

하천의 물리적 생태적 특성 연구^{1a}

- 경기지방 모래하천의 사례 -

김혜주²

Study on the Biophysical and Ecological Characteristics of the Streams^{1a}

- A Case of the Sand Streams in Kyonggi-Do District-

Hyea-Ju Kim²

요 약

모래하천의 물리적·생태적 특성을 분석하기 위해 자연환경이 유사한 청미천, 양화천, 복하천을 조사평가하였다. 물리적 구조 평가결과 청미천과 양화천의 생태성은 “양호~보통”, 복하천은 “보통”으로 평가되었으며, 대상하천은 공통적으로 사행과 퇴적작용이 활발한 반면 침식은 약한 것으로 나타났다. 3개 하천의 중점조사구에 대한 식물조사결과 물과 가장 인접한 곳(정수역)으로부터 갈풀 → 달뿌리풀 → 갈대 → 버드나무 → 물푸레나무 → 아까시나무 → 신나무 순으로 발달하였다. 저서성대형무척추동물의 경우 공통종은 청정지역에서 주로 출현하는 무늬하루살이, 검은물잠자리 등이며, 우점종은 실지렁이와 깔따구과 sp. 1이었다.

주요어 : 물리적 구조, 사행, 퇴적, 침식

ABSTRACT

To analyze physical and ecological characteristics of sand streams, Cheongmi, Yanghwa and Bokha streams on the similar environment were investigated and estimated. According to the estimation results of physical structures, ecological properties of the Cheongmi and Yanghwa streams were classified as "fair to good", and the Bokha stream was classified as "fair"; commonly, the representing streams were comparatively active on meandering and accumulation; on the other hand, erosion was less active. As a result of the study for flora on this 3 streams, *Phalaris arundinacea* → *Phragmites japonica* → *Phragmites communis* → *Salix koreensis* → *Fraxinus rhynchophylla* → *Robinia pseudo-acacia*-*Acer ginnala* communities were developed in order of being closest to the water shore. In case of benthic macroinvertebrates, *Ephemera strigata* Eaton and *Calopteryx atrata* Selys, usually inhabited in the uncontaminated water,

1 접수 6월 18일 Received on Jun. 18, 2005

2 김혜주자연환경계획연구소 Institute of Landscape Planning Hyea-Ju Kim (437-801) 276-8. Kochen-Dong, Uiwang-City, Kyonggi-Do, Korea (hjkim@lapla.co.kr)

a 본 연구는 2004년도 한국건설기술연구원에서 주관한 ‘하천 생태구조 현장실험 및 특성 분석’의 일부임

were investigated as common species. Besides, *Limnodrilus gotoi* Hatai and Family Chironomidae sp. 1 were the common dominant benthic macroinvertebrates.

KEY WORLD : PHYSICAL STRUCTURE, MEANDERING, ACCUMULATION, EROSION

서론

하천의 물리적 생태적 특성에 대한 연구는 이미 오래 전부터 많은 학자들의 관심이 되어왔으며 특히 하천의 이러한 특성을 이용한 하천의 유형분류는 주목할 만하다. 최초의 하천유형특성에 대한 연구는 1877년 Borne로서 그는 출현하는 어종을 이용하여 하천의 구역(zone)을 나누었다. 그 이후 어종에 의한 어류 구역은 많은 학자들에 의해서 발전되었는데 Illies(1952, 1953, 1958, 1961)의 경우 어류는 물론 대형부착동물과 물리적 요인인 온도, 물의 유동, 하상재료를 고려하여 현재 세계적으로 통용되고 있는 하천의 종적분류인 "crenal"(발원지의 생물서식처), "rhithral"(산지하천/소하천의 생물서식처), "potamal"(모래, 진흙, 펄을 하상재료로 하는 평지의 수온이 높은 하천의 생물서식처)을 구축하였다. 이것은 Vannote et al. (1980)의 "river continuum concept"과 비교하면 구역의 경계가 구분되어진다는 점에서 Vannote et al. (1980)의 연속성과 큰 차이를 나타낸다. 이러한 어종 및 물리적 요인을 이용한 하천의 특성분류와는 다소 차이가 있는 연구로는 중규모하천의 물리적 구조 특성, 즉 하상형태, 하상의 안정성, 하천의 종적발전 형태, 하안구조, 하안식생 등을 척도로 한 하천특성에 대한 많은 연구가 있다. 대표적인 예를 들면 Leopold et al. (1964), Mangelsdorf & Scheuermann (1980)이다. 그러나 이것들은 소규모 하천에는 적용할 수 없는 한계점이 있다. 그 밖에 종적인 하천유형 및 생태성 평가를 시도한 것으로 영국의 RIVPACA(River In Vertebrate Prediction And Classification System)가 있다. 이것은 하천을 종적으로 구분하기 위하여 무척추동물사회의 특성을 이용한 것이다. 또한 독일의 하천(물리적)구조등급방법과 유사한 영국의 하천서식처조사(River Habitat Survey)는 하천의 유형분류와는 무관하게 하천의 물리적 특성을 조사하는 방법이다. 이처럼 하천의 생태적 물리적 평가는 매우 발전하여 현재 유럽공동체에서는 독일에서 개발한 평가척도에 의거 각국이 3년에 한번씩 생물적, 화학적 수질조사 등과 아울러 하천의 물리적 구조를 조사 평가하여 등급을 정하고 보다 효율적인 하천의 계획과 관리가 공동으로 이루어질 수 있도록 하고 있는 실정이다.

선례연구에서 간략히 살펴 본 바와 같이 하천의 물리적 생태적 특성에 대한 연구는 하천유형분류의 기초 자

료로서 큰 의미가 있다. 그러나 국내의 경우 하천의 물리적 생태적 특성을 종합한 하천의 조사는 매우 드물며, 이 또한 국부적인 조사에 그친 경우가 많다. 더욱이 이러한 생태적 물리적 특성을 근거로 한 하천유형적 특성을 연구한 사례는 없었다. 본 연구는 하천의 유형을 분류하는 것은 아니지만 하천의 특성을 정확하게 파악하여 앞으로 하천을 보다 효율적으로 계획하고 관리하는데 필요한 기초자료를 구축하는데 의의를 두었다. 이를 위한 1차적 연구(2차연구: 자갈하천, 3차연구: 펄하천 등)로 본고에는 자연환경이 유사한 평지하천들을 동시에 선정하여 동일한 방법으로 각 하천의 물리적 생태적 특성을 조사하고 평가한 후에 대상하천들이 공통적으로 나타내는 물리적 생태적 특성이 무엇인지 파악해 보고자 하였다. 아울러 본 연구에서는 유럽공동체에서 현재 하천의 물리적 구조와 생태성 평가를 위해 사용하는 기준과 방법을 대상하천에 시험실시하여서 국내하천에의 적용성 여부도 진단하여 보고자 하였다.

재료 및 방법

1. 대상하천의 선정기준

Horton(1945)과 Strahler(1957)의 하천차수(stream order)는 발원지에서 대하천에 이르는 하천체계를 의미한다. 본 연구에서 선정한 하천의 규모는 하천차수의 4'에 해당하는 중규모의 하천으로 설정하였다. 그 이유는 소하천의 경우 유로연장이 짧아서 하천의 종적 다이내믹이 잘 발달하지 않은 경우가 많고 대하천의 경우 대부분 인위적 영향으로 하천의 자연성이 많이 손실되어 있기 때문이다. 또 다른 선정기준으로는 하천의 다양한 종적, 횡단적 변화를 관찰하기에는 주로 유속이 느리고 입자가 작은 하상재료가 입자 크고 무거운 것 보다 유리하다고 판단되었기 때문에 모래질의 하상재료와 완만한 하상경사를 가진 평지형 하천을 선택하였다. 아울러 하천의 자연적 특성을 파악하고자 하였고 때문에 비교적 자연성이 일부 구간이라도 존재하는 하천으로 도시에서 떨어진 곳에서 하천을 선택하였고, 하천의 자연적 특성과 관련이 있는 유역의 지질적 영향을 판별하기 위해 한 개의 유역권으로 대상하천을 정하였다. 이러한 선별기

준으로 본 연구에서는 경기지방 남한강 수계의 복하천, 양화천, 청미천을 대상하천으로 결정하였다.

2. 대상 하천의 특성조사 및 분석방법

대상하천 전 구간에 걸쳐 먼저 유럽공동체에서 사용하는 하천의 물리적 구조조사를 실시하여 하천의 구조등급과 생태성을 평가하였다. 그 결과 가장 자연성이 우수한 구간을 중점조사구로 선정하였고 그 구간에 대하여 생물적, 수화학적 특성을 조사하고 일부는 기존 자료를 활용하여 대상하천의 물리적 생태적 공통성을 찾아보았다. 각 항목별 조사 및 분석은 다음과 같이 실시되었다:

1) 하천의 물리적 구조등급

“하천의 물리적 구조등급”이란 하천의 공간적 환경과 저수로 재료의 차이를 의미하는 것으로 하천 자체는 물론 하천범람지에 영향을 주는 생태적 기능의 수리특성, 하천의 물리성, 수생태적 특성을 포괄한다. 따라서 “하천의 물리적 구조등급”이란 하천구조의 생태적 질과 하천구조로 나타나게 되는 다이내믹한 프로세스의 질을 평가하는 척도이다(LAWA, 2000). 하천구조등급의 조사항목은 6개항 25개목(부록: 야장)으로서 식생이 무성하지 않은 봄철에 조사하고 평가하였다. 조사구의 길이는 LAWA에 의거 저수로 수면 폭이 5m이하이면 조사구의 길이를 200m, 저수로 폭이 10m 이상이면 500m길이를 1km 단위로 조사하여 야장에 기록하고 종합평가는 주 평가척도의 인덱스 값을 모두 도합한 후 평균하여 산출하도록 하는 기준(LUA, 2001a; 2001b)을 그대로 적용하였다. 구간별 등급결과는 6개 항목별로 아래의 색에 의거 하도에 표시하고 종합등급결과는 하도와 이력을 두어 도면에 나타내었다. 또한 등급별 비율을 상대적으로 나타내고 해설하였다. 대상하천의 공통적 물리적 구조는 25개의 척도 중에서 하천유형성과 관계가 있는 하

도사행, 사행침식, 횡단사주, 파랑의 다양성, 수심의 다양성, 횡단폭의 침식정도, 횡단폭의 다양성, 하상재료의 다양성, 하상구조의 특이사항의 등급결과만을 모아서 대상하천의 공통적 물리적 구조특징을 Boxplots를 이용 도면화하여 해설하였다.








2) 식물 및 식생

식물 및 식생조사는 중점조사구에 한하여 실시하였는데, 식물상은 하천의 양안을 걸으면서 수생, 정수, 하원역에 출현한 모든 식물의 종을 동정하여 정리하였다. 식생은 Braun-Blanquet(1964)에 의한 우점도 및 피도등급계급을 따르고, 방형구의 크기는 Dierschke(1994)에 의거하여 하천식생조사에 적절한 5m×5m로 실시하였다. 조사 시기는 장마 전과 후인 5월과 8월에 실시하였다. 또한 belt-transect를 위한 조사구는 물리적 변동이나 하천 특유의 식물이 많이 출현하는 곳을 선정하여 정수역에서 제방의 마루 끝까지 하천을 횡단하는 belt를 설치하고, 1m²의 방형구내에 출현하는 식물을 동정하여 출현빈도로 정리하고, 그 결과를 이용하여 저수로 물로부터의 거리 차이에 따른 대상하천의 공통종을 찾아내고 식물군집을 분석하였다. 사용한 프로그램은 MVSP(Multi Variate Statistical Package 3.1)이다. 식물의 환경성 평가는 식물군락, 생활형과 귀화율 등을 활용하였으며, 그 근거는 고정식과 김윤식(1989), 박수현(1999), 이영노(1996), 이창복(1985, 2003)에 따랐다.

3) 저서성 대형무척추동물(수서곤충류)

수서곤충의 채집은 본 대상하천 중점조사구의 유속과 서식지를 고려하여 정량채집망(50 cm × 50 cm, Mesh size: 500µm, Surber, 1937)으로 채집하였고, 또한 hand-grab과 collector를 이용하여 정성채집 한 후 90% alcohol로 현장에서 고정하여 실험실에서 윤일병(1988)에 준하여 해부현미경 ×40, ×80하에서 분류를 하였다.

Table 1. Synthesis estimation table

Classes of the stream structure	Means	Index	Ecological condition by EU-WFG ^{*)}
1 	Unchanged	1.0-1.7	Very good
2 	Slightly changed	1.8-2.6	
3 	Moderately changed	2.7-3.5	Good
4 	Distinctly changed	3.6-4.4	Fair
5 	Obviously changed	4.5-5.3	Poor
6 	Strongly changed	5.4-6.2	Very poor
7 	Completely changed	6.3-7.0	

※ EU Water Framework Guideline

그리고 종목록과 출현빈도를 정리하여 군집분석으로 우점도, 다양도, 균등도를 구하고 종의 개별분류군 환경질점수(Qi)를 이용 전국자연환경조사지침서(환경부, 2001)에 의한 ESB지수(Ecological score of benthic macroinvertebrate community)를 구하였다.

4) 하천수의 화학성 및 기타

하천수의 화학성은 2001-2004년 4월까지의 환경부 수질측정망자료를 중점조사구와 근접한 측정망의 자료를 활용하였다. 비교하천의 하천수의 화학성도 환경부의 자료를 활용하였다. 기타 유역의 지질, 및 인문사회적 현황은 청미천-, 양화천-, 북하천수계 하천정비기본계획(경기도, 2003)을 참고하였다.

결과 및 고찰

1. 대상하천의 일반적 특성

대상하천은 남한강수계의 청미천, 양화천, 북하천으로 경기도 용인시, 이천시, 광주시, 안성시, 충북 음성군

에 포함된다. 청미천은 유역면적이 595km², 유로연장 60.8km로 이 중 국가하천구간은 25km 이며 나머지가 지방2급 하천이다. 청미천의 하상경사는 1/477이며, 사행도는 1.7이다. 청미천유역의 토지이용은 농경지가 전체면적의 33.92%, 임야가 52.86%, 대지 및 기타가 13.22%이다.

양화천의 유역면적은 183.82km², 유로연장은 29.8km 이며 지방2급하천이다. 양화천의 사행도는 1.27이고 중류구간에서의 하상경사는 1/470-550으로 완만하다. 유역의 토지 이용성은 농경지가 42.7%, 임야가 36.7%, 기타 1.64%이다.

북하천의 유역면적은 308.5km², 유로연장 38.5km 로 이 중에서 17.3km구간은 지방2급하천이며 그 외의 구간은 국가하천이다. 북하천의 사행도는 1.54이다. 유역의 토지이용은 전체의 39.0%가 농경지로, 임야가 46.18%, 대지와 기타가 14.45%를 차지하고 있다.

하천수의 화학성은 환경부 측정자료에 의하면 각하천의 하류부에서 BOD는 청미천이 2.8mg/l, 양화천이 2.1mg/l, 북하천이 5.4mg/l 이며 총질소는 각각 4.1, 5.1, 6.8mg/l 로 BOD, T-N의 농도가 북하천에서 높은수

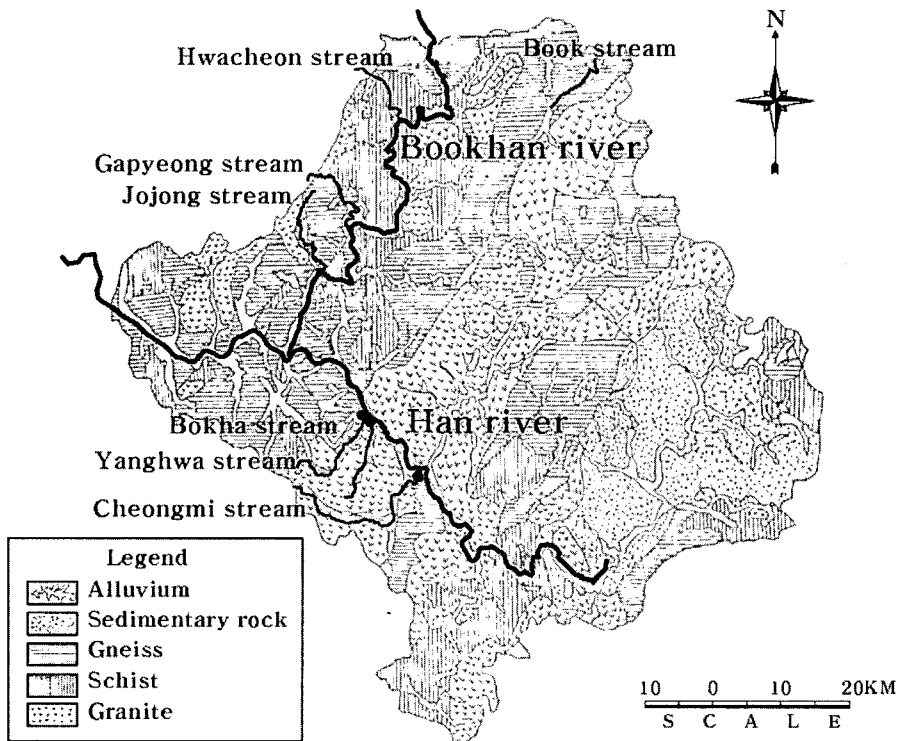


Figure 1. Location of the study sites and geology of the river basin

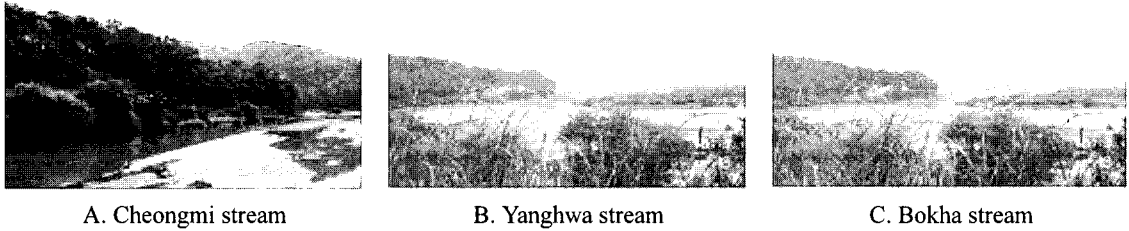


Figure 2. View of the concentrative study zone

치를 보였다. 또한 전기전도도는 청미천이 340 μ mhos, 양화천 236 μ mhos, 복하천은 658 μ mhos으로 복하천에서 높은 수치를 나타내었다.

대상하천유역의 지질은 그림 1에서처럼 95% 이상 화강암으로 이루어져있는데, Braunkmann(1987)에 의하면 화강암(71%의 SiO²) 또는 편마암(67%의 SiO²)의 경우 많은 규산을 포함하기 때문에 규산염(silicate)지대로, 반면에 탄산염(CaCO³)을 많이 함유한 백쥬라기의 돌, 자갈 등의 광물질은 탄산염(carbonate)광물지대로 하천의 지질화학성을 구분할 수 있다. 특히 Otto와 Braukmann(1983), Braukmann(1987), Briem(1997)은 이러한 규산염과 탄산염의 특성을 하천수의 경도, 전기전도도, pH를 가지고 분류한 바 있다. 이들의 연구에 따르면 자연 상태에서 탄산염의 지질을 가진 하천수는 경도(Mg+Ca의 합)가 5-40°dH, 전기전도도가 250 μ shos 이상, pH는 6.5-8.6의 범위를 가지며, 규산염지질의 하천수의 경우 경도가 1-8°dH 미만, 전기전도도 250 μ shos 미만, pH는 5.0-8.5이라고 한다. 본 연구 대상하천은 화강암, 즉 규산염의 지질적 특성을 나타내므로 하천수의 조사결과를 대입할 경우 오염되지 않았다면 낮은 pH와 낮은 전기전도도, 낮은 경도를 가지게 될 것이다. 따라서

이를 전제로 대상하천 하구의 위치에서 장기적 하천수 질측정치(2001. 2.-2004. 4월)를 오염되지 않은 비교하천인 자갈하천(하천의 하류지점)과 병행하여 대입 분석하여보았다. 그 결과는 아래에서와 같다. 단 경도의 경우 환경부자료가 없어서 통계에 사용하지 못하였다.

위의 그림에서 보이는 바와 같이 대상하천 하구의 청미천, 양화천, 복하천의 전기전도도의 중위수가 모두 300 μ mhos 이상, 평균 415.31 μ mhos으로 규산염하천수에서의 척도범위(< 250 μ shos)에서 벗어났다. 그러나 비교하천인 같은 규산염광물인 편마암의 기저를 가진 북천, 화천천, 가평천, 조종천의 경우 전기전도도가 모두 250 μ mhos이하인 평균 114.24 μ mhos으로 나타나 기준척도에 부합하여 대상하천과는 매우 큰 대조를 보였다.

하천수의 pH는 같은 규산염광물(화강암, 편마암 등)을 기저로 한 경우라도 하천의 pH는 화강암의 경우 5.2-6.5, 편마암의 경우 5.4-8.1의 범위로 세분화하여 구분한다(Braukmann, 1987; Briem, 1997). 그러나 본 대상하천에서는 위의 그림에서처럼 평균 7.79를 나타내었고, 비교하천(편마암)의 경우 대상하천(화강암) 보다는 낮은 평균 pH 7.33이다. 결론적으로 하천수의 화학성을 이용한 대상하천 하구의 특징은 비교하천인 자갈하천보

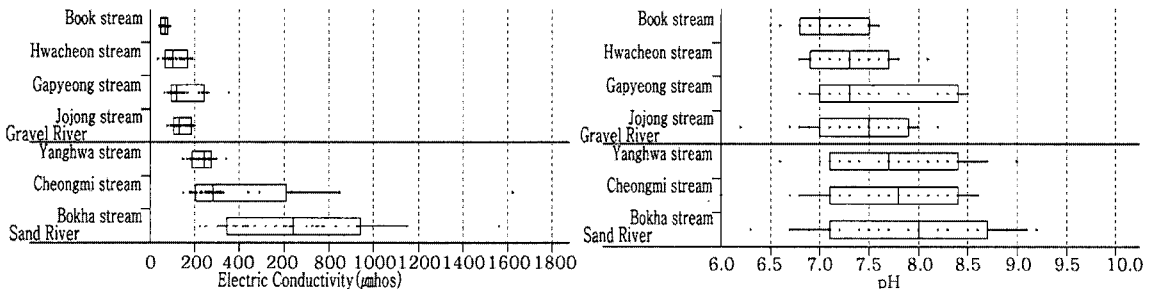


Figure 3. Electric conductivity and pH of the research streams and the comparison streams (gravel streams)

다 전기전도도가 크고 pH가 높은 것으로 나타나 자연성이 높은 규산염하천에서의 기대치(전기전도도가 낮고 pH가 낮은)와는 거리가 있는 것으로 나타났다. 또한 같은 규산염하천이지만 비교하천의 경우는 기대치와 일치하는 것으로 나타나서 앞으로 규산염의 기저를 가진 다른 하천에 대한 조사 및 연구가 필요함을 시사하고 있다.

2. 대상하천의 물리적 구조등급 및 생태적 등급

1) 청미천

청미천의 물리적 구조조사 결과 하천의 종적 특성은 저수로가 사행을 하며, 사주의 형성이 비교적 많은 편으로 나타났다. 그리고 하천의 종적 연속성은 여러 구간에 설치된 보로 인하여 물의 흐름이 단절되어지고 물의 정체 많았다. 횡단면상의 특징은 횡단깊이가 낮으며 횡단폭의 변화가 작은 편이다. 하상재료는 모래질로 구성되었고 하안 및 하천변은 농경지의 이용이 많아 인위적 영향을 강하게 받고 있다. 청미천의 물리적 하천구조등급은 3등급(32.2%)과 4등급(40.8%)이 가장 많아 인간에 의한 하천변경이 “보통~두드러진 것”으로 평가되며 생태성은 EU-WFG(참고: 표 1)에 의거 “보통에서 양호한 것”으로 평가되었다.

2) 양화천

양화천의 종적 특성도 청미천과 유사하게 저수로의

사행성과 사주가 많이 발달하는 특징을 보였다. 횡적으로는 양안에 제방이 축조되어 횡단형이 납작한 사다리꼴 형태로서 획일적이며, 하폭의 변화는 미미하다. 하상재료는 모래와 굵은 모래가 대부분이다. 양화천의 물리적 구조등급의 종합은 3등급(43.1%)과 4등급(35.7%)이 가장 많아 인위적인 변경이 “보통~두드러진” 것으로 평가되고 EU-WFG에 의거 생태성은 “양호~보통”으로 사정된다.

3) 복하천

복하천의 물리적 구조의 대표적 특성도 청미천과 양화천에서와 유사하게 하천의 사행성과 사주가 많이 발달하였다. 그러나 보로 인하여 물의 정체가 심하며 횡단폭의 변화가 미미하다. 하상재료는 상류의 경우 거친(굵은) 재료로 구성되었으나 중하류구간에서는 모두 모래질의 하상을 나타내었고 인위적 하상보호물은 없다. 하안과 하천변은 강한 인위적 영향을 나타내고, 종합적인 등급은 4등급의 분포가 58.8%로 가장 높게 나타나 “변경이 두드러진” 하천으로 평가되고 EU-WFG에 의한 생태성은 “보통”이다.

3개 하천 중에서 양호한 등급(3등급)의 빈도가 높은 순서는 양화천(43.1%) > 청미천(32.2%) > 복하천(20.1%)으로 양화천이 청미천이나 복하천 보다 양호하고, 청미천은 복하천 보다 양호한 것으로 평가되었다. 이는 하천수의 경우 예를 들면 BOD함량에서 양화천 2.1mg/l <

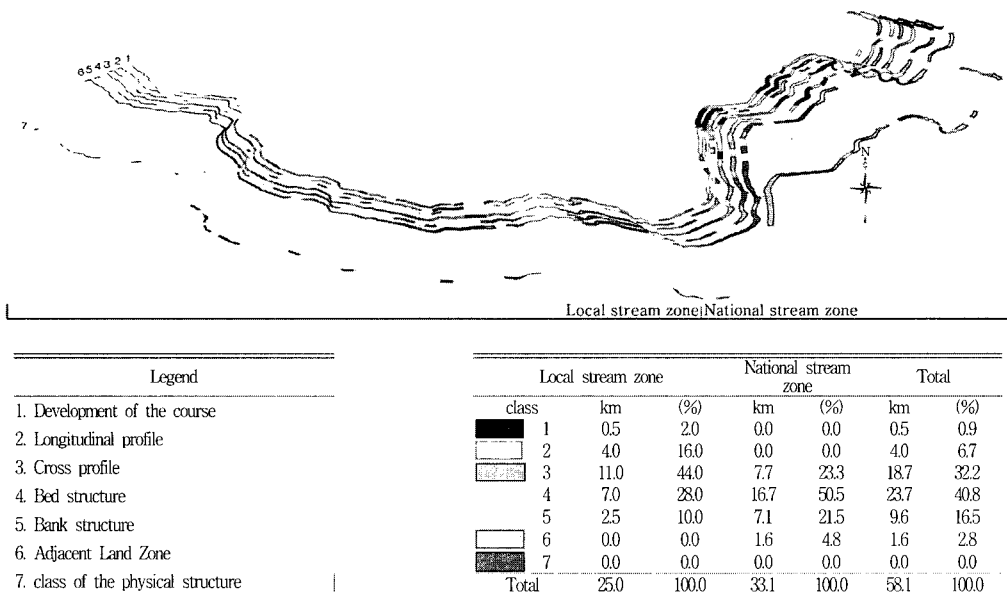


Figure 4. Synthesis of physical structures of the Cheongmi stream

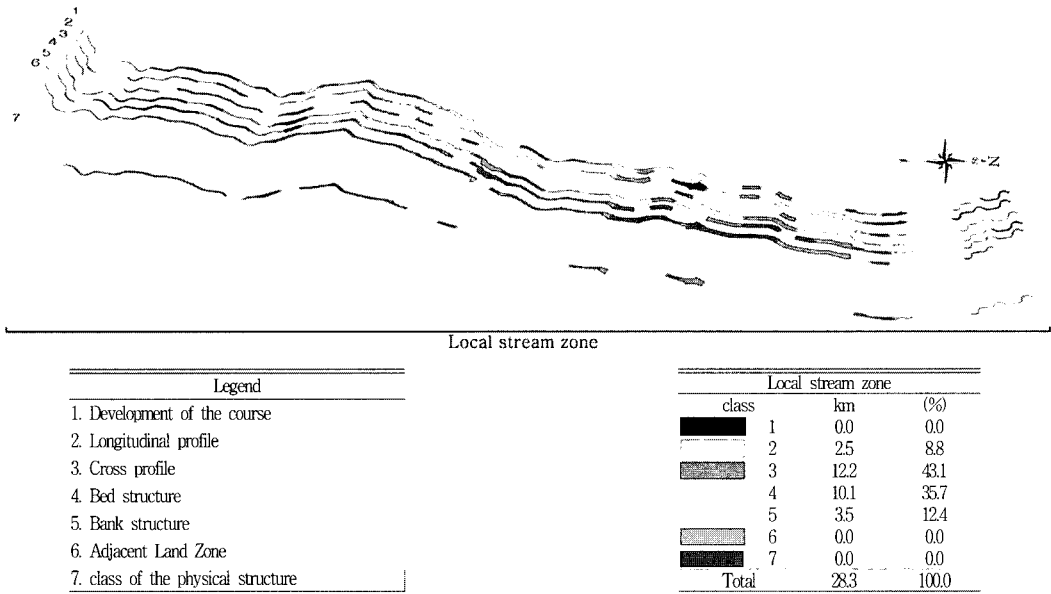


Figure 5. Synthesis of physical structures of the Yanghwa stream

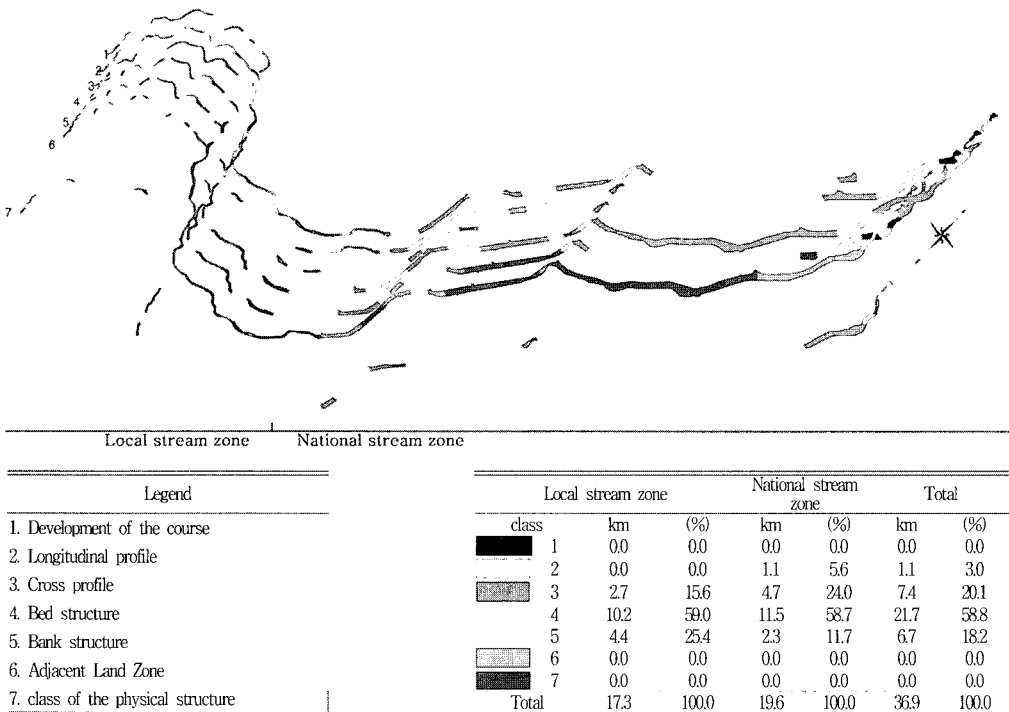


Figure 6. Synthesis of physical structures of the Bokha stream

청미천 2.8mg/ℓ, <북하천 5.4mg/ℓ 로서 역시 양화천이 청미천과 북하천 보다 양호하고, 북하천이 가장 양호하

지 못한 수질을 나타내어 수질로 본 하천순위와 일치하고 있다. 이것은 하천의 물리적 구조조사가 수질조사와

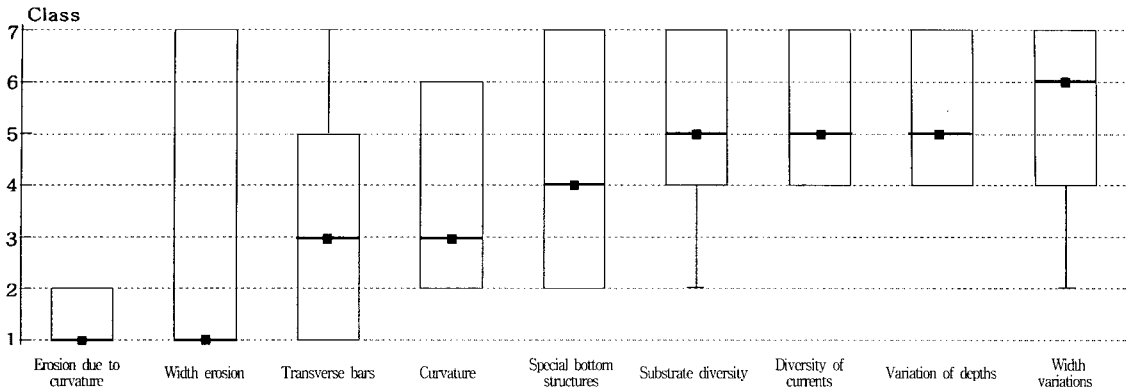


Figure 7. Distribution of physical structure classes according to the stream type index

같은 유사한 항목이나 조사의 정량성은 없지만 전반적인 하천의 생태성을 추측할 수 있는 하나의 참고자료로 충분히 활용할 수 있음을 시사하고 있다고 볼 수 있다.

4) 3개 하천의 공통적인 물리적 특성

위의 물리적 구조조사결과 중에서 하천 유형적 차별성을 나타내어 주는 항목을 따로 모아 3개 하천의 공통적인 물리적 특성을 종합하면 아래의 그림에서와 같다. 즉 가장 두드러진 자연성이 높은 구조는 사행침식의 구조로 “없거나 약하게”(1등급)가 71.2%를 나타내었고, 횡단침식의 구조는 “깊이가 낮거나 보통”, 또는 “없거나 약하게”(1등급)는 전체의 62.1%로 가장 많은 빈도를 보였다. 횡단사주의 구조는 “2개”(3등급)와 “여러 개”(2등급)는 전체의 54.6%이었으며, 하도사행의 경우 “30%사행”(4등급)-“50% 사행”(3등급)을 하는 구간이 전체의 60.8%로 나타났다. 반면에 자연성과 거리가 있는 물리

적 구조이나 높은 빈도로 조사된 항목은 하상구조의 특이사항으로 “없다”(7등급)가 43.1%, “1개”(4등급) 내지 “2개”(3등급)가 43.8%, 하상구조의 다양성은 “작다”(5등급)가 45.8%, “없다”(7등급)가 27.8%로 하상구조의 특이성이 크지 않은 것으로 나타났고, 파랑의 다양성은 “작다”(5등급)에서 “보통”(4등급)이 79.1%, 깊이의 다양성의 경우 “작다”(5등급)가 59.2%, “없다”(7등급)가 20.6%로서 3개 하천은 공통적으로 여울과 소 등의 구조가 잘 발달하지 않는 것으로 나타났다. 또한 횡단폭의 변화에서도 “작다”(6등급)가 52.3%, “보통”(4등급)은 23.2%로 대부분 주변의 영향으로 인하여 횡단폭의 변화도 크지 않은 것으로 조사되었다.

3. 중점조사구의 물리적 생물생태적 유사성

대상하천 전 구간에 대한 하천의 물리적 구조등급결

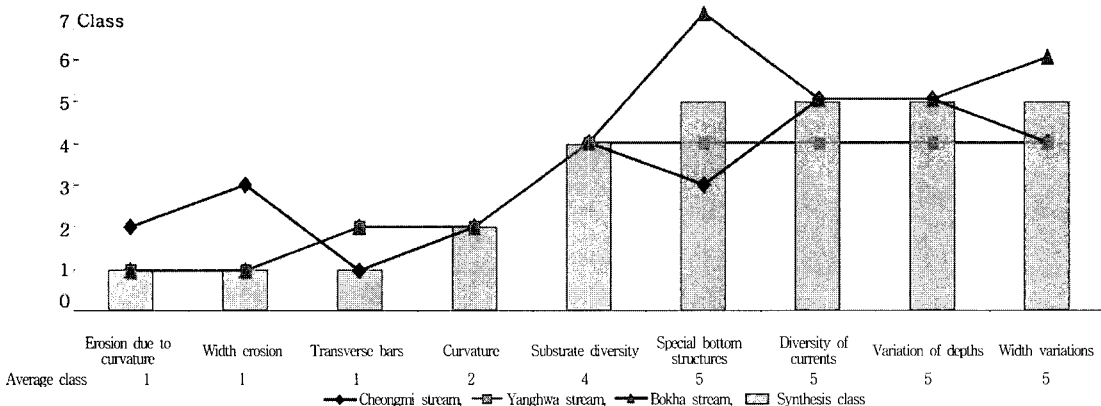


Figure 8. Physical structure classes of the detailed investigation sites

과에 따라서 가장 생태성이 양호한 지역을 중점조사구로 선정하였다. 선정된 구간은 각 하천의 하류구간에 해당되었다(참고: 그림 1).

1) 물리적 구조의 특성

3개 중점조사구의 물리적구조의 공통성은 사형침식과 횡단침식은 “작고”(1등급), 횡단사주가 “많으며”(1등급) 하도의 사형성이 “~80%의 보통사형”(2등급)으로 전체구간에서 보다 사형성이 보다 더 두드러진 경향을 보인다. 그러나 하상구조의 특이사항은 “1-2개”(4-3등급)정도, 하상구조의 다양성은 “보통”(4등급)이며 파랑의 다양성, 깊이의 다양성과 횡단폭의 변화 항목에서 “작다”(5등급)의 등급을 보이고 있어 전체구간에서와 거의 유사한 것으로 나타났다.

2) 식물 및 식생의 특성

2004년 장마전과 후(6월, 8월)의 2회 조사에서 중점조사구에서 관찰된 식물의 종은 청미천이 59과 138종, 양화천이 37과 111종, 복화천이 39과 99종으로 대상지 전체에서 출현한 종은 모두 62과 189종이다. belt내의 1m²당 출현 식물수는 복화천에서 9.4개로 많았다. 아울러 청미천에서는 1, 2년초의 선구식물종이 가장 적게 출현하였고, 생태적 안정성이 높음을 가리키는 수목류의 출현은 가장 높은 비율을 나타내어 다른 2개 하천과 대조를 이루었다. 특히 하천의 자연성과 밀접한 관련이 있는 귀화종의 비율에서도 아래의 표에서 보이는 바와 같이 청미천이 8.7%, 양화천 12.6%, 복화천의 14.1%로 복화

천에서 가장 높았다.

Braun-Blanquet 조사에 의한 3개 하천의 공통적 식생은 달뿌리풀군락, 환삼덩굴-갈대, 갈대군락인데, 이는 belt를 이용한 빈도조사결과를 대입하여도 아래와 같은 유사한 군집분석결과를 얻을 수 있다. 즉 우점 및 아우점 종인 갈풀, 갈대-환삼덩굴군락, 쇠별꽃- 달뿌리풀 군락과 기타 개망초-물쭈군락으로 분류되었다.

수분선호도의 정도를 보기 위하여 각 하천의 좌, 우안에서 아래 그림 10에서와 같이 저수로 물로부터 3m이내의 구간(벨트구간: 0-3m)에 공통적으로 출현하는 식물의 종류와 빈도를 나열하여보았다. 그 결과는 아래 그림 11에서와 같이 총 8종으로 갈풀이 3개 하천에서 공통적으로 가장 높은 빈도로 출현하였으며, 다음 순으로 물쭈과 환삼덩굴, 달뿌리풀, 쇠별꽃이 비교적 높은 빈도로 출현하였고, 그 외에 참새귀리, 망초, 개망초가 공통종으로 나타났다.

자연적 고수부지(벨트구간: 3-9m)에서 공통적으로 출현한 식물종은 환삼덩굴, 갈풀, 갈대 등 총 13종이며, 이 중 환삼덩굴은 가장 높은 빈도로 나타났다. 갈대의 경우 저수하안에는 공통적으로 출현하지 않았으나 자연적 고수부지에서 비교적 높은 빈도로 출현하는 특색을 보였다. 반면에 저수하안의 특색처럼 나타났던 물쭈과 달뿌리풀의 경우 공통종에서 탈락하는 것으로 나타났다. 그 외에 빈도는 낮으나 쇠별꽃, 개망초, 머느리배꼽, 쑥, 참새귀리, 갈퀴꼭두서니, 버드나무, 개밀, 소리쟁이, 속털개밀이 공통적으로 출현하여 저수하안의 경우보다 공통종의 종류가 더 많았다.

벨트구간 9m 이상에서 고수하안끝까지의 구역은 개

Table 2. Flora and vegetation of the detailed investigation sites

	Choengmi stream	Yanghwa stream	Bokha stream
Total species	138	111	99
Average species number on belt plots of 1m ²	8.6	8.9	9.4
Rate of the annual plant species	31.9	44.2	41.4
Rate of the tree species	32.6	12.6	18.2
Rate of the immigrate plant species	8.7	12.6	14.1
Major plant communities	<i>Phragmites japonica</i> , <i>Salix gracilistyla</i> , <i>Phalaris arundinacea</i> , <i>Humulus japonicus</i> - <i>Phragmites communis</i> , <i>Rosa multiflora</i> - <i>Pueraria thunbergiana</i> communities	<i>Phragmites communis</i> , <i>Erigeron annuus</i> , <i>Phalaris arundinacea</i> , <i>Phragmites japonica</i> , <i>Bidens frondosa</i> , <i>Digitaria sanguinalis</i> communities	<i>Phragmites japonica</i> , <i>Phalaris arundinacea</i> - <i>Humulus japonicus</i> , <i>Rorippa islandica</i> - <i>Persicaria thunbergii</i> , <i>Persicaria perfoliata</i> communities

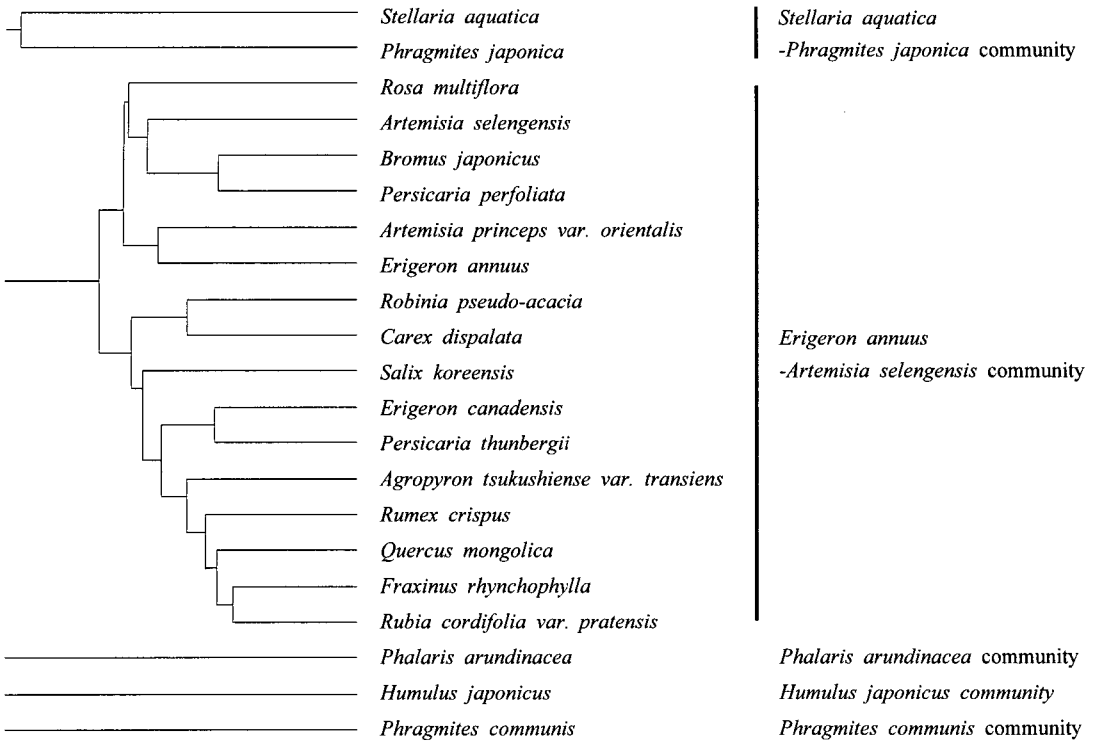


Figure 9. Cluster analysis according to belt-transect results

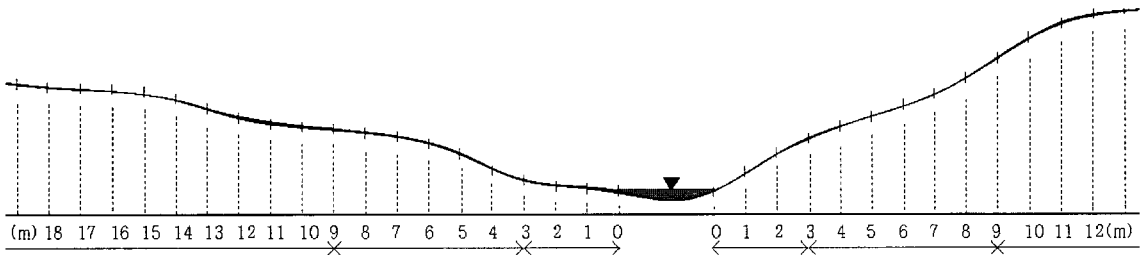


Figure 10. Cross sectional map of Belt-transect

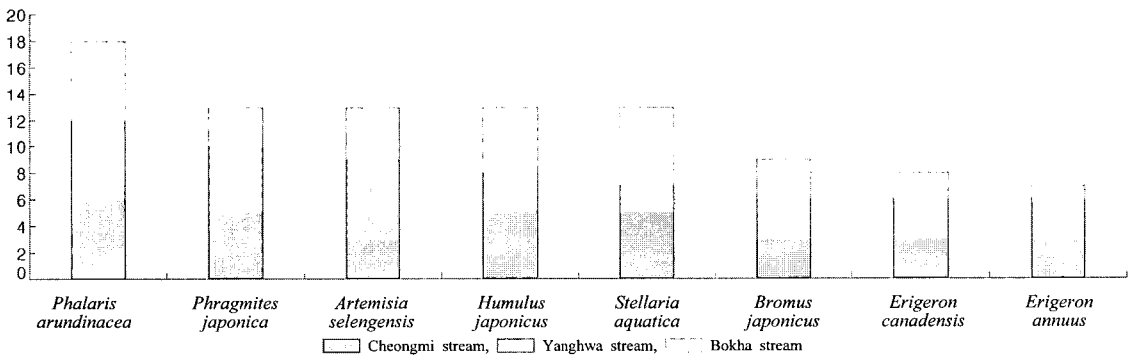


Figure 11. Appearance frequencies of common plants on the emergent zone

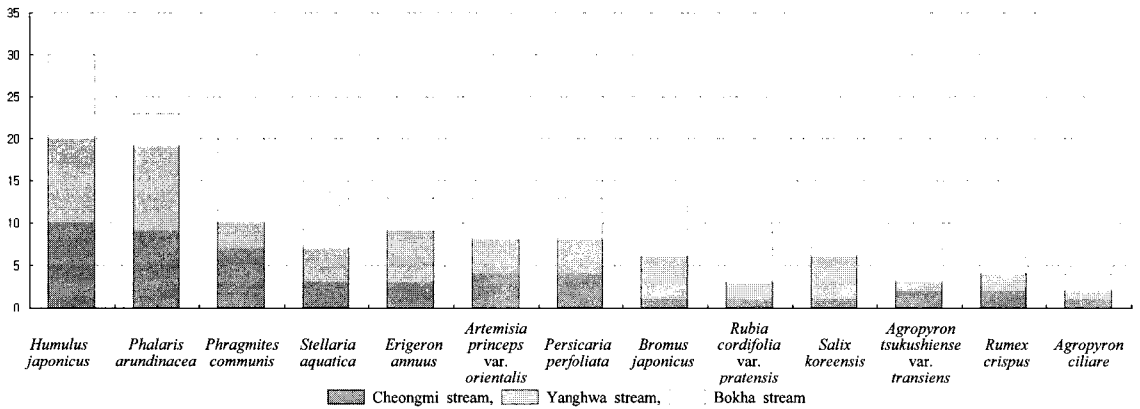


Figure 12. Appearance frequencies of common plants on the floodplain

망초 이외에 환삼덩굴, 갈대, 쑥, 쇠별꽃, 머느리배꼽의 5개종으로 개망초의 빈도가 높다. 개망초의 경우 저수하안이나 자연적 고수부지에서도 공통종으로 출현하기는 하였으나 고수하안에서 그 출현빈도가 높아진 것이 특색이다. 그 다음은 환삼덩굴, 갈대의 순으로 이 중에서 환삼덩굴의 경우 저수하안과 자연적 고수부지에서도 출현하였으나 고수하안에서 그 출현빈도가 개망초에 의해 둔화되어지는 것으로 나타났다.

belt에 의한 조사결과를 하천수위가 달라지는 것과 연계하여 구간별 특징을 분석하여본 결과 커다란 공통적 특성은 가장 물과 가까운 거리(벨트구간: 0-3m)에서는 갈풀-달뿌리풀-물쑥이 서식하였고 자연적 고수부지(벨트구간: 3-9m)의 경우 환삼덩굴-갈풀-갈대가 위치하면서 갈풀이 저수하안에서 보다 쇠퇴하는 것으로 나타나며, 물로부터 상당한 거리가 있는 고수하안 부분(벨트구간: 9m 이상)에는 개망초-환삼덩굴-갈대가 높은 빈도로 나타남을 알 수 있었다. 특이 사항으로는 갈대의 경우 물

가까이 보다는 물과 어느 정도 거리가 있는 구간부터 출현하되 물과 거리가 매우 먼 고수하안 까지 서식영역이 매우 넓은 것으로 나타났다. 그리고 저수하안에서 비교적 높은 빈도를 보인 물쑥과 달뿌리풀의 경우 서식영역은 물과 가까운 곳에만 출현하여 갈대와는 반대적 특성을 보였다. 그리고 환삼덩굴이나 개망초의 경우도 서식영역이 넓으나 분명한 것은 환삼덩굴은 고수부지에 해당하는 구역에서 더 높은 빈도를 보이는가하면 개망초의 경우는 고수하안에서 보다 높은 빈도의 출현을 보이고 있다.

3) 저서생물의 특성

청미천, 양화천, 복하천 3개의 중점조사구에서 청미천이 19과 28종 1,251개체로 가장 많은 종이 조사되었으며, 양화천이 22과 27종 1,330개체, 복하천이 25과 25종 1,091개체의 순으로 복하천에서 가장 종수와 개체수가 작았다. 청미천에서는 양화천에서 보다 저서생물의 종수가 1종이 더 많았으나 개체수는 양화천에서 더 높았다.

군집분석결과 우점도 지수는 3개의 하천 중 복하천이 0.32로 가장 높게 나타나고 있으며, 양화천이 0.29, 청미천이 0.28의 순으로 나타나고 있다. 다양도지수는 큰 차이는 없지만 청미천이 2.83으로 가장 높고, 양화천이 2.77, 복하천이 2.70으로 청미천에서 가장 종 다양도가 높았다. 균등도 지수는 3개의 하천 모두 0.84~0.85로 비교적 낮게 나타나고 있으며, 풍부도 지수는 청미천이 3.79, 양화천이 3.61, 복하천이 3.43의 순으로 나타났다. 그러나 ESB지수는 청미천이 55, 복하천이 55로 서로 같고, 양화천이 58점으로 수질측정결과와에서와 같이 다른 2개 하천보다 약간 더 양호한 것으로 나타났다. 그러나 환경질 평가등급은 모두 “다소 양호”에 해당되었다.

또한 3개 하천의 중점조사구의 저서생물에 대한 군집

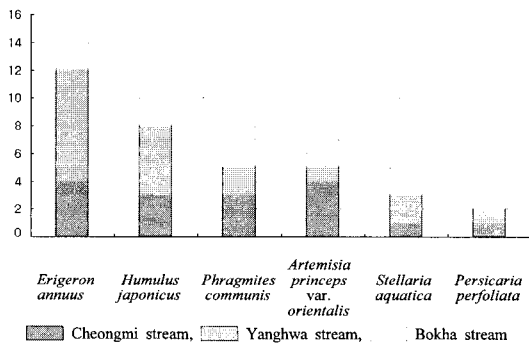


Figure 13. Appearance frequencies of common plants on the upland transition

Table 3. Comparison of the benthic macroinvertebrate communities by each streams

	Choengmi stream	Yanghwa stream	Bokha stream
Dominance index	0.28	0.29	0.32
Diversity index	2.83	2.77	2.70
Evenness index	0.85	0.84	0.84
Richness index	3.79	3.61	3.43
ESB	55	58	55

분석을 실시한 결과 아래의 그림에서와 같이 크게 4개의 군집으로 분류된다. 우선 실지렁이와 깔따구과 sp. 1이 3개 하천의 공통적 우점종과 아우점종으로서 군집 D로 분류되었고, 우점하지는 않으나 청미천, 양화천, 복하천에 걸쳐 서식반경이 넓게 출현하는 종들은 군집 C의 꼬마물벌레, 소금쟁이, 꼬마하루살이, 원돌이물달팽이 등이 있다. 군집 A의 두갈래하루살이와 좀주름다슬기는 양화천과 복하천에서 높은 빈도로 출현한 종이다. 그 외의 종은 군집 B으로 분류되었다.

중점조사구간에 공통적으로 출현한 저서성 생물의 종류는 깔따구과 sp.1, 실지렁이, 원돌이물달팽이, 꼬마하루살이 등 총 12종이다. 이 중 깔따구과 sp. 1이나 실지렁이의 경우 3개 하천에 매우 많은 개체수가 출현하여 우점종과 아우점종으로 나타났는데 이들은 모두 Qi가 1로서 환경질이 낮으며 환경적응범위가 넓기 때문에 대상하천의 특성을 반영한다고 보기는 어렵다. 반면에 검은물잠자리, 무늬하루살이 등은 Qi가 4로 청정수역을 지시하는 종들로서 공통적으로 출현하였기 때문에 이러한 종들이 대상하천이 오염정도가 낮아질 경우 특징적 종들일 가능성이 있다고 본다.

결론

본 연구의 대상 하천들은 이미 인위적 영향으로 대부분의 구간이 변형되어져 대상하천 본래의 자연적 물리구조를 파악하는 데에 많은 한계점을 나타내었다. 즉 어떤 물리적 생태적 특징이 3개 하천에 공통적으로 두드러지게 나타났다고 하더라도 그 특성들 중에는 자연적 현상이 아닌 인위적 영향, 예를 들면 보, 제방, 토지이용성에 의한 영향일 수 있다. 특히 생물의 경우 반복조사가 충분하지 못하고 갈수기와 풍수후의 조사시기의 영향으로 공통종 중에서 ubiquists(서식반경이 넓은 종으로 환경조건과 무관한 생물)가 우점 또는 아우점종으로 조사되고 극히 일부의 stenoecious(협처성:서식반경이 한정된 종으로 특수한 환경조건에 종속적인 생물)가 관찰되어졌다. 따라서 대상하천의 공통적인 물리적 생물서식 특

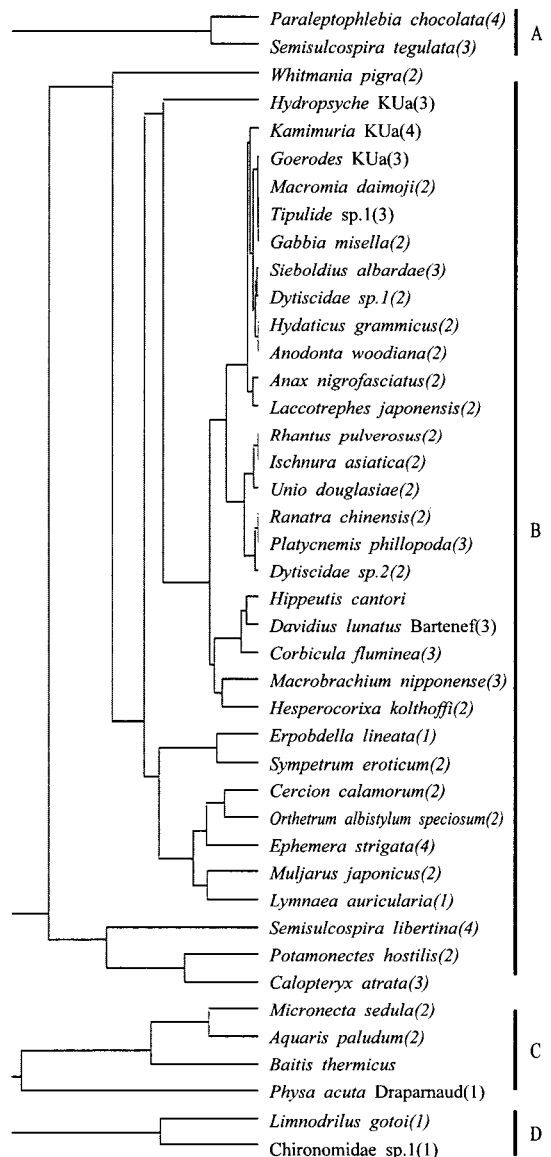


Figure 14. Cluster analysis of the benthic macroinvertebrates

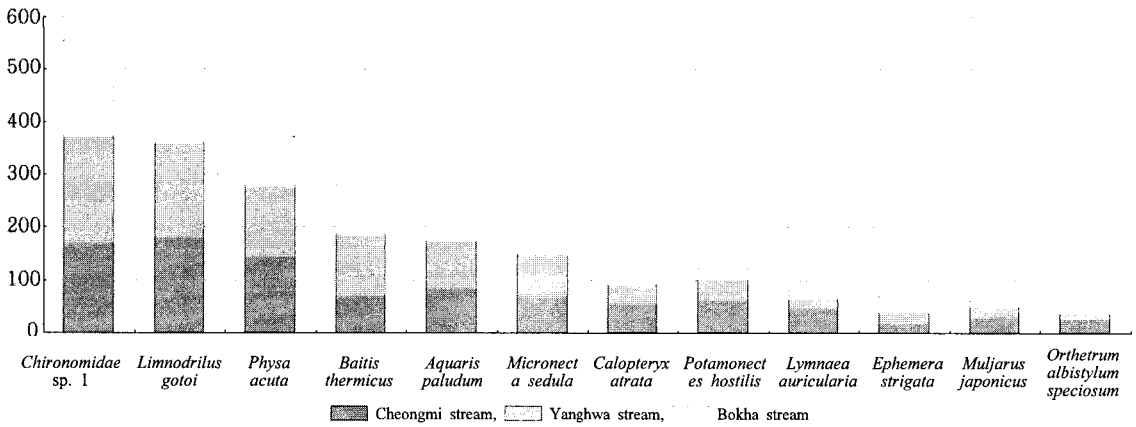


Figure 15. Appearance frequencies of common benthic macroinvertebrates

성을 말하고자 한다면 ubiquists 종의 서식이나 인위성에 의한 물리적 특성은 배제되어야 할 것으로 판단되고, 앞으로 지시성이 보다 높은 종의 후속조사가 있어야 할 것으로 생각된다. 아울러 하천(물리적)구조조사방법은 국내에도 이미 조용현(1997)을 통하여 독일 라인란드팔츠의 하천구조평가(1995)가 소개된 바 있으며 최근 이를 보완하고자 한 박봉진 등(2003)에서와 근본적으로 크게 다르지 않다. 그러나 일본의 하천평가방법을 큰 기준으로 한 이상호(2000), 김동찬 등(2000), 박병철 등(2002)에서는 전자의 저자나 본 연구에서 이용한 유럽 공동체의 물리적 구조조사와 달리 수질항목의 추가되는 것이 서로 다른 점이라고 본다. 이렇게 국내에도 하천평가를 위한 연구가 활발한데, 특히 연구사례 예를 들면 박병철 등(2002)의 무심천, 박진원 등(2003)의 양재천, 이상호(2000)의 안양천 등이 있으나 실제로 실무에서는 이러한 방법을 거의 활용하고 있지 않고 있다. 그 이유는 조사 및 평가방법은 간편하나 신뢰성이 부족한 것으로 추측된다. 그런데 본 연구에서 시험 적용한 유럽공동체의 하천물리적 구조평가는 하천형성과정이나 기후 및 기상이 국내의 하천과 서로 상이하나 국내에서도 하천 설계나 관리를 위한 첫 단계 하천환경조사용으로는 크게 무리가 없을 것으로 사료된다.

본 연구결과에 대한 대상하천의 공통적 특성을 간략히 정리하면 다음과 같다:

- 3개 하천은 하천유형적 측면에서 자연환경은 평지이며, 하상재는 모래가 주를 이루며, 하도는 사행을 하나 샅강이 발달하지는 않았고, 유출률은 많지 않으나 도시 하천에서와는 반대로 지속성이 있으며, 유출의 변동은 많다.

- 하천의 물리적 구조측면에서 보면 저수로의 폭은

평수기를 기준으로 100m 내외를 나타내며 계곡의 형태는 비교적 넓게 발달하였다. 하도의 사행도는 평균 1.5이며 하도사행과 밀접한 관련이 있는 침식과 퇴적의 물리적 구조는 침식보다는 퇴적구간이 공통적으로 더 우세한 것으로 관찰되었다. 하상재로는 대부분이 모래질이나 드물게 자갈 또는 돌이 점적으로 나타나고 있으며 하상구조는 상하류 하상재료의 구별이 비교적 뚜렷하지 못한 편이다. 또한 하상구조의 특이성(웅덩이, 나무뿌리, 유속이 빠른 곳, 정체구간, 수생식물 등)은 드물고 단순한 편에 속한다. 하천의 횡단면은 제방이 없는 중점조사구의 일부에서는 매우 완만한 하안과 매우 가파른 하안을 동시에 가지는 다양성을 보이나 다른 대부분의 구간에서는 횡단폭과 깊이의 변화가 다양하지 않다. 홍수터는 인위적 영향이 없는 구간에서 높이가 폭이 일정하지 않은 매우 부정형적 지형상을 나타내었다.

- 수화학적 특성은 대상하천의 유역이 화강암을 기저로 한 규산염(SiO₂)하천이나 규산염하천의 기준(전기전도도가 250 μ mhos/cm 미만, PH 5.2-6.5, 경도는 1-8 $^{\circ}$ dH 미만)보다 높은 수치를 나타내었다(대상하천의 경도 수치는 없음).

- 저서성생물의 특성은 여러 가지의 교란에 의하여 하천종 보다는 호소종이 우점종과 아우점종으로 나타났으나, 청정지역을 서식처로 하는 무늬하루살이, 검은물잠자리가 공통종으로 출현하였다.

- 하안식물의 특성은 물과 인접하여 갈풀군락이 발달하고 그 뒤를 이어 달뿌리풀, 갈대군락이 서식한다. 갈대군락을 이어서 버드나무군락, 홍수위선 안팎으로는 물푸레나무군락이 출현하였고 그 뒤를 이어 아까시나무-신나무군락 등이 관찰되었다.

인용문헌

- Borne, V. D. M. (1877) Wie kann man unsere Gewaesser nach den in ihnen vorkommenden Arten klassifizieren? Circulare des deutschen Fischereivereins. Berlin.
- Braukmann, U. (1987) Zoozoenologische und saprobiologische Beitrage zu einer allgemeinen regionalen Bachtypologie. -Erg. Limnol. 26. Schweizerbart. Stuttgart.
- Braun-Blanquet, J. (1964) Pflanzensoziologie. 3. Aufl. Wien.
- Briem, E. (1997) Haupt-Fliessgewaesserlandschaften und geologische Grundtypen der Baeche in Baden-Wuerttemberg. In: Forschungsgruppe Fliessgewaesser (1993): Fliessgewaessertypologie -Ergebnisse interdisziplaener Studien an naturnahen Fliessgewaessern und Auen in Baden-Wuerttemberg mit Schwerpunkt Bundsandstein Odenwald und Oberrheinebene. Ecomed, Landsberg.
- Dierschke, H. (1994) Pflanzensoziologie. Stuttgart.
- Horton, R. F. (1945) Erosional development of streams and their drainage basins. Bull. geol. Soc. Am. 56, 275-370.
- Illies, J. (1952) Die Moelle. Faunistische-oekologische Untersuchungen in einem Forellenbach im Lipper Bergland. Arch. Hydrobiol. 46, 424-612.
- (1953) Die Besiedlung der Fulda (insb. das Benthos der Salmonidenregion) nach dem jetzigen Stand der Untersuchungen. Ber. Limnol. Flusstat. Freudentahl 5, 1-28.
- (1958) Die Barbenregion mitteleuropaeischer Fliessgewaesser. Verh. internat. Ver. Limnol. 13, 834-844.
- (1961) Versuch einer allgemeinen biozoenotischen Gliederung der Fliessgewaesser. Internat. Rev. ges. Hydrobiol. 46, 205-213.
- Kovach Computing Services: MVSP(Multi Variate Statistical Package ver. 3.1)
- LAWA=Laenderarbeitsgemeinschaft Wasser (2000) Gewaesserstrukturguetekartierung in der BRD. 1. Auf. Schwerin.
- Leopold, L. B., Wolman, M. G. & Miller, J. P. (1964) Fluvial processes in geomorphology. Freeman, 1-522, San Francisco.
- LUA=Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (2001a) Merkblaetter Nr. 26. Gewaesserstrukturguete in Nordrhein-Westfalen. Anleitung f. die Kartierung mittel-grosser bis grosser Fliessgewaesser. Essen.
- LUA=Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (2001b) Merkblaetter Nr. 34. Leitbilder f. die mittelgrossen bis grossen Fliessgewaesser in NRW. Essen.
- Mangelsdorf, J. & Scheuermann, K. (1980) Flussmorphologie Leitfaden f. Naturwissenschaftler u. Ingenieure. Oldenbourg. 261pp., Wien.
- Otto, A & Braukmann, U. (1983) Gewaessertypologie im laendlichen Raum. Schriftenreihe des Bundesministers f. Ernaehrung, Landwirtschaft und Forsten, Reihe A: Angewandte Wissenschaft. H. 288. Muenster.
- Strahler, A. N. (1957) Quantitative analysis of watershed geomorphology. Trans. Am. Geophys. Union 38, 913-920.
- Vannote, R. L.; Minshall, G. W.; Cummins, K.W. & Sedell, J.R.(1980) The river continuum concept. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 37, 130-137.
- 경기도(2003. 10) 복하천수계 하천정비기본계획.
- (2003. 10)청미천수계 하천정비기본계획.
- (2003. 10)양화천수계 하천정비기본계획.
- 고경식, 김윤식(1989) 원색한국식물도감. 서울.
- 김동찬, 이정, 박익수(2000) 자연형 하천복원을 위한 하천자연도 평가. 한국조경학회지. VOL. 27 NO. 5: 138-149
- 박병철, 신영철, 서애숙(2002) GIS를 이용한 하천의 자연성 평가-청주시 무심천 지역을 중심으로. 한국지리정보학회지 5권 1호: 48-57.
- 박봉진, 성영두, 강태호(2003) 우리나라의 하천특성을 고려한 하천 자연도평가의 제안. 한국수자원학회지 VOL. 36 NO. 6: 92-103.
- 박수현(1999) 한국귀화식물원색도감. 일조각.
- 박진원, 마호섭(2003) 양재천의 식생현황과 하천자연도 평가. 농업생명과학연구 37(2): 57-70.
- 윤일병(1988) 한국동식물도감 제 30권 동물편, 수서곤충류. 문교부.
- 이상호(2000) 안양천의 자연형 하천 설치구간 선정에 위한 하천평가 기법적용에 관한 연구. 산업과학연구 9: 90-103.
- 이영노(1996) 원색한국식물도감. 교학사.
- 이창복(1985) 대한식물도감. 향문사.
- (2003) 원색 대한식물도감. 향문사.
- 조용현(1997) 생태적 복원을 위한 중소하천 자연도평가방법 개발. 서울대 박사학위논문.
- 환경부(2001) 제 2차 전국자연환경조사지침(육상곤충, 저서성대형무척추동물, 담수어류)

최종심사일 : 2005년 8월 10일 4인익명 심사필.

Appendix 1. (Continued)

4. 하상구조

4.1 하상재료

자연적	인위적
벨	X
진흙	X
모래	X
2~10cm 자갈	X
5~10cm 돌	X
5~30cm 돌	X
30cm이상 바위와 돌	X
바위	X
암	X
높	X
하상보호물	X
불분명	X

4.2 하상보호구조물

돌받기	>10%
단단한 하상 및 퇴적	6
단단한 하상, 퇴적 무	7
하상보호구조물 무	X

4.4 하상구조의 특이사항

유속이 빠른 곳	SAR	F	평가치
파랑이 있는 곳	1	1	하상재료의 다양성
역류 소, 좁은 나루	2	1	하상보호물
유기물 시체가 많은 곳	3	2	
낮은 물이, 나무뿌리	4	3	
긴 울타리, 울타리	5	5	
케스캐이	7	7	

4.3 하상재료의 다양성

매우 크다	X	SAR	F
크다	X	1	1
보통	X	2	1
작다	X	4	2
없다	X	5	4
		7	7

5. 하안구조

5.1 하안 식생대

L	R
숲	1
나무그늘	2
갈대류	2
부분적 숲	3
관목류 및 약간의 수목	4
다년생 초본류	4
초지	6
조립	5
나무그늘	5
관목 및 약간의 수목	6
정비	7
침식	5
자연적	1

5.2 하안정비

L	R
생물공학적 공법	>10%
돌받기	5
통나무 공법	6
잔디하안	6
블럭하안	6
거친 공법	7
시멘트 블럭, 축대	7
정비공법 무	X

5.3 하안의 특이구조

매우 많다	1
여러개	2
2개	3
1개	4
1/2	5
없음	7

6. 하천변(토지이용)

6.1 토지이용

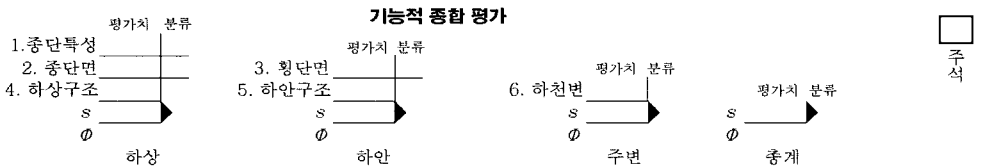
L	R
SAF	K
>50%	10~50%
숲, 고작	1
자연적 비오름	1
휴경지	2
초지	3
숲, 비고작	5
경작, 정원, 침엽수조림지	6
공원, 녹지	3
건축물 및 공간있음	6
건축물 및 공간없음	7
기타 하천변 토지구조	X

6.2 하안수림대

L	R
>50%	10~50%
숲/친이	1
하안수림대	1
하안녹지대	5
이용성	7

6.3 불량한 주변환경

L	R
작다	가림
파해침	7
양이장	7
시설	7
도로	7
쓰레기장	7
계방	7
없음	X



등급	1	2	3	4	5	6	7
지수값	1 ~ 1.7	1.8 ~ 2.6	2.7 ~ 3.5	3.6 ~ 4.4	4.5 ~ 5.3	5.4 ~ 6.2	6.3 ~ 7

하폭 5m 이내: 길이 200m, 하폭 10m 이상: 길이 500m 조사