

영동지방 자연형 하천(강릉 연곡천)과 인근 연안 생태계에 대한 태풍 루사의 영향

윤이용^{1,*} · 김형섭²

¹관동대학교 SOC공학부, ²강릉대학교 생물학과

Effect of Typhoon "Rusa" on the Natural Yeon-gok Stream and Coastal Ecosystem in the Yeong-Dong Province

Yi-Yong Yoon^{1,*} and Hung-sub Kim²

¹Department of Environmental Engineering, Kwandong University, 522 Naegok-Dong,
Kangnung-Shi, Kangwon-Do, 210-701, Korea

²Department of Biology, Gangnung National University, 120 Gangneung Daehangno, Gangneung city,
Gangwon Province, 210-702, Korea

요 약

연곡천은 비교적 인위적인 오염원이 적은 오대산 국립공원에서 발원하여 동해로 유출되는 하천으로 평상시에는 거의 I, II 등급 수질을 유지하며, 평균 유량은 352,100 m³/d 정도이다. 그러나 2002년 8월 31일 태풍 루사의 영향으로 물길뿐 아니라 각 조사 정점의 하폭도 크게 변형되었으며, 생태계도 심각한 손상을 입게 되었다. 또한 수해 복구 공사로 인하여 무너진 교량과 축을 새로 정비하고 건설하는 과정에 수리적 특성이 또 다시 변형되었으며, 생태계의 2차적인 손상이 초래되었다. 수해 이후 부착 규조류의 종다양성은 17% 정도 감소하였으며, 수생동물의 종다양성은 44% 정도 감소하였다. 그러나 2003년 3월 이후 수해복구 공사가 집중적으로 진행되는 과정에서 하상이 파헤쳐지고 토사가 유출되어 부착 규조류의 경우 수해 전보다 약 32% 정도 감소하였으며 수생동물은 거의 소멸되었다. 특히 어류의 경우 상류에 서식하는 버들개와 같은 일부 종을 제외하고는 대부분 전멸되었다. 연곡천은 비교적 인위적인 오염원이 적고 하천의 길이가 짧으며, 경사가 크고 상류에서 하류까지 물의 체류시간이 짧기 때문에 복구 공사와 같은 일시적인 수질 악화 현상은 빨리 회복될 수 있으나 손상된 생태계가 안정적인 생태계로 회복되는 데는 상당히 오랜 시간이 걸릴 것이다. 또한 태풍 루사와 같이 일시적인 집중 강우는 하천 생태계뿐만 아니라 인근 연안 생태계에도 치명적인 피해를 초래했다. 하천을 통하여 배출된 토사는 태풍 루사 이후 1년 6개월이 경과한 시점에서도 연안환경에서 잔류·표류하고 있으며, 특히, 정착성 저서생물들(해조류, 쌍각패류 등)의 피해가 현저하게 나타나 인근 연안 어업 생산량의 급격한 감소를 초래하게 되었다.

Abstract – The yeongok stream originates at the natural park, Mt. O-dae and flows to the East Sea of Korea, normally maintaining I or II grade of water quality and its average water flux is 352,100 m³/d. However, the typhoon "Rusa", which occurred on 31 August 2002, changed its watercourse and configuration, and the ecosystem was deeply damaged. Moreover, the hydrological characteristics were once more transformed, and the ecosystem was secondarily damaged during repair-work of destroyed bridges and elevations. After the flood disaster, the species diversity diminished 17% for attached diatom and 44% for aquatic animals. However, the earth and sand, dug from river bed during intensive repair-work throughout the entire stream, made diversity drop to 32% for the diatom and the aquatic animals were wiped out. Especially, fishes were totally destroyed except for some species such as *Moroco oxycephalus* in the upper stream. The yeongok stream has little contamination source and short water residence time due to the short length and rapid slope, and consequently a temporary deterioration of water quality caused by repair-work may be rapidly recovered, but it needs a long time to restore the damaged ecosystem.

Keywords: Yeongok stream(연곡천), Typhoon "Rusa"(태풍 루사), Coastal ecosystem(연안 생태계), Species diversity(종 다양성), Water quality(수질)

*Corresponding author: yoonyy@kwandong.ac.kr

1. 서 론

2002년 8월 31일 동해안지역을 강타한 태풍 루사는 870.5 mm 라는 기상관측 이래 1일 최대 강우량을 기록하며 사망·실종 151명, 부상 65명등 216명의 인명피해와 함께 2조7천3백여억원이라는 기록적인 재산피해를 냈다. 그 후 1년이 지난 2003년 8월 27일 현재 강원도에 따르면 9,330건의 복구 사업중 8,407건은 마무리됐으나 923건은 여전히 공사가 진행되고 있으며 특히 공공시설 중 314건의 하천 복구공사가 계속 진행되고 있어 태풍 및 집중호우시 2차 피해가 우려되고 있다.

영동지역의 하천은 태백산맥에서 발원하여 심한경사를 따라 동해안으로 유출되고 있으며 하천의 길이가 짧고, 좁은 유역면적으로 인하여 유량이 풍부하지 못한 특징을 지니고 있으나 집중 강우시 일시적으로 많은 유량이 단시간에 유출되어 심각한 피해를 초래한다.

강릉시에 위치한 연곡천은 고지대인 태백산맥 오대산국립공원에서 발원하여 가파른 경사를 따라 동해바다에 이르는 전형적인 산간 하천이다. 강릉시의 주요 관광자원인 소금강관광지와 좁다란 평야지대의 경작지를 가로지르고, 주변 야산의 지류가 합쳐져서 연안으로 유출되며, 인근에는 연곡해수욕장과 연계되어 있어 생태학적으로 보존가치가 매우 높은 하천이다. 상류 지역에 인구 밀집 지역이나 산업 시설 등 오염물질 배출원이 없어서 영동지역에서는 드물게 현재까지도 자연 상태를 잘 유지 보존되고 있는 청정 하천이다.

그러나 연곡천은 현재까지 정밀한 생물학적 연구가 미흡할 뿐 아니라 체계적인 수질조사 자료도 대단히 미흡한 실정이다. 따라서 본 하천의 수질 및 생물상을 종합적으로 조사하여 현황을 파악하고 이에 대한 대처방안을 마련하며, 향후 환경 변화를 심층적으로 모니터링하기 위한 기초 자료를 마련하고자 2002년 4월 부터 2003년 5월까지 연구가 수행되었다. 그러나 연구기간 중 태풍 루사로 인한 집중 호우로 연곡천 생태계에 큰 피해를 초래하게 되었으며, 그 결과 국내 최초로 집중호우가 자연형 하천의 수질과 생태계에 미치는 영향을 분석하게 되는 계기가 되었다.

2. 조사방법

수질분석을 위한 현장조사 및 시료채취는 2002년 4월 부터 2003년 4월까지 월별로 총 11회에 걸쳐 각 지류에서 부터 상·중·하류를 거쳐 14~15개 정점에서 실시하였으며(Fig. 1), 유량 변화에 따른 오염물질의 농도와 연안으로 배출되는 량을 조사하기 위하여 매 조사시 마다 GENERAL OCEANICS의 DIGITAL FLOWMETER를 사용하여 각 지류와 동해연안으로 배출되는 유량을 측정하였다.

수질분석은 총 18개 항목으로 YSI 6600을 이용하여 온도, 염도, DO, 전도도, pH, ORP, 탁도, chlorophyll-*a*를 현장에서 1분 간격으로 5회 측정하여 평균하였으며, SS, BOD₅, COD_{Mn}, 영양염류(NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N, PO₄-P, T-N, T-P)는 현장에서 시료를 채취하여 냉온하에서 실험실로 운반하여, 시료채취 후 48시간 이내에 수질분석공정시험법에 따라 분석하였다(최 등[1996]).

생물상 연구는 하천의 상·중·하류의 특성을 잘 나타내는 곳과 지류가 합해지는 9개 지점을 선정하여 2002년 8월과 11월, 2003년 2월과 5월 4회에 걸쳐 수질항목 조사와 병행하여 부착성 조류와 각종 수생동물들을 조사 분석하였다.

하천 생태계의 수질변화 및 생태계 변화를 모니터링 하기 위하여 부착 조류를 많이 이용하고 있으며(Round[1993]), 본 연구에서는 우점종에 의한 분석법(Lange-Bertalot[1979])과 통계적 기법에 의한 분석법(Watanabe[1988], Kobayasi[1989])을 이용하여 수질환경을 분석하였다.

수생동물은 2002년 8월의 1차 조사시에만 정량 조사가 되었으나 태풍루사 이후에는 정량조사가 불가능하여 정성조사만 가능했다. 정량조사는 각 조사지점에서 저질 상태가 상이한 3곳에서 surber sampler를 이용하여 가로·세로 30.3 cm의 면적 내에 있는 저서 무척추동물을 채집하여 정성조사와 병행하였다. 정성조사는 각 지점에서 가능한 다양한 동물을 채집하여 동물의 종 구성을 파악하였다. 수서곤충의 정성조사는 망구 15 cm, 망목 300 mm의 hand net를 이용하여 채집하였으며, 어류는 투망과 족대를 이용했다. 채집된 생물들은 해당 분야의 여러 도감을 이용하여 동정하였다(김[1997], 윤[1988, 1995], 최 등[1996], 김[1977], 권 등[1993],

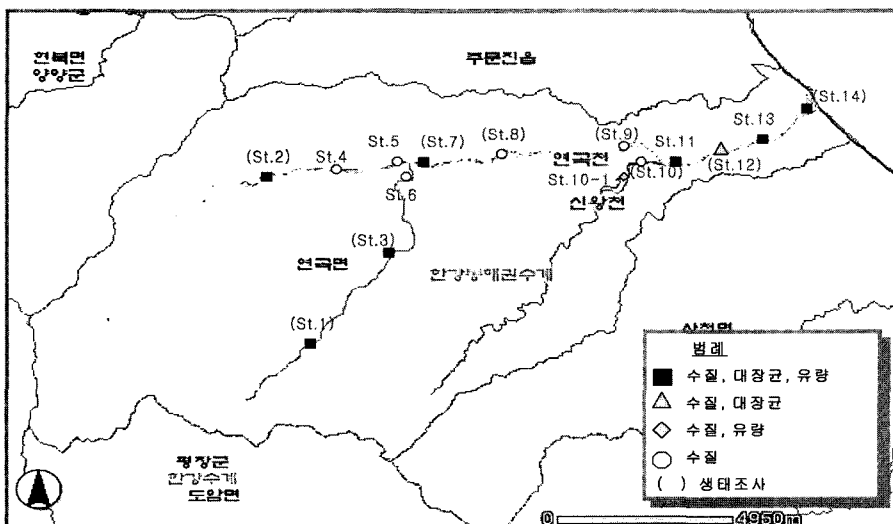


Fig. 1. Location of sampling sites.

한국동물분류학회[1997], 今森光彦[2000]). 무척추동물상 조사 결과를 토대로 Hilsenhoff의 무척추동물 과별 생물지수(Hilsenhoff [1997])와 한국생물지수 방법(윤[1995], 원 등[2002])을 이용하여 수질을 판정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 수해전 정상상태의 연곡천 수질 평가

본 조사기간중 태풍 루사로 인한 수해가 있기 전인 2002년 2월 부터 8월사이 수질은 전조사 정점에서 DO가 7.78-11.3 mg/l, BOD가 0.1-1.2, SS 0.1-6.0 mg/l 으로 거의 I 등급 수질을 유지하고 있으며, 총인도 4월 하류부에서 0.14 mg/l로 높게 나타난 것을 제외 하고는 전조사 정점에서 0.016 mg/l 이하로 비교적 청정한 수역에 속한다.

부착규조류의 우점종 군집 유형에 따른 분석 결과, 지류와는 다소 차이가 있으나 연곡천 본류에는 *Acanthos minutissima*와 *A. convergens*의 우점군락(종의 상대밀도 합이 60 이상)에 *Gomphonema clevei*, *G. parvulum*, *Cymbella minuta*, *Cocconeis placentula* 군락으로 나타났으며, 이들 군락 구성종들은 *G. parvulum*을 제외하고는 I 등급 청정수역 종들로 평상시 양호한 연곡천의 생태계를 나타내고 있다. 태풍 루사 이전 조사에서 관찰된 부착규조류의 유기오염지수(Saprobic Index, SI)(Kobayasi[1989])와 유기오탁지수(Diatom Assemblage Index, DA_{lpo})(Watanabe[1988])를 Table 3에 나타내었다. SI는 전 조사 정점에서 1.5 이하이며, DA_{lpo} 역시 75 이하로 전 수역의 수질이 양호한 상태로 판정되었다.

2002년 8월에 조사된 수생동물은 하루살이류가 35종, 날도래류 21종, 강도래류 16종으로 다양한 수서곤충류가 서식하고 있으며, 어류도 21종 관찰되었다. 수생동물의 유기물 농도에 대한 내성을 토대로 산출된 Hilsenhoff 생물지수(Hilsenhoff [1988])는 조사정점 1~9 사이는 3.75 이하로 “매우 양호”한 수질의 상태를 나타내

며, 조사정점 10~14는 3.75~4.25로 “양호”한 수질 상태를 나타낸다. 또한 한국생물지수도 조사정점 1~8은 I 이하로 I 등급수질을 나타내며, 정점 9~14는 1~2 사이로 II 등급 수질을 나타내고 있다.

결론적으로 수질항목, 부착규조류, 수생동물을 이용한 수질 평가가 잘 일치하며, 연곡천은 수해전 정상 상태에서 상류는 산간 계류의 청정수역으로 I 등급의 수질을 유지하며, 중·하류는 I-II 등급의 수질을 나타낸다.

3.2 태풍 루사가 연곡천 수질에 미치는 영향

본 조사기간 동안 관측된 수질의 항목별 변화범위와 평균값을 Table 1에 나타냈으며, 하구로 부터 거리에 따른 수질분포와 유량의 변화에 따른 최종방류수의 수질변화를 Fig. 2와 Fig. 3에 각각 나타내었다.

연곡천은 비교적 인위적인 오염원이 적은 오대산 국립공원에서 발원하여 동해로 유출되는 하천으로 평상시에는 거의 I, II 등급 수질을 유지하며, 평균 유량은 352,100 m³/d 정도이다. 그러나 2002년 9월 태풍 루사의 영향으로 물길뿐 아니라 각 조사 정점의 하폭도 크게 변형되었다. 태풍 루사 전과 후의 수질 변화는 두드러지지 않은 반면 수해 복구 공사로 인하여 무너진 교량과 축을 새로 정비하고 건설하는 과정에 수리적 특성뿐만 아니라 수질이 크게 악화되었다. 특히 2003년 3월과 4월 복구 공사 구간에서 발생한 부유물질로 수질이 예외적으로 악화되었다. 그러나 연곡천은 하천의 길이가 짧고 경사가 크며, 상류에서 하류까지 물의 체류시간이 짧기 때문에 복구 공사와 같은 일시적이고 국지적인 수질 악화 현상은 빨리 회복될 수 있다.

유량의 변화에 따른 수질 항목의 두드러진 변화 패턴은 없다 (Fig. 3). 산업화된 하천의 경우, 유량이 증가하면 인위적인 오염물질의 희석으로 농도가 감소하는 반면, 연곡천은 인위적인 오염원 보다는 자연적인 경로를 통하여 물질들이 주로 유입된다. 따라서 유량의 변화에 따른 농도의 변화가 두드러지지 않은 반면, 동해 연안으로 배출되는 물질의 양은 유량과 함께 증가한다(Fig. 4).

Table 1. Variation of water quality items(from April 2002 to April 2003).

Items	Water quality
Water flux (m ³ /day)	8,500~944,000(237,310)
Temp.(°C)	0.1~24.2(12.68)
DO(mg/l)	8.17~15.70(8.75)
DO%	90.5~121.8(102.1)
pH	6.8~9.1(6.9)
Turbidity(NTU)	0.1~98.2(5.1)
chl-a(µg/l)	0.1~27.5(1.6)
ss(mg/l)	1.0~155.5(9.2)
BOD(mg/l)	0.1~4.4(1.28)
COD(mg/l)	0.2~6.0(2.7)
NH ₃ -N(mg/l)	0.019~0.483(0.09)
NO ₂ -N(mg/l)	0.003~1.277(0.12)
NO ₃ -N(mg/l)	0.014~0.73(0.26)
PO ₄ -P(mg/l)	0.0001~0.0224(0.0023)
T-N(mg/l)	0.09~4.72(1.13)
T-P(mg/l)	0.002~0.14(0.025)
Faecal coliform (MPN/100)	19~3,796

3.3 부착 규조류의 분포현황 및 다양성 변화(Fig. 5)

일반적으로 부착 규조류는 계절에 따른 우점군락과 종조성의 차이가 다른 생물종들보다 크지 않고 정착성이기 때문에 수질환경 변화 및 모니터링을 위한 지표생물로 이용된다. 조사기간중 연곡천에서는 총 33속 112종류의 부착 규조류가 동정되었다. 수해 이전 안정된 생태계를 유지하던 2002년 8월에 가장 많은 종들이 출현하였으며, 전반적으로 상류(17~27종)에서 중류(35~40종)·하류(50~84종)로 갈수록 출현종 수가 증가한다. 수해 이후 전 조사 정점에서 평균 약 17% 정도의 종수가 감소되었으나 2003년3월 이후 수해복구 공사가 집중적으로 진행되는 과정에서 하상이 파헤쳐지고 토사가 유출되어 2003년 5월에는 출현종 수가 수해전보다 약 32%정도 감소되었다. 특히 하류부에서는 50% 이상 감소되었다. 일반적으로 춘기에 가장 많은 종수가 출현하는 것에 반하여 이같은 감소 현상은 수해복구 공사의 직접적인 영향으로 부착 규조류의 생육 환경의 악화되었기 때문이다.

3.4 수생동물의 분포현황 및 다양성 변화

조사결과 연곡천에서 총 4문, 8강, 22목, 68과, 157종의 동물이

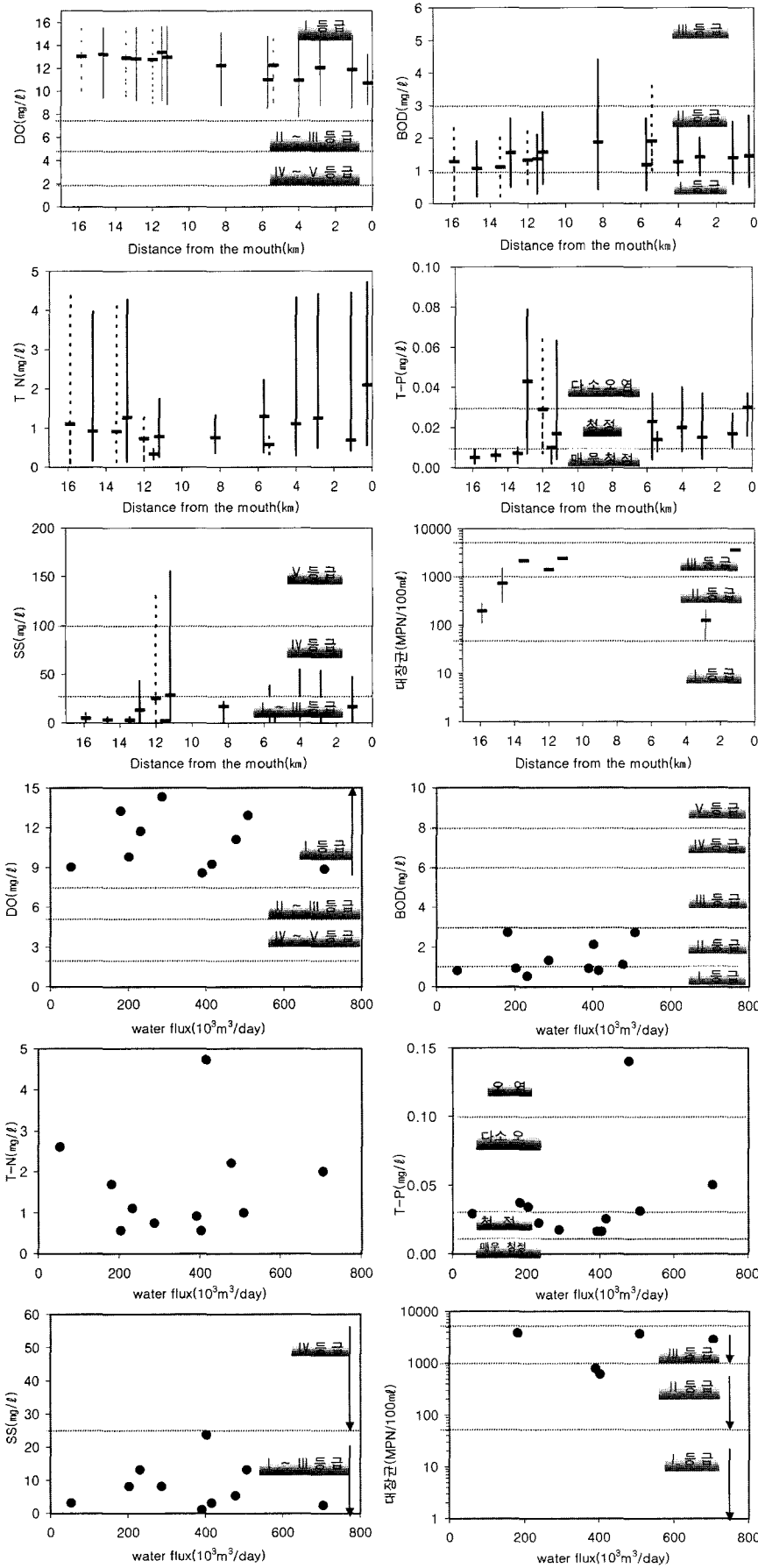


Fig. 2. Distribution of water quality items in the Yeongok stream (dotted line indicate tributaries: Shinwang branch stream near 5.5, Sogumgang branch stream over 12).

Fig. 3. Variation of water quality items in the downstream (St.14) according to the water flux.

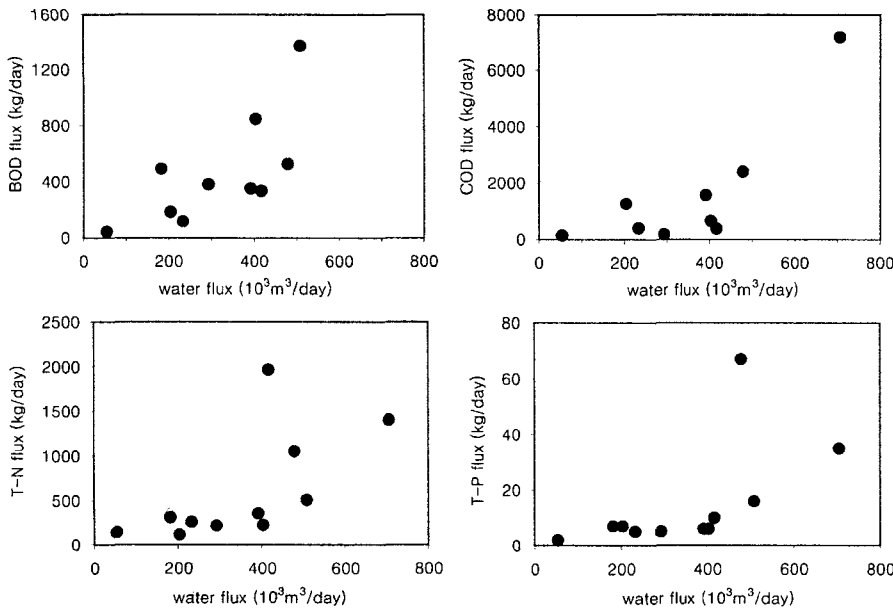


Fig. 4. Variation of pollutants flux according to water flux.

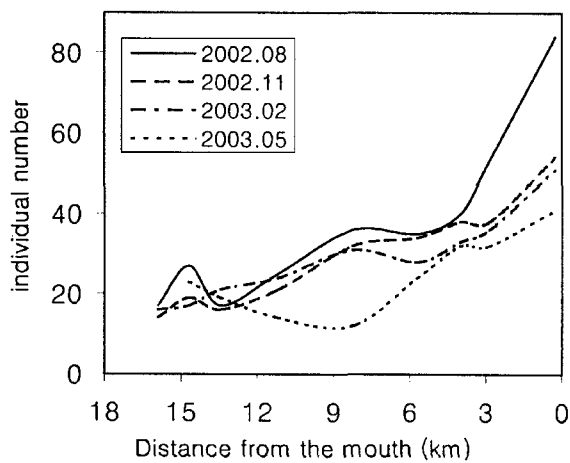


Fig. 5. Variation of attached diatom appearance.

관찰되었다. 2002년 8월 조사에서 60과 133종이 관찰되었으나 2002년 11월과 2003년 3월에 각각 56종이 발견되었다(Table 2). 그러나 2003년 5월에는 거의 모든 지점에서 전혀 관찰되지 않았다.

2002년 8월의 1차 조사에서 관찰된 133종의 수생동물들은 연곡천 고유의 생물상으로 하루살이류가 35종으로 약 26%를 차지하며, 날도래류가 21종(약 16%), 강도래류가 16종 관찰되었다. 이와같이 다양한 수서곤충류는 청정하천에서 나타나는 자연적인 현상으로 정상적인 생태계를 나타낸다. 어류는 21종이 관찰되었으나 유량의 증가로 정밀조사가 불가능했음을 고려할 때 더 다양한 종들이 서식했을 것이다.

2002년 8월 31일 내린 폭우로 인하여 동물의 종 수는 133종에서 59종으로 다양성이 44% 감소하였다. 그러나 수해 이후 새로 발견된 12종을 고려하지 않는다면 수해로 인하여 65%의 종들이 사라진 결과이다. 정점별로는 특히 딱류의 영향을 많이 받는 중·

Table 2. Variation of animal species diversity in the yeongok stream.

classification		2002. 8	2002. 11.	2003. 3.
Phylum Mollusca	class Gastropoda	2	-	1
	class Cephalopoda	1	-	-
Phylum Annelida	class Polychaeta	1	-	-
	class Hirudinea	1	-	1
	class Crustacea	5	3	1
Phylum Arthropoda	Ephemeroptera	35	10	12
	Odonata	10	4	-
	Plecoptera	16	7	12
	class Hexapota			
	Hemiptera	6	3	-
	Trichoptera	21	7	9
	Coleoptera	3	2	1
Diptera	9	4	4	
Phylum Chordata	class Fishes	21	18	(18)
	class Reptilia	-	1	-
	class Mammalia	-	(1)	-
Total		133	59	59

Table 3. Organic pollutant index and turbidity index of diatom at each station.

Species	Site	1	2	3	7	8	9	10	12	14
Saprobic Index (Kobayasi, 1989)		1.018	1.442	1.074	1.135	1.188	1.129	1.134	1.149	1.227
Watanabe's DALpo		74.55	63.95	73.15	71.63	70.30	71.78	71.65	71.28	69.33

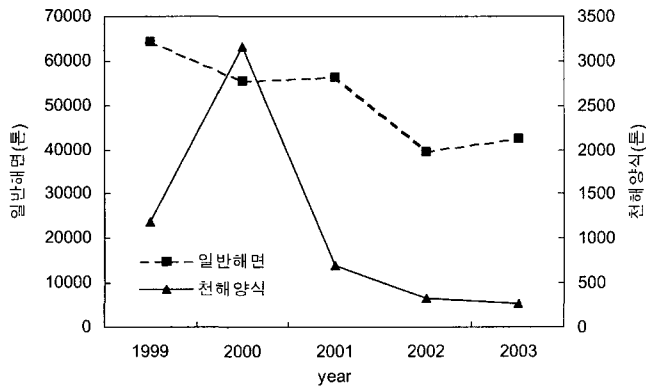


Fig. 6. Variation of coastal fishery production of Kangwondo during recent 5 years.

하류의 감소가 두드러지며, 탁류의 영향이 적은 지천에서는 비교적 감소율이 적다. 또한 폭우가 지나간 후 고차 소비자인 어류의 개체수는 급격히 감소하였고, 분포지역도 제한되었으나 11월 조사에서 어류가 18종이나 발견된 것은 하천 생태계가 빨리 복구될 수 있는 희망이 있었다. 그러나 2003년 해빙기 이후 본격적으로 착수된 하천복구공사로 인하여 물리적인 환경은 일부 복구되었으나 생태계에는 치명적인 손실을 초래했다. 수생생물들의 피난처를 제공하지 않고 전 하천구간에서 동시에 실시됨으로서 많은 탁류가 형성되어 수생동물들이 사라지게 되었다. 특히 어류의 경우 상류에 서식하는 버들개와 같은 일부 종을 제외하고는 대부분 전멸되었다.

3.5 강원도 인근 연안 생태계에 미친 영향

태풍 루사와 같은 일시적인 집중 강우는 하천 생태계뿐 만 아니라 인근 연안 생태계에도 치명적인 피해를 초래했다. 하천을 통하여 배출된 토사는 태풍 루사 이후 1년 6개월이 경과한 시점에서 연안환경에 잔류하고 있으며(Skin Scuba 활동을 통한 육안 관찰), 특히, 정착성 저서생물들(해조류, 쌍각패류 등)의 피해가 현저하게 나타났다.

최근 5년동안 강원도 인근 연안에서의 어업생산량 변화를 Fig. 6에 나타내었다(해양수산부 통계자료). 일반해면 어업활동으로 인한 생산량은 태풍 발생 전년도인 2001년에 비해 2002년도에는 30%, 2003년도에는 25% 감소하였으며, 천해양식으로 인한 생산량도 크게 감소하였다. 2000년도에는 가리비의 대량 양식 성공(2371톤)으로 천해양식의 생산량이 예외적으로 높았지만, 2001년에 비해서도 2002년도에는 54%, 2003년도에는 62% 감소되었다.

4. 결 론

수질항목, 부착규조류, 수생동물을 이용한 수질 평가에서 수해

전 정상 상태의 연곡천 상류는 산간 계류의 청정수역으로 I 등급의 수질을 유지하며, 중·하류는 I-II 등급의 수질을 유지하였다. 그러나 2002년 8월 31일 동해안지역을 강타한 태풍 루사의 직·간접적인 영향으로 생태계는 큰 변화를 초래하게 되었다. 수해 이후 부착 규조류의 종다양성은 17% 정도 감소하였으며, 수생동물의 종다양성은 44% 정도 감소하였다. 그러나 2003년 3월 이후 수해 복구 공사가 집중적으로 진행되는 과정에서 하상이 파헤쳐지고 토사가 유출되어 부착 규조류의 경우 수해 전보다 약 32% 정도 감소하였으며 수생동물은 거의 소멸되었다. 특히 어류의 경우 상류에 서식하는 버들개와 같은 일부 종을 제외하고는 대부분 전멸되었다.

연곡천은 비교적 인위적인 오염원이 적은 오대산 국립공원에서 발원하여 동해로 유출되는 하천으로 하천의 길이가 짧고 경사가 크며, 상류에서 하류까지 물의 체류시간이 짧기 때문에 복구 공사와 같은 일시적인 수질 악화 현상은 빨리 회복될 수 있으나 손상된 생태계가 안정적인 생태계로 회복되는 데는 상당히 오랜 시간이 걸릴 것이다. 또한 태풍 루사와 같이 일시적인 집중 강우는 하천 생태계만 만 아니라 인근 연안 생태계에도 치명적인 피해를 초래했다. 하천을 통하여 배출된 토사는 태풍 루사 이후 1년 6개월이 경과한 시점에서 연안환경에 잔류하고 있으며, 특히, 정착성 저서생물들(해조류, 쌍각패류 등)의 피해가 현저하게 나타났다. 그 결과 인근 연안 어업 생산량의 급격한 감소를 초래하게 되었다.

후 기

본 연구는 2002년도 강원지역환경기술센터의 환경기술개발사업에 의해 지원된 것으로 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

- [1] 김익수, 1997, 한국동식물도감 제37권 동물편 (담수어류), 교육부, 629.
- [2] 김훈수, 1977, 한국동식물도감 제19권 동물편(새우류), 문교부, 414.
- [3] 권오길, 박갑만, 이준상, 1993, 원색 한국패류도감. 아카데미서적, 445.
- [4] 윤일병, 1988, 한국동식물 도감 제30권 동물편(수서곤충류), 문교부, 840.
- [5] 윤일병, 1995, 수서곤충검색도설, 정행사, 262.
- [6] 원두희, 노태호, 전동준, 2002, “지표생물군에 의한 한국생물지수의 산출 및 중 생태정보 제공을 위한 online system (WWW Program)”, 자연보존연구보고서, 21, 115~156.
- [7] 최규철, 김무식, 유근우, 황재석, 1996, 수질오염공정법주해, 동화기술.
- [8] 한국동물분류학회, 1997, 한국동물명집(곤충 제외).
- [9] Hilsenhoff, W. L., 1988, “Rapid field assessment of organic pol-

- lution with a family-level biotic index", *J. NABS*, **7**, 65~68.
- [10] Kobayasi, H, and S. Mayama, 1989, "Evaluation of river water quality by diatoms", *Korean J. Phycol.* **4**, 121~133.
- [11] Lange-Bertalot, H., 1979, "Pollution tolerance as a criterion for water quality estimation", *Nova Hedwigia, Beiheft* **64**, 285~304.
- [12] Round, F.E., 1993, "A review and methods for the use of epilithic diatoms for detecting and monitoring changes in river water quality", HMSO, London, 65.
- [13] Watanabe, T., Asai, K. and Houki, 1988, "Numerical index of water quality using diatom assemblages", In: *Biological monitoring of Environmental Pollution* (eds., M. Yasuno and B.A. Whitton), Tokai University press, 170~192.
- [14] 今森光彦, 2000, *水邊 昆蟲*, 山溪谷社, 日本 東京, 281.
-
- 2003년 11월 27일 원고접수
2004년 2월 4일 수정본 채택