

# 국외 홍수피해액 평가 모델 현황 및 비교



**김길호** ●●●

한국건설기술연구원 수자원·하천연구소  
신진연구원  
kgh0518@kict.re.kr



**김경탁** ●●●

한국건설기술연구원 수자원·하천연구소  
연구위원  
ktkim1@kict.re.kr



**최천규** ●●●

한국건설기술연구원 수자원·하천연구소  
신진연구원  
cheonkyuchoi@kict.re.kr

기관, 보험회사, 연구기관 등은 홍수피해 평가 모델을 사용목적에 맞게 발전시켜 왔으며, 이로부터 홍수에 따른 사회·경제적 영향을 평가하고 있다.

홍수피해를 추정하는 것은 수리·수문학적, 사회·경제학적 요소들이 고려되는 복잡한 과정이며, 모델의 이용목적에 따라 차별적으로 정의되기도 한다. 예를 들어, 보험산업에서는 재난 시물레이션을 통한 빈도와 심도로부터 피보험자에 대한 잠재적 손실(insured damage)을 추정하기 위한 모델(catastrophe model)을 개발하는 반면, 정부기관이나 학계의 경우 사회 전반적인 경제적 손실을 정량적으로 추정하기 위한 모델 개발에 심혈을 기울인다. 여기서, 공공목적으로 개발된 모델은 위험지구 검토, 토지이용계획, 홍수위험지도, 경제성 분석, 투자우선순위 결정 등 다양한 계획수립 과정에 활용되고 있다. 본고에서는 홍수에 따른 사회·경제적 피해규모를 계량화하여 공공목적으로 활용하기 위해 개발된, 국외 주요 홍수피해 추정 모델을 소개하고, 각각의 특징을 비교해 보았다.

## 1. 서론

집중호우로 인해 발생하는 홍수는 상당한 사회적 비용을 유발하고, 대부분의 국가에서 그 피해를 저감하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 지난 수십 년 동안 홍수로 인한 경제적 피해는 그 규모가 증가하는 추세인데, 이는 기후변화에 따른 극치사상의 증가와 경제성장에 따른 인구증가 및 도시화에서 그 원인을 찾을 수 있다. 각국의 정부

## 2. 국외 모델 현황

본고에서 소개하는 국외 모델은 미국과 유럽권에서 공공목적으로 개발된 것으로, FLEMO(독일), Damage Scanner(네덜란드), RAM(ICPR),

Flemish Model(벨기에), MCM(영국), HAZUS-MH Flood Model(미국), JRC Model(European Commission/HKV)이다. 상기 모델은 주요 정부 부처 혹은 유역공동 관리 위원회에서 개발된 것으로, 그 동안 여러 문헌에서 언급되어 모델에 대한 충분한 배경정보가 있으며, 특히 홍수피해 영향인자로 침수심(inundation depth)을 공통적으로 사용하고 있다.

### (1) Hazus-MH Flood Model

Hazus-MH 모델(FEMA, 2012)은 자연재난에 따른 잠재적인 사회·경제적 손실을 추정하기 위한 목적으로 미국 재난관리 종합기구인 연방재난관리청(FEMA, Federal Emergency Management Agency)에 의해 개발되었다. 여기서 다루는 자연재난은 홍수, 허리케인, 지진이며, 분석툴(S/W)은 현재 ArcGIS Extension 형태

로 설계되어 일반 사용자에게까지 제공되고 있다. FEMA에서는 Hazus-MH에서 필요로 하는 인벤토리 자료의 효율적으로 관리하고 배포하기 위해 CDMS(Comprehensive Data Management System)를 서비스 중이다. Hazus-MH는 잠재적인 홍수위험을 공간적으로 평가하거나, 재해경감 사업, 재해예방, 대응 및 복구 등 전반적인 재해관리 단계에 사용되고 있다.

Hazus-MH Flood Model에서 다루는 피해대상물(damage object)은 크게 일반건물, 필수시설, 고위험시설, 수송 및 라이프라인, 농작물, 차량, 인명이며, 이들은 각각의 평가과정에서 다양한 유형으로 분류된다. 분석과정을 살펴보면, 크게 홍수위해분석(hazard analysis)과 홍수손실편가(loss analysis) 과정으로 구분되는데, 우선 홍수위해분석은 홍수빈도, 표고정보 등의 기초자료로부터 범람해석을 실시하여 침수경계, 침수심 등을 설명하는 침수구역도를 생성하는 과정이다. 여기

표 1. Hazus-MH Flood Model의 주요 기능

구분	내용	
Hazard	목적	- 침수심, 침수범위를 계산하여 GIS 자료형태의 침수구역도를 생성
	특징	- 범람해석 과정에서는 별도의 유출해석 기능은 없으나, 미국 지질조사국의 빈도-유량 회귀식을 사용하여 각 수계의 첨두유량을 산출하고, 이를 실제 관측된 유량으로부터 보정 - 지점별 첨두수위를 제내지로 연장, 보간하여 생성
Inventory	목적	- 재난에 노출된 피해대상물의 정보, 분포(위치) 등을 설명하기 위해 사전 정의된 아키텍처 형태로 재설계되어 제공되는 지형공간자료
	특징	- Census block(Hazus-MH에서의 최소 공간단위) 기준으로 취합된 자료(aggregation data), 혹은 오브젝트 단위 자료(site-specific data)
Damage	목적	- 재난강도(예: 침수심)에 따른 피해대상물에 대한 취약성 평가
	특징	- 과거 FIA, 미공병단에서 개발된 손상함수를 보정하여 개발된 함수 - 라이브러리 형태로 제공되며, 대표함수와 그 밖의 다양한 함수를 선택적으로 사용 가능 - 모델링, 전문가의견, 과거자료를 기반으로 개발한 사회기반시설의 고장확률과 손상함수
Loss	목적	- 피해대상물별 손실액을 계산하여 리포팅
	특징	- 건물, 차량, 농작물 등에 대한 손실액, 인명손실(부상자수, 사망자수) 정보 제공 - 홍수 초과확률을 고려한 연평균손실(annual loss) 계산

서는 지형자료로서 DEM을 이용하여 침수해석이 가능하며, 정밀한 분석이 필요한 경우 FIT(Flood Information Tool) 기능을 사용할 수 있다. 다음의 홍수손실평가 단계는 사전에 구축된 인벤토리 DB와 손상합수, 각종 파라미터 등을 정의하고, 홍수위해분석 결과와 연계하여 직·간접적인 손실을 정량화하는 과정이다. Hazus-MH Flood Model의 특징을 S/W에서 제공되는 기능적 측면에서 정리하면 <표 1>과 같다.

## (2) FLEMO Model

FLEMO(Flood Loss Estimation MOdel)는 독일 내 지구과학연구센터(German Research Centre for Geoscience)에서 개발된 것으로, 로컬에서 국가단위까지 적용되어 독일 내 홍수위험도를 과학적으로 평가하는 데 활용되고 있다(Kreibich et al., 2009). FLEMO 모델군은 Rule 기반의 다원적 홍수피해 추정 모델로서, 민간부문에서 주거건물에 대한 직접유형피해액을 산정하는 FLEMOps와 비주거건물에 대한 건물, 설치장비, 재고자산의 피해액을 산정하기 위한 FLEMOcs로 단계적으로 개발되었다.

FLEMOps에서는 5개 등급의 침수심과 3개의 건물 유형, 2개의 건물등급(quality), 3개로 구분한 오염도(contamination), 3개로 구분한 예방조치(precaution) 유형을 기준으로 홍수피해를 산정하며, FLEMOps에서 사용하는 손상합수(침수심-손상률 관계)는 <그림 1>과 같다. 침수심으로 결정되는 손상률에서 <표 2>와 같이 오염도와 예방조치를 추가적으로 고려하는 부분은 다른 모델과 차별된다. FLEMOcs 또한, FLEMOps와 비슷한 분석 체계를 가지며 5개 등급으로 구분한 침수심, 4개의 섹터, 종사자수를 기준으로 3개 등급으로 구분되는 회사규모, 3개로 구분한 오염도 및 3개로 구분한 예방조치를 기준으로 홍수피해액을 산정한다.

이 모델은 2002, 2005, 2006년에 발생한 독일

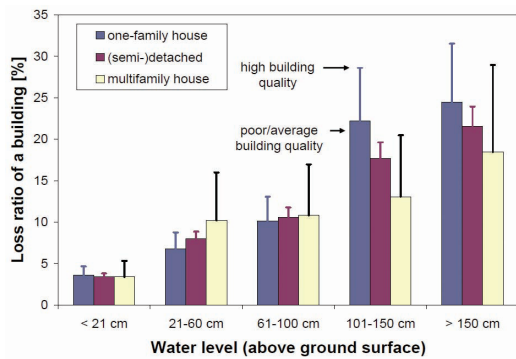


그림 1. FLEMOps에서의 손상합수

표 2. 오염도와 예방조치에 대한 고려

		private precaution		
		none	good	very good
Contamination	none	0.92	0.64	0.41
	moderate	1.20	0.86	0.71
	severe	1.58	-	-

의 Elbe와 Danube 지역의 경험적 홍수피해자료를 바탕으로 개발되었다. 로컬단위(local level)로 분석할 경우 건물의 높이를 사용하며, 지역이나 국가단위(meso-level)로 운용하기 위해서는 센서스자료와 토지이용자료를 필요로 한다. 주거 및 산업건물의 자산가치는 해당하는 토지이용 분류에 따라 계산된다.

## (3) Damage Scanner Model

네덜란드에서 홍수피해를 추정하기 위한 표준 방법은 HIS-SSM 모델이다(Kok et al., 2005). HIS-SSM 모델은 정부기관에서 지역적 혹은 국가전체의 잠재 홍수피해액을 산정 시 이용되며, 홍수방어시설의 경제적 효과를 평가하기 위해 광범위하게 사용되고 있다. 그러나 HIS-SSM는 독립된 건물, 산업 지구, 사회기반시설들의 세부적인 정보를 과도하게 요구하는 단점이 있어, 보다

간편하게 적용가능한 Damage Scanner Model(이하 DSM)이 개발되었다(Klijn et al., 2007). DSM은 HIS-SSM 모듈에서의 경제적 가치와 피해함수를 기반으로 개발되었지만, 객체단위의 분석이 아닌 집계된 토지이용 자료를 기반으로 하는 점에서 큰 차이가 있다.

DMS에서는 사용되는 손상함수는 상대함수 형태이며, 손실평가를 위해 필요한 자산가치는 토지이용 속성(토지피복도로부터 확인)에 대하여 면적

당 최대피해액을 정의하고 있다. 최대피해액은 재건비용(건물), 대체비용(건물내용물)과 시장가격(농업)을 기준으로 하며, 지역간의 차이는 두고 있지 않다. DSM에서의 손상함수(그림 2)는 유속은 고려하지 않은 침수심만을 기준으로 평가하며, 간접피해는 직접피해액에 5%의 값으로 계산된다. 이러한 DSM은 네덜란드의 다양한 기후 및 토지이용에 따른 미래의 홍수위험 추정을 위해 사용되고 있다.

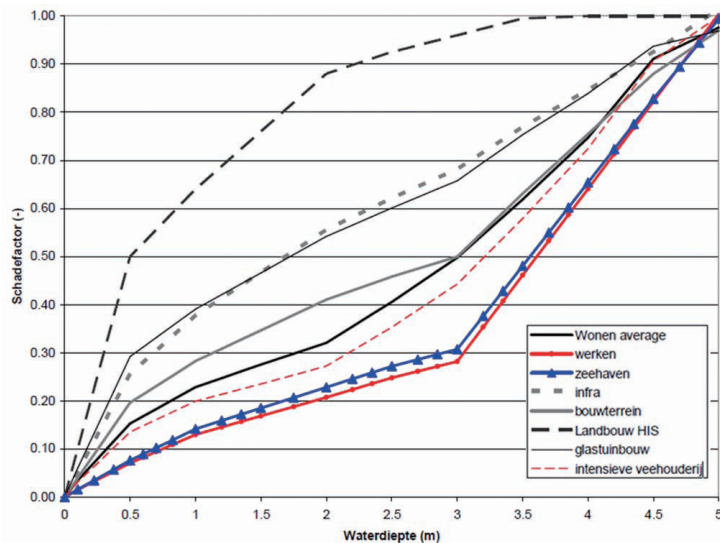


그림 2. DSM에서의 건물 손상함수

#### (4) Flemish Model

Flemish Model은 벨기에의 플랜더스 지방 환경관리청에 의해 개발된 홍수피해 산정 모델이다(Vanneuville et al., 2006). Damage Scanner와 유사하게 이 모델은 토지이용자료를 사용하여 지역적, 국가적 스케일 기반의 분석을 위해 설계되었다. 이것은 벨기에 내 홍수에 취약한 지역을 검토하고, 효율적인 홍수방어 투자사업의 경제성 분석을 위해 사용되고 있다. 이 모델에서 주거건물 내용물 피해액은 건물피해(structural loss)의 50%로 가정한다. 그리고 간접피해는 산정한 직접

피해액을 기준으로 비율(%)로 산정하는데, 농업의 경우 10%, 산업의 경우 40%를 사용한다.

#### (5) Multi-Coloured Manual

Multi-Coloured Manual(이하 MCM)은 수자원계획 및 정책을 지원하고 투자사업의 효과를 정량적으로 평가하기 위한 목적으로 영국에서 개발된 홍수피해 산정 가이드라인이다. 이것을 기초로 Penning-Rowsell et al. (2010)은 홍수로 인한 피해액과 편익을 산정하기 위한 추가적인 방법론과 사용가능한 손상함수를 개발, 확장한 바 있



다. MCM은 유럽권에서 개발된 여타 모델과는 대조적으로 대상자산의 직접적인 공간적 위치를 참조하는 객체단위의 자산자료를 사용하며, 영국 파운드 단위의 절대함수 형태의 손실함수를 사용한다. 이 함수는 다양한 형태의 주거, 상업, 공업건물에 대해 What-if 방식에 기반을 둔 전문가 의견(expert opinion)을 토대로 개발되었으며, 물리적 건물의 취약성과 지하실 존재유무를 고려하였다.

사회기반시설에 대한 피해는 영향을 받은 도로에서 관측된 교통량과 차량유형별 이동시간, 이동비용을 기반으로 분석되며, 사회기반시설의 물리적 피해를 산정하기 위한 직접적인 피해함수는 제공하고 있지 않다. 단지 2007년 피해사례를 기준으로 마련된 비율계수를 활용하며, 일반자산 피해액을 기준으로 사회기반시설 피해액은 도시지역의 경우 자산손실의 5.6%, 비도시지역에서는 10.7%로 제시하고 있다. MCM에서는 간접피해액의 계산은 자칫 문제가 될 수 있다고 언급하며, 간접피해 산정 방법론은 제공하지 않았다.

#### (6) RAM (Rhine Atlas Damage Model)

1995년 Rhine 유역에서 발생한 홍수로 인해 1998년 Action Plan on Floods가 채택되고, Rhine 지역 내 홍수위험 요소를 확인하기 위해 많은 노력이 이루어졌다. 이로부터 홍수위험 저감을 위한 각종 계획 및 정책 수립을 지원하기 위한 목적으로 Rhine Atlas damage Model(이하 RAM)이 개발되었다(ICPR, 2001). RAM은 본고에서 소개하는 모델 가운데 가장 간략한 자산분류체계를 가진다. 토지이용자료(CORINE)에서 5개의 토지이용 속성을 사용하며, 건물을 포함하는 지역은 3개로 재분류하고 있다. 손상함수와 연관된 최대피해액은 HOWAS 홍수피해 데이터베이스와 전문가 의견을 기반으로 결정되었다(ICPR, 2001). 주거, 상업, 사회기반시설에 대해 RAM은 건물과 건

물내용물에 대해 피해액을 평가하고 있으며, 이때 모든 피해액은 감가상각된 가치를 기준으로 하고 있다. 보험자료와의 비교를 통해 ICPR(2001)은 재구매비(대체비용)를 기준으로 평가된 결과는 감가상각된 가치(현재가)를 기준으로 한 경우와 비교할 때 2배 이상 높다고 하며, RAM 또한 MCM과 같이 간접손실은 다루지 않는다.

#### (7) JRC Model

유럽위원회 공동연구센터(JRC, European Commission's Joint Research Centre)는 유럽 내 홍수위험 대책 일환으로 범 유럽 피해산정 모델(pan-European damage model)을 개발하였다(Huizinga, 2007). 이 모델은 기후변화 상황에서의 유럽 내 홍수위험에 대한 예측에 주로 활용되었다. JRC 모델은 EU-27 국가에 대한 각기 다른 피해함수와 최대피해액을 사용한다. 자산가치는 CORINE 토지이용자료를 기반으로 하고 피해자산은 5개(주거, 상업, 산업, 도로, 농업)로 구분하고 있다. 모든 그리드 셀에서의 침수심은 가중평균 침수심-피해함수, 최대피해액과 곱하게 되며, 기개발된 9개 국가의 피해함수와 연구자료가 없는 국가에서는 특정자산에 대한 이용가능한 모든 피해함수의 평균치를 사용한다. 이 모델은 EU-27 국가 또는 지역에 사용이 가능하고, GDP/capita 단위로 분석되며, 국가수준 혹은 NUTS 2 수준(80만에서 3백만명의 인구규모)에서 적용가능하다.

### 3. 모델 특징 비교

위에서 소개한 모델은 홍수에 따른 피해액을 산정하기 위한 목적은 같으나, 피해액을 산정하는 접근방식에서 다소 차이가 있다. 모델간의 특징 비교는 기존 연구를 참고하여 적용범위, 국가 내

지역적 차별성, 분석단위, 영향인자, 모델개발에 사용된 자료, 자산가치 평가 방법, 함수형태를 기준으로 검토하였다. 7가지의 비교항목이 가지는 의미는 아래와 같으며, 이를 기준으로 7개의 모델을 비교하면 <표 3>과 같다.

(1) 적용범위: 적용범위(로컬에서 국가전체)에 따라 모델에서 사용하는 자료의 해상도와 자산분류체계 등에서 차별화된다. 국가전체(혹은 공동관리 구역)에 대한 적용을 목적으로 개발된 모델은 토지이용도와 같은 자료수집이 용이한 자료를 통해 자산위치, 분포를 결정한다. 반면, 로컬지역에 대한 적용 목적으로 개발된 모델은 주로 오브젝트(객체) 단위의 고해상도 자료를 사용하므로 사전 구축된 DB가 없는 경우 많은 시간과 인력이 소요된다.

(2) 지역적 차별성 고려: 분석과정에서 영토가 넓은 국가인 경우 물가, 인건비 등의 차이를 고려하기 위해 지역 간에 서로 다른 자산가치 자료, 파라미터 등을 사용하기도 한다.

(3) 분석단위: 피해추정의 기본단위로 개별 개체(예: 개별 건물에 대한 직접적인 위치정보 활용) 또는 일정 공간(면)에 집계된 자료를 하기도 하며, Hazus-MH와 같이 객체자료와 집계 자료를 피해대상물 특성에 따라 혼합하여 사용하기도 한다.

(4) 영향인자(충격 매개변수): 침수심, 침수기간, 유속, 오염도와 같이 손상 및 손실분석에 고려하는 수문학적 영향인자이다.

(5) 함수개발에 사용된 자료: 손상함수 등 피해모델을 개발하는 데, 과거 홍수사례로부터의 경험적 자료를 사용하였는지 또는 모의된 잠재홍

표 3. 주요 홍수피해평가 모델간의 비교

모델	개발 국가	적용 범위	지역적 차별성	분석 단위	영향 인자	사용자료	자산가치 평가기준	함수 형태
HAZUS-MH	미국	지역 지자체 국가전체	고려	면 객체	침수심 유속 침수기간	피해자료 전문가 의견	재구매비 현재가	상대함수
FLEMO	독일	지역 지자체 국가전체	미고려	면	침수심 오염도 예방조치	피해자료	재구매비	상대함수
DSM	네덜란드	도시 지자체	미고려	면	침수심	전문가 의견	재구매비	상대함수
Flemish Model	벨기에	지역 지자체	고려	면	침수심	피해자료	현재가	상대함수
MCM	영국	지역 지자체	미고려	객체	침수심	전문가 의견	현재가	절대함수
RAM	ICPR	지역 지자체	미고려	면	침수심	피해자료 전문가 의견	현재가	상대함수
JRC Model	JRC	지자체 국가전체 유럽권	고려 (GDP)	면	침수심	피해자료 전문가 의견	재구매비 현재가 시장평균가	상대함수

수로부터 가상(what-if)에 의한 판단적 자료를 사용하였는지에 따라 구분된다. 두 가지 방법마다 장단점이 있으며, 두 가지 자료를 혼용하여 개발하기도 한다.

- (6) 자산가치 평가 방법(최대피해액 산정 기준 가격): 객체(object) 또는 토지이용 클래스(land use classes) 당 최대로 발생가능한 피해액을 의미하며, 재구매비(완전대체비용, replacement costs, 예: 신축가격)와 감가상각된 비용(현재가, depreciated costs), 시장 평균가 등을 고려할 수 있다.
- (7) 함수형태: 침수심을 비롯한 충격 매개변수에 따른 피해함수의 형태를 의미한다. 이것은 사전에 미리 정의된 최대피해액(maximum damage value)을 기준으로 한 상대적 손상률(relative percentage damage) 또는 침수로 인한 절대적인 금전적 손실액(absolute monetary loss)으로 표현할 수 있다. 절대함수 형태로 접근할 경우 대상자산에 대한 별도의 자산가치에 대한 평가과정은 생략된다.

#### 4. 결론

현대사회에서 자연재난은 인구증가와 도시화, 인문사회의 복잡하고 다양한 네트워크로 인해 그 피해가 대형화되고 복잡화되고 있으며, 이로 인해 재난이 발생된 지자체뿐만 아니라 국가차원의 안정성에도 크게 영향을 미치고 있다. 이에 최근에는 재난관리의 패러다임이 단순히 재난 자체

의 강도, 심도만을 다루는 단편적이고 수동적 방식에서 재난에 노출된 피해대상물과 그 취약성(vulnerability)을 적극적으로 고려하는 위험도 관리(risk management) 방식으로 변화하고 있다. 본고에서 소개한 사회·경제적 피해 추정 모델은 이와 같은 위험도를 관리하고 이를 저감하기 위한 계획 및 정책수립 측면에서 훌륭한 도구가 될 것이다.

성공적인 홍수피해 추정 모델을 개발하기 위해서는 인벤토리 DB와 관련한 GIS/IT 분야, 자연재난 해석을 위한 기상·수자원분야, 취약성을 평가하기 위한 건축/시설 및 금융·보험 분야, 경제학 분야 등 다양한 영역의 전문가가 참여하는 학제간 접근이 필요하다. 특히, 최근의 GIS 기술의 발달로 다양한 자산정보를 활용할 수 있으며, 전통적인 방식인 면단위 자료가 아닌 대상자산의 직접적인 위치를 참조할 수 있는 객체단위 자료의 활용이 가능해졌다. 그러나 다양한 피해목적물에 대한 취약성 연구는 선진사례와 비교했을 때 많이 부족한 실정인데, 제도적으로 피해지역에 대한 다양한 현장조사로부터 재해정보 수집이 뒷받침된다면 보다 정확한 손상함수 개발이 가능할 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

본 연구는 국민안전처 재난예측및저감연구개발사업의 연구비 지원(MPSS-자연-2015-79)에 의해 수행되었습니다.

- 김길호, 김경탁 (2015) 홍수손실 평가를 위한 Hazus-MH 소프트웨어 소개. 한국방재학회지, Vol. 15, No. 1, pp. 62-71.
- 국민안전처 (2016) 풍수해 직접 · 간접 피해를 고려한 피해산정 및 예측 기술 개발(1차년도 연차보고서)
- FEMA (2012), Multi-hazard Loss Estimation Methodology Flood Model Technical Manual.
- Huizinga, H. J. (2007) Flood damage functions for EU member states, HKV Consultants, Implemented in the framework of the contract #382442-F1SC awarded by the European Commission &#8211; Joint Research Centre.
- ICPR (2001) Atlas of flood danger and potential damage due to extreme floods of the Rhine, International Commission for the Protection of the Rhine, Koblenz.
- Jongman, B., Kreibich, H., Apel, H., Barredo, J. I., Bates, P. D., Feyen, L., ... and Ward, P. J. (2012). Comparative flood damage model assessment: towards a European approach, Natural Hazards and Earth System Sciences, 12(12), pp. 3733.
- Klijn, F., Baan, P. J. A., De Bruijn, K. M., and Kwadijk, J. (2007) Overstromingsrisico's in Nederland in een veranderend klimaat, WL delft hydraulics, Delft, Netherlands, Q4290.
- Kreibich, H., Seifert, I., Merz, B., and Thieken, A. H. (2010) Development of FLEMOcs - A new model for the estimation of flood losses in companies, Hydrological Sciences Journal, J. Sci. Hydrol., Vol. 55, pp. 1302-1314.
- Penning-Rowsell, E., Viavattene, C., Pardoe, J., Chatterton, J., Parker, D., and Morris, J. (2010) The Benefits of Flood and Coastal Risk Management: A Handbook of Assessment Techniques, Flood Hazard Research Centre, Middlesex.
- Vanneuville, W., Maddens, R., Collard, C., Bogaert, P., de Maeyer, P., and Antrop, M. (2006) Impact op mens en economie t.g.v. overstromingen bekeken in het licht van wijzigende hydraulische condities, omgevingsfactoren en klimatologische omstandigheden, Vakgroep Geografie, Universiteit Gent, Gent, Belgium, MIRA/2006/02.