-6} \theta^2 - 1.06215442 \times 10^{-8} \theta^3$$

### 2.3. EMC, 오염부하 및 원단위

골프장의 유출특성은 강우시 발생하는 유출량과 오염물질의 농도를 분석함으로써 수행하였다. 강우시 발생하는 오염물질은 시간대별로 다르며, 산술평균으로 농도를 산정하는 방법은 유량의 변화를 평가할 수 없기 때문에 EMC (Event Mean Concentration) 방법을 사용하여 산정한다(원철희 등, 2009; Kim et al., 2004). 본 연구에서도 유량의 변화를 반영할 수 있는 식 (2)를 이용하여 EMC를 산정하였다.

$$EMC(mg/L) = \frac{\int_0^n Q(i) \times C(i) di}{\int_0^n Q(i) di} \quad (2)$$

여기서,  $Q(i)$ 는  $i$ 번째의 구간별 유량( $m^3$ )이고,  $C(i)$ 는  $i$ 번째 분석된 수질항목 농도( $mg/L$ ),  $n$ 은 각 강우사상마다 분석된 시료의 개수이다.

식 (3)은 강우사상마다 강우에 의해 발생하는 유량과 수질농도의 값을 산정하고, 산정된 값들의 곱으로 오염부하량을 산정하는 식이다. 식 (3)은 유량과 농도의 측정 횟수가 많은 경우에 적용하면 유량과 농도의 변화를 반영하기에 적절하다. 선행연구에 의하면 오염부하의 정확성을 위해서는 연속적인 유량과 수질농도 데이터가 필요하다고 하였으며(Clement and Buzas, 1999; Miller et al., 2001), 한번의 강우사상마다 12개 이상의 수질데이터가 있어야 오염부하

의 발생 변화량을 평가할 수 있다고 하였다(Yaksich and Verhoff, 1983). 이는 유역의 특성과 강우특성에 따라 차이가 발생할 수 있으나 본 연구에서는 초기 강우유출수가 발생하였을 때 유량은 5분 간격 그리고 수질농도는 15분 간격으로 2시간 동안 측정하였으며, 강우유출 지속시간이 길 경우 선행연구보다 많은 수의 수질시료를 채취하여 분석하였다. 또한 산정된 오염부하와 골프장이 위치하고 있는 지역 기상청의 30년 연평균 강수량 자료를 이용하여 원단위를 산정하였다(식 (4)).

$$Load = \sum_{i=1}^n c_i q_i t_i \quad (3)$$

여기서,  $c_i$ 는  $i$ 번째의 농도이고,  $q_i$ 는 구간유량,  $t_i$ 는  $\frac{1}{2}(t_{i+1} - t_{i-1})$ 에 해당하는  $i$ 번째 샘플로써 표현되는 시간 구간이다.

$$Unit\ loading(kg/ha/year) = pollutant\ load(kg) \times \frac{f}{A(ha)} \quad (4)$$

여기서,  $A$ (ha)는 각 산림의 면적이고,  $f$ 는 연간원단위 환산 인자(각 지점 기상청의 30년 연평균강수량/실측 기간 강우량)

### 2.4. 초기세척효과

강우시 배수로나 지표면에 쌓여 있던 오염물질이 강우와 함께 유출된다. 이때 강우초기에 발생하는 오염물질이 후기에 발생하는 오염물질보다 높은 경향을 나타내는 현상을 초기세척효과(first flush phenomenon)가 발생한다고 한다(Gupta and Saul, 1996; Lee et al., 2002). 초기세척효과가 나타나는 유역이나 토지이용지역에서는 비점오염원 저감시설 설계나 유역별 유출특성에 따른 적절한 저감대책을 수립할 경우 효율적인 수질관리 방법을 도입하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 골프장에서 발생하는 오염물질이 초기세척효과가 나타나는지에 대한 분석을 실시하였다. 초기세척효과의 유·무 판단여부는 여러 연구자마다 조금씩 다른데 Bertrand-Krajewski 등(1998)은 총 오염부하량의 80% 이상이 초기유출량의 30%에 포함될 경우 초기세척효과가 나타난다고 하였으며, Geiger (1987)은 누적오염부하량과 누적유출량과의 그래프를 비교하여 기울기가 45도 기울기보다 상향하여 분포하였을 경우 초기세척효과가 발생한다고 하였다. 본 연구에서는 각 수질항목에 대하여 누적오염부하량과 누적유출량의 그래프를 도식화한 뒤, Geiger (1987)가 적용한 방법과 동일한 방법으로 초기세척효과를 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 수문분석 및 유출특성

비점오염원은 강우와 밀접한 연관이 있기 때문에 유역이

나 토지지목에 따른 비점오염원에 대한 연구에 앞서 조사대상지역의 강우특성 연구가 선행되어야 한다. 본 연구에서는 조사대상지역의 수문분석 중 강우계급별 빈도를 분석하기 위하여 조사대상지역 인근의 청주기상청(30년자료)의 강우자료를 분석하여 강우계급별 빈도분석 결과를 나타내었다

(Table. 1). 연구지점의 30년 평균 총 강우량은 1,256.3 mm로 나타났으며, 100 mm 이상의 많은 비가 발생한 빈도는 1년에 약 1회정도 발생하는 것으로 나타났다. 0~10 mm 계급이 81회로 가장 많은 것으로 나타났고, 50 mm 이하의 10 mm 단위 강우계급은 2회 이상 발생한 것으로 나타났다.

**Table 1.** Frequency of daily rainfall at Cheongju city

Rainfall class (mm)	Annual average frequency	Total class rainfall (mm)	Rainfall per event (mm)	Rainfall class (mm)	Annual average frequency	Total class rainfall (mm)	Rainfall per event (mm)
0~10	81.07	205.1	2.5	120~130	0.17	21.3	127.5
10~20	13.70	196.9	14.3	130~140	0.07	8.9	133.5
20~30	6.80	167.3	24.6	140~150	0.07	9.7	145.9
30~40	3.87	136.2	35.2	150~160	0.10	15.4	153.8
40~50	2.90	130.2	44.7	160~170	0.00	0.0	0
50~60	1.30	71.7	55.3	170~180	0.03	5.8	172.6
60~70	1.20	77.0	64.1	180~190	0.00	0.0	0
70~80	0.60	45.1	75.2	190~200	0.03	6.6	198
80~90	0.50	42.5	85.8	210~220	0.03	7.2	217
90~100	0.33	31.3	94.1	220~230	0.03	7.5	224.7
100~110	0.33	34.6	103.8	260~270	0.00	0.0	0
110~120	0.23	26.2	112.2	290~300	0.03	9.8	293
				Sum	113.40	1,256.3	

**Table 2.** Description of storm events

Event date	Total rainfall (mm)	Rainfall duration (hr)	Avg. rainfall Intensity (mm/hr)	Total runoff (m <sup>3</sup> )	Runoff duration (hr)	Runoff depth (mm)	Runoff rate
08. 06. 02~03	15.0	5	3.0	20.20	5	0.37	0.024
08. 06. 08	11.0	4	2.8	22.57	6	0.41	0.037
08. 06. 18	30.5	12	2.5	31.68	7	0.58	0.019
08. 06. 18~19	28.0	6	4.7	101.65	27	1.85	0.066
08. 07. 17	18.0	7	2.6	38.59	7	0.70	0.039
08. 08. 13~15	58.5	7	8.4	92.07	7	1.67	0.029
08. 08. 15~17	46.5	9	5.2	141.88	41	2.58	0.055
09. 03. 13	19.2	15	1.3	25.38	13	0.46	0.024
09. 04. 20	20.6	14	1.5	47.26	6	0.86	0.042
09. 05. 16~17	50.5	29	1.7	847.93	23	15.42	0.305
09. 05. 21~22	32.2	14	2.3	530.92	32	9.65	0.300
09. 06. 03	9.0	2	4.5	69.50	9	1.26	0.140
09. 06. 09~10	28.5	14	2.0	65.19	23	1.19	0.042
09. 06. 20~21	14.5	7	2.1	53.23	23	0.97	0.067
09. 06. 29	11.5	14	0.8	8.75	5	0.16	0.014
09. 07. 02	6.5	2	3.3	6.64	6	0.12	0.019
09. 07. 07~08	39.0	6	6.5	375.70	24	6.83	0.175
09. 07. 09~10	82.0	17	4.8	2,082.34	32	37.86	0.462
09. 07. 11~13	67.5	22	3.1	1599.71	40	29.09	0.431
09. 07. 13~14	5.0	7	0.7	86.99	20	1.58	0.316
09. 07. 14~16	65.5	11	6.0	1440.35	39	26.19	0.400
09. 07. 17~18	11.5	6	1.9	148.33	25	2.70	0.235
09. 07. 19	16.0	8	2.0	71.08	32	1.29	0.081
09. 08. 11~12	32.6	13	2.5	125.52	19	2.28	0.070
09. 08. 12~13	36.4	18	2.0	839.53	40	15.26	0.419
09. 08. 27~29	41.2	9	4.6	725.62	20	13.19	0.320
09. 10. 17	13.8	6	2.3	15.34	15	0.28	0.020

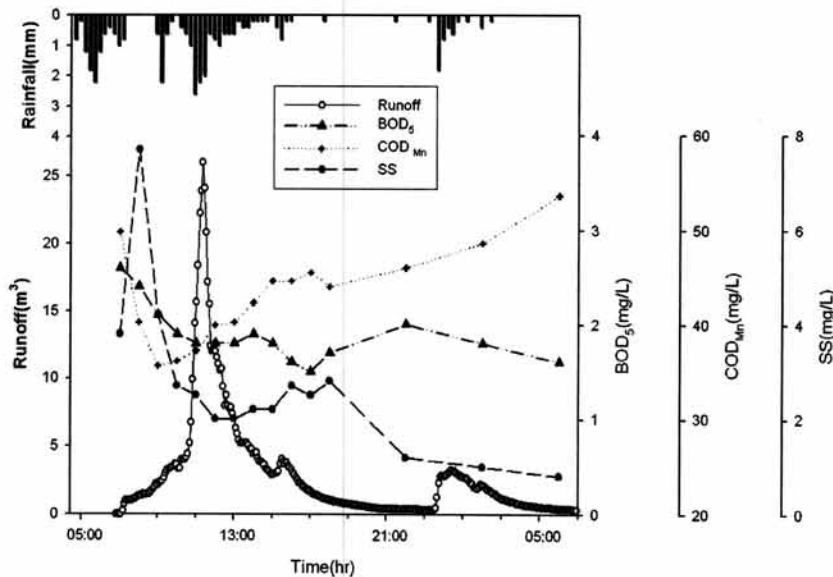


0~50 mm 사이의 강우빈도는 연강우량의 95.5%로 나타났으며, 50~100 mm 사이는 연강우량의 3.5%인 것으로 나타났다. 본 연구에서 조사된 강우유출수의 강우량 범위는 5~82 mm로 본 연구지점에서 발생하는 총 강우빈도의 약 98.7%에 해당하는 강우량 범위의 연구를 수행한 것으로 나타났다.

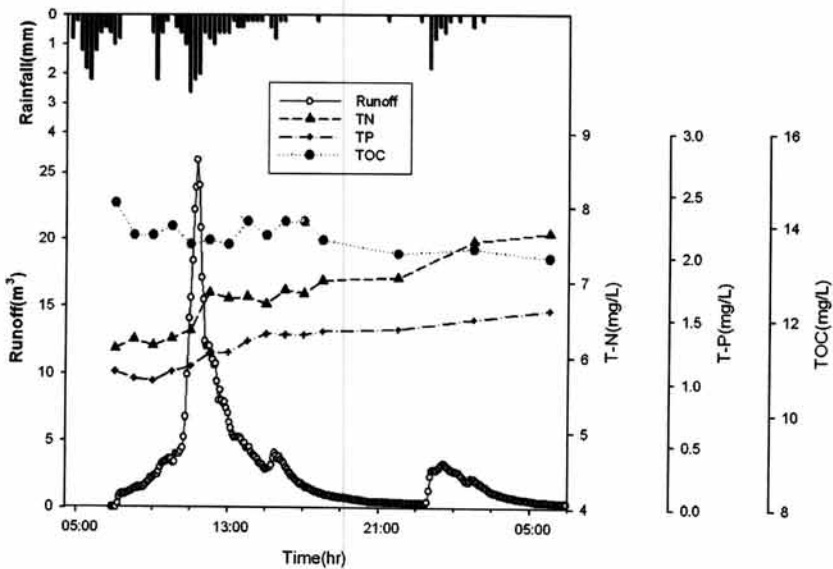
연구기간 동안 총 27회의 강우사상에 대하여 분석하였다. 5 mm 이하의 강우가 발생한 강우유출수는 유출의 발생여부가 상이하고, 유량의 변화가 뚜렷하지 않아 조사 횟수에 추가하지 않았다. 각 강우사상마다 2~29 hr의 강우지속시간 동안 0.7~8.4 mm/hr의 강우강도로 5~82.0 mm의 강우가 발생하였다. 이때 발생한 유출량은 5~41hr 시간 동안 6.6~2,082.34 m<sup>3</sup> 범위의 유출량이 발생한 것으로 조사되었다(Table 2). 유출률은 0.014~0.462의 범위로 강우량이 많아질수록 커지는 경향이 있었고, 최소 유출률은 11.5 mm의 강우가 발생하였을 때 0.014(E-15), 최대 유출률은 82 mm의 강우가 발

생하였을 때 0.462(E-18)로 나타났다. 최소 유출률이 강우가 가장 적은 5 mm일 때 가장 적게 나타나지 않은 이유는 선행무강우일수와 강우강도 그리고 강우지속시간의 영향으로 판단된다.

Fig. 3은 2009년 8월 12일부터 8월 13일(E-18)까지 82 mm의 강우로 인하여 32시간 동안 2,082.34 m<sup>3</sup>의 유출이 발생한 강우사상의 수문그래프이다. 강우유출은 강우가 시작된 후 약 2시간 뒤에 발생하였으며, 이때 누적강우량은 8.8 mm인 것으로 나타났다. 강우유출수는 8월 12일 10시 55분에 2.6 mm/15 min의 강우가 발생한 뒤 20여분 뒤에 침투유출이 발생한 것으로 나타났다. 이처럼 골프장에서 발생하는 유출수는 강우가 약 10 mm 정도 발생할 경우 유출이 발생하고, 강우량의 변화에 따라서 강우유출수가 동일한 경향으로 변화하는 것을 알 수 있었다. E-20의 경우 위에서 언급한 약 10 mm 이상의 강우가 발생할 경우 골프



(a) BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Mn</sub>, SS



(b) TOC, T-N, TP

Fig. 3. Variation graph of runoff and concentrations.

장에서 유출이 발생한다고 하였으나, 선행무강우일수가 0으로 강우에 의한 유출이 끝난 후 하루가 지나지 않고 다시 강우가 발생하였을 때 측정되었기 때문에 강우가 5 mm 밖에 발생하기 않아도 유출이 발생하였다. 골프장의 수질농도는 SS와 BOD<sub>5</sub> 그리고 COD<sub>Mn</sub>의 경우 초기의 유출수에서 높은 경향을 보였지만 전체적으로 수질농도의 변화폭이 크지 않은 것으로 나타났으며, T-N과 T-P 그리고 TOC 등의 항목은 강우에 의한 농도의 변화가 크지 않은 것으로 나타났다.

**3.2. EMC, 오염부하량 및 원단위**

국내의 골프장에서 발생하는 오염원을 조사한 결과를 보면 대부분 농약과 비료 그리고 토양의 유기물 분해 등에 관한 연구만 진행이 되었을 뿐, 본 연구 결과와 같이 강우에 의해 골프장에서 배출되는 오염물질의 특성을 분석한 사례가 없다(이용두 등, 2008; 허근영 등, 2009). 따라서 본 연구에서 조사한 결과는 골프장에서 강우시 발생하는 비점오염물질의 생활환경기준항목에 대한 특성을 파악하는데

큰 의미가 있다. 골프장에서 발생하는 오염물질의 EMC 산정 결과는 Table 3과 같다. 산정된 EMC는 BOD<sub>5</sub> 1.8~11.3 (평균 5.6) mg/L, COD<sub>Mn</sub> 19.2~51.4 (평균 39.6) mg/L, TOC 11.0~31.0 (평균 16.8) mg/L, T-N 1.545~16.098 (평균 5.623) mg/L, T-P 0.230~4.528 (평균 1.525) mg/L, SS 2.2~57.3 (평균 10.1) mg/L의 범위로 나타났다. 산정된 EMC의 범위를 살펴보면 COD<sub>Mn</sub>와 TN, TP 그리고 TOC 항목의 경우 초지(자연초지나 기타초지)에서 발생하는 수질농도에 비하여 매우 높게 산정된 것을 알 수 있다. 이는 최용훈 등(2009)이 평지밭과 고랭지 밭에서 발생하는 EMC를 분석한 결과와 비교하였을 때 T-N과 TOC 항목을 제외한 모든 항목에서 골프장이 수질오염농도 범위가 작은 것으로 나타났으며, 신민환 등(2010)이 산림에서 발생하는 EMC를 분석한 결과와 비교하였을 때 수질농도가 전체적으로 골프장이 높은 것을 알 수 있다. 권영한(2002)에 의하면 골프장에서 발생하는 유출수는 우회수로 통하여 농업용수 및 하류생태계에 피해가 없도록 하여야 한다고 하였으며, 최종적으로 배출되는 유출수는 BOD 5 ppm 이하로 설계되고 있다고 하였다. 이

**Table 3.** EMC value each of the events

(Unit: mg/L)

Event	ADD (day)	Rainfall (mm)	BOD <sub>5</sub>	COD <sub>Mn</sub>	TOC	TP	SS	TN
08. 06. 02~03	2	15.0	11.3	47.5	23.2	1.719	11.8	4.171
08. 06. 08	2	11.0	8.7	42.6	24.4	1.561	10.2	3.309
08. 06. 18	9	30.5	6.2	50.6	31.0	2.003	5.8	2.802
08. 06. 18~19	9	28.0	6.2	46.3	25.0	1.685	3.6	2.494
08. 07. 17	0	18.0	7.8	42.9	25.8	2.375	10.2	2.755
08. 08. 13~15	0	58.5	4.6	42.5	24.1	3.075	6.0	5.406
08. 08. 15~17	1	46.5	3.2	28.9	14.1	2.399	2.6	1.981
09. 03. 13	7	19.2	7.9	37.5	14.1	2.167	12.8	2.994
09. 04. 20	5	20.6	6.7	51.4	19.0	1.092	5.6	12.265
09. 05. 16~17	3	50.5	5.0	40.1	14.9	1.045	6.8	1.545
09. 05. 21~22	4	32.2	10.0	51.4	15.8	4.528	6.3	16.098
09. 06. 03	11	9.0	6.8	51.2	16.5	2.461	57.3	8.305
09. 06. 09~10	3	28.5	6.1	37.7	14.8	1.607	4.6	5.142
09. 06. 20~21	6	14.5	5.1	30.1	13.5	1.265	6.1	5.373
09. 06. 29	4	11.5	7.0	35.2	13.6	0.230	11.2	4.856
09. 07. 02	4	6.5	4.8	19.2	11.0	0.833	7.6	4.709
09. 07. 07~08	5	39.0	9.6	41.0	13.2	1.011	41.4	8.095
09. 07. 09~10	2	82.0	5.3	42.4	13.3	0.773	10.6	4.847
09. 07. 11~13	1	67.5	2.8	33.5	13.9	0.677	3.1	6.612
09. 07. 13~14	0	5.0	2.1	46.5	14.5	1.112	8.5	8.318
09. 07. 14~16	0	65.5	1.8	37.7	13.6	1.679	4.1	5.939
09. 07. 17~18	0	11.5	2.4	40.5	14.8	0.995	6.8	4.877
09. 07. 19	0	16.0	2.1	39.8	13.7	0.900	5.8	5.247
09. 08. 11~12	3	32.6	6.1	45.3	14.1	1.098	5.6	6.049
09. 08. 12~13	1	36.4	1.8	41.7	13.7	1.274	2.2	6.786
09. 08. 27~29	7	41.2	6.6	27.6	14.4	1.159	9.0	6.581
09. 10. 17	4	13.8	2.9	19.6	12.6	0.442	8.3	4.257
Maximum	11	82.0	11.3	51.4	31.0	4.528	57.3	16.098
Minimum	0	5.0	1.8	19.2	11.0	0.230	2.2	1.545
Average	3.4	30.0	5.6	39.6	16.8	1.525	10.1	5.623

ADD: Antecedent Dry Day

는 본 연구결과와 비추어 보았을 때 골프장에서 발생하는 비점오염물질의 수질농도가 큰 문제가 되지 않고 있음을 알 수 있으나, 추가적인 노력을 통해 하천이나 호소의 수생태계에 미치는 영향을 최소화하여야 할 것으로 판단된다. 또한 COD<sub>Mn</sub> 항목의 경우 BOD<sub>5</sub> 항목보다 약 7배 그리고 TOC보다 1.6~3.3배 정도 크게 나왔는데, 이는 골프장에서 잔디관리를 위한 농약과 제초제 사용으로 인해 난분해성 물질이 많이 함유되어 있거나 질소화합물이나 황화물 또는 화학적으로 산화할 수 있는 무기물이 다량 존재하기 때문으로 판단된다(서용찬, 2005; 환경부, 2009b).

Fig. 4는 골프장에서 발생하는 오염물질의 유량과 농도를 이용하여 오염부하를 나타내었다. 오염부하는 BOD<sub>5</sub> 32~11,134 g, COD<sub>Mn</sub> 127~88,379 g, TOC 72~27,781 g, T-N 31~10,577 g, T-P 2~2,417 g, SS 50~21,993 g의 범위로 나타났다. 최대 오염부하는 4.8 mm/hr의 강우강도로 82 mm의 강우가 발생하여 2,082.34 m<sup>3</sup>의 유출량이 발생한 강우사상(E-18)에서 나타났다. 그리고 최소 오염부하는 유출량과 수질농도의 대소 차이로 인해 동일한 강우사상으로 나타나지 않았다. 오염부하량의 최대값과 최소값의 크기는 각 수질항목별로 약 300~1,200배 차이가 있는 것으로 나타났으며, 이는 강우량과 강우강도, 선행무강우일수 그리고 수질농도의 차이로 여겨진다. Fig. 5에서는 COD<sub>Mn</sub> 항목의 오염부하가 다른 수질항목보다 큰 것으로 나타났다. 이는 서지연 등(2010)이 가평광산에서 발생한 오염부하를 분석하여 조사한 결과와 상이한 결과이며, COD<sub>Mn</sub>의 오염부하 평균값에 비해 0.6배 정도로 나타났다. 또한 원철희 등(2009)이 산림에서 연구한 비점오염원 결과와 최용훈 등(2009)이 밭에서 연구한 비점오염원 결과를 살펴보면 BOD<sub>5</sub> 항목과 COD<sub>Mn</sub> 항목이 유사한 결과를 나타낸 것과 상이한 결과로

볼 수 있다. 위에서 언급한 바와 같이 골프장에서 발생하는 비점오염원은 농약과 제초제 사용으로 인해 COD<sub>Mn</sub> 항목의 수질농도가 높게 나타나는 경향이 있어, 오염부하량에서도 가장 높은 결과를 초래했다. 골프장의 경우 환경부(2002)에서 제시한 토지피복분류별 대분류에서 초지에 해당하지만, 수질오염총량제나 유역에서 발생하는 오염원에 대한 평가를 실시할 때 골프장을 초지로 판단할 경우 많은 오차가 발생함을 알 수 있다. 따라서 골프장과 다른 초지에서 발생하는 비점오염원 대한 구분을 명확히 하여 산정할 필요가 있다.

신동석(2007)에 의하면 기존에 사용되는 원단위는 대분류로 구분하여 산정된 결과로서 수질오염총량제와 유역모델을 이용한 비점오염원 유출분석을 위해서는 23개 중분류의 토지피복분류별로 오염물질 유출농도 조사가 필요하다고 하였다. 본 연구에서는 초지로 분류된 골프장의 비점오염원 유출특성을 규명하고자 하였다. 이를 위해 총 27회의 강우 유출수에 대하여 유출량과 수질농도, 면적 그리고 연구유역의 30년 기상자료를 이용하여 골프장의 원단위를 산정하였다. 산정된 원단위 값은 Table 4와 같이 BOD<sub>5</sub> 3.35 kg/km<sup>2</sup>/day, SS 6.43kg/km<sup>2</sup>/day, COD<sub>Mn</sub> 30.00 kg/km<sup>2</sup>/day, TN 4.04 kg/km<sup>2</sup>/day, TP 1.14 kg/km<sup>2</sup>/day 그리고 TOC 12.16 kg/km<sup>2</sup>/day로 나타났다. 이 값은 초지로 분류되었던 골프장은 기존 참고문헌의 초지로 분류된 원단위와 동일하지 않은 유출특성을 나타내고 있음을 알 수 있다. 따라서 수질오염총량제와 유역모델 등과 같은 골프장이 포함되어 있는 유역에 대한 조사를 할 경우에는 유역마다 강우특성을 달리 적용한 뒤 초지와 골프장을 구분하여 적용하여 수질오염총량관리제에서 사용되고 있는 초지의 원단위를 효율적으로 분리하고, 비점오염원 저감시설의 규모산정과 기법선정 등에 적용해야 할 것으로 판단된다.

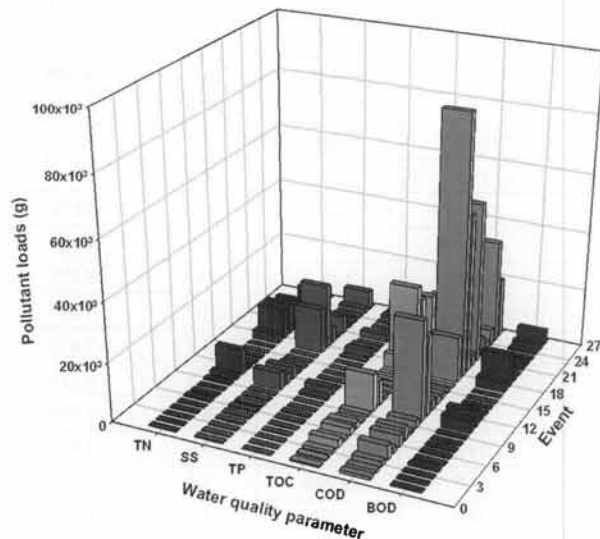


Fig. 4. Pollutant loads each of the event.

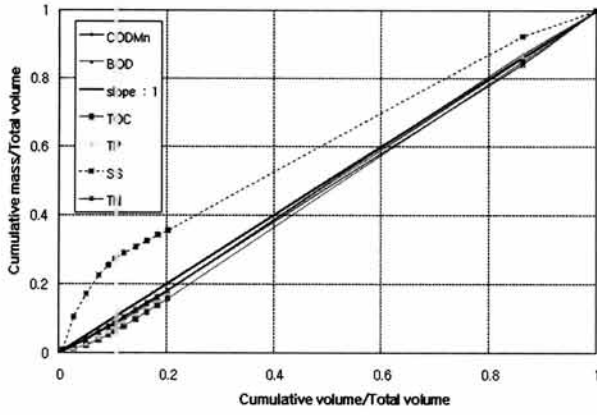
3.3. 초기유출특성 분석

골프장에서 발생하는 비점오염물질의 초기세척효과를 분석하기위해 27번의 각 강우사상에 대하여 누적오염부하량과 누적유출량의 그래프를 도식화하였다. 총 27번의 강우사상 중 SS 항목의 경우 14번의 초기세척효과가 나타났으며, 이 중 초기세척효과가 뚜렷이 나타난 4번(E-5, 10, 12, 17)의 강우사상에 대한 그래프를 나타냈다(Fig. 5). 그러나 SS 항목을 제외한 다른 수질항목에서는 초기세척효과가 뚜렷하게 나타나지 않았다. 이는 SS 항목의 경우 골프장에서 발생하는 강우를 빠르게 배수하기 위해 설치된 배수로에 쌓여있는 토사나 부유물질이 강우에 의해 유출되어 초기세척효과가 나타난 것으로 판단된다. 또한 Fig. 5(d와 e)에서 보이는 것과 같이 SS 항목의 초기세척효과가 전혀 나타나지 않은 것을 알 수 있다. 이는 15번째와 16번째에 측정된

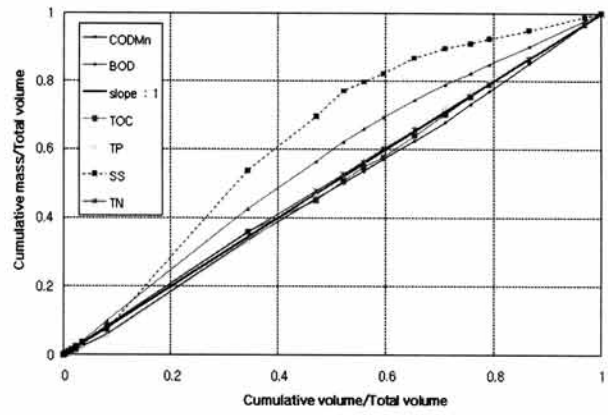
Table 4. Load as unit area

(Unit: kg/km<sup>2</sup>/day)

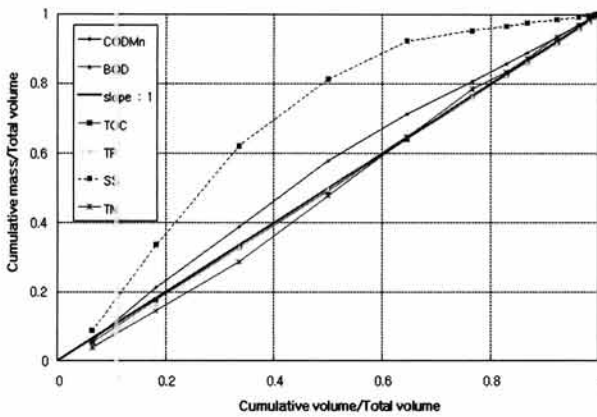
	BOD <sub>5</sub>	SS	COD	TN	T-P	TOC	Reference
This study	3.35	6.43	30.00	4.04	1.14	12.16	-
Previous data	0.96	-	-	0.76	0.03	-	Ministry of environment, 1995



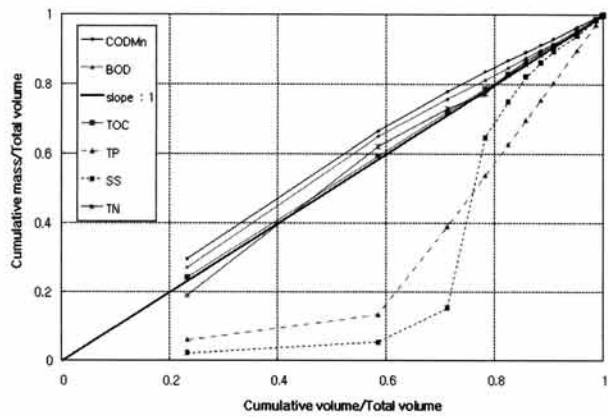
(a) Event 5



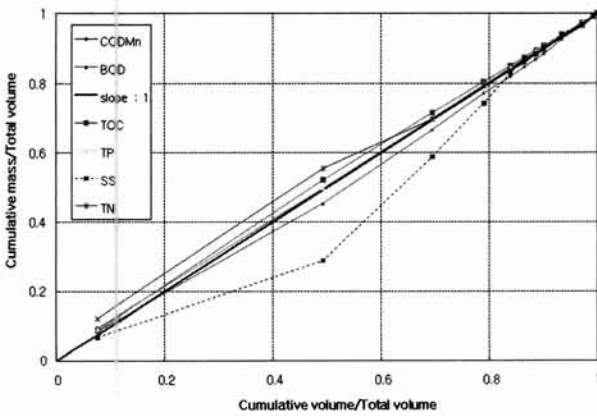
(b) Event 10



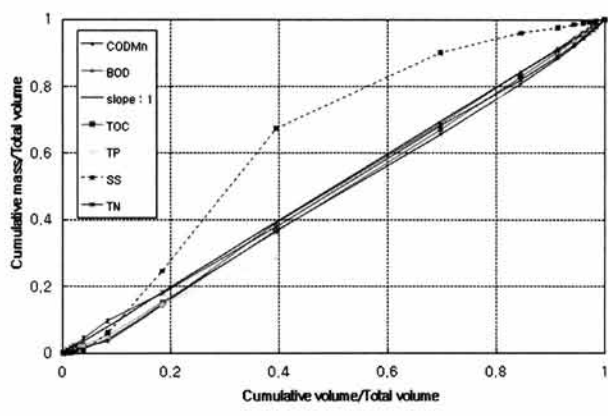
(c) Event 12



(d) Event 15



(e) Event 16



(f) Event 17

Fig. 5. Cumulative mass and volume curves from golf course.

강우유출수는 연속되는 강우사상이 발생된 직후, 즉 선행무강우일수가 하루도 되지 않은 후 측정된 결과로서 배수로에 쌓여 있는 부유물질이 이전에 발생된 강우에 의해 배출되었기 때문으로 판단된다. 이처럼 골프장의 경우 SS 항목을 제외한 모든 항목에서 초기세척효과가 나타나지 않는 것으로 보여지며, 골프장에서 발생하는 비점오염원 저감을 위한 시설은 초기강우유출수 뿐만 아니라 골프장에서 발생하는 유출수에 대한 전반적인 저감효과를 기대할 수 있는 저감시설이 필요할 것으로 판단된다.

### 3.4. 통계분석

Table 5~7은 SAS 9.2 통계프로그램을 이용하여 각 인자들에 대한 상관관계를 분석하였다. Table 5는 총 강우량, 강우지속시간, 평균강우강도, 선행무강우일수와 유출계수와 상관관계 분석을 통해 기상인자와 유출과의 상관성을 분석하였다. 분석결과 총 강우량과 유출계수 사이의 상관계수는 0.606으로 유의수준 0.01에서 통계적으로 보통의 상관관계가 나타났으며, 강우지속시간과 유출계수의 상관계수는 0.490으로 유의수준 0.01에서 통계적으로 낮은 상관관계가



**Table 5.** Correlation of runoff coefficient

	Total rainfall	Rainfall duration	Rainfall intensity	Antecedent dry day
Runoff coefficient	<b>0.606</b> (0.001)	<b>0.490</b> (0.009)	0.106 (0.598)	-0.278 (0.160)

나타났다. 평균강우강도와 선행무강우일수는 통계적으로 상관관계가 없는 것으로 분석되었다. 최용훈 등(2009)은 고령지 발 지역의 유출률과 강우인자들 사이에서 큰 상관관계가 나타나지 않았다고 보고하였고, 최용훈 등(2010)은 규석광산지역에서는 강우강도가 유출율과 가장 큰 상관관계가 나타난다고 보고하였다. 이처럼 토지이용에 따라 유출에 기여하는 기상인자가 다르다는 것을 의미하며, 본 연구지역에서는 총 강우량이 가장 큰 영향 인자로 판단할 수 있다.

Table 6은 강우사상별로 산정된 유량가중평균농도들 사이의 상관성을 확인하기 위하여 Pearson 상관관계 분석을 실시하였다. 수질항목별 유량가중평균농도는 전체적으로 높은 상관성이 나타나지는 않았다. 유의수준 0.05에서 BOD<sub>5</sub> 항목은 TOC와의 상관계수가 0.392, COD<sub>Mn</sub> 항목은 TP 항목의 상관계수가 0.435, TOC 항목은 TP 항목의 상관계수가 0.396으로 비교적 낮은 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 유의수준 0.01에서 COD<sub>Mn</sub>와 TOC는 0.534으로 유의수준이 0.001이하인 관계 나타날 때 상관계수가 가장 높은 것으로 나타났다. 전체적으로 높은 상관관계가 나타난 수질항목이 적기 때문에 본 연구지역의 강우사상별 유량가중평

균농도 사이에는 상관성이 매우 적은 것으로 판단된다.

Table 7은 강우사상별 오염부하와 기상 및 유출인자의 상관관계를 분석하였다. 대부분의 수질 항목에서 총 강우량, 강우지속시간, 총 유출량, 유출 지속시간과 상관관계가 있는 것으로 분석되었으며, 강우강도와 선행무강우일수는 큰 영향이 없는 것으로 나타났다. SS 항목은 강우지속시간보다 강우강도에 더 큰 상관성이 나타났으며, 유출지속시간은 큰 영향이 없는 것으로 확인되었다. 이는 다른 수질 항목보다 SS 항목은 강우강도에 더 큰 영향을 받는 것으로 판단할 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 수질오염총량제와 정책제안의 원활하고 합리적인 추진과 골프장에서 발생하는 오염원의 정량적인 연구를 위해 강우에 의한 비점오염물질의 유출특성을 조사하였다. 연구결과 EMC는 COD<sub>Mn</sub>와 TN, TP 그리고 TOC 항목의 경우 초지(자연초지나 기타초지)에서 발생하는 수질 농도에 비하여 매우 높게 산정되었다. 따라서 수질오염총량제나 유역에서 발생하는 오염원에 대한 평가를 실시할 때 골프장을 초지로 판단할 경우 많은 오차가 발생할 수 있기 때문에 골프장과 다른 초지에서 발생하는 비점오염원 대한 구분을 명확히 하여 산정 할 필요가 있다. 본 연구에서 산정된 골프장의 원단위는 BOD<sub>5</sub> 3.35 kg/km<sup>2</sup>/day, SS 6.43 kg/km<sup>2</sup>/day, COD<sub>Mn</sub> 30.00 kg/km<sup>2</sup>/day, TN 4.04 kg/km<sup>2</sup>/day,

**Table 6.** Correlation of EMC

	BOD <sub>5</sub>	COD <sub>Mn</sub>	TOC	TP	SS	TN
BOD	1	0.369 (0.058)	0.392 (0.043)	0.375 (0.054)	0.370 (0.058)	0.173 (0.387)
COD		1	0.534 (0.004)	0.435 (0.024)	0.230 (0.248)	0.356 (0.068)
TOC			1	0.396 (0.041)	-0.065 (0.748)	-0.234 (0.240)
TP				1	0.084 (0.676)	0.322 (0.101)
SS					1	0.192 (0.338)
TN						1

**Table 7.** Correlation of pollutant loads

	Total rainfall	Rainfall duration	Rainfall Intensity	Total runoff	Runoff duration	Antecedent dry day
BOD	<b>0.739</b> ( <b>&lt;0.001</b> )	<b>0.483</b> (0.011)	0.274 (0.166)	<b>0.863</b> ( <b>&lt;0.001</b> )	<b>0.462</b> (0.015)	-0.064 (0.751)
COD	<b>0.821</b> ( <b>&lt;0.001</b> )	<b>0.564</b> (0.002)	0.259 (0.192)	<b>0.990</b> ( <b>&lt;0.001</b> )	<b>0.614</b> (0.001)	-0.251 (0.208)
TOC	<b>0.844</b> ( <b>&lt;0.001</b> )	<b>0.579</b> (0.002)	0.281 (0.156)	<b>0.998</b> ( <b>&lt;0.001</b> )	<b>0.624</b> (0.001)	-0.241 (0.226)
TP	<b>0.675</b> ( <b>&lt;0.001</b> )	<b>0.435</b> (0.023)	0.270 (0.173)	<b>0.788</b> ( <b>&lt;0.001</b> )	<b>0.627</b> (0.001)	-0.208 (0.298)
SS	<b>0.642</b> ( <b>&lt;0.001</b> )	0.252 (0.205)	<b>0.429</b> (0.026)	<b>0.742</b> ( <b>&lt;0.001</b> )	0.348 (0.076)	0.001 (0.995)
TN	<b>0.733</b> ( <b>&lt;0.001</b> )	<b>0.461</b> (0.016)	0.248 (0.213)	<b>0.913</b> ( <b>&lt;0.001</b> )	<b>0.649</b> ( <b>&lt;0.001</b> )	-0.215 (0.281)

TP 1.14 kg/km<sup>2</sup>/day 그리고 TOC 12.16 kg/km<sup>2</sup>/day로 산정되었으며, 이 값은 초지로 분류되었던 골프장이 기존 참고 문헌의 초지르 분류된 원단위와 동일하지 않음을 알 수 있다. 따라서 본 연구결과 및 골프장의 다양한 특성에 따른 추가적인 연구를 통하여 비점오염원 자료를 확보하여 수질 오염총량제와 유역모델 등과 같은 골프장이 포함되어 있는 유역에 대한 조사를 할 경우 초지와 골프장을 구분하여 적용하여야 할 것으로 판단된다.

골프장에서 발생하는 비점오염원의 초기세척효과를 분석한 결과 SS 항목을 제외한 모든 항목에서 초기세척효과가 나타나지 않는 것으로 보여지며, 비점오염원 저감을 위한 시설은 초기강우유출수 뿐만 아니라 골프장에서 발생하는 유출수에 대한 전반적인 저감효과를 기대할 수 있는 저감 시설이 도입되어야 할 것으로 판단된다. 통계분석결과 골프장의 경우 총 강우량이 강우유출수에 미치는 영향이 가장 큰 것으로 나타났으며, 강우사상별 유량가중평균농도 사이에는 상관성이 적은 것으로 나타났다. 본 연구결과는 짧은 기간 동안 골프장에서 발생하는 유출수를 조사한 결과이며, 잔디의 특성과 배수특성 그리고 농약 및 체초제 관리방법이 다양하기 때문에 지속적인 연구를 통해 다양한 골프장의 유출특성을 분석해야 할 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 2007~2009년도 금강수계관리위원회에서 시행한 환경기초조사사업 연구결과 및 금강수계위원회에서 시행한 환경기초조사사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

## 참고문헌

권영환(2002). 골프장 건설시 환경영향 및 평가방안. 환경정책평가연구원. 정책화제 보고서. WO-08.  
 산림청(2008). 임업통계연보, 제38호.  
 서용찬(2005). 골프장 토양 및 잔디 시료 중 유기인 및 유기염소계 농약의 동시 분석. *대한환경공학회지*, 27(12), pp. 1257-1262.  
 서지연, 신민환, 원철희, 최용훈, 정명숙, 임경재, 최중대 (2010). 가행광산 지역의 비점오염물질 유출특성. *수질보전 한국물환경학회지*, 26(3), pp. 474-481.  
 신동석(2007). 비점오염원 원단위 개정을 위한 조사연구 방향. *수질보전 한국물환경학회지*, 23(4), pp. 429-433.  
 신민환, 신동석, 이재운, 최재완, 원철희, 서지연, 최용훈, 최중대 (2010). 활엽수림, 침엽수림 및 혼효림 지역의 강우시 비점오염물질 유출특성. *수질보전 한국물환경학회지*, 26(3), pp. 507-517.  
 신민환, 신용철, 허성구, 임경재, 최중대(2007). 농업 및 산림유역의 강우유출수 유량가중평균농도 분석. *한국농공학회지*, 49(6), pp. 3-9.  
 원철희, 최용훈, 서지연, 김기철, 신민환, 최중대(2009). 산림

과 밭 지역 강우 유출수의 EMC 및 원단위 산정. *수질보전 한국물환경학회지*, 25(4), pp. 615-623.  
 이응두, 조은일, 강봉권(2008). 초음파를 이용한 골프장 저류지의 조류제거. *한국수처리학회지*, 16(1), pp. 65-72.  
 최용훈, 원철희, 서지연, 신민환, 양희정, 임경재, 최중대 (2009). 평지밭과 고랭지밭의 비점오염원에 대한 분석과 비교. *수질보전 한국물환경학회지*, 25(5), pp. 682-688.  
 최용훈, 원철희, 서지연, 신민환, 양희정, 최중대 (2010). 규사광산 지역의 강우시 비점오염원의 유출분석. *수질보전 한국물환경학회지*, 26(3), pp. 413-419.  
 허근영, 김인혜, Markus Deurer (2009). 골프장 그린에서 토심별 토양 유기물 집적에 대한 미생물 분해성 평가. *한국조경학회지*, 37(4), pp. 64-71.  
 환경부(1995). 비점오염원 조사연구사업 보고서.  
 환경부(2002). 토지피복지도 제작지침안.  
 환경부(2004). 수질오염총량관리 업무편람.  
 환경부(2005). 수질오염공정시험법.  
 환경부(2006). 물환경관리 기본계획.  
 환경부(2009a). 강우유출수 조사 방법.  
 환경부(2009b). 2009년도 전국 골프장 농약사용 실태조사.  
 Bertrand-Krajewski, J., Chebbo, G., and Saget, A. (1998). Distribution of pollutant mass vs volume in stormwater discharges and the first flush phenomenon. *Wat. Res.*, 32(8), pp. 2431-2356.  
 Clement, A. and Buzas, K. (1999). Use os ambient water quality data to refine emission estimates in the Danube basin. *Water Science Tech*, 40(10), pp. 35-42.  
 Geiger, W. (1987). Flushing effects in combined sewer system. *In Proceedings of the 4th International Conference Urban Drainage, Lausanne, Switzerland*, pp. 40-46  
 Gupta, K. and Saul, A. J. (1996). Specific relationships for the first flush load in combined sewer flows. *Water Research*, 30(5), pp. 1244-1252.  
 Kim, L. H., Kayhanian, M., and Stenstrom, M. K. (2004). Event mean concentration and loading of litter from highways during storms. *Science of the Total Environment*, 330, pp. 101-113.  
 Lee, J. H., Bang, K. W., Ketchum, L. H., Choe, J. S., and Yu, M. J. (2002). First flush analysis of urban storm runoff. *The Science of the Total Environment*, 293, pp. 163-175.  
 Miller, P. S., Engel, R. H., Mohtar, R. H., and Mitchell, J. K. (2001). Statistical assessment of historical water quality data and mass load tome evolution, *ASAE Paper No. 012247*. St. Joseph, Mich: ASAE.  
 Nebraska (2004). Total Maximum Daily Loads for the Big Blue River Basin(Fecal coliform and E. coli Bacteria), Nevbraska Department of Environmental Quality Planning Unit. Water Quality Division.  
 U. S. EPA. (1983). Result of the Nationwide Urban Runoff Program, Water Planning Division, U. S EPA. Washington DC. Vol. 1, Final Report.  
 Yaksich, S. M. and Verhoff, F. H. (1983). Sampling strategy for river pollutant transport. *Journal of Environment Engineer.*, 109, pp. 219-231.