P-34

음향 텔레메트리 기법을 이용한 기수역에서 대서양 연어의 행동변화

강경미*·신현옥**·Jonathan Carr***·Allen R Curry****
* 부경대학교 BK21 지구환경시스템사업단, ** 부경대학교 해양생산시스템관리학부,
** Atlantic Salmon Federation, *** University of New Brunswick

서론

최근에는 자연환경보전이라는 새로운 패러다임의 대두로 하천환경의 보전과 개선의 필요성이 제기되고 있지만, 하천환경의 보전과 개선사업은 대부분 댐을 비롯한 하천 시설물 개선 및 관리방안에만 초점을 맞추고 있다 (Choi and Lee, 2004). 하천의 생태환경을 복원하고 보존하기 위해서는 하천 시설물의 설치를 최소화하는 것이 효과적이지만 하천 시설물은 용수확보, 하천범람 방지, 교통소통 등과 같은 여러 가지 요인 때문에 사실상 설치가 불가피하다. 이러한 문제를 해결하기 위한 단계적 방안은 하천 시설물에 가장 영향을 많이 받는 소하성 및 강하성 수생동물에 대한 생태학적 정보 (산란시기, 서식지 범위, 이동경로 등)를 수집한 후 수역의 물리적 환경 (수심, 유속, 저질, 하천형태 등)과 수생동물의 생태학적 특성을 고려한 친환경 하천 시설물을 설계 및 설치해야 할 것이다. 국외의 하천 시설물에 대한 관리방안으로서 캐나다의 경우, 하천에 인위적으로 시설된 시설물과 자연적으로 발생된 장애물들에 대한 지속적인 모니터링을 통하여 수위변화에 따른 하천 시설물의 높이 변화까지 고려한 친환경 하천 시설물 구축방안 (Okanagan Nation Alliance, 2006)을 제시하고 있으며, 프랑스의 경우에는 수력발전소에서 발생되는 고압의 유수가 주변 수역의 흐름을 인위적으로 변경하여 생태환경에 영향을 미칠 수 있고 잘못 설계된 댐의 어도가 회유하는 어류에 상처를 줄 수 있으므로 어류가 회유하는 기간 동안에는 발전소의 운행을 중단하고 회유어종의 크기 및 종류를 고려한 생태학적 어도 설계를 제안하고 있다 (Michel Larinier, 2000). 이 연구의 목적은 캐나다의 하천 생태계 복원 프로젝트에 참여하여 캐나다 하천에 서식하는 소하성 어류 중 대서양 연어를 대상으로 음향 텔레메트리 기법을 이용하여 하천 시설물이 대서양 연어의 회유경로에 미치는 영향과 하천 시설물을 통과한 어류의 행동 및 공간이용률에 대하여 조사하여 친환경 하천 시설물 설계 및 설치에 기반이 될 수 있는 생태학적 정보를 수집하고 자원 및 어업관리를 위한 GIS를 구축하는데 필요한 기초자료를 제공하는데 있다.

재료 및 방법

실험해역은 캐나다 New Brunswick 남서쪽에 위치한 Magaguadavic 강으로서 전체 길

이가 82 km이다 (Fig. 1). 총 8 km인 하구역에는 수위 조절댐과 수위 조절댐에서 350 m 하류 방향에 수력발전소가 위치해 있다. 수위 조절댐 바깥쪽에는 어도 (fish ladder)가 설치되어 있어 소하성 어류들이 하구역에서 상류로 이동할 수 있도록 하였으며 어도의 끝 지점에는 작은 수조를 설치하여 어도를 지나 상류로 이동하는 어류를 모니터링 할 수 있도록 하였다. 수위 조절댐 옆에 설치된 수력발전소는 전력생산을 위하여 주기적으로 터빈 입구의 게이트를 열어 댐에 갇혀 있던 물을 발전소로 끌어들이는데 이때 유영력이 약한 어류들이 게이트를 통하여 발전소로 흘러들어가 사망하는 것으로 보고된 바 있다 (Carr and Whoriskey, 2008). 이러한 문제를 극복하기 위하여 수력발전소 터빈 입구 옆에 또 다른 게이트를 설치하여 이 게이트를 통과한 어류는 하류방향 우회 시설물 (downstream bypass facility)을 통해 하류로 무사히 이동하도록 하였다.

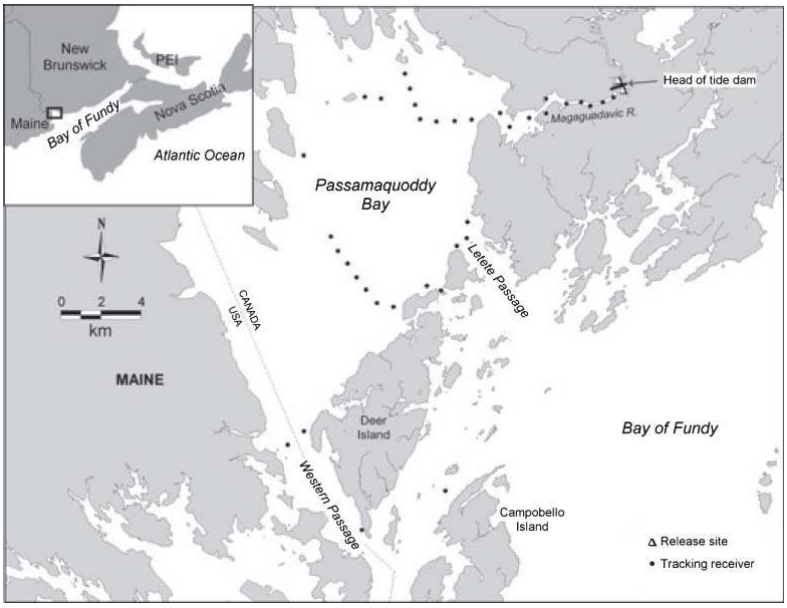

Fig. 1. Location of Passamaquoddy bay and the Magaguadavic river estuary (Carr and Whoriskey, 2008).

이 연구에서는 상류에서 방류한 대서양 연어 Kelt와 Smolt가 터빈 입구를 피해 하류 방향 우회시설물을 통과한 후 하구역에서의 행동특성을 분석하기 위하여 총 5회 (2008년 4월 23일부터 5월 4일까지)에 걸쳐 Kelt 30마리 (가랑이 체장 63.2± 11.0 cm), Smolt 11마리 (가랑이 체장 17.8± 1.1 cm, 체중 53.0± 9.2 g)를 대상으로 외과 수술법을 이용한 체내 표지법으로 음향표지하였다. 음향표지를 위하여 2 종류의 부호형 acoustic tag (AMIRIX System Inc., Canada)를 사용하였다. Kelt의 경우에는 시험어 중 최소 전장이 46.5 cm 이었으므로 V16-4H모델 (지름 16 mm)을 사용하였고, Smolt의 경우 크기가 작기 때문에 V9-6L 모델 (지름 9 mm)을 사용하였다. 수술 시 시험어의 움직임과 스트레스를 최소화하기 위하여 수술 전 clove oil (40 mg L^{-1})로 마취한 후 가랑이 체장과 체중을 측정한 후 수술을 실시하였고, 모든 수술도구는 Germax를 이용하여 소독하였다. 마취된 시험어는 V

자형 수술대에 배 부분이 위로 향하게 고정시킨 후 복강 부분을 절개하였다. 절개된 부위를 통해 acoustic tag를 삽입한 후 봉합사 (4-0 Ethilon black monofilament nylon)와 봉합바늘 (FS-2 circular cutting needle)을 이용하여 절개부위를 봉합하였다. 상처부위는 Furacin을 뿌려 소독하였고 마취에서 회복되는 시간은 10분 미만이었다. 시험어의 크기, 성별, 표지날짜, 방류날짜 및 방류지점은 Table 1과 같다.

Table 2. Summary of the tagged fish. It was too hard to distinguish the sex of the smolt. "Mag Basin" denotes the Magaguadavic river basin

Group	Symbol	Fork length (cm)	Weight (g)	Age (year)	Sex	Date		Release location
						Tagging	Release	
Kelt	K1	83.5		5	F	23-Apr-09	24-Apr-09	Mag Basin
	K2	76.0		5	M	23-Apr-09	24-Apr-09	Mag Basin
	K3	70.0		5	M	23-Apr-09	24-Apr-09	Mag Basin
	K4	71.5		5	F	23-Apr-09	24-Apr-09	Mag Basin
	K5	64.5		5	F	23-Apr-09	24-Apr-09	Mag Basin
	K6	73.0		5	M	23-Apr-09	24-Apr-09	Mag Basin
	K7	58.5		5	M	23-Apr-09	24-Apr-09	Mag Basin
	K8	51.5		4	F	25-Apr-09	26-Apr-09	Mag Basin
	K9	56.0		4	F	25-Apr-09	26-Apr-09	Mag Basin
	K10	55.5		4	M	25-Apr-09	26-Apr-09	Mag Basin
	K11	53.0		4	M	25-Apr-09	26-Apr-09	Mag Basin
	K12	51.5		4	F	25-Apr-09	26-Apr-09	Mag Basin
	K13	50.0		4	M	25-Apr-09	26-Apr-09	Mag Basin
	K14	50.0		4	M	25-Apr-09	26-Apr-09	Mag Basin
	K15	51.0		4	M	26-Apr-09	26-Apr-09	Mag Basin
	K16	53.0		4	M	01-May-09	02-May-09	Mag Basin
	K17	62.0		4	M	01-May-09	02-May-09	Mag Basin
	K18	63.5		5	F	01-May-09	02-May-09	Mag Basin
	K19	46.5		4	M	01-May-09	02-May-09	Mag Basin
	K20	59.0		4	M	01-May-09	02-May-09	Mag Basin
	K21	48.5		4	F	01-May-09	02-May-09	Mag Basin
	K22	63.0		5	M	02-May-09	02-May-09	Mag Basin
	K23	74.5		5	F	03-May-09	04-May-09	Mag Basin
	K24	76.5		5	M	03-May-09	04-May-09	Mag Basin
	K25	76.5		5	F	03-May-09	04-May-09	Mag Basin
	K26	62.5		5	F	03-May-09	04-May-09	Mag Basin
	K27	77.5		5	M	03-May-09	04-May-09	Mag Basin
	K28	64.5		5	F	03-May-09	04-May-09	Mag Basin
	K29	72.0		5	F	03-May-09	04-May-09	Mag Basin
	K30	81.5		5	M	03-May-09	04-May-09	Mag Basin
Smolt	S1	18.3	60.7	2		04-May-09	04-May-09	Mag Basin
	S2	17.8	48.8	2		04-May-09	04-May-09	Mag Basin
	S3	15.5	37.6	2		04-May-09	04-May-09	Mag Basin
	S4	18.8	61.8	2		04-May-09	04-May-09	Mag Basin
	S5	17.0	41.8	2		04-May-09	04-May-09	Mag Basin
	S6	17.2	45.1	2		04-May-09	04-May-09	Mag Basin
	S7	19.3	63.1	2		04-May-09	04-May-09	Mag Basin
	S8	18.4	54.9	2		04-May-09	04-May-09	Mag Basin
	S9	19.1	63.8	2		04-May-09	04-May-09	Mag Basin
	S10	16.8	47.5	2		04-May-09	04-May-09	Mag Basin
	S11	18.0	57.6	2		04-May-09	04-May-09	Mag Basin

결과 및 고찰

Kelt의 1차 방류군 (K1 ~ K7)과 2차 방류군 (K8 ~ K15) 중에서 K7을 제외한 나머지 실험어들은 방류 후 우회시설물을 통과하는데 모두 20시간 이상 소요되었다. 하지만 1차 방류군의 K7과 3차 방류군 (K16 ~ K22), 4차 방류군 (K23 ~ K30)은 우회시설물을 통과하는데 최대 2.4 hr, 최소 0.1 hr 걸린 것으로 나타났다. Smolt (S1 ~ S11)의 경우에는 모두 우회시설물을 통과하는데 걸린 시간이 1시간 이내인 것으로 나타났다. Kelt와 Smolt가 우회시설물을 통과하는데 걸린 시간을 t-test를 이용하여 분석한 결과 두 그룹이 통계적으로 유의한 차이를 가지는 것으로 나타났다 ($p < 0.001$). 하지만 Kelt의 성별은 우회시설물을 통과하는데 걸린 시간에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다 (t-test, $p = 0.977$). 방류한 Kelt의 기수역내에서 체류한 시간은 연령과 성별에 영향을 받지 않는 것으로 나타났고 (t-test, $p = 0.359$ and $p = 0.813$), 우회시설물을 통과한 시간과는 유의한 상관관계를 가지는 것으로 나타내었다 (Pearson correlation, $r = 0.374$, $p = 0.016$).

이 연구에서 Kelt와 Smolt의 방류 후 기수역 내에서 체류한 시간과 기수역을 빠져나간 여부에는 각각 유의한 차이를 가지는 것으로 나타났다 (t-test, $p = 0.006$ and $p = 0.043$). 또한 우회 시설물 통과시간과 기수역 체류시간 사이에는 유의한 상관관계를 가지지 않는 것으로 나타났다 (Pearson correlation, $r = 0.214$, $p = 0.180$).

Kelt의 경우 우회 시설물 통과시간이 Smolt보다 길었던 것은 수위 조절댐내의 유속을 견딜 수 있는 충분한 유영능력을 가지고 있었기 때문에 우회 시설물 입구로 쉽게 빨려 들어가지 않고 수위 조절댐내에서 일정기간 체류하였다가 우회 시설물을 통하여 기수역 내로 진입한 것으로 판단되며, 상대적으로 유영능력이 낮은 Smolt의 경우 유속이 빠른 수위 조절댐내에서 버티지 못하고 우회 시설물로 빨려 들어가 기수역으로 진입한 것으로 판단된다. 방류한 실험어 모두 수력 발전소의 터빈 입구로 빨려 들어가진 않았으나 Kelt보다 상대적으로 우회 시설물 진입이 빨랐던 Smolt의 결과를 고려한다면 Smolt보다 유영능력이 낮은 어류의 경우에는 터빈 입구로 빨려 들어가 사망할 확률이 높을 것으로 예상된다. 따라서 이러한 사망률을 줄이기 위해서는 터빈 입구과 우회 시설물 입구 사이에 충분한 공간이 확보되어야 하며 수위 조절댐내의 유속을 완화시킬 수 있는 방법이 강구되어야 할 것으로 생각된다.

참고문헌

Carr, J.W. and F.G. Whoriskey. 2008. Migration of silver American ells past a hydroelectric dam and through a coastal zone. Fish. Manage. Ecol., 15:393-400.

Choi, J.Y. and K.J. Lee. 2004. Fish ways at rivers and dams: current status and future installation and management. Korean Environment Institute. 1-144.

Okanagan Nation Alliance. 2006. *Report*: Survey of barriers to anadromous fish migration in the Canadian Okanagan sub-basin, Okanagan Nation Alliance. 1-31.