

무제치늪 지역의 지하수위 변동과 강우의 유출 특성^{1*}

이현호² · 김재훈³

The Characteristics on the Groundwater Level Change and Rainfall-Runoff in Moojechi Bog^{1*}

Heon-Ho Lee², Jae-Hoon Kim³

요 약

울산시 정족산 산정상 부근에 위치하고 있는 무제치늪의 수문학적 특성을 구명하고자 유역 환경과 몇 가지 기초 수문조사를 실시하여 늪의 강우유출 특성과 지하수위 변동 특성을 파악하였다. 늪 지역의 평균 유출률은 0.58로 일반 산지유역과 비슷하였다. 단기유출수문곡선에서 유량상승부가 완만하게 증가하여 첨두유량이 출현할 때까지 많은 시간이 걸리며, 그 이후에도 유량의 감소형태가 일반 산지유역에 비해 천천히 감소하였다. 늪지역의 유출 성분 구성은 기저유출량이 풍부하고, 무강우 기간에도 유출량이 크게 감소하지 않고 지속적으로 유출하였다. 지하수위는 강우 직후에 피크에 도달하고 그 후 강우가 멈추면 다음 강우기간까지 지하수위의 감소가 아주 완만하게 일어나고 있었다. 강우강도가 클수록 지하수위의 감수곡선 기울기가 완만하였으며 지속 시간이 길수록 피크부분이 오래 지속되었다. 장기 지하수위의 변화 경향은 강우와 유출 수위의 변화 경향과 거의 일치하였다. 향후의 늪지역의 물환경은 항상 일정한 지하수위를 유지할 것으로 평가되었다.

주요어 : 유출률, 늪 환경, 수문곡선

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the hydrological characteristics of groundwater level change and rainfall-runoff processes at the Moojechi Bog located in Mt. Jeungjok, Ulsan. The average runoff rate of bog was 0.58 which is similar to that of general mountainous watershed. In the short term hydrograph, runoff was increased slowly and It took a long time to arrive peak flow. After that time, the decreasing pattern of runoff was slower than that of general mountainous watershed. In case of the long term water budget, the Moojechi Bog had a abundant base flow and runoff was continued in spite of non rainfall period. The groundwater level was arrived peak flow immediately after rain stop but was decreased very slowly until the next rain. The change pattern of long term groundwater level was very similar to that of the amount of rain and discharge. The higher rainfall intensity was, the lower slope of

* 이 논문은 2001학년도 영남대학교 학술연구구조성비에 의한 것임.

1 접수 9월 23일 Received on Sept. 23, 2002

2 영남대학교 산림자원학과 Dept. of Forest Resources, Yeungnam Univ., Gyeongsan, Korea(hhlee@yu.ac.kr)

3 영남대학교 대학원 산림자원학과 Dept. of Forest Resources, Graduate School, Yeungnam Univ., Gyeongsan, Korea

recession curve on the groundwater level was and the longer rainfall duration was, the longer peak flow was. Judging from these results, Moojechi bog could be evaluated to have a constant groundwater level.

KEY WORDS : BOG, RUNOFF RATE, BOG ENVIRONMENT, HYDROGRAPH

서론

우리나라는 산악지형이기 때문에 늪이나 호수의 발달이 일반적으로 드물지만, 국내에는 현재 다양한 소규모의 자연늪들이 낙동강 하류지역에 분포하며 동해안을 따라 일부 해안지역에 발달하여 있다. 일반적으로 습지가 성립되기 위한 조건은 항상 물공급이 충분한 물수지 환경이 요구되며, 물수지의 밸런스가 수분이 많은 상태로 유지되는 것이 바람직하다. 늪지역은 생태계의 보고인 동시에 자연 수질정화기로서의 우수한 기능을 하는 것으로 알려져 있어 수질오염이 심각한 장소에서 인공적으로 늪을 조성하기도 한다.

습원(습지)은 단층활동이나 화산활동과 같은 지각의 변동이나 모암의 풍화작용에 있어서의 차별침식, 기후변화에 따른 빙하의 이동이나 대규모의 홍수 등에 의한 지형변화에 의해 형성되어진 호수나 하천의 입지에서 자연천이의 결과로 습지 상에 성립된 초지 식생을 유지하고 있는 지역을 지칭한다. 이러한 습원은 습원식생을 유지시키는 수분의 유입형태, 지하수와 지표수위의 관계, 습원 내부의 이탄층을 구성하고 있는 구성식물의 종류와 퇴적량, 현재 구성되어 있는 식물군락의 종류 등에 의하여 김성덕 등(한국생태학회, 2002)이 식물사회학적으로 저층습원, 중간습원(중층습원) 및 고층습원으로 구분하였다. 그러나 습지의 분류는 세계 각국에서 독특한 환경 때문에 다양한 기준에 의하여 분류되고 있으며 영어권에서도 용어가 다양하므로 동일한 기준을 적용하기가 어렵다. 가장 간단하게 분류하면 호수나 연못 등 수변의 습지유형을 수변습지, 하천의 범람원에 형성되는 범람원 습지, 미네랄이 풍부하고 알칼리성의 소택지 그리고 빈영양성이며 강수함양성의 고층 습원의 4가지 형으로 구분하기도 한다(Dobson and Frid, 1998).

울산시 울주군 웅촌면 은현리 소재 정족산의 정상 부근에서 고층 습원인 무제치늪은 주변의 하천이나 해수면과는 전혀 관련이 없는 고산지역에서 경사가

완만한 지역에 발달해 있는 것이 특징이다. 무제치늪의 성인은 온도차이에 의한 기계적 풍화와 암석 차이에 의한 풍화작용의 결과로 발생한 침식에 의해 만들어진 분지로 추정되고 있다(이동영 등, 1998). 습원을 구성하는 요소는 물의 존재에 의해 독특한 식물과 그 집합체로서의 식물군락을 성립시키며, 그 식물군락은 특수한 동물의 생식에 관계 있는 환경을 구성하게 된다. 무제치늪은 이탄의 식생 변천에 관한 연구를 통하여 한반도 자연생태계의 발달을 이해할 수 있는 자연사적 생태계로 학술적 가치가 매우 높을 뿐만 아니라, 국민의 자연 교육 및 자연 보존을 위한 교육장으로 매우 훌륭한 학습장으로 평가한 바 있다(환경부, 1997; 1998b).

무제치늪지역에 대한 기존의 국내 주요 연구로는 무제치늪 복원 및 생태관광지 활용을 위하여 일차적으로 무제치늪 지역의 수문학적 특성(울산지역환경기술개발센터, 2000)을 조사한 바 있으며, 생태계 보전지역 관리 기본계획 수립을 위한 연구(환경부, 1999), 늪지역의 지형, 지질, 자연 환경, 식물 및 동물에 대한 조사 보고서(환경부, 1997), 무제치늪의 퇴적물을 대상으로 화분분석을 수행한 연구(박재근, 1998; 최기룡, 2001) 등이 있다. 이와 관련한 선행 연구로서 무제치늪과 비슷한 대왕산 용늪에 대하여 환경부에서 늪의 복원 타당성을 조사 연구한 보고서가 있다(환경부, 1998a).

이러한 귀중한 늪지역이 수년전에 늪 바로 옆에 건설된 임도의 영향과 유입수로의 변경 등으로 현재 점차 훼손되어 가고 있다. 고층 습원은 개방적 공간이며 여타 생태계와는 다른 독특한 원시상태를 유지하는 자연생태계이며, 산림 벌채, 임도 및 농지 개발과 같은 인위적인 간섭에 의해 극히 취약하다.

따라서 본 연구의 목적은 무제치늪의 보전과 관리 방법의 확립을 위해 필요한 기초 수문자료를 제공하기 위하여, 현지에 수문, 기상 관측 시스템을 설치하고 장기간의 데이터를 분석하여 늪지역의 강우-유출 특성과 강우에 따른 지하수위의 변동, 지하수위의 계절 변화를 구명하고자 실시하였다.

재료 및 방법

1. 늪 지역의 유역 환경

(1) 지형 및 지질

무제치늪은 한반도의 남동부 정족산에 위치하며, 북동부 능선을 따라 양측에 완만한 경사에 발달하고 있다(510~630m). 울산~경주 사이는 울산 단층으로 알려진 NNW 방향의 지질 구조선이 통과하고 있는데, 무제치늪이 있는 정족산은 이와 같은 일련의 지질구조선들인 양산단층과 동래단층 사이에서 NNE 방향으로 발달한 능선들 중에서 우뚝 솟아있는 약 700m의 고산이다. 화강암으로 구성된 정족산 정상 부근은 완만한 경사를 보이는 지역으로 소규모 분지형태의 지형들이 발달하고 있으며, 이러한 지형에 산지 습원이 발달해 있다.

본 연구를 수행한 510~530m의 고도사이에 발달한 제 1늪의 경우, 늪지의 출구는 매우 좁은 계곡 내에 소량의 유출이 일어나고 있으며, 늪지의 중심으로 갈수록 늪지 폭도 커지고 늪지식물이 발달하고 표토층에는 수분의 함량이 증가하고 있다. Figure 1에 제 1늪의 위치도를 나타내었다.

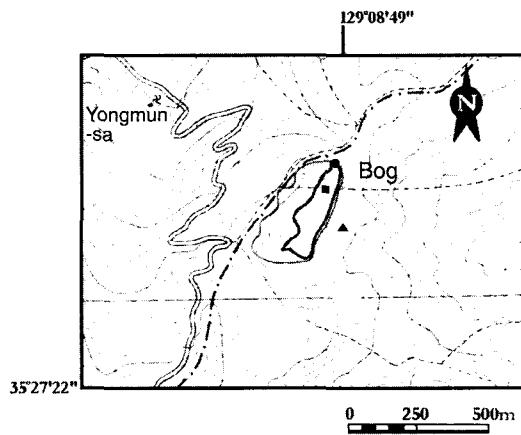


Figure 1. A topographical map around Moojechi Bog

- : Runoff water level measurement area
- ▲ : Comparison area
- : Groundwater level measurement area

(2) 강우 자료

관측기간동안에 무제치늪지역에 내린 강우 자료를

정리하여 Table 1에 나타내었다. 관측기간 동안에 50mm 이상의 단위강우가 9회 있었으나 강우강도는 No.29의 5.11mm/hr와 No.22의 7.04mm/hr를 제외하고는 대부분이 5mm/hr 이하로 나타나 집중 호우는 거의 없었다. Table 1에 표시한 강우량, 강우강도, 지속시간 및 무강우일수는 늪지역에서 강우-유출 특성 및 지하수위 변동을 파악하는데 있어서 중요한 영향 인자가 된다.

(3) 토양 물리성

1) 토양경도

DAIKI社의 DIK 5520 모델로 토양경도를 측정 한 결과 늪지역의 토양 심부에서는 일정한 범위까지는 균일한 토성으로 구성되어 있는 것으로 추정된다.

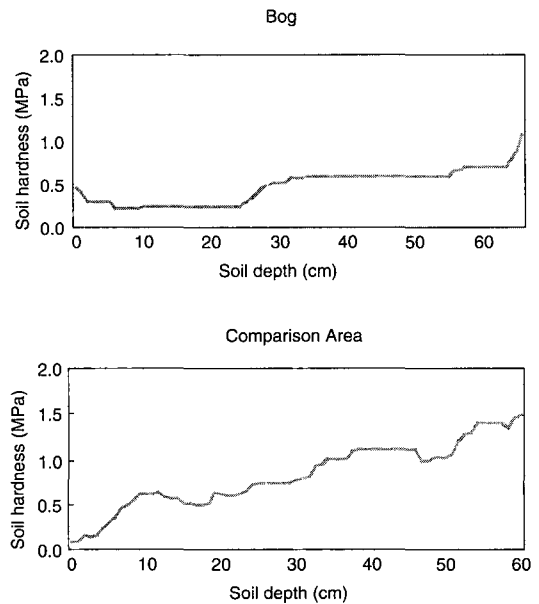


Figure 2. Soil hardness change according to the soil depth (1MPa = 10.2 kg/cm²)

2) 토양 투수속도

무제치늪지역의 토양 투수속도는 일본 DAIKI社의 토양 투수속도 측정기를 사용하여 토심 약 10cm 전후에서 400cc 캔으로 토양을 샘플링하여 관측하였다. 그 결과 늪지역에서는 인근 대조구지역의 평균 13ml/min보다 크게 낮은 값인 평균 5ml/min로 강우가 늪지역의 표토층을 통하여 토양속으로 침투

Table 1. Rainfall data used in analysis in Moojechi Bog

Rainfall event	Date	Rainfall (mm)	Elapsed time (hr)	Rainfall intensity (mm/hr)	Non rainfall period(date)
1	9.11	12.0	20	0.60	6
2	9.13-16	270.5	92	2.94	1
3	9.22-23	13.0	17	0.76	5
4	10.3	9.0	11	0.82	8
5	2000 10.8	23.0	12	1.92	4
6	10.23	23.5	8	2.94	14
7	10.31-11.2	39.5	38	1.04	7
8	11.16-17	16.5	22	0.75	13
9	11.20	32.5	13	1.81	2
10	1.7	26.0	19	1.37	49
11	1.9	9.0	12	0.75	1
12	1.20-21	13.5	14	0.96	10
13	2.22-23	31.5	28	1.13	31
14	2.27	34.0	13	2.62	3
15	4.12	11.0	5	2.20	12
16	5.7-8	13.5	13	1.04	24
17	5.21-23	75.5	36	2.10	12
18	6.13-14	26.0	21	1.24	20
19	6.18-19	141.0	36	3.92	3
20	6.24-25	82.5	36	2.29	4
21	6.30	9.5	4	2.38	4
22	7.6	84.5	12	7.04	5
23	2001 7.15-16	61.5	16	3.84	8
24	8.7	18.0	3	6.00	21
25	8.13-14	14.0	21	0.67	5
26	8.26-27	9.0	6	1.50	11
27	8.30-31	14.0	18	0.78	2
28	9.8-10	62.5	41	1.52	7
29	9.14	46.0	9	5.11	3
30	9.21	50.0	21	2.38	6
31	9.29-30	45.0	22	2.05	7
32	10.9	60.5	19	3.18	8
33	10.22	13.5	17	0.79	12
34	10.28	35.0	12	2.92	5
35	11.29-30	13.5	18	0.75	31
36	12.3-4	27.5	19	1.45	3
37	12.13	13.0	12	1.08	8
38	1.16	32.0	9	3.56	33
39	2002 1.26	13.5	8	1.69	10
40	2.21	9.0	6	1.50	24

하기가 대조구지역에 비해 어렵고 또한 토양 심부의 수분이 표토층으로 증발하는데 많은 시간이 소요되는 것으로 판단된다.

3) 토양공극률

토양공극률은 400cc 캔으로 표토층 10cm 전후의 토양을 샘플링하여 관측하였으며, 대조구지역의 평균 67.5%에 비하여 늪지역에서는 평균 56.9%의

약간 낮은 값으로 관측되었다. 일반적으로 이탄질 늪지역에서는 공극량이 많다는 결과와 반대의 경향이 있었으며, 이것은 표토층 토양의 평균공극량을 관측했기 때문이며, 늪지역의 토양경도가 대조구지역보다 크게 높았던 결과와 관련이 깊은 것으로 판단된다. 또한 일반적으로 토양공극량이 많으면 토양 투수속도는 높아지는 경향이 있는데, 앞의 대조구지역에서 토양 투수속도가 상대적으로 높게 나온 것은 공극량이 늪지역보다 많았기 때문으로 판단된다.

4) 토양수분

습원 내부의 수량은 항상 일정하지 않고 주로 강수량의 변동에 따라 변화하며, 고층 습원의 경우는 더욱 그러하다. IRROMETER社 30 KTCDD를 이용한 토양수분의 관측값은 항상 포수된 상태인 10 centibars 이하로 나타나 점토질 토양인 무제치늪지역에서는 무강우기간중에도 항상 포수상태로 유지되는 것으로 생각된다. 즉 산지습원의 이탄이나 토양의 함수량은 일반적으로 과습 상태를 유지하는 특성을 가지고 있다.

(4) 식물 및 동물

무제치늪지역에서 발견된 식물은 총 44과 89속 93종 16변종 1품종으로 모두 110종류였으며, 수서동물 및 원생생물을 중심으로 조사한 결과는 모두 46과 66종이 밝혀졌다. 그러나 아직 확실히 동정이 되지 못한 종들이 다수 있으며, 동물과 식물에 대한 구체적인 자료는 다른 문헌을 참고하길 바란다(고재기 등, 1995; 환경부, 1997).

2. 연구방법

(1) 강우-유출 특성

무제치늪 지역의 강우-유출의 특성을 밝히기 위하여, 강우량의 측정은 주변 수목으로부터 방해를 받지 않은 늪 바로 옆에 위치한 관리실 옥상에 전도식 자동우량계를 설치하여 장기 관측하였다.

유출량의 관측은 늪지역 하단부에 간이 철제 삼각위어를 설치하여 먼저 유출수위를 관측한 후 유출량 환산공식을 이용하여 유출량을 계산하였다. 유출량 환산공식은 늪지역의 유역면적(6.9ha)과 삼각위어의 크기 등을 이용하여 작성한 다음과 같은 기존의 공식(박재철, 2000)을 사용하였다.

$$Q = 3600 \times C \times D / A / 10 \text{ (mm)}$$

위 식에서

$$C = 1.354 + (0.04/RH) + (0.14 + 0.20/\sqrt{DD}) \times A \times A$$

$$D = RH^{2.5}$$

$$A = RH/BB - 0.09$$

$$RH = RH' / 100$$

단, Q ; 유출량(mm), RH' ; 외수위(mm), BB ; 설치한 삼각위어의 폭(0.9m), DD ; 바닥에서 V-notch 까지 높이(0.2m), A ; 유역면적(ha) 이다. 늪지역의 유역면적은 6.9ha로 계산되었다.

늪지역의 유출 특성은 장기 관측한 강우량과 그 강우에 의해 발생하는 유출량을 계산하여 먼저 장단기 수문곡선을 작성하고 이를 분석하여 유출량의 증감과 기저유량의 변화를 분석하였다. 그리고 관측 기간 동안의 주요 단위 강우를 대상으로 하여 각 강우사상에 대응하는 유출량을 구하여 물수지를 계산하고, 동시에 장단기 수문자료를 대상으로 각각의 유출률을 산출하였다.

(2) 지하수위 변동

강수에 의해서만 수량을 공급받는 무제치늪지역의 지하수위는 수문특성을 파악하기 위한 가장 중요한 인자 가운데 하나이다. 지하수면은 공극이 포화상태로 되는 경계면이 아니고 공극중의 정수압이 대기압과 같게 되는 면이다. 지하수위의 측정은 무제치늪의 가운데 부근에 지하수위 관측정호를 설치하고, 측정기기는 Global Water社의 WLD14수위계를 이용하였다. 관측정호는 지표수의 유입을 방지하도록 설치하였으며 주위의 사면으로부터 지중수의 형태로 침수되는 지점을 선정하였다.

무제치늪의 유지와 복원의 판단을 위한 가장 중요한 인자가 지하수위의 분석이며, 이를 위해서 연중 평균 지하수위의 값과 월별 지하수위의 변동폭을 측정하였다. 동시에 강우량에 따르는 지하수위의 변동을 관측하기 위하여 같은 기간 동안에 발생한 강우-유출의 변화와 지하수위의 변동을 함께 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 무제치늪 지역의 강우-유출 특성

(1) 단기유출특성

관측기간 동안에 다수의 단위강우가 있었으며, 그 가운데 비교적 규모가 큰 호우를 대상으로 하여 강우량과 유출량의 관계를 각각 분석하여 그 결과를 단기유출 수문곡선으로 Figure 3에 표시하였다.

Figure 3의 ①, ②, ③, ④, ⑤에 사용된 각 단위 강우의 총강우량이 각각 270.5mm(강우번호 2), 82.5mm(강우번호 20), 61.5mm(강우번호 23), 62.5mm(강우번호 28), 60.5mm(강우번호 32), 537.5mm

(강우번호 2, 20, 23, 28, 32의 합계)이고, 총유출량이 각각 50.1mm, 12.1mm, 18mm, 8.9mm, 13.4mm로 계산되어 유출률은 각각 0.19, 0.14, 0.29, 0.14, 0.22로 나타났다. 유출률이 일반 산지유역에 비하여 아주 낮게 나온 것은 무제치늪지역에서의 독특한 유출특성의 하나로 볼 수 있으며, 따라서 늪지역에서는 강우초기에 지표수유출로는 단시간에 많은 양이 유출하지 않는 것으로 판단된다.

이와 같이 늪지역에서 유출률이 낮은 이유는 강우의 상당부분이 토양심부의 심층 지하수성분으로 되는 것과 그리고 일반 산지유역과는 달리 늪지역의 지형적 특성으로 인해 토양심부로 침투한 지중수가 운데 상당부분이 늪 하단부에 설치한 삼각웨어로 유출되지 않는 점을 들 수 있다. 이렇게 삼각웨어를 통과하지 않는 수량은 유출량 계산에서 누락되고 물수지 계산에서 단순히 유역 손실량으로 추정된다. 유출률이 낮은 원인을 지형적 특성에서 살펴보면, 일반 산지유역에서 유역경계 안으로 내린 강우는 상당한 경사가 있는 산지사면을 따라 계곡으로 유출수가 집수되므로 계곡 하단부에서 총유출량이 비교적 단기간에 모두 관측된다. 그러나 무제치늪지역의 경우, 전체 유역면적(6.9ha) 가운데 늪면적(2.6ha)이 약 38%를 차지하고 있으며, 늪지역은 경사가 아

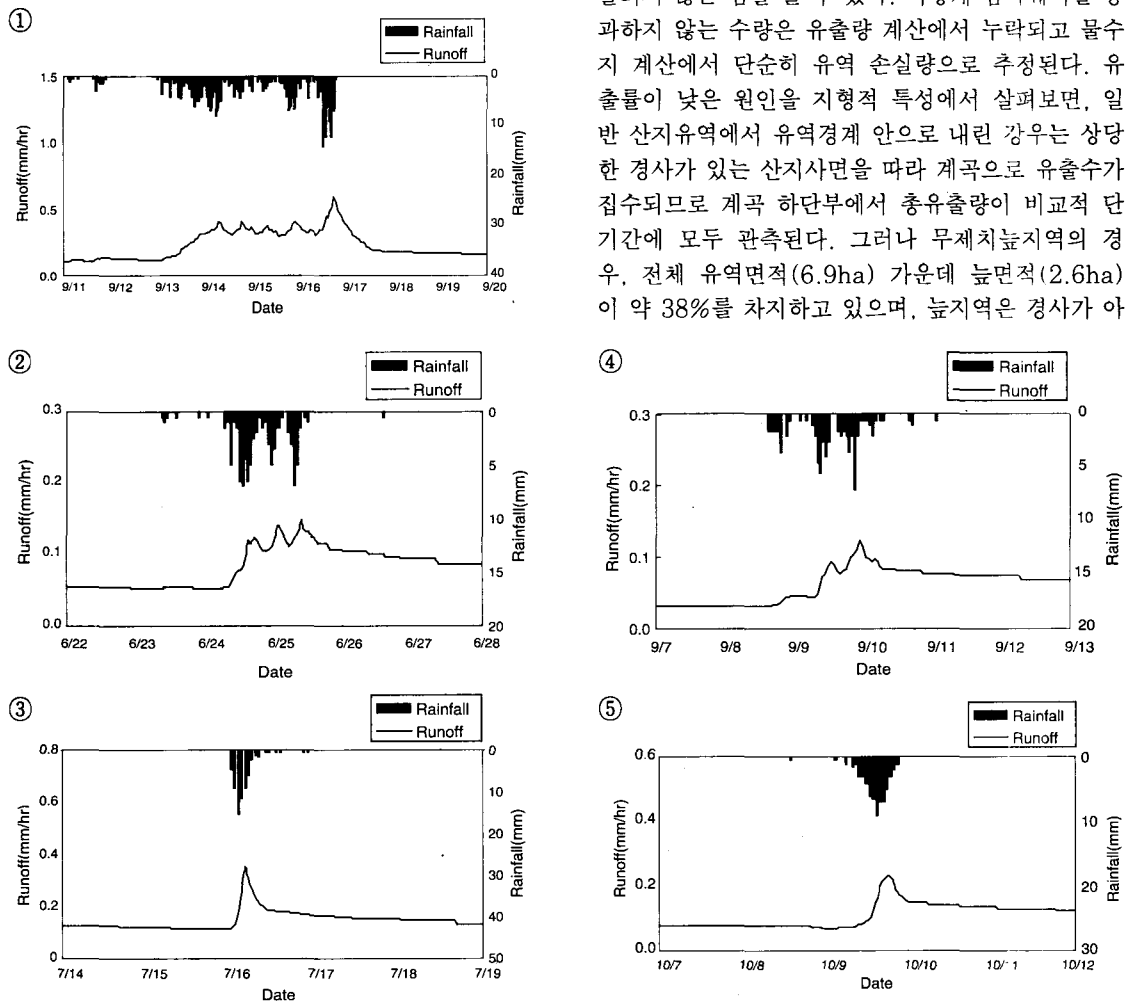


Figure 3. The short-term observed hydrograph in Moojechi Bog

주 완만한 거의 평지에 가까운 지형적 특성을 가지고 있다. 따라서, 일반 산지유역에 비하여 강우로 인한 유출량의 증가도 아주 완만하게 이루어질 것으로 생각되며, 이때 유출량 손실의 대부분은 심층 지하수의 구성성분으로 될 것이다.

또한 그림에서 강우강도와 수문곡선의 상승부와의 관계를 보면, 늪지역에서는 침투유출의 지연이 크게 나타나고 있다. 이점도 일반 산지소유역에서는 발견할 수 없는 독특한 유출특성의 하나로 생각된다. 그 원인은 강우 초기에 지표로 유출이 형성되지 않고 대부분의 수량이 지하수를 형성하는데 기여하기 때문으로 판단된다. 따라서 무강우기의 토양심부의 포수상태는 주로 선행강우에 의해 침투한 지중수로 유지되는 것을 알 수 있다.

늪지역의 경우 수문곡선상에서 유출량의 상승이 비교적 완만하게 이루어지며 침투유출량이 출현할 때까지 많은 시간이 걸리는 것으로 나타났으며, 특히 침투유출량 이후의 유출량의 감소형태가 비교적 완만하게 그리고 시간적으로 길게 나타나는 것도 늪지역에서의 유출특성의 하나로 평가할 수 있다. 따라서 늪지역에서는 강우량에 의한 유출량의 증가가 서서히 일어나서 상당한 시간이 경과한 후에 침투유출량이 출현하기 때문에 강우가 멈춘 후에도 장기간에 걸쳐 유출량이 서서히 감소해 가는 것으로 생각된다. 이러한 유출특성이 무강우기의 늪지역의 풍부한 물환경을 유지하는데 일익을 담당할 것이다.

산지유역의 물수지식은 일반적으로 '강우량=유

출량+증발산량(손실량)'으로 표시하는데, 무제치늪지역의 단기물수지는 그림의 5개의 수문곡선에서 구한 총강우량과 총유출량, 그리고 손실량과의 관계를 이용하여 각각 다음과 같이 추정하였다.

강우번호 2 :	$270.5 = 50.1 + 220.4$
강우번호 20 :	$82.5 = 12.1 + 70.4$
강우번호 23 :	$61.5 = 18.0 + 43.5$
강우번호 28 :	$62.5 = 8.9 + 53.6$
강우번호 32 :	$60.5 = 13.4 + 47.1$
강우번호 2, 20, 23, 28, 32 :	$537.5 = 102.5 + 435.0$

상기 물수지식에 나타난 것과 같이 무제치늪지역의 단기물수지는 증발산량을 포함한 손실량이 많아서 유입한 강우량에 비해 유출량이 매우 적은 것으로 나타났다.

(2) 장기유출특성

관측기간동안에 강우량과 유출량을 연속적으로 장기간 관측하여 그 결과를 Figure 4에 장기유출수문곡선으로 표시하였다.

약 17개월 동안에 총강우량은 1309.5mm가 있었고, 이 강우로 인한 총유출량은 766.289mm로 계산되어, 이 기간동안의 유출률은 0.58로 나타났다. 단기유출의 경우와는 달리 일반산지 유역과 비슷한 값이 나타났는데 이는 강우후 유출이 서서히 일어나면

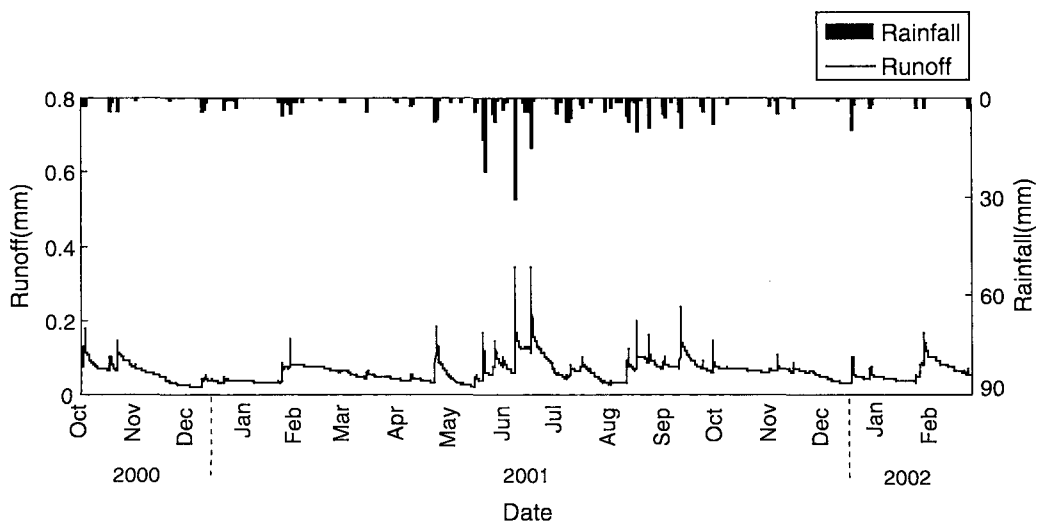
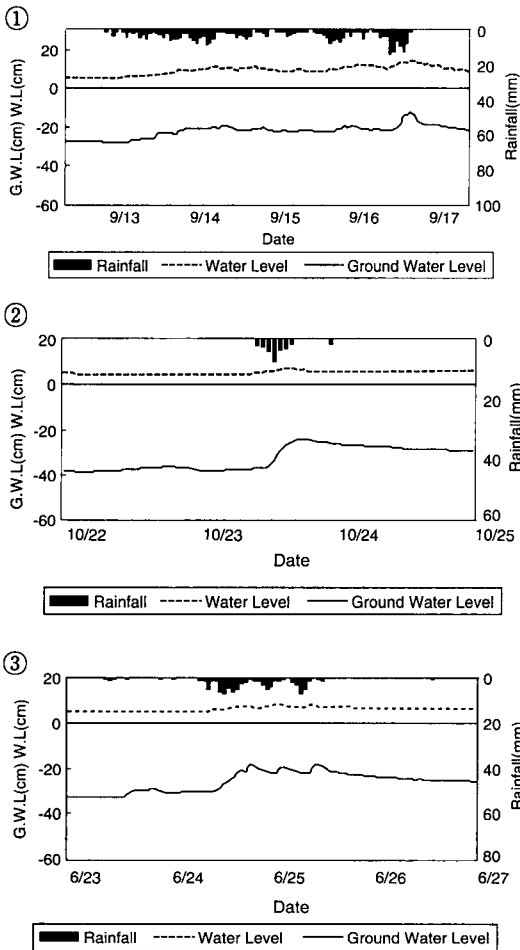


Figure 4. The long-term observed hydrograph in Moojechi bog

서 토층심부로 침투한 수량이 지속적으로 유출하는 것으로 생각된다. 또한 일반 산지유역과는 달리 늪지역이 앞에서 설명한 독특한 지형적 특성도 원인 중의 하나로 판단된다.

그림에서 무제치늪지역에서는 강우에 따른 유출량의 응답이 일부분을 제외하고는 비교적 잘 대응하고 있었으며, 강우량에 비해 전체적으로 기저유출량이 풍부한 장기유출특성을 보여주고 있다. 또한 무강우기간에도 상당량의 유출량이 크게 감소하지 않고 지속적으로 유출되는 것도 독특한 늪지역의 유출 특성으로 볼 수 있다.

2. 지하수위의 변동 특성



(1) 단기지하수위 변동 패턴

Figure 5에 늪지역의 단위강우강도에 따른 단기 지하수위의 변화 형태를 표시하였다. 각각의 지하수위곡선은 강우번호 2, 6, 20, 23, 32에 대응하는 지하수위의 변화 곡선을 나타내었다.

Figure 5에 표시한 것과 같이 무제치늪지역의 단기 지하수위의 변동 패턴은 다음처럼 요약할 수 있다. 첫 번째는 어느 단위강우에 있어서나 지하수위는 -20cm 부근에서 형성되며, 강우직후에 피크에 도달하고 그 후 일정한 비율로 완만하게 강하하였다. 이것은 이탄 습원에서의 지하수위에서 나타나는 특징의 하나로 평가된다. 두 번째는 강우 시작 후 지하수위의 상승이 급격이 이루어지나, 일단 강우가 멈추면 다음 강우기간까지 지하수위의 감소가 아주 완만하게 일어나고 있다. 세 번째는 지하수위의 감수곡선은 강우강도에 비례하여 그 기울기가 결정되는 것으로 판단되며, 즉 강우강도가 클수록 강우량이 많을수록 지하수위의 감수곡선의 기울기가 완만하게 나타났다. 네 번째는 강우량이 많고 강우기간이 길어지면 지하수위의 피크부분이 상당히 오래 지속되는 경향을 보여주고 있다. 다섯 번째는 지하수위의 변동폭이 약 0~40cm 정도로 아주 좁은 범위

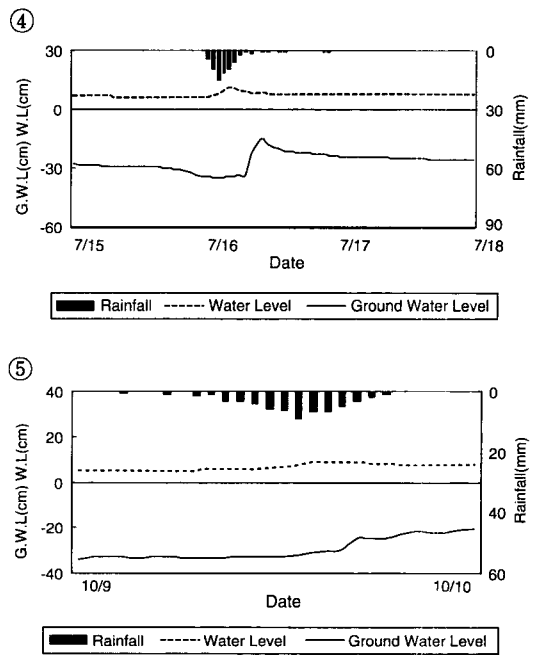


Figure 5. The groundwater level change graph in Moojechi Bog (short term)

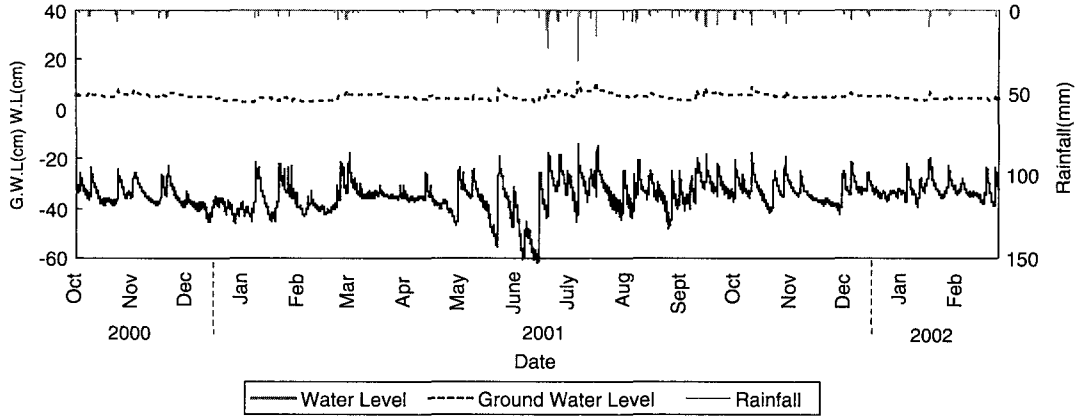


Figure 6. The groundwater level change graph in Moojechi Bog (long term)

에서 변화하고 있었다.

이와같이 무제치늪에서 지하수위의 상승과 하강은 강우의 유입량과 강도에 의존하여 변화하는 전형적인 불압지하수면의 변화 모습을 보여주고 있다.

비율로 완만하게 강하하는 것으로 관측되었다.

결론

(2) 장기지하수위의 변동 패턴

관측기간동안의 강수량 및 수위 변화와 함께 장기간의 지하수위의 변화 형태를 Figure 6에 표시하였다. 무강우기간의 지하수위는 결국 강우의 유입량에 의한 것이지만 일단 지하수로 함양된 수량은 단기간에 소실되지 않는 것으로 판단된다. 따라서 유출특성에서 언급한 것과 같이 무강우기간중에도 늪지역 토양이 포수상태를 유지하는데 일익을 담당하는 것으로 생각된다.

관측기간동안의 지하수위의 변화 모습에서 무제치늪지역은 평균적으로 약 -34.7cm의 지하수위를 유지하고 있었으며, 2001년 6월 중순의 긴 무강우기간중에는 지하수위가 -60cm 이상으로 일시 감소하였다. 무제치늪지역의 장기지하수위 변동 패턴은 대부분 단기지하수위의 경우와 거의 동일하나, 몇 가지를 추가하여 요약하면 다음과 같다. 첫 번째는 장기지하수위의 변화 경향과 강우 및 유출수위의 변화 경향이 거의 일치하는 것으로 나타났다. 따라서 무강우기간이 극단적으로 지속되지 않고 특별한 돌발상황이 발생하지 않는다면 향후 물환경은 항상 일정한 지하수위를 유지할 것으로 판단된다. 두 번째는 강우량이 적을 때는 강우 직후에 지하수위가 피크에 도달하며, 강우량이 많을 때는 지하수위 상승의 피크가 늦어지는 경향이 있었다. 세 번째는 지하수위는 강우직후에 피크에 도달하고, 그 후 일정한

늪지역의 장기유출률은 0.58로 산출되어 일반 산지 유역과 비슷하였으나 단기의 경우는 0.14~0.29의 범위로 아주 낮은 값으로 나타났다. 단기유출 수문곡선에서 유출량 상승부가 완만하게 증가하며 첨두유출량이 출현할 때까지 많은 시간이 걸리며, 첨두유출량의 출현 이후에는 유출량의 감소형태가 완만하게 그리고 시간적으로 오래 진행되고 있었다.

전체적인 유출구성성분 가운데 기저유출량의 성분이 풍부하고, 또 무강우기간에도 유출량이 크게 감소하지 않으며 지속적으로 유출되는 장기유출특성이 있었다. 단, 장기물수지특성은 증발산량을 포함한 유역손실량이 일반 산지유역보다 아주 많아서 유입한 강우량에 비해 유출량이 적었다.

지하수위는 강우직후에 피크에 도달하고 그 후 일정한 비율로 완만하게 낮아졌다. 동시에 강우 시작 후 빠른 시간에 지하수위의 상승이 이루어지나, 강우가 멈추면 다음 강우기간까지 지하수위의 감소가 아주 완만하게 일어나고 있었다. 그리고 강우강도가 클수록 지하수위의 감수곡선의 기울기가 완만하게 형성되고 있었다. 강우량이 많고 강우지속기간이 길어지면 지하수위의 피크부분이 상당히 오래 지속되었다.

무제치늪 지역은 평균 -34.7cm 정도의 지하수위를 유지하고 있고, 장기지하수위의 변화 경향은 강우와 유출수위의 변화경향과 거의 일치하였다. 그리

고 강우량이 적을 때는 강우직후에 지하수위가 피크에 도달하며, 강우량이 많을 때는 지하수위의 피크가 늦어지는 경향이 있었다.

금후의 과제로는, 이러한 고층 습원지역의 유지에 기상환경이 어떻게 관여하는지는 아주 중요한 문제이므로 강우유출특성과 지하수위의 변동 특성을 포함한 기상 및 수문환경에 대한 장기적인 모니터링시스템 구축과 이에 대한 연구가 필요하다. 지하수위 변동 패턴은 물의 공급 외에, 이탄지의 배수계의 상태, 이탄의 물리성이나 수분 특성, 증발산 등의 영향을 받기 때문에 이에 관한 종합적인 연구 또는 접근방법이 필요할 것이다. 향후 당분간은 늪지역의 물환경은 항상 일정한 지하수위를 유지할 것으로 평가되었으나, 늪지역의 개발과 이용이 진행되고, 배수계가 정비되면 지하수위는 전체적으로 저하할 우려가 있기 때문에 이에 대한 종합적인 대책의 수립이 필요할 것이다.

인용문헌

- 고재기, 이은복, 전의식(1995) 수원 칠보산 습원의 식생과 습원 및 주변부의 식물상. 자연보존 89: 39-50.
- 박재근(1998) 화분분석에 의한 정족산 무제치늪의 이탄의 식생변천에 관한 연구. 서울대학교 대학원 석사학위논문, 32쪽.
- 박재철(2000) 물순환모델에 의한 산지소유역의 유출 특성 및 계류수의 수질변화 분석. 영남대학교 대학원 석사학위논문, 74쪽.
- 울산지역환경기술개발센터(2000) 2차년도 연구사업과제 결과보고서 - 무제치늪 복원 및 생태 관광지 활용방안 연구. 39쪽.
- 이동영, 최기룡, 김주용, 양동운(1998) 정족산 무제치늪의 성인과 자연 환경. 한국제4기학회지 12(1): 63-75.
- 최기룡(2001) 무제치늪의 화분 분석 연구. 한국제4기학회지 15(1): 13-20.
- 한국생태학회(2002) 습지보전을 위한 생태학적 접근. 한국생태학회 2002년 심포지움, 98쪽.
- 환경부(1997) 정족산 무제치늪 조사 결과 보고서(1차년도). 환경부, 133쪽.
- 환경부(1998a) 대암산 용늪 복원 타당성 조사연구. 환경부, 73쪽.
- 환경부(1998b) 정족산 무제치늪 조사 결과 보고서 2차년도. 환경부, 84쪽.
- 환경부(1999) 생태계보전지역 관리 기본계획 수립을 위한 연구. 환경부, 115쪽.
- Dobson, M. and C.Frid(1998) Ecology of Aquatic System. Longman: 158-182.