

영국 홍수량 산정 방법의 최근 동향 소개

(The revitalised FSR/FEH rainfall runoff method, UK)



이 효 상 |
 충북대학교 토목공학과/조교수
 hyosanglee@chungbuk.ac.kr

영국은 세계적인 기준으로도 많은 수문관측시설을 오랜 기간 운영하고 있는 대표적인 수문 선진 국가이다. 그러나 영국은 이러한 방대한 유량관측, 수문기상 자료 및 다양한 연구노력 등에도 불구하고, 아래 요크 지역의 홍수사건과 같이 매년 홍수 피해를 입고 있으며, 홍수빈도해석(Flood Frequency Estimation)등과 같은 현안을 완전히 해결하지 못하고 있다. 이러한 홍수 문제는 수문학자들에게 오랫동안 극복하기 어려운 과제로 남겨져 왔으며, 영국의 홍수량 산정 핸드북 (Flood Estimation Handbook, 1999)에서는 그 이유를 다음과 같이 두 가지로 분석하고 있다. 첫 번째로 홍수는 인류가 정확히 분석하거나 예측하기 어려운 불확실성이 큰 자연 현상이다. 홍수빈도해석의 출발 자체가 이러한 자연 현상에 바탕을 두고 있기 때문에 그 분석의 어려움이 있다. 두 번째는 전통적으로 영국의 많은 도시들은 홍수 발생시 큰 피해가 예상되는 하천에 인접하게 위치하고 있다. 이러한 도시들에 대하여

사회, 경제적인 요인으로 재현기간 큰 홍수(예, 50년, 100년 영국기준)에 대한 대책들이 적용되고 있다. 그러나, 일반적인 홍수빈도해석에 필요한 장기간의 관측자료가 모든 지역에서 확보할 수 있는 것은 아니며, 자료가 있다 하더라도 재현기간 별 홍수위험을 분석하기 위한 특별한 수문학적인 분석방법이 필요하다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 영국은 지속적인 연구를 통하여 홍수량 산정 가이드 라인(Flood Studies Report(NERC, 1975), Flood Estimation Handbook(IH, 1999), The revitalised FSR/FEH rainfall runoff method (CEH, 2007), 및 supplement reports(IH, 1977; 1979; 1983; 1985; 1991; 2007))을 제시하고 있으며, 홍수량 분석에 있어 표준 방법으로 적용하고 있다. 영국의 잉글랜드, 웨일즈, 스코틀랜드(북아일랜드 제외) 지역의 임의의 모든 유역(계측 및 미계측 유역 포함)에 일관된 홍수량을 산정할 수 있는 컴퓨터 전산 프로그램과 이를 뒷받침하는 유역 자료를 데이터 베이스 형태로 제공하고 있다. 본 기사는 최근의 영국의 홍수량 산정 방법의 개선방향(The Revitalised FSR/FEH rainfall runoff method)을 소개하고자 한다.



사진 1. 영국, 요크 중심가의 2010년 겨울 침수 사진
(<http://www.guardian.co.uk>)



사진 2. 영국, 남요크셔 지방의 2008년 여름 침수 사진
(<http://www.guardian.co.uk>)

The revitalised FSR/FEH rainfall runoff method

FSR 및 FEH에서 적용되고 있는 강우-유출관계 모형은 1975년, Flood Studies Report에서 제안한 방법으로 큰 변화 없이 지난 30여 년간 통계적인 방법(Statistical methods of flood frequency method)과 더불어 홍수수문곡선 및 홍수량 산정부분에 적용되고 있다. 이 방법은 국내에서 널리 적용되고 있는 단위도법과 유사하다. 그러나 다수의 엔지니어들은 기존의 방법에 의한 유량 산정부분이 현장의 상황을 반영하지 못하는 문제점 등을 꾸준히 제기하였으며, 일부 수문학자들은 단위도법에 바탕을 둔 기존 방법을 근본적으로 개선해야 한다는 의견을 모았다. 이에 기존의 FEH(Volume 4)의 강우-유출관계 모형을 대체하기 위한 “The Revitalised FSR/FEH rainfall runoff method” 연구를 영국 환경부(Environment Agency)의 지원을 받아 수행하여 1차 FEH보완 보고서와 강우유출관계모형(Revitalised Flood Hydrograph)을 완성하였다. 보고서와 ReFH방법의 간략한 적용실습 엑셀프로그램은 영국 생태수문연구소(Centre for Ecology and Hydrology, Institute of Hydrology의 후신)의 홈페이지에서 확인할 수 있다.

The Revitalised FSR/FEH rainfall runoff method 연구는 현재까지의 축적된 수문자료, 개선

된 분석방법 및 전산처리능력의 향상 등을 반영하였으며, ReFH모형은 강우-유출관계모형의 바탕이 되는 유역의 수문학적인 작용(Hydrological process)을 개념적으로 고려하여 최근에 발생하고 있는 홍수사상의 변화를 적극적으로 반영할 수 있는 모형으로 평가되고 있다.

The revitalized FSR/FEH design method의 주요 개선사항

ReFH모형은 기존의 FSR/FEH의 강우유출관계 모형의 단위도법과 손실모형을 개선한 방법으로 영국의 대표적인 개념적 강우유출모형인 Probability Distributed Model(Moore, 1985)을 도입하여 지표유출과 기저유출의 상호작용을 고려, 지표흐름과 기저흐름을 별도의 모형으로 고려하였다. 이를 통하여 기존의 FSR/FEH의 방법보다 현실적인 홍수수문곡선을 산정할 수 있다. 주요 개선사항은 다음과 같다.

- 유역의 수문학적인 작용을 고려한 손실 모형의 적용.
- 기저흐름의 고려.
- 유연한 형태의 단위도법의 적용.
- 유역의 선행습윤정도의 고려.

The Revitalised Flood Hydrograph (ReFH) model

ReFH 모형은 개념적 강우유출모형으로 유역단위의 주요 강우-유출관계(단기/장기 유출 모의)를 구현하기 위한 모형이다. 모형은 손실부분(Loss Model), 루팅 부분(Routing Model) 및 기저흐름 부분(Baseflow Model)으로 구성되어 있으며, 개념적인 개요도는 다음 그림1과 같다.

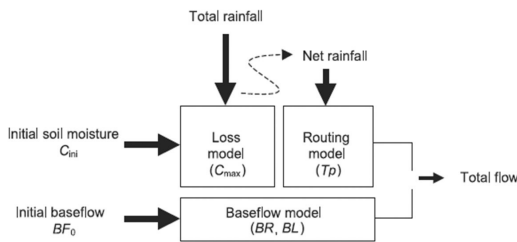


Figure 2.1 Schematic representation of the ReFH model

그림 1. ReFH 모형의 개요도 (The revitalised FSR/FEH rainfall runoff method)

손실 모형 부분(Loss model)은 영국에서 폭넓게 적용되고 있는 Moore (1985)의 PDM 모형을 바탕으로 하고 있으며, 아래 그림 2는 모형의 토양저류 부분(Soil Moisture Accounting)의 개략도이다. PDM모형은 홍수분야의 차세대 연구인 장기유출모의를 통한 홍수빈도 해석연구의 기본 강우유출 모형으로 적용되고 있으며(Lamb, 1999; Calver et al, 2005), 영국 환경부의 실시간 홍수 예-경보 모형(Moore, 1999), 그리고 기후변화에 따른 소규모 유역의 유출특성 변화 연구(Prudhomme et al, 2003) 등에 폭넓게 적용되고 있다. 루팅 모형 부분에서는 기존의 FSR/FEH의 표준 단위도법(standard triangular-shaped instantaneous unit hydrograph, IUH)을 개선한 그림2에서와 같은 Kinked Triangle 단위도법을 적용하고 있다. 이는 유출이 장기간에 지속되는 영국 유역의 특성을 반영한 부분이다. 기저흐름부분에서는 기여면적(Contributing Area) 개념을 바탕으로 한 선형저류함수 모형을 적용하고 있다. 모형의 자세한 설

명은 앞서 제시한 홈페이지의 FEH의 1차 보완 보고서를 참조하기 바란다.

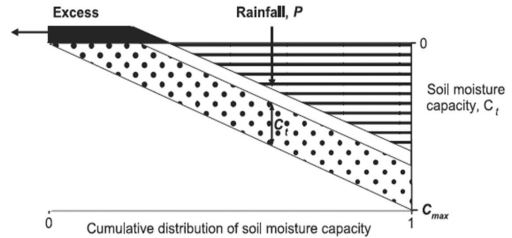


Figure 2.2 Equal water content C_i across stores of different capacity

그림 2. ReFH모형의 손실부분의 개략도(The revitalised FSR/FEH rainfall runoff method)

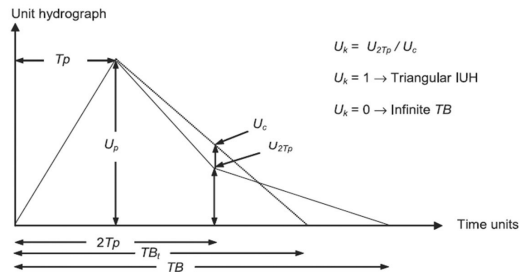


그림 3. ReFH모형의 루팅부분의 개략도(The revitalised FSR/FEH rainfall runoff method)

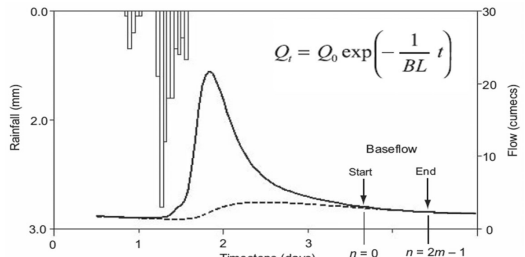


그림 4. ReFH모형의 기저흐름 개요도(The revitalised FSR/FEH rainfall runoff method)

ReFH 모형의 적용

대상 유역에 대하여 홍수수문곡선(관측수문곡선 이거나 설계홍수수문곡선)을 산정하기 위하여, 모형의 각 부분의 매개변수(손실부분의 Cmax, 루팅부분의 Tp, 기저흐름부분의 BL과 BR)를 산정하여야 한다. 대상유역의 수문자료 여건에 따른 각각의 산정 방법은 다음과 같으며, 그림 5에 흐름도로 표

시하였다.

- 1) 계측 유역: 관측자료의 분석을 통하여 매개변수를 직접적으로 산정함.
- 2) 미계측 유역: 유역특성인자를 통하여 매개변수를 산정함(계측된 유역의 매개변수와 유역 특성인자들의 상관관계를 분석하여 매개변수 지역화 결과를 활용함)
- 3) 미계측 유역: 인접한 계측유역의 매개변수와 유역특성인자로부터 매개변수를 산정함(위의 방법들의 조합)

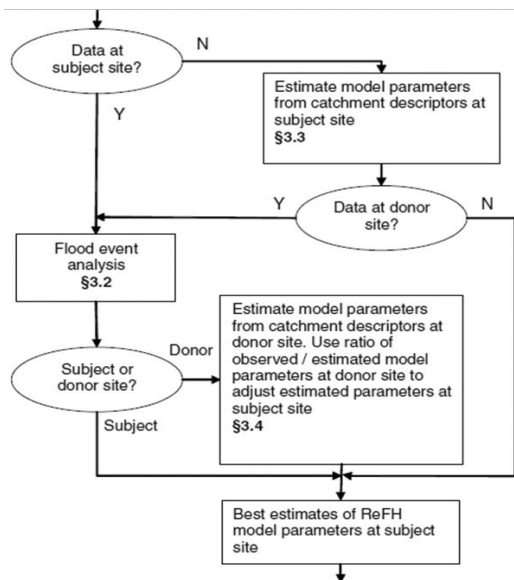
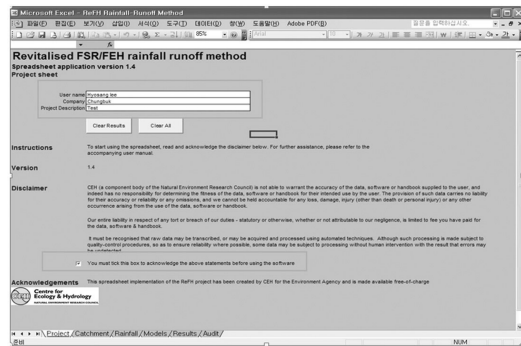


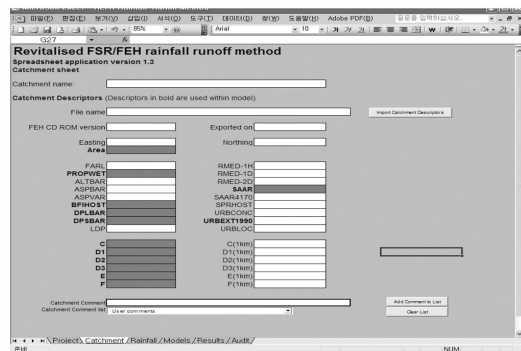
그림 5. ReFH 모형의 매개변수산정 흐름도(The revitalised FSR/FEH rainfall runoff method)

ReFH 모형을 구축한 후 실측 강우자료를 입력하여 홍수수문곡선을 산정하거나, 설계 강우주상도를 입력하여 설계홍수수문곡선을 산정하는 일반적인 과정으로 홍수분석을 수행한다. ReFH의 본 프로그램은 Wallingford Hydrosolutions Ltd에서 구입이 가능하며, ReFH의 간략한 실습을 위한 엑셀 프로그램은 CEH웹페이지에서 무료로 다운로드 가능하다. 다음 그림은 임의의 미 계측 유역의 설계 홍수량 산정을 위한 ReFH 엑셀프로그램의 적용 예시이다.

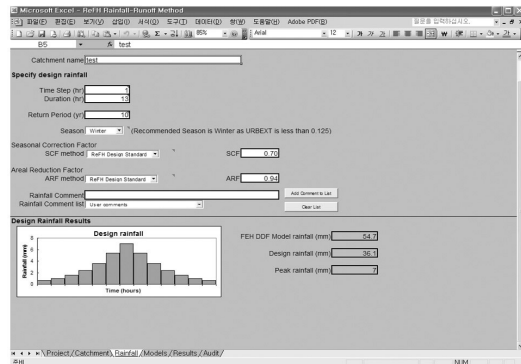
a) 엑셀 적용 프로그램의 시작

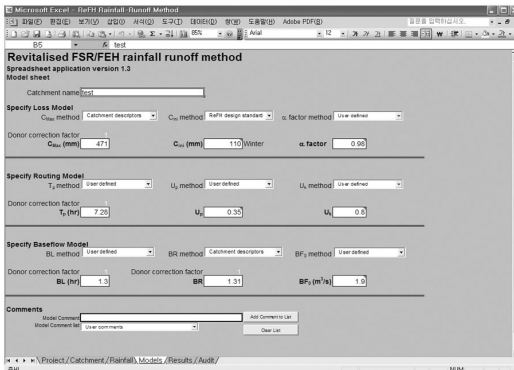


b) 대상 유역의 선정: 영국지역의 임의의 모든 유역(0.5km²이상) 선정할 수 있으며, 주요 유역특성인자가 GIS 기반의 프로그램으로 산정되며, 또한 유역수문자료가 데이터 베이스 형태로 FEH에서 제공된다.



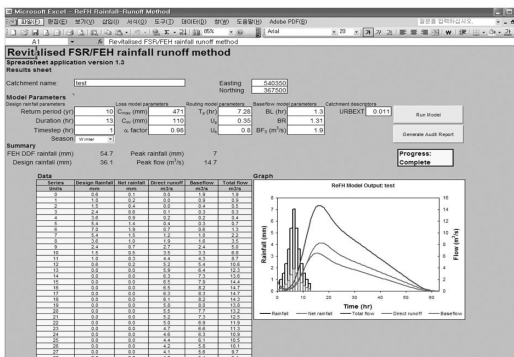
c) 계절특성인자 및 설계강우주상도의 입력: 영국은 여름철뿐만 아니라, 겨울철에도 홍수가 발생하며, 홍수의 원인 및 양상이 차별되어, 각각의 특성을 반영함. 설계강우 주상도는 FEH의 방법에 따





라 산정된다.

d) ReFH 모형의 매개변수 산정: 모형의 매개변



수는 유역의 활용 가능한 수문자료에 따라 계측 및 미계측 지역의 방법에 따라 산정되며, 아래의 예는 미계측 지역의 지역화를 통한 방법에 의한 결과이다.

e) 홍수 수문곡선 의 산정 (설계 강우 주상도에 따른 홍수수문곡선)

영국 홍수량 산정 방법의 시사점

영국의 홍수량 산정 방법은 국가 기관에서 홍수량 산정 방법(컴퓨터 전산 프로그램, 유역 수문자료 및 특성인자 등)과 정확한 적용 지침을 제공하고 있어, 참여 기술자의 주관적인 판단을 배제하여 모든 유역에 대하여 일관된 홍수량 산정이 가능한 특징을 보여주고 있다. 또한 미 계측 유역의 신뢰할 수 있는 홍수량 산정 방법은 국토의 많은 부분이 미 계측 유역으로 되어있는 우리나라의 경우를 감안하여 검토할 필요성이 높다고 판단된다.

참고문헌

1. Calver, A., Crooks, S., Jones, D.A., Kay, A., Kjeldsen, T. and Reynard, N., 2005. National river catchment flood frequency method using continuous simulation. Research Report to Defra, Centre for Ecology & Hydrology, Wallingford, UK.
2. Centre for Ecology & Hydrology, 2007, Flood Estimation Handbook, Supplementary Report No. 1, The revitalised FSR/FEH rainfall-runoff method. Wallingford, UK.
3. Institute of Hydrology 1977. Areal reduction factor in flood frequency estimation. Flood Studies Supplementary Report No. 1, Institute of Hydrology, Wallingford, UK.
4. Institute of Hydrology 1979. Design flood estimation in catchments subject to urbanisation. Flood Studies Supplementary Report No. 5, Institute of Hydrology, Wallingford, UK.
5. Institute of Hydrology 1983. Some suggestions for the use of local data in flood estimation. Flood Studies Supplementary Report No. 13, Institute of Hydrology, Wallingford, UK.
6. Institute of Hydrology 1985. The FSR rainfall-runoff model parameter estimation equations updated. Flood Studies Supplementary Report No. 16, Institute of Hydrology, Wallingford, UK.
7. Institute of Hydrology 1991. Micro-FSR v2.0 Operation Manual. Institute of Hydrology, Wallingford, UK.
8. Institute of Hydrology 1999. Flood Estimation Handbook. Institute of Hydrology, Wallingford, UK.
9. Lamb, R. 1999. Calibration of a conceptual rainfall-runoff model for flood frequency estimation by continuous simulation. *Wat. Resour. Res.* 35(10), 3103-3114.
10. NERC 1975. Flood Studies Report, Natural Environment Research Council, London.
11. <http://www.ceh.ac.uk/sections/hrr/RevitalisationofFSRFEHrainfall-runoffmodel.html>
12. Moore, R.J. 1985. The probability-distributed principle and runoff production at point and basin scales. *Hydrological Sciences Journal*, 30(2), 273-297.
13. Moore, R.J. 1999. Real-time flood forecasting systems: Perspectives and prospects. In: R. Casale and C. Margottini (eds), *Floods and landslides: Integrated Risk Assessment*, Chapter 11, 147-189, Springer.
14. Prudhomme, C., Jacob, D. and Svensson, C., 2003. Uncertainty and climate change impact on the flood regime of small UK catchments. *Journal of Hydrology*, 277, No. 1-2, 1-23.
15. 영국, 요크 중심가의 2010년 겨울 침수 사진
<http://www.guardian.co.uk/uk/2010/feb/28/flood-warning-storm-britain>
16. 영국, 남요크셔 지방의 2008년 여름 침수사진
<http://www.guardian.co.uk/environment/2008/dec/17/flooding-greenpolitics>