

# 수치모형을 이용한 하천변 생태계 평가 및 계획 - HEC-EFM 소개 -



**박 문 형** |  
한국건설기술연구원 하천해안연구실  
수석연구원  
moon@kict.re.kr



**김 원** |  
한국건설기술연구원 하천해안연구실  
실장  
wonkim@kict.re.kr

EFM(Ecosystem Functions Model) 등이 예이다. 두 모형 모두 어류와 식생 등 하천의 생태계의 변화예측 및 평가, 서식지에 적합한 장소 선정 등의 계획에 사용된다. 특히, HEC-EFM은 미국의 캘리포니아주의 Central Valley 지역의 홍수피해 저감 종합계획 수립(2009~2011)에서 연어의 산란 및 미루나무의 발아에 적절한 조건을 분석하는데 활용되었다.

## 1. 서론

댐건설, 제방증고, 하도준설 등 이치수 목적의 하천사업은 생태계의 교란을 수반하게 되므로 건전한 하천환경을 조성하기 위해서는 생태계에 대한 평가 및 보존 방안 등을 세밀하게 검토할 필요가 있다. 그렇지만 현재 하천공사를 위한 기본계획인 하천기본계획 수립시 하천의 생태환경 현황조사, 영향예측 및 저감방안 등을 반영하고 있으나, 정성적인 분석에 그치고 있다.

이에 반하여 국외에서는 하천환경 및 흐름양상(flow regime) 변화가 생태계에 미치는 영향을 정량적으로 예측하고 평가하기 위한 수치모형의 개발이 1990년대부터 이루어져 왔다. 유럽의 CASiMiR(Jorde, 1996), 미국 공병단의 HEC-

## 2. 모형의 개요

HEC-EFM은 하천의 흐름양상 변형 따른 하천내 생태계의 반응을 해석하기 위해 미공병단 수공학센터(Hydrologi Engineering Center, HEC)에서 개발한 모형이다. EFM의 개발은 1998년 미국 캘리포니아 주의회에서 Central Valley의 홍수방어 종합대책 수립을 승인하면서 시작되었다. 당시 캘리포니아 주정부와 미공병단에서는 홍수피해저감과 생태계복원을 효과적으로 계획하기 위한 방안을 모색하였으며, 하천개수에 따른 생태계의 반응평가와 복원작소 선정 등의 계획을 효과적으로 수행할 수 있는 EFM개발에 착수하였다. 이후 2003년에 베타버전이 나왔으며, 2018년에 EFM이 첫선을 보였다. 2013년 1월 발표된 ver.3.0이 최신 버전이다. HEC-

EFM을 통한 해석에는 수리·수문 특성과 생태 특성 사이의 통계적 해석, 수리모형, GIS를 이용한 결과 표출 등으로 구성되어 있는데, 수리계산은 HEC-Ras 등과 같은 기존에 개발된 모형을 이용한다.

EFM을 이용한 해석에서 생태특성과 수문자료의 관계를 정의하는 것이 가장 중요하다. 수문자료는 대상지역의 수위 및 유량이고 생태적 특성은 ① 계절, ② 특정홍수의 빈도, ③ 지속기간, ④ 수위 저하율로서, 각 특성을 통계적으로 해석한다. 이들 입력자료에 대해서는 모형의 구성 및 적용사례에서 구체적으로 설명하였다. EFM에서는 어류, 식생 등의 생물의 종과 수에는 제한은 없으며, 위에서 언급한 생태적 특성만 정의하면 된다. 이 때 각 종간에는 간섭이 없는 것으로 가정한다.

### 3. 모형의 구성

EFM은 연구자에 의해 정의된 특정종의 성장기준에 따른 수위 및 유량의 시계열 자료를 통계

적으로 분석하는 프로그램이다. 이러한 일련의 과정은 ① 성장조건 설정 - ② 통계분석 - ③ 결과표출로 구성되어 있다.

사용자 인터페이스는 해석대상에 대한 전반적인 설명과 흐름조건에 대한 자료를 정의하는 탭(properties tab, Fig. 1), 대상 생물의 성장조건을 정의하는 탭(relationships tab, Fig. 2), 흐름조건과 성장조건에 대한 통계적 분석결과를 표출하는 탭(Tables tab, Fig. 3), 그리고, 동일종에 대한 성장과 소멸의 동적관계를 정의하는 탭(combo relationships tab, Fig. 4)로 구성되어 있다.

EFM을 이용한 생태계 평가에서 가장 중요한 것은 생물의 성장조건을 정의하는 것(relationship tab)으로서, 대상종을 정의하고, 대상종의 성장조건을 통계적 인자, 지형인자 등으로 입력하게 된다. 통계적 인자는 어류 산란 또는 식생의 발아 등에 적합한 시기와, 홍수규모(재현기간), 지속기간, 수위변화율 등이 있다. 지형인자에서는 적정수심 및 식생의 유무 등을 정의한다. 이들 값들의 적용 예는 다음 장에 서술하였다.

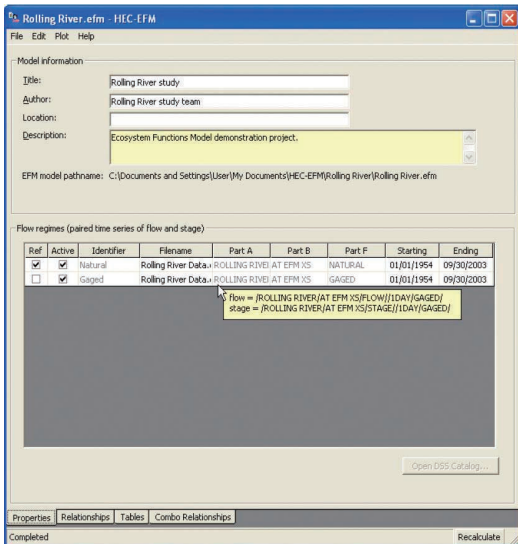


Fig. 1. Properties Tab

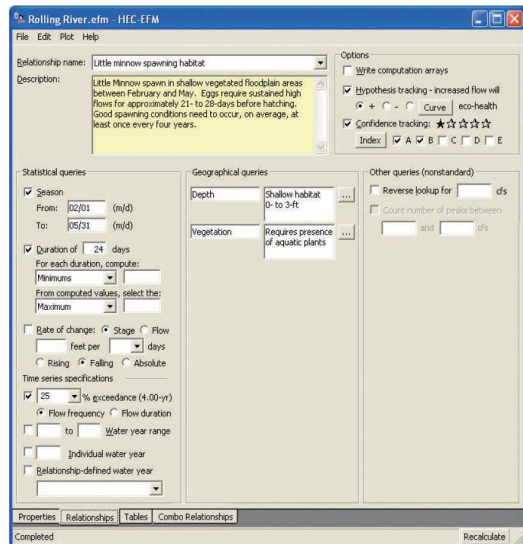


Fig. 2. Relationships Tab

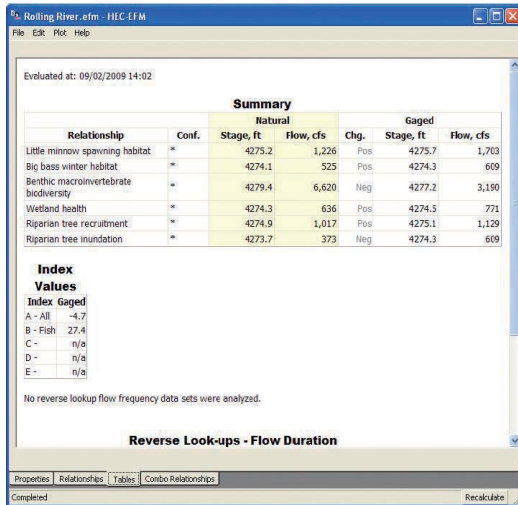


Fig. 3. Tables Tab

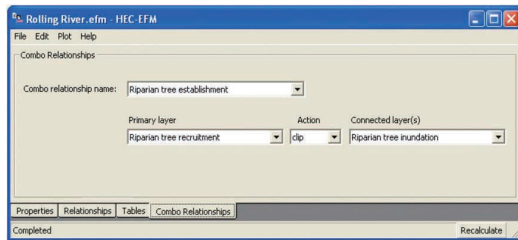


Fig. 4. Combo Relationships Tab

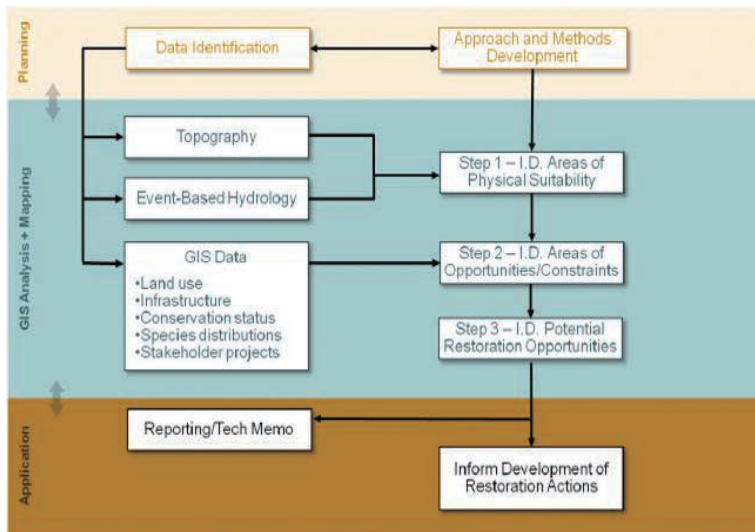


Fig. 5. Floodplain Restoration Opportunity Analysis Approach(DWR)

#### 4. 적용사례

미국 캘리포니아주에는 Sacramento River와 San Joaquin River가 흐르는 Central Valley구역에서 상습적으로 발생하는 홍수의 피해를 저감하기 위한 종합대책을 2009년~2011년 사이에 수립하였다(DWR, 2012). 이 계획은 공공의 안전(public safety), 환경에 대한 책무(environmental stewardship), 장기적인 경제안정(long-term economic stability)을 목적으로 수립되었으며, 향후 20~25년간 1400만~1700만 \$의 사업비를 계획하였다. 주요 사업내용으로는 우회수로 건설과 기존 저수지 저수용량 확충, 보 신규 건설 및 보강 등과 같은 구조물 대책, 기존 저류시설의 유사관리 등의 유사제거 사업, 도시지역 개량(200년 빈도 홍수 방어), 중소도시 개량(100년 빈도 홍수 방어), 농촌지역 개량 등의 치수증대 사업과 어류 이동로로 개선, 생태계 복원, 하천 사행화 등 생태환경 개선 등이 주요 사업이다.

이 계획에서 홍수터 복원을 위한 분석(FROR: Floodplain Restoration Opportunity

Analysis)을 수행하였다. 주요 내용으로는 물리적 적합지역 정의, 생태계 위협 및 기회 요소, 복원가능성 분석 등이 있으며, 전체 개념도는 Fig. 5와 같다. 이러한 분석에서 연어와 미루나무의 서식환경을 조성하기 위해 HEC-EFM을 이용하여 시범지역에 대해 분석하였다. 시범지역은 Fig. 6에 제시된 lower Feather River의 34km 구간을 선정하였다.

연어의 경우 산란가능

Table 1. Ecosystem Functional Relationships

	season(m/d)		duration(d)	rate of change(ft/d)	return period(y)
Salmon Rearing Habitat Formation	03/15	05/15	7	-	1.52
Cottonwood Seedling Germination	04/01	06/15	14	0.084	10
Cottonwood Seedling Inundation (Death)	06/15	10/30	14	-	10
Cottonwood Recruitment	06/15	10/30	14	-	1.02

시기에 대한 조건을 부여하였으며, 미루나무는 발아 및 활착 등 생존조건과 침수에 의한 고사

조건을 부여하였다. 시범지역의 하류 2재 지점에 대한 서식조건 검토결과는 table 2와 같다.

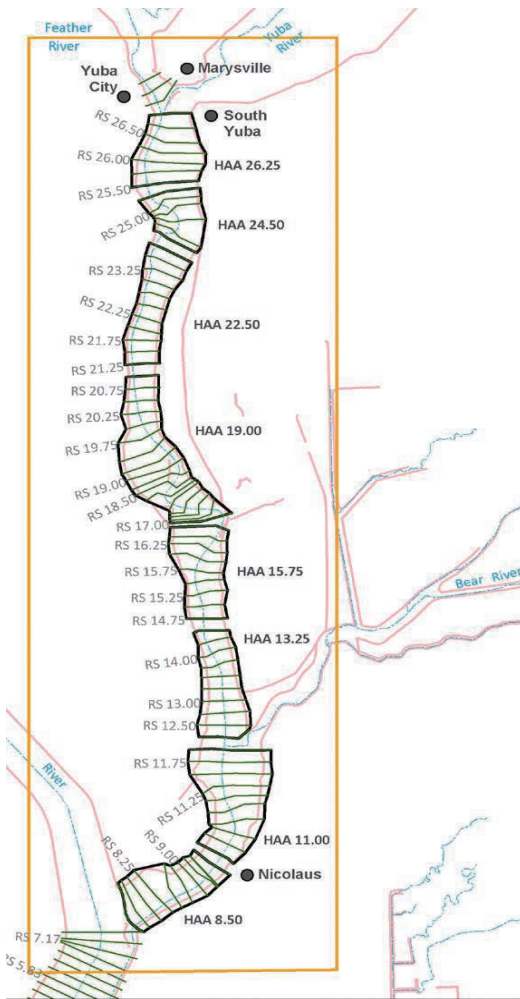


Fig. 6. Habitat Analysis Areas  
Table 2. Examples of HEC-EFM Results

#### 4. 결론

이 원고에서는 미국의 홍수피해저감 대책 수립시 고려되는 생태계 영향에 대한 검토를 간략하게 살펴보았다. 우리나라도 하천사업시 환경영향 평가 등 생태계 보존을 위한 노력을 하고 있지만, 좀더 과학적으로 접근할 필요가 있으며, 해외에서 개발된 모형을 적용할 수도 있을 것이다. 그렇지만 미국의 경우와 같은 구체적인 평가를 수행하기 위해서는 양질의 수문자료 구축, 고성능의 수리모형 구축 등과 같은 기초적인 연구가 수행되어야 한다. 특히 생물의 생장 및 억제에 지배하는 환경 및 우점종은 지역별로 큰 편차를 갖는다. 따라서, 이 부분에 대한 구체적인 실증적 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다. 이를 위해서는 생물학 등과의 학제간 융합이 필수적일 것이다.

#### 감사의 글


이 연구는 한국건설기술연구원의 2013년 주요사업에 의해 수행되었습니다. 

Table 2. Examples of HEC-EFM Results

Ecosystem Function Relationship	RS 11.00		RS 8.50	
	Stage (m)	Flow (m <sup>3</sup> /s)	Stage (m)	Flow (m <sup>3</sup> /s)
Cottonwood Seedling Germination	83.01	232.1	75.8	216.2
Cottonwood Seedling Inundation	88.9	339.4	84.0	348.8
Cottonwood Recruitment	75.1	85.4	62.7	72.7
Salmonid Rearing Habitat	78.1	139.9	71.5	161.0

### 참고문헌

1. Department of Water Resources, CA (2012). *2012 Central Valley Flood Protection Plan*, CA.
2. Department of Water Resources, CA (2012). *2012 Central Valley Flood Protection Plan Attachment 9F: Floodplain Restoration Opportunity Analysis*, CA.
3. U.S. Army Corps of Engineering (2013). *HEC-EFM Ecosystem Functions Model Quick Start Guide*, Hydrology Engineering Center, Davis, CA.