

온배수 유입하천에 형성된 수생식물군집의 생태학적 연구

길 봉 섭 · 유 현 경

(원광대학교 생명과학부)

적 요 - 온천배수에 의한 주변 식물상의 변화를 구명하기 위하여 고창 석정온천, 전주 죽림온천, 익산 왕궁온천을 대상으로 1997년부터 1998년까지 10회에 걸쳐서 조사하였다. 계절별 온배수에 의한 주변 식물종의 출현은 외부기온이 비교적 낮은 계절에 대조구보다 실험구에서 더 많은 종이 나타났다. 피도가 높은 종은 계절에 따라 바뀌지만 대조구와 실험구에서 차이가 없었다. 온배수에 의한 식물 엽면적의 계절별 변화는 대체로 2월, 4월, 10월에는 대조구값이 오염지역 식물보다 낮았다. 이것은 온배수에 의한 온도상승이 요인으로 판단되었다. 계절별 식물의 생체량과 건중량은 외부기온이 비교적 낮은 때에는 대조구 값이 실험구 값보다 저조하였다. 온천 배수지역의 식물체내에 함유된 무기염류의 분석결과 석정온천 지역의 Cu, Zn, Ni, Pb는 대조구보다 오염지역에서 4월부터 9월까지 증가하였고 10월에는 감소하였다. 왕궁온천 지역의 식물체 내에는 Zn, Pb 함량이 대조구보다 오염지역의 값이 높았다. 그래서 온배수에 의한 식물의 영향은 기온이 낮은 계절에 나타나고, 기온이 높은 계절에 식물은 회복되는 것으로 밝혀졌다.

서 론

발전소에서 배출되는 온배수(냉각수)는 주변 강하천의 수온을 상승케하여 동식물의 생활에 영향을 미친다. 예컨대, 영국 세인트 죠오지 해협에서는 인근에 있는 발전소로부터 흘러나온 온배수 때문에 정상적으로는 여름철에 증식하는 우렁쟁이가 계절에 관계없이 증식한다는 보고가 있다(신 1996). 도시하수, 소하천, 비점오염원에서 유출되는 오탁수가 인근 생태계에 큰 영향을 미친다(Field 1985; Higgins *et al.* 1989; Hill 1986; Meyers 1986; Vigon 1985).

수온상승은 수중 용존산소량을 낮추고 수중생물들의 호흡비율을 증가시켜서 보다 빠른 산소소비를 하게 하며, 또한 질병, 기생충 및 독성화학물질에 대한 민감성을 증가시킨다. 그러나 온배수는 추운 겨울에 동식물의 활동을 활발하게 하며 그래서 양어장의 메기, 연어, 굴양식 등에 이용되고 있다(신 1995). 하천수는 하류로 갈수록 자정되어 청정해지며 이러한 자정작용은 동계와 하계보다는 춘계와 추계에 더 크다고 했다(이 등 1994). 이러한 자정작용은 또한 수생식물과 관련되는데 종류도 다양해서 연꽃, 붕어마름, 검정말, 새우가래, 나사말 등이 그 예에 속한다(Cho and Kim 1994).

온천 배수는 농경지 또는 주택지로 방출되는 경우가 많고 그로 인하여 농작물이나 주변 식물상에 미치는 영향이 있을 것이라는 사실을 쉽게 추측할 수 있다. 만일 온배수에 식물 또는 인간에게 유해한 물질, 예컨대, 생물학적 농축과 관계하는 화학성분이 들어있다면 문제가 될 수 밖에 없다. 그럼에도 불구하고 온천 배수가 주변 식물에 미치는 영향에 관련된 연구는 아직 전무한 실정이다.

그래서 본 연구는 고창 석정온천, 완주 죽림온천, 익산 왕궁온천의 온배수가 주변 식물들에게 미치는 영향을 조사하기 위하여 계절별로 식물상의 변화, 식물생장, 식물체 내의 무기염류 분석 등을 조사하려는데 그 연구목적이 있다.

재료 및 방법

본 조사는 1997년부터 1998년까지 2년간 10회에 걸쳐서 실시하였으며, 조사지점은 석정온천(전라북도 고창군 고창읍 소재), 죽림온천(전라북도 완주군 소양면 소재), 왕궁온천(전라북도 완주군 삼례읍 소재)으로 하였고 각각 세부적인 조사지점은 온배수와 관련이 먼 대조구와 온배수구에 직접 영향을 받는 것으로 생각되는 가장 가까운 곳으로부터 오염(heavy pollution), 중간오

염(light pollution), 비오염(non-pollution) 순으로 실험군을 설정하였다. 이들의 거리는 약 20 m, 50 m, 200 m 떨어진 곳이었으며, 그 중간에 생활하수나 농경지로 부터 유출되는 물은 없었다. 왜냐하면 온천 배수가 흘러가는 실개천 같은 곳이기 때문이다. 온천 배수의 수온은 평균 8°C가 인근 개천의 경우보다 높았다. 조사시기에 따른 식물상은 현장에서 식물목록을 기재하고 불확실한 것은 실험실로 운반 후 정밀 조사하였고, 종별 출현도를 조사하기 위하여 임의로 5m×2m의 방형구를 설치하고 방형구내의 식물의 피도를 산정하고 식물을 채취하여 실험실 내로 옮겨와서 임의로 20개체의 잎을 절취하여 감광지에 감광시킨 후 암모니아수로 구웠다. 얻어진 결과를 area meter (Digitizing Area-Line Sensor, MT-100)로 엽면적을 측정한다. 방형구 내에서 채취된 식물은 생중량, 건중량을 전자저울 (Metler Toledo, PB602)을 이용하여 측정한다. 다음 식물체내의 무기염류, 중금속함량은 conc. HNO₃와 conc. HClO₄ (2:1, v/v) 합한 용액을 시료의 10배량을 가하여 hot plate 위에 올려놓고 단계적으로 등온시켜 100°C로 유지하여 용액의 색이 미색 또는 투명해지면 분해를 종료하고 잔류된 산을 수욕조에서 3시간 중탕 휘산시킨 후 원자흡광분광광도계 (Model : Spectra A 300, GTA-96. Varian Co., Australia)로 측정하였다 (Gange and Page, 1974).

결과 및 고찰

1. 계절별 주변식물상 변화

1) 고창 석정온천

석정온천의 오염지역에서 조사한 계절별 식물상은 다음과 같다 (Table 1).

(1) 오염지역

이곳은 온천으로부터 가까운 곳으로 인근에 있는 물보다 수온이 약 8°C 높았다.

겨울철 식물상: 겨울철에 조사된 출현종은 개밀, 미나리, 썩, 참소리쟁이, 환삼덩굴, 큰개불알풀, 그렁, 점나도나물, 질경이, 개망초, 벌꽃, 뿌리뱅이, 층층이꽃, 쇠별꽃, 쥐손이풀, 강아지풀, 쇠무릎, 익모초, 고마리, 젓가락나물, 갈퀴덩굴, 뱀딸기, 조개풀, 머느리밀싯개, 쥐손이풀, 땃땃이덩굴, 그늘사초, 실새풀 등 54종류였고, 피도는 고마리

70%, 개밀 25%, 개망초, 쇠별꽃, 갈퀴덩굴이 합쳐서 3%였다. 수변식물은 졸참나무, 갈참나무, 개암나무, 마삭줄이었다. 그리고, 겨울철인데도 식물들의 키가 무척 크고 출현종도 상당히 많은 것을 볼 수 있었다. 이는 온배수에 의한 온도상승요인이 작용한 것 같다. 2월에는 고마리 유식물이 많이 출현하였고, 1월 식물상에 비하여 포아풀, 꽃마리, 락, 쇠뜨기 (n세대), 피블주머니 등 5종류가 더해졌으며, 피도는 점나도나물이 35%, 뱀딸기 25%, 피블주머니와 개밀이 15%, 미나리, 참소리쟁이가 10%, 썩 5%, 쇠별꽃이 4%였다.

봄철 식물상: 4월에 온천배수가 접하는 곳에 갈대, 산여뀌, 고마리가 출현하였고, 또한 주변에 출현종은 고마리, 갈대, 큰개불알풀, 점나도나물, 썩, 냉이, 황새냉이, 개밀, 쇠뜨기, 개망초, 오리새, 갈퀴덩굴, 층층이꽃, 봄여뀌, 뿌리뱅이, 환삼덩굴이 조사되었으며, 피도는 썩 35%, 큰개불알풀 20%, 쇠별꽃 15%였다. 5월은 참소리쟁이, 환삼덩굴, 고마리, 뱀딸기, 질경이, 썩 등이 조사되었으며 배암차즈기, 왕고들빼기, 돌피, 엉겅퀴, 명아주, 나도물통이, 개불알풀, 개모시풀이 새롭게 추가되었다. 또한 물흐르는 곳에 개구리밥이 많았으며, 고마리의 피도는 80~100% 정도로 크게 우점하였다. 이것은 경안천의 경우 고마리와 여뀌가 하천에서 자라는 우점종이라는 보고 (조, 1995)와 일치하였다.

여름철 식물상: 조사한 결과 식물상은 썩, 쇠무릎, 돌피, 환삼덩굴, 소리쟁이, 질경이, 닭의장풀, 망초, 바랭이, 강아지풀이었고, 고마리가 순우점으로 피도는 95%, 참소리쟁이와 썩은 3%, 환삼덩굴 2% 순이었다. 고마리는 습지 생태계에서 질소보유와 제거에 큰 영향을 준다고 했다 (Woo et al. 1996).

가을철 식물상: 9월은 고마리가 95%의 피도를 보였고, 바랭이, 민바랭이는 3% 정도였고, 고마리, 여뀌, 환삼덩굴, 바랭이, 민바랭이, 썩, 방동사니, 돌피, 수크령, 쇠무릎, 강아지풀, 소리쟁이, 긴잎모시풀, 개모시풀, 쇠별꽃, 갯, 이질풀, 금강아지풀, 토기풀, 돼지풀, 망초, 질경이, 쇠뜨기가 출현하였다. 10월은 참새피 등의 빈도가 높고, 고마리 피도는 94%, 환삼덩굴이 5%였고, 고마리는 생활환을 끝내려는 준비단계였다.

(2) 중간오염지역

겨울철 식물상: 겨울철 조사에 의하면 개밀, 갈대, 썩,

Table 1. Monthly changes of plant species occurrence from Sökchöng, Chukrim and Wang-gung hot spring

| Site | FEB | MAR | APR | MAY | JUN | JUL | SEP | OCT |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Sökchöng | 54 | 24 | 32 | 39 | 25 | 19 | 45 | 32 |
| Chukrim | 10 | 27 | 17 | 24 | 19 | 19 | 62 | 62 |
| Wang-gung | 9 | 7 | 8 | 13 | 19 | 14 | 33 | 23 |

미나리, 괴불주머니, 고마리, 인동, 때죽나무, 그늘사초, 비늘고사리, 참소리쟁이, 쇠별꽃, 뱀딸기, 벼룩나물, 쪼레꽃, 들깨풀, 쇠무릎, 개망초, 쑥, 갈대, 큰개불알풀, 띠, 갈퀴덩굴, 강아지풀, 참소리쟁이, 눈갯버들, 개모시풀, 미나리 등이 출현하였고, 피도는 갈대가 55%, 띠 25% 뱀딸기 15%, 개밀 3%였다.

봄철 식물상: 3월 조사에 의하면 쥐손이풀, 수영이 출현했고, 피도는 벼과 sp.가 25%, 갈대 15%, 고마리 5%, 쑥 4% 순이었다. 하천 바닥에는 갈조류가 우점하였고, 갈대가 10~15 cm의 키로 절대 우점하였다. 4월 조사에 의하면 벼지, 머위, 황새냉이, 사상자, 쇠뜨기, 점나도나물, 애기장대, 꽃다지가 새롭게 나타났으며 피도는 고마리가 80%, 갈대 20%였다. 5월 조사에 의하면 환삼덩굴, 개망초, 자주개밀, 독새풀, 벼룩이자리, 며느리배꼽, 선포아풀, 오리새, 자주개밀, 젓가락나물이 출현하였고, 고마리 피도는 80%였다.

여름철 식물상: 6월 조사는 수로변경으로 말미암아 조사하지 못했다. 7월 조사는 배암차즈기, 띠가 새롭게 출현하였고 고마리 피도는 80%, 띠 10%, 쑥 5%였다.

가을철 식물상: 9월은 수크령, 가을강아지풀, 민바랭이, 바랭이, 여뀌, 개쑥부쟁이, 긴잎모시풀, 돌피, 소리쟁이, 그령, 토끼풀, 질경이, 방동사니, 애기똥풀, 왕질경이, 층층이꽃, 여우콩, 멧석딸기, 마삭줄, 버드나무, 쥐손이풀이 기존 식물상에 더해졌고, 고마리 피도는 90%, 환삼덩굴 2%, 쑥 1%였다. 10월은 참새피, 여뀌, 바랭이, 민바랭이가 출현하였고, 고마리는 95% 피도를 나타냈다.

(3) 비오염지역

겨울철 식물상: 1월 조사에 의하면 갈대, 미나리, 고마리, 한련초, 참소리쟁이, 참새피, 쇠별꽃, 큰개불알풀, 강아지풀, 개밀이 출현하였고, 피도는 미나리 50%, 갈대 30%, 개밀 15%, 물 속에는 말즘, 한련초, 미나리의 피도가 높았다.

봄철 식물상: 3월 조사시에는 갈대의 피도는 35%, 미나리 20%, 고마리 15%이었다. 물은 대단히 맑고 녹색, 갈색 조류가 풀포기에 엉켜있으며 조류의 피도는 4% 정도였다. 4월 조사에는 조사지 공사로 매몰되어 조사지를 약간 이동시켰다. 나도겨풀, 벼지, 괴불주머니가 출현하였고, 피도는 갈대 70%, 미나리 20%, 고마리 7%였다. 5월 조사에 의하면 환삼덩굴, 젓가락나물이 출현하였으며 피도는 고마리 60%, 참소리쟁이 30%, 미나리 5%였다.

여름철 식물상: 6월 조사는 수로변경 관계로 조사하지 못했다. 7월 조사에 의하면 메꽃, 닭의장풀, 망초가 출현종이며, 고마리 90%, 참소리쟁이 8% 피도를 보였다.

가을철 식물상: 9월 조사에 의하면 쇠뜨기, 호박, 소리쟁이, 이고들빼기, 가을강아지풀, 쇠무릎, 민바랭이, 바랭

이, 비름이었고, 피도는 고마리 95%, 환삼덩굴 2%였다. 10월 조사에 의하면 칩, 돌피, 여뀌가 출현하였고, 피도는 고마리 70%, 환삼덩굴 25%였다. 수로 재정비를 위한 교각공사로 말미암아 조사지가 많이 파괴되었다.

2) 전주 죽림온천

(1) 오염지역

하상은 돌, 바위가 많고, 온천 배수로 말미암아 녹갈조류, 특히 녹조류가 많다. 온천배수로가 밖으로 돌출된 곳을 찾지 못했다.

겨울철 식물상: 1월 조사시 식물출현은 참소리쟁이, 쇠별꽃, 갈퀴덩굴, 큰개불알풀, 미나리, 물잔디, 황새냉이였고, 물잔디의 피도는 80%였다.

봄철 식물상: 3월 조사시 새 출현종은 말냉이였으며 물잔디는 피도가 80%였고, 온배수 뿐 아니라 땅에서 솟는 물도 합해져서 조류가 많은 원인으로 작용했다. 4월 조사시 식물출현은 고마리, 쑥, 사상자였고, 피도는 물잔디가 95%였다. 5월 조사시 식물출현은 한련초, 나도물통이었고, 피도는 물잔디 70%, 참소리쟁이 10%였다.

여름철 식물상: 6월 조사시 식물출현은 독새풀, 개밀, 지칭개, 메귀리였고, 피도는 물잔디 90%, 참소리쟁이 8%였다. 7월 조사는 물잔디가 생활환을 모두 끝내고 잔여 식물체는 모두 비에 떠내려가서 채집하지 못했다.

(2) 비오염지역

봄철 식물상: 3월 조사는 벼지, 큰개불알풀, 참소리쟁이, 지칭개, 말냉이, 배암차즈기, 달맞이꽃, 쑥, 물잔디 등이 조사되었고, 4월 조사는 도깨비바늘, 꽃바지가 나타났으며, 물잔디의 피도는 약 98%였다. 5월 조사는 지칭개, 메귀리, 방가지똥, 망초, 독새풀, 벼룩이자리가 나타났고, 물잔디는 90%, 참소리쟁이 10% 피도를 보였다.

탄천의 수생식물은 말즘, 애기가래, 검정말, 나사말이 우점하는 것으로 조사되어(김과 임 1990) 본 조사지의 결과와는 상이 한 것으로 나타났는데 이는 서식지 환경이 서로 다르기 때문이라고 본다.

여름철 식물상: 6월에 조사된 식물은 개밀, 다닥냉이, 비수리, 개망초였고, 물잔디는 70%, 참소리쟁이 25% 피도를 보였다. 7월에는 물잔디의 피도가 40%, 참소리쟁이 20%, 쑥 30%로 나타났으며, 물잔디는 생활환을 거의 끝마쳐 가고 있는 상태였다.

가을철 식물상: 9월 조사는 갈수기여서 표본채취가 불가능했고, 수변 종조성은 미국개기장, 여뀌, 방동사니, 돌피, 미국가막사리, 도꼬마리, 비름, 왕고들빼기 등이 출현했다. 10월 조사는 물이 거의 없는 갈수기여서 표본을 채취하지 못했다.

3) 익산 왕궁온천

(1) 오염지역

온천에서 가장 가까운 온배수 배출지역인 하수 수문 근처로 하천폭은 80 cm, 하상을 흐르는 물이 검고 녹색을 띠며 부영양화되어 식물은 드러나지 않았다. 또한 겨울철인데도 좁개구리밥이 많았다.

겨울철 식물상: 1, 2월 조사시에는 갈대, 개밀, 나도겨풀, 갈퀴덩굴, 참소리쟁이, 강아지풀, 쇠별꽃, 쇠무릎이 출현하였다.

봄철 식물상: 3월 조사시에는 개구리자리, 좁개구리밥, 미나리, 황새냉이, 말냉이가 나타났고, 4월 조사시에는 개구리자리(오염이 심한 곳에 많이 살아남는 것 같다), 나도겨풀이 출현했고, 피도는 나도겨풀이 98%이고, 잎이 모두 자란 상태에 있으나 대조구의 나도겨풀은 잎이 아직도 덜 자란 상태이다. 온천배수의 온도영향으로 생각되었다. 5월 조사시는 띠, 쑥, 좁개구리밥, 방동사니, 개망초, 뿌리뱅이, 미나리 등이 나타났고 피도는 나도겨풀이 98%이나 온배수로 오염된 곳은 나도겨풀이 죽으며 따라서 좁개구리밥 수도 줄어들고 온배수가 적게 닿는 곳은 나도겨풀이 잘 살아 남아있다.

미나리는 Cd의 제거능과 내성이 있는 식물로 보고된 바가 있어서 (Lee and Lee, 1996) 주목된다.

여름철 식물상: 6월 조사시는 방가지뚱, 떡쑥이 출현하였고, 나도겨풀이 95%, 갈대 5%의 피도를 보였다. 7월 조사시는 하천을 흐르는 물은 검은색으로 비누거품 같은 물거품이 많이 있으며, 식물은 매듭풀, 차풀, 줄이 있었다.

가을철 식물상: 9월 조사에서는 물바닥에 나도겨풀이 우점하며 99% 피도를 보였고, 수변식생은 억새가 우점종이었고 고마리, 미꾸리늪시, 쑥, 왕고들빼기가 섞여났다. 10월 조사에서는 민바랭이, 바랭이, 가을강아지풀, 방동사니, 돌피, 띠, 미나리, 왕고들빼기, 그령, 수크령, 여뀌바늘, 기생여뀌, 쑥부쟁이, 억새, 돼지풀 등이 출현했고, 물바닥에 나도겨풀이 우점하며 99% 피도를 보였다. 나도겨풀이 다시 생활환을 시작하려는 듯 상당히 우점하는 것을 볼 수 있고 좁개구리밥도 많았으며 오후 6시경에 온배수를 다량 방출하는 것을 확인 할 수 있었다.

(2) 중간오염지역

봄철 식물상: 3, 4, 5월은 고마리, 개밀 등이 출현하며 피도는 고마리가 98% 였다.

여름철 식물상: 6월은 갈대, 참소리쟁이, 명아주, 닭의장풀, 쑥이 나타났고, 피도는 고마리 93%, 개밀이 5% 이었다. 7월은 여뀌, 줄, 민들레, 개망초, 쇠무릎이 보이고, 피도는 고마리가 95%, 줄 4%, 갈대 + 였다.

가을철 식물상: 9월은 미꾸리늪시, 머느리배꼽, 왕고들

빼기, 기생여뀌, 수크령이 조사되었고, 고마리 피도는 99%였다. 10월은 억새, 갯이 있고, 피도는 고마리 97%, 기생여뀌 1%였다.

(3) 비오염지역

농수로문을 넘어 생활하수와 만나는 곳으로 하천폭은 10~15 m 정도이고 하상은 자갈이 깔려있다.

봄철 식물상: 3, 4월은 갈대, 5월은 띠, 개망초, 쇠뜨기, 쇠별꽃, 쑥, 참소리쟁이가 보이며 피도는 나도겨풀이 70%, 참소리쟁이 25%였다. 주변식생은 갈대가 50%, 퉁새풀이 45%의 피도를 보였다. 갈퀴덩굴, 쇠무릎, 환삼덩굴, 참소리쟁이, 쑥도 있었다.

여름철 식물상: 6월에 나타난 식물은 부레옥잠이었으며 피도는 나도겨풀 70%, 참소리쟁이 20%, 갈대 5% 였다.

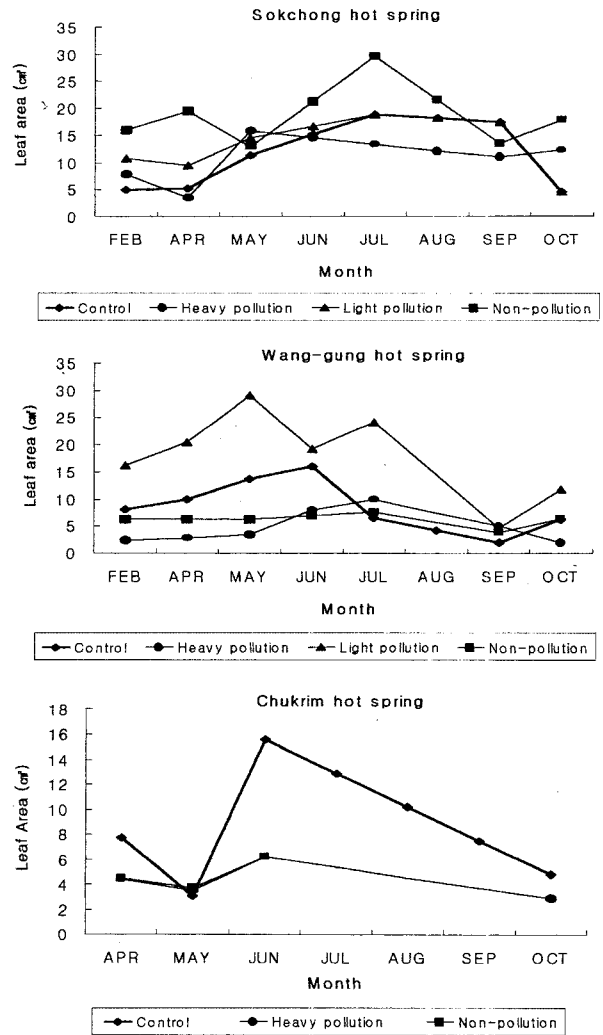


Fig. 1. Monthly changes of plant leaf area (cm²) sampled at different sites from Sökchöng, Wang-gung and Chukrim, Chöllabuk-do.

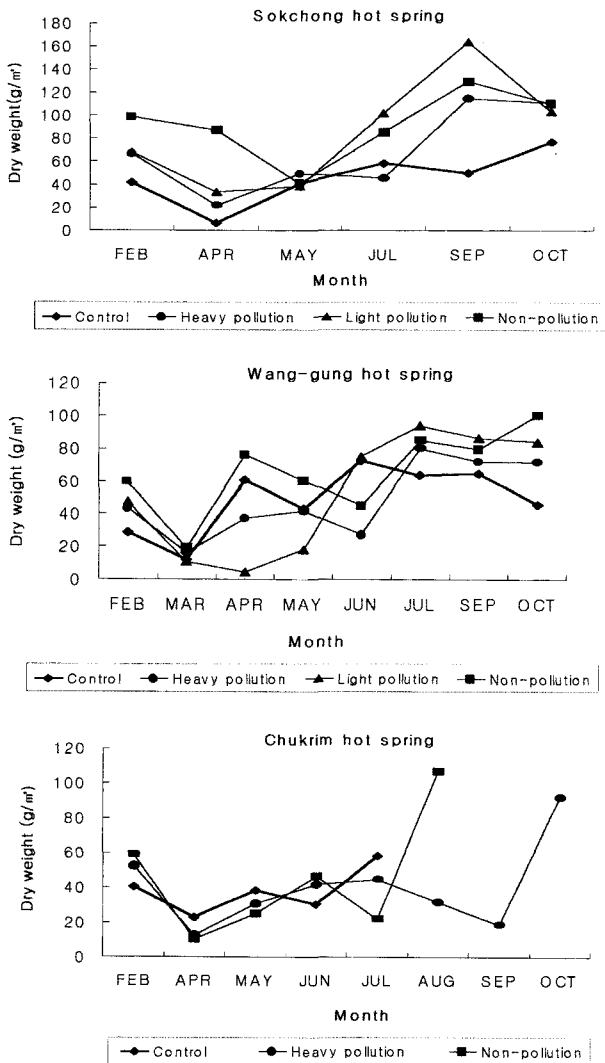


Fig. 2. Monthly changes of dry weights (g/m²) sampled at different sites from Sökchöng, Wang-gung and Chukrim, Chöllabuk-do.

위에서 본대로 오염, 중간오염, 비오염지역별로 식물상이 다르게 나타난 것은 온배수에 의한 것이라고 단정할 수는 없고 여러 가지 복합적인 요인의 영향일 것으로 생각된다.

2. 계절별 엽면적 변화

석정온천의 식물 엽면적은 2월부터 6월까지와 10월은 대조구의 값이 오염지역 식물의 것보다 대체적으로 낮았다(Fig. 1). 이는 온천 배수의 온도가 대조구보다 높았기 때문으로 생각된다. 그러나 7월, 8월, 9월은 오염지역의 엽면적이 대조구 것보다 적었다.

왕궁온천 지역에서 조사된 결과 특이한 점은 대조구의 값보다 중간오염의 엽면적 값이 높았고, 2월~6월까지

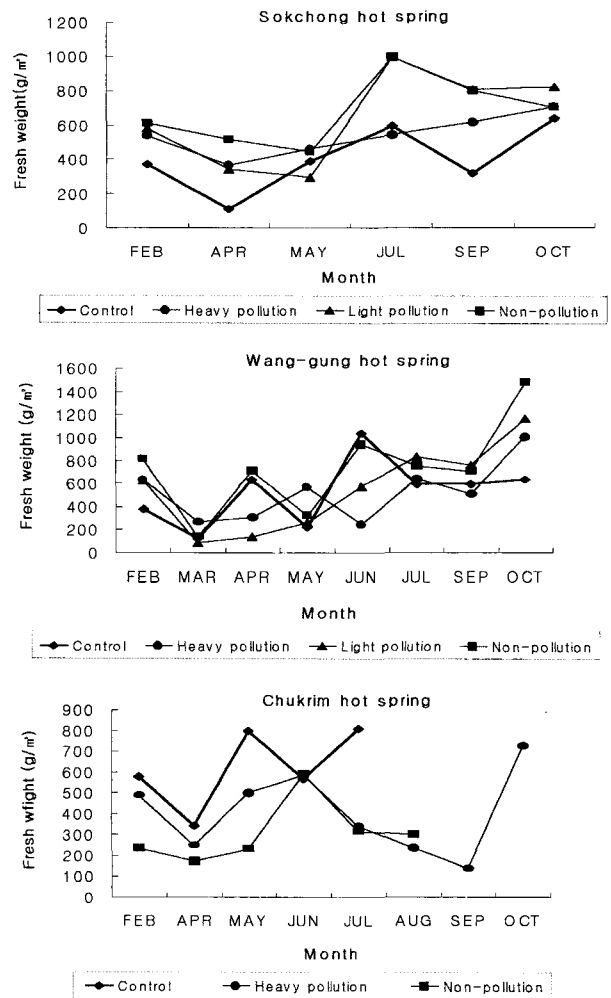


Fig. 3. Monthly changes of fresh weights (g/m²) sampled at different sites from Sökchöng, Wang-gung and Chukrim, Chöllabuk-do.

지는 대조구 값에 비해 비오염과 오염지역의 엽면적 값이 저조했으며 7월 이후는 반대로 변했다.

죽림온천은 대조구 값이 실험구 보다 5월을 제외한 나머지 조사기간에서 높았다. 이러한 결과로 보면 온천 배수가 주변식물의 엽면적 변화에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 판단된다.

3. 식물의 생체량과 건중량 변화

조사지점별 생체량과 건중량의 변화는 Figs. 2, 3과 같다.

고창 석정온천: 생체량의 경우 2월, 4월 조사시 대조구에 비해 오염, 중간오염, 비오염 모두 상대적으로 높은 값을 보이다가 5월은 조사지점간 서로 차이가 크지 않았고 7월 조사시 오염구 값이 대조구보다 약간 낮은 값을 보이다가 9, 10월에 다시 회복세를 보였다. 중간오염 지

Table 2. Concentration (ppm) of chemical elements of plants sampled in different polluted sites from Sökchöng hot spring at Köchang-gun, Chllabuk-do

| Month | Site | K | Na | Ca | Mg | Cu | Zn | Ni | Pb | Cd | S(g) |
|-------|-----------------|--------|-------|--------|-------|------|-------|------|-----|------|---------|
| APR | Control | 20,920 | 804 | 5,480 | 4,420 | 8.9 | 70.4 | 3.1 | 2.3 | 0.22 | 0.00526 |
| | Light pollution | 15,920 | 526 | 4,474 | 4,970 | 11.2 | 70.4 | 465 | 4.9 | 0.33 | 0.00399 |
| | Heavy pollution | 16,160 | 416 | 4,330 | 3,863 | 0.5 | 170.7 | 4.2 | 4.0 | 0.21 | 0.00417 |
| MAY | Control | 18,880 | 498 | 2,168 | 2,770 | 11.3 | 118.5 | 5.1 | 2.0 | 0.37 | 0.00442 |
| | Light pollution | 23,100 | 1,073 | 3,051 | 5,140 | 15.3 | 216.4 | 4.5 | 4.7 | 0.19 | 0.00555 |
| | Heavy pollution | 26,040 | 731 | 3,134 | 3,996 | 18.4 | 285.0 | 26.8 | 9.7 | 0.28 | 0.00702 |
| JUL | Control | 26,320 | 146 | 15,280 | 4,260 | 5.5 | 310.0 | 3.0 | 2.0 | 0.46 | 0.00693 |
| | Light pollution | 25,480 | 828 | 5,762 | 4,460 | 12.9 | 172.7 | 1.7 | 4.2 | 0.02 | 0.00508 |
| | Heavy pollution | 24560 | 622 | 8,615 | 4,120 | 15.1 | 373.2 | 4.0 | 5.8 | 0.51 | 0.01118 |
| SEP | Control | 19,450 | 858.5 | 4,681 | 4,277 | 11.8 | 116.8 | 1.9 | 4.4 | 0.19 | 0.00520 |
| | Light pollution | 13,420 | 522 | 2,011 | 3,880 | 16.9 | 110.1 | 3.8 | 6.2 | 0.27 | 0.00375 |
| | Heavy pollution | 38,000 | 474 | 8,692 | 5,660 | 13.4 | 589.0 | 7.1 | 6.6 | ND | 0.00638 |
| OCT | Control | 14,200 | 782 | 3,581 | 3,473 | 10.3 | 78.2 | 2.7 | 4.2 | 0.19 | 0.00421 |
| | Light pollution | 22,360 | 2,105 | 13,063 | 5,560 | 9.9 | 90.5 | 7.1 | 5.1 | 0.30 | 0.00490 |
| | Heavy pollution | 22,800 | 440 | 14,280 | 4,150 | 5.0 | 198.9 | 2.4 | 2.5 | 0.35 | 0.00548 |

Table 3. Concentration (ppm) of chemical elements of plants sampled in different polluted sites from Wang-gung hot spring at Iksan-shi, Chöllabuk-do

| Month | Site | K | Na | Ca | Mg | Cu | Zn | Ni | Pb | Cd | S(g) |
|-------|-----------------|--------|--------|-------|-------|------|-------|-----|------|------|---------|
| APR | Control | 34,540 | 888 | 565 | 3,027 | 20.9 | 84.7 | 4.0 | 6.6 | 0.16 | 0.00447 |
| | Light pollution | | | | | | | | | | |
| | Heavy pollution | 22,360 | 1,778 | 2,338 | 2,308 | 76.6 | 145.9 | 2.5 | 22.0 | 0.10 | 0.0075 |
| MAY | Control | 20,960 | 1,536 | 644 | 1,866 | 11.0 | 68.6 | 0.7 | 3.2 | 0.03 | 0.00661 |
| | Light pollution | | | | | | | | | | |
| | Heavy pollution | 13,160 | 2,024 | 5,638 | 2,121 | 94.9 | 851.0 | 4.5 | 31.3 | 0.30 | 0.00921 |
| JUN | Control | 22,920 | 1,590 | 2,040 | 2,704 | 83.7 | 151.2 | 3.5 | 4.7 | 0.15 | 0.0077 |
| | Light pollution | 26,160 | 508 | 2,432 | 4,100 | 10.5 | 274.0 | 2.7 | 38.3 | 0.09 | 0.00517 |
| | Heavy pollution | 21,920 | 1,424 | 2,456 | 1,566 | 16.9 | 152.1 | 0.9 | 4.6 | 0.06 | 0.00693 |
| JUL | Control | 20,880 | 1,047 | 249 | 2,306 | 36.4 | 168.8 | 7.0 | 9.2 | 0.15 | 0.00742 |
| | Light pollution | 21,340 | 1697.5 | 4,196 | 5,207 | 18.6 | 81.1 | 3.9 | 18.0 | 0.03 | 0.00713 |
| | Heavy pollution | 16,460 | 806 | 430 | 2,159 | 50.4 | 277.0 | 3.2 | 13.4 | 0.22 | 0.00537 |
| SEP | Control | 13,680 | 301 | 1,121 | 1,692 | 11.9 | 73.2 | 2.6 | 2.8 | 0.09 | 0.00323 |
| | Light pollution | | | | | | | | | | |
| | Heavy pollution | 16,700 | 2,047 | 3,299 | 1,588 | 53.5 | 531.8 | 1.6 | 18.0 | 0.03 | 0.00713 |
| OCT | Control | 16,120 | 568 | 7,080 | 2,846 | 15.5 | 67.2 | 4.7 | 2.0 | 0.14 | 0.00475 |
| | Light pollution | 11,940 | 1,938 | 2,050 | 2,628 | 65.6 | 174.5 | 2.0 | 16.4 | 0.16 | 0.00507 |
| | Heavy pollution | 19,240 | 2,416 | 2,240 | 1,384 | 75.9 | 714.0 | 1.9 | 28.3 | 0.16 | 0.00734 |

역이나 비오염 지역에서의 생량변화는 2월~5월 사이는 약간의 차이로 비오염이 높은 경향이나 5월 이후에는 거의 동일한 경향을 나타냈다. 전체적으로 보면 대조구보다 실험구의 값이 높았고 이러한 사실은 전술한 잎면적과 유사하였다(Fig. 1). 5월에 낮은 값을 보인 것은 온천배수의 유출수로를 일시 변경하여 수분 부족을 가져온 일이 있었기 때문으로 판단된다.

건중량의 경우 대조구의 값에 비하여 실험구의 것이 전반적으로 높았다. 다만 2월과 4월 기온이 비교적 낮은 때는 실험구 값이 현저하게 높다가 여름철에는 서로 차이가 줄어들고 가을철 되면 다시 봄철과 비슷한 양상을

나타내었다.

익산 왕궁온천: 생체량, 건중량 모두 대조군과 비오염 지역이 서로 차이를 보이지 않는 경향을 보였다. 오염지역의 경우 3월에서 5월에 걸친 봄철 조사시기가 갈수기여서 생체량이나 건중량이 농축효과에 의한 오염도 증가 때문에 식물 생장이 저조한 것으로 생각되었다.

죽림온천: 생체량과 건중량의 값이 대조군보다 실험군 모두에서 대체적으로 낮게 나타났다. 오염지역의 생체량과 건중량이 10월에 크게 증가되었으나 대조구 값을 조사하지 못해서 비교하기는 불가하였다.

4. 식물체내의 무기염류 분석

고창 석정온천: 식물체내 조사지점별 월별 변화량을 분석한 결과는 Table 2와 같다. K, Mg, Ca, Na 모두에서 대조군에 대한 오염, 중간오염 지역의 농도가 조사시기에 따라 일정한 경향성을 보이지 않았으나 Cu, Zn, Ni, Pb의 경우는 대조구보다 오염지역에서 4월 조사 시작부터 9월까지 높은 증가율을 보이다가 10월 조사시 다시 감소하는 경향을 보였다. Cd의 경우는 4, 5월 조사시에는 대조군보다 오염지역이 낮았으나, 7월, 10월 조사시에는 다시 회복되어 증가되었다. S의 경우에는 4월 조사시에만 대조군이 오염지역보다 높았지만 나머지 조사시기엔 전반적으로 오염지역에서 높은 값을 나타냈다.

온천 배수에 영향을 받고 자라난 식물체 내에서 Pb, Cd 등 중금속 물질이 검출되었음은 주목할 일이다. 대체적으로 식물 잎에 Cd 함량은 10 ppm 이하로 보면(松中, 1979), 본 조사 결과는 그 보다는 낮은 것으로 나타났다.

본 조사 결과 Cu, Zn, Ni, Pb의 식물체내 함량이 상당히 높은 것은 주목할 점으로 생각된다.

익산 왕궁온천: 조사지점별 식물체내 무기염류의 월별 변화량은 Table 3과 같다. K, Na, Ca, Mg 모두에서 대조군에 대한 오염, 중간오염지역의 농도가 조사시기에 따라 역시 일정한 경향성을 나타내지 않았다. Zn, Pb는 대조군에 비해 오염지역에서 조사시기와 상관없이 고농도로 존재하였는데 반해 Ni의 경우는 5월을 제외하고 대조군보다 오염지역에서 낮은 농도를 나타냈다. Cd, S는 조사시기에 따라 대조군과 오염지역간에 농도변화가 일정한 경향을 보이지 않았다. 한편 먹장어 체내에 Cd 함량은 0.02~0.165 µg/kg, Pb는 0.246~0.506 µg/kg이라고 했고(조 등, 1990), 황지천은 폐탄광 오수가 유입되는 곳인데 이곳의 Pb 함량은 37~46 ppm으로 조사되어서 대상은 다르지만 본 조사지의 값보다 높은 것으로 나타났다(조 등 1996). 또 Ca, Mg, Zn, K 등은 계류 생태계에 분포하는 식물에게 큰 영향을 미친다(Beschata and Taylor, 1988).

사 사

이 논문은 1996년도 한국 학술진흥재단의 대학부설연구소 연구비지원에 의하여 연구 되었음.

참 고 문 헌

김용범, 임양재(1990) 탄천의 대형 수생식물 군집의 분포와

환경. 한국생태학회지 **13**(4) : 297-309.
 신현국(1996) 환경학개론. 신광문화사. p. 336.
 신현국(1995) 환경과학. 동화기술. p. 225-226.
 이선경, 심규철, 김재영, 김준민, 장남기(1994) 곡릉천 생태계의 오염부하량과 계절에 따른 자정능의 변화. 한국생태학회지 **17**(3) : 355-366.
 조성숙, 류희옥, 장용근(1996) 폐탄광 배수에 의해 오염된 하천의 화학적 특성과 미생물 활성. 한국생태학회지 **19**(5) : 365-373.
 조도순(1995) 경안천에서 하천변 식생의 분포에 관한 연구. 한국생태학회지 **18**(1) : 55-62.
 조한빈, 이찬수, 손병목, 유병태, 박성배(1990) 먹장어 육질 및 외피중의 중금속함량에 관한 조사연구. 한국유수학회지 **23**(1) : 23-29.
 松中昭一. 1979. 環境汚染と地表植物. 朝倉書店. p. 144.
 Beschata KL and Taylor RL(1998) Stream temperature increases and land use in a forested Oregon watershed. *Water Resources Bulletin.*, **24** : 19.
 Cho, KH and JH Kim(1994) Distribution of aquatic macrophytes in the littoral zone of lack Paltangho, Korea. *Kor. J. Ecol.*, **17**(4) : 435-442.
 Field R(1985) Urban runoff: Pollution sources, control and treatment. *Water Resources Bulletin.*, **21** : 197.
 Gange TJ and Page AL(1974) Rapid acid dissolution of plant tissue for cadmium determination by atomic absorption of spectrophotometry. *At. Absorpt. Newsl.*, **13** : 131-134.
 Higgins DA, Tiedemann AR, Quigley TM and Marx DB(1989) Streamflow characteristics of small watersheds in the Blue Mountains of Oregon. *Water Resources Bulletin.*, **25** : 1131.
 Hill AR(1986) Stream nitrate-N loads in relation to variations in annual and seasonal runoff regimes. *Water Resources Bulletin.*, **22**(5) : 829.
 Lee SY and IS Lee(1996) Studies on Cd and Zn removal ability and detoxification of *Oenanthe stolonifera*. *Kor. J. Ecol.*, **19**(6) : 519-527.
 Meyers PC(1986) Nonpoint-source pollution control: the USDA position. *Journal of Soil and Water Conservation.*, **41**(3) : 156.
 Vigon BW(1985) The status of nonpoint source pollution: its nature, extent, and control. *Water Resources Bulletin.*, **21**(2) : 179.
 Woo YK, EJ Park, KS Lee and D Lee(1996) Effects of *Persicaria thunbergii* on nitrogen retention and loss in wetland microcosms. *Kor. J. Ecol.*, **19**(2) : 179-189.

Ecological Study on Aquatic Plant Communities in the Stream of Thermal Wastewater

Bong-Seop Kil and Hyeon-Gyeong Yoo

(Division of Life Science, Wonkwang University, Iksan 570-749, Korea)

Abstract - The seasonal changes of the flora at three samples sites such as Söckchong, Wang-gung and Chukrim hot spring by drained thermal waters were investigated from 1997 to 1998. Monthly occurrence of plant species in February and October showed more abundantly control site than that of heavy and/or light polluted sites. This trend demonstrated similarly in terms of seasonal changes of leaf area and plant growths, both fresh and dry weight, too. Cu, Zn, Ni and Pb content including plants from Söckchöng hot spring site were increased from April to September at test area than that of control, while that was decreased in October. But Zn and Pb content holding plants from Wang-gung hot spring site represented higher test site than that of control. In short impacts on aquatic plants communities by thermal wastewater of sampled area have happened in the season of low temperature, and their restorations have done in summer season. [Seasonal change, Aquatic plant communities, Leaf area, Cu, Zn, Ni, Pb content].