

〈論 說〉

21세기를 향한 유역 수문학

윤 강 훈*, 최 한 규**, 최 영 박***

개 요

산업이 고도로 발전하면서 많은 나라들은 인간의 생활 환경을 인간과 자연이 조화로운 삶을 영위할 수 있는 공원과 같은 생활공간으로 개발하기 위하여 많은 부존자원을 이용하고있다. 이들 자원중에서 수자원은 쾌적한 생활공간을 조성하기위한 가장 중요한 것으로서, 효율적인 수자원 이용을 위하여 물의 사용량 결정, 사용량 평가 등에 관한 사항들을 정량화하기 위하여 수문모형을 사용하고있다. 본 논문은 독일의 Karlsruhe 대학의 Institute for Hydrology and Water Resources Planning(IHW)에서 수행된 연구에 기초를 두고 있는 것으로서 장래의 강우-유출 모형개발을 고찰하였다.

1. 서 론

약 1000년전 유럽인들이 1000년 앞을 내다 보았을 때 다가오는 1000이란 숫자는 그들을 꿈작 못하게 하는 마력적인 의미가 있었다. 즉 많은 사람들은 1000년에는 세계의 파괴, 예수의 재림, 최후의 심판의 날을 예기했다. 서기 1000년의 상황과는 반대로 서기 2000년에 대한 예상은 신중하다. 왜냐하면 지난 1000년간처럼 세계가 현저하게 변하지 않는다고 알 뿐만 아니라 극적인 변화에 대한 강한 욕구도 없기 때문이다.

세계의 파괴에 대한 공포는 아직도 존재하거나, 정확히 말하면 더욱 많이 존재하고 있으며, 그리고 불행히도 그것은 보다 합리적인 근거에 기초를 두고 있다.

핵전쟁과 인구과잉은 다가오는 10년뒤의 인류 발전 가능성을 예측하는데 대하여 한계점을 갖게

한다. 이 한계점이 너무 크면 인류의 인구증가와 밀접하게 연관된 수문학의 미래 업무를 예측하기가 매우 어렵게된다. 우리는 단지 과거로부터 추정 할 수 있으며, 그와 같은 추정은 그일을 수행하는 사람에게 대부분 의존하게 된다.

이 논문에서는 우리의 현 상황서 미래까지를 좀더 낙관적으로 추정하고자 한다.

이러한 낙관주의는 세계 도처의 국민과 정부들이 오늘날의 기술이 제공하는 미래에 개발 가능한 수단을 사용하여, 인간과 자연이 조화된 상태의 세계를 창조하려 한다는 점에서 찾아 볼 수 있다. 우리는 인구의 증가는 정지하고, 산업 발전을 위하여 사용되는 자원들이 인류의 건강과 복지에 기여할 뿐만 아니라 대부분의 쓰레기를 재활용하여 자연의 손상없이 필요한 에너지가 얻어지길 기대한다. 그와같은 세상을 위해 수문학과 수리학은 물의 재분배와 사용 뿐만 아니라 인간과 물의 모든 상호작용과 자연수자원의 양적, 질

* 한국건설기술연구원 선임연구원 (강원대 대학원 박사과정)

** 강원 대학교 공과대학 토목공학과 교수

*** 고려대학교 공과대학 토목공학과 교수

적인 변화로 인한 결과를 실제로 평가할 수 있는 방안을 만들어야 한다. 우리는 독일과 다른 나라들에서의 이러한 목적을 향한 많은 초기의 단계의 진척을 알고 있다. 공학자들은 시골지역들을 다시 자연상태로 만들고, 그곳을 넓은 공원으로 바꾸며 인간과 자연의 재창조를 위한 비주거 지역의 보호와 보존을 수행하는 과정상의 지도자들이다.

그와 같은 과정이 이상적으로 적용되는 나라에서 수자원 공학은 유수조절, 관개 또는 수력발전과 같은 전통적인 목적을 위해 새로운 수자원 시스템을 설립하고 건설뿐만 아니라 현시스템들을 다른 목적으로 바꾸거나, 새로운 목적을 위해 현재의 수자원 시스템들의 유지 및 운영 방법을 재조직하거나, 지표수또는 지하수의 질을 감독하는 등의 새로운 임무들을 수행하게 될 것이다. 수문

학은 자연 상태의수자원에 대하여 인간의 모든 영향들이 평가될 수 있는 모델을 제공해야 할 것이다. 본 논문에서는 우리가 어떻게 미래 상황과 합치할 수 있는 강우-유출 모델의 개발을 예측할 것인가에 대하여 논하고자 한다.

2. 강우-유출모델의현황

강우-유출 모델의 목적은 강우를 유역의 지표면 유출과 지하수 유출의 크기와 양으로 전환하여 수자원 개발 계획에 이용하기 위함이다. 일반적으로 유역은 그림 1에서 보여 주듯이 식물식생, 토양조직, 지질, 지형등이 서로 다른 소유역을 갖는다.

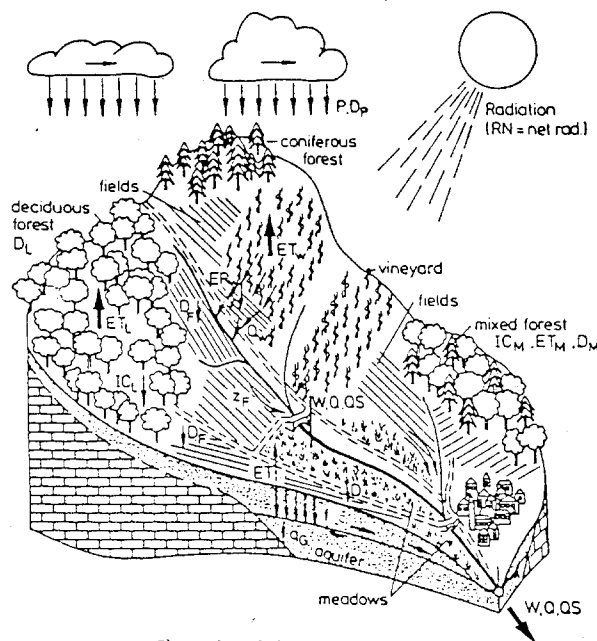


그림 1. 수문학적 유역의 모형 설명

ER=침식량
FE=바료 방출
PE=살충제 방출
GM=지형학적 요소

W =수위
P =강수
ET =증발산
IC =차단
t =침투
Z =침식
q =지표유출
Q =지류의 유출량
D =오염 유입 백터
QS =오염 전달 백터

index P =Precipitation
F =들판
W =포도원
L =낙엽수림
M =혼합수림
N =침엽수림
G =지하수

어떤 유역에 적용되는 모델은 그림 1에서 가리키는 유역의 여러요소들을 포함한다.

그 모델의 입력(input)은 유역의 강우에서 증발산량을 감한 물의 유입이다. 이러한 입력(input)은 각 수문 과정 모델에 의하여 시간 및 공간에 따른 함수로 변형되어진다. 그 예로 토양은 비를 지하수로 변형시키며, 수문학적 여과장치인 유역에서는 강우를 유역출구에서 유출로 변화시킨다. Process model들에서는 지표나 지하수에서 흐르는 유출로 부터의 사상들의 일반적 물리적인 관계 뿐 만아니라 수질 매개변수와 시간적 흐름 사이의 관계들을 양적으로 바꾼다.

그림 1에서 설명되는 일반적인 문제는 너무 복잡하기 때문에 만약 그 모델에 의해 계획과 운영을 결정하기 위해서는 단순화 되어져야 한다. 수자원 관리를 결정하고 계획할 때 사용되는 모델의 형태는 심사숙고하여 결정하여야 한다. 예를 들어 임의 점에서 하천의 침투홍수량을 예측하려는 목적의 모델은 유역의 지하수 유입을 예측하는 모델과는 구조적인 차이를 가진다. 나아가, 그 모델은 기존의 데이터 베이스(data base)에 의존함이 틀림없다. 현재 이러한 자료들은 일반적으로 매우 불확실하며, 모델의 단순화와 불완전한 데이터 베이스(data base)일반적 강우-유출 모델의 한계성은 나타나어 불확실성을 유발한다. 결론적으로 한 모델에서 물리적 과정의 정확성과

모델에서 계산에 이용되는 데이터 베이스(data base) 사이에는 균형이 이루어져야 한다. 이러한 점의 설명을 위한 한 예를 들어 보면, 만약 필요한 모든 것이 평균 계획 곡선(average design curve)이고 유출 손실이 단지 조잡한 근사치로 알려진다면, 3차원 비선형 강우-유출 모델을 사용할 필요가 없다. 즉 모델을 유용하게 이용하기 위해서는 이러한 균형을 유지하여야한다. Karlsruhe 대학의 IHW에서 개발된 그와 같은 모델은 이 논문의 첫부분에서 간략하게 다루어 질 것이다.

2.1 합성 수문 유역의 모델들(Models of Composite Hydrological Basins)

IHW 모델(Plate and Ihringer, 1988)은 15년간의 연구를 통하여 완성되었으며, 실제로 독일 공학자들에게 폭넓게 사용되어지고 있다. 이 모델의 주요 목적은 홍수 방지용 유수지 (Flood Protection Reservoir) 를 위한 계획홍수량을 산정하는 것이다. IHW 모델은 합성유역 모델(Composite Basin Model)이며, 이 모델에서는 유역을 토지이용상태에 따라 계곡, 평지등 몇 개의 동질성(Homogeneous)을 가진 소유역으로 구분한다. 동질(Homogeneous) 소유역의 특성은 강우를 유출로 바꾸는 'Process Function'이 단위 유량도

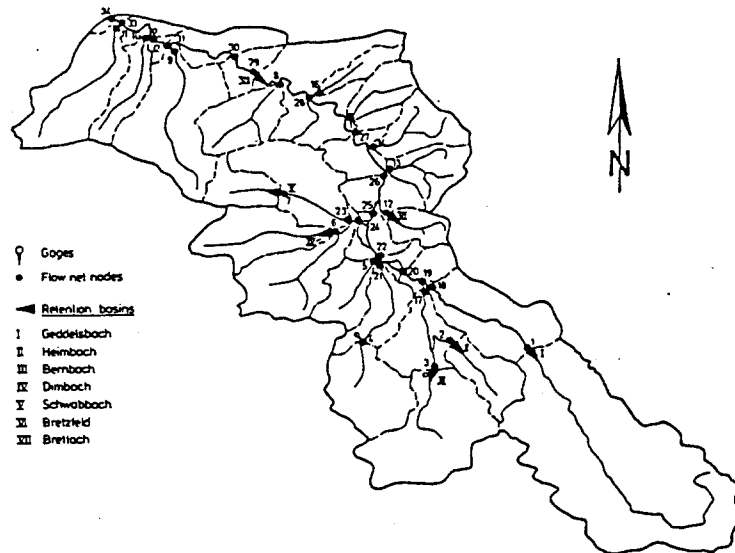


그림 2. a Neuenstatdter Brettach 유역

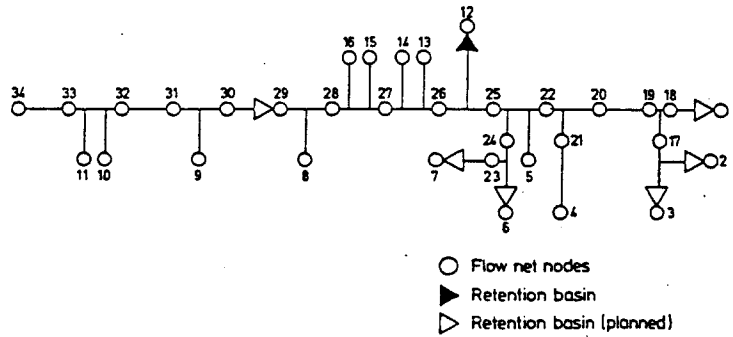


그림 2. b 유역의 시스템 설명

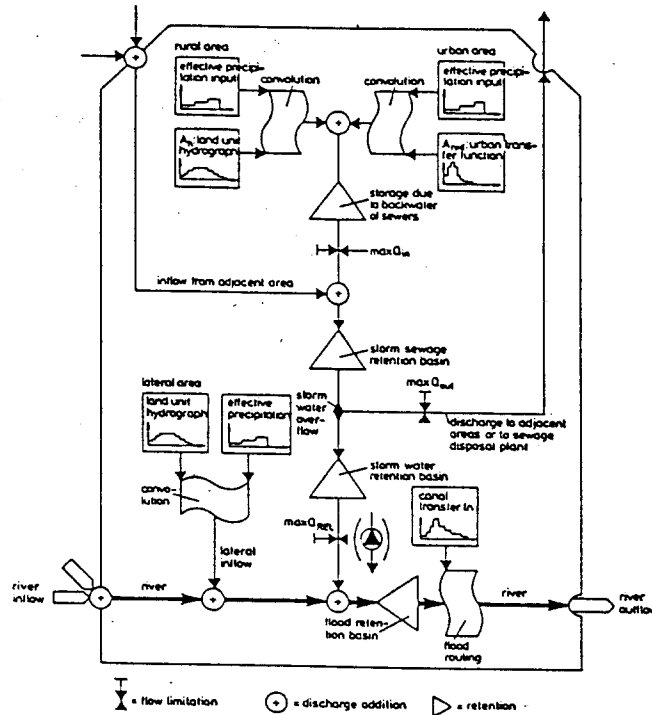


그림 3. IHW모델서 하수추적의 수지균형을 위한 부모모델의 모형 설명

일 수 있으며, 이는 합성 유역 모델을 위한 기본적인 구조이다.

여러 연구를 통한 경험에서 일반적으로 50,000m³~300,000m³의 저류용량을 가진 작은 유수지(Flood Retention Basin)의 계획에 정확히 적용되며, 10~20km²의 유역 면적을 위해 사용될 수도 있다. 그러므로 이보다 더 큰 유역은 일관성을 가지는 더 작은 소유역으로 분할해야 한다.

각각의 동질 소유역(Homogeneous Subbasin)

으로부터의 홍수량은 설계우량패턴을 단위 유량도에 적용하여 계산할 수 있다. 만약 설계 홍수량을 유역내 중간 지점에서 구할 필요가 있다면, 유역을 소유역으로 분할하는 것이 필요하다.

한 예로서 그림 2에서 보여주는 'Newenstadter Brettach' 유역은 총 34지점으로 분리되어 졌다. 각 점들은 게이지위치, 유수지, 강의 분기점, 홍수량이 측정되는 지점등에 설치한다.

각 점사이의 하도구간의 물균형을 위한 부모모델

(Submodel)은 그림 3과 같은 모식도로 표현된다. 하도구간의 입구에서(왼쪽) 본류는 한 지류와 결합한다. 출구에서(오른쪽) 그것은 다음 하도구간으로 들어간다. 입구와 출구 사이에는 다음의 세가지 옵션의 사용이 가능하다.

첫째 옵션은 시골지역의 지역 단위유량도(Regionalized Unit Hydrograph)에 의해 얻어진 평지로 부터의 유입수를 산출할 수 있다.

두번째 옵션은 도시구역의 유입수로 구성되는데, 그림 3의 윗부분에서 그려졌듯이 단순한 도시구역 모델 또는 우수거 시설(Storm Drainage System)의 구조를 시뮬레이션할 수 있는 더욱 더 정교한 모델에 의해 나타내어 질 수 있다. 직접적으로 하천과 연결되지 않은 다른 도시구역으로 부터의 유입수(상단 원편)는 주 도시 하수와 섞여진다. 도시구역과 시골구역은 변환기능(transfer function)이 분리된다. 우수 유수지와 우수 유수지 뿐만 아니라 그 자체의 하수구 시스템에서도 지체(retention)가 고려될 수 있다. 밸브에 의한 유출의 억제도 요구되며, 하수 처리장에서의 지체 또한 필요하다. 이런 과정을 통하여 조절된 유출량은 도시구역에서 하천으로 들어간다.

세번째 옵션은 특성기능이 있는 홍수저수지(Flood Storage Reservoir)에 사용된다.

그 특성기능(characteristic function)은 예를 들어 수위-저류량 관계곡선, 여수로와 출구의 특성을 표현하는 수리적 기능 등이다. 그리고 마지막으로, 하천구간 모델(River Reach Model)은 홍수파를 입구에서 출구까지 추적하는 부프로그램으로서 사용될 수 있다.

2.2 동질 소유역(Homogeneous Subbasin)을 위한 강우-유출 모델

동질이며 기복있는 유역에 있어서, 단위유량도는 강우에 대한 유역의 반응을 나타내는 데 가장 적절하다. 동질유역은 도시지역과 시골지역의 두 타입으로 나뉘어진다. 이들 두 타입에 대하여, IHW는 광범위한 연구를 진행하였다. 'Figulus(1986)는 많은 독일 도시와 지방의 하수구 시스템을 통해 부정류를 유발시키는 강우를 계산하고, 단위유량도를 적용하여 출구에서 홍수파를 유도하는 도시지역의 강우-유출 관계를 연구하

였다. 그 결과, 많은 도시 유역에서 검증할 수 있는 강우-유출방법을(Storm Flow Calculation) 개발했다.

Lutz(1984)는 동질의 시골지역을 위한 단위유량도를 개발했다. 이 모델은 유출 계수의 추정과 단위유량도의 추정의 두 부분으로 구성된다. 그 단위유량도는 합성을 이용하여 유역에 내린 강우로 인한 유출수문곡선을 계산할 수 있다.

$$Q_j = Q_{Bj} + \sum_{i=1}^{j-\max A} \frac{A}{3.6} \phi_i P_i U_{j-i+1} \quad (1)$$

공식 (1)에서 Q_j 와 Q_{Bj} (m^3/sec)는 각각 시간 $t = j \Delta t$ 에서의 총유출량과 기저유량이며 Δt 는 시간(hr)의 단위이다. P_i (mm/hr)는 $t=i \Delta t$ 시간에서의 Δt 시간동안의 강우깊이이며, 3.6은 단위 환산계수이다. U_i ($1/\Delta t$ 단위)는 시간에 따른 단위 유량도이다. A는 유역면적이고는 유출계수를 평균한 면적이다. 유출계수의 결정은 자료의 유용성(availability)에 따라 여러가지 방법이 제안되었다. 만약 자료가 강우-유출계산에 유용하면 그때 총 유출계수는 'Coaxial Diagram'으로 부터 결정되는데 'Coaxial Diagram'은 독일유역에 맞게 조정된 것이다.

만약 자료가 유용하지 않다면, 유출 계수는 Lutz가 그의 지역적인 단위유량도와 관련된 공식으로 결정한다. 이 모델에서 유출계수와 그것의 시간적인 분배(temporal distribution)와 단위유량도는 밀접한 관계가 있다. 단위유량도에 이 모델을 적용하려면 주위의 강우 관측소로부터 검정된, 강우로 인한 동일한 침투유출량을 얻기 위한 유출계수의 조정이 필요하다. 그러므로, 우리는 'Lutz'의 모델을 유출계수와 단위유량도 결정 모두에 사용하고 있다.

설계입력 자료로는 미리 결정된 설계강우의 T(지속시간)와 P(강우의 깊이), 그리고 세번째 변수로서 재현기간 T이다. 이러한 자료들은 독일 기상대에 의하여 제공되는 곡선도에 의하여 구할 수 있다. 또한 고려할 것은 강우의 시간적, 공간적 강우의 분포이다. 공간적 분포는 'Grove(1977)'에 의해 개발된 면적 감소 인자를 이용하여 지점 강우를 확장함으로써 얻어진다. 재현 기간중 강우깊이 극치값의 시간 분포는 경험 곡선으로 부터 얻어진다. 서로 다른 지형에 따른 지역적 강우를 조정하는 것은 연 강우량에 의한

등우선의 형태로부터 결정된 가중 인자에 의해 각각의 소유역에 적용된다.

U_j 의 값은 시간 $t=i \Delta t$ 동안의 단위유량도의 세로좌표이다. 우리는 일반적으로 단위유량도의 모양을 'Nash cascade (Nash, 1957, Becker and Glos, 1969)이나 2변수 감마분포를 사용하여 추정하고 있다.

$$U_j = \frac{1}{\gamma(n-1)} \left[\left(i - \frac{1}{2} \right) \Delta t \right]^{n-1} \exp \left[K \left(i - \frac{1}{2} \right) \Delta t \right] \quad (2)$$

감마분포의 n 과 k 는 침투시간 t 와 순간 단위유량도의 U_{max} 로부터 얻어진다. (그림 4).

이러한 매개변수들은 강우와 유출등을 측정된 경험적인 자료로부터 결정될 수 있다. 그러나 한 유역의 모든 점을 위한 그와 같은 수문량의 계측은 존재하지 않는다. 단위유량도가 자료의 결핍으로 인해 직접적으로 측정될 수 없을 때, Lutz(1984)와 Figlus (1986)에 의한 지역특성 모델이 이용된다. 지역특성 모델에서 나타나는 가장 중요한 매개변수는 유역특성에 의존하는 침투시간 $t=n k$ 이다.

여러가지 형태의 식들이 시골과 도시 유역을 위해 사용되어진다. 도시유역 단위유량도의 매개변수를 계산하기 위하여 많은 실험적 방법들이 제안되었다. 이러한 공식이 Mccuen (1984)에 의해 정리되었다. 여기서는 Figlus(1986)의 방법이 사용되었는데, 하수도 시스템의 설계 계산에서 유도된 완전히 찬 하수도에서 흐른시간과 일치하는 t (auxiliang reference time)를 도입하였다. 그러한 자료를 사용할 수 없는 유역을 위해서는 표준 등시 기술(standard isochrone technique)이 사용된다.

Figlus는 보조시간 t 와 Nash모멘트 사이에 서로 상응하는 점이 존재한다는 것을 알아냈다. 이러한 양들을 가지고 침투시간 t 와 'gamma impulse response function'의 최대세로좌표 U_{max} 를 결정할 수 있다. 이런 방법에서 알아낸 양들은 하수구가 완전히 찬 동안 -즉, 하수구시스템의 계획상태-의 호우상태를 나타낸다. 계획상태와 일치하지 않는 호우시에는 t 와 U_{max} 를 보정해야만 한다. (이에관한 상세한 내용은 원 논문을 참조하기 바람).

시골유역을 위해 'Lutz'는 $t=Pt$ 공식을 유도했

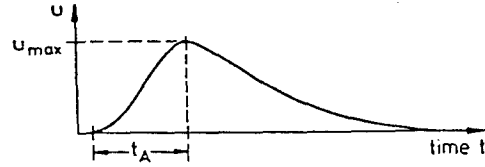


그림 4. 순간 단위유량도의 특성화를 위한 매개변수

다. 여기서 t 는 우량, 지형과 유역면적, 숲의 면적 백분율, 주택과의 면적 백분율과 같은 토지 이용 상태에 따른 사용 인자를 반영하며 지형적인 인자와 토지 이용상태 인자에 기여하지 않은 모든 영향들은 인자 P 에 반영된다. P 는 지역적 효과를 설명하는 것으로 가정하며 그것은 또한 하천의 조도에 영향을 받는다. 즉 수리학적으로 거친 수로면이 매끈한 수로면보다는 P 가 더 크다. 그러나 더 중요한 효과는 동질의 유역에서 도시화된 지역과 도시화가 되지 않은 지역의 반응시간(reaction time)이 서로 다르다는 점이다. Wittenberg (1974)는 단위유량도가 평행으로 배치된 두개의 "Nash 분기"-도시유역에서는 침투시간 t 가 짧으며, 반면 시골지역의 침투시간은 길다는-를 구성하는데 사용하였을 경우, 독일의 Ruhr지구의 대규모 도시화 지역을 위한 이론과 실제에 있어서 매우 훌륭한 일치점이 나타남을 보여주었다. 강우는 도시지역의 분기점에서 입력으로 나타내며 사용되는 첫째 부분과 시골분기점에서의 입력인 두번째 부분으로 분리된다. 이러한 분리는 조절된 매개변수를 가지는 단순 Nash 분기에 기초를 둔 단순한 계산 방법에 맞도록 Lutz에 의하여 제시되었다. P 에서의 강우지속기간 T 를 통해 이런 효과를 유출계수와 결합시켰으며, 더 중요한 것은 강우사상에 의존하는 인자 P 을 추측하므로써 서로 다른 지역의 다른 침투시간 문제를 해결하였다.

각점 사이로 하천이 흐르는 동안 각점에는 파동이 생기며 모든 흐름의 총계는 이웃점과 관계되는 부정류 모델에서 입력자료로 주어진다. 홍수추적을 위하여 Kalinin-Miljukov 모델이 사용된다. (참조 : Raudkivi, 1979, pp263) 이 모델은 강의 횡단면과 지형측량의 자료가 요구되는데 이들은 지방 수자원관계부처서 제공되어진다.

모든 점과 하천의 전범위가 관계되는 이 모델은 가능한 실측 홍수유출사상에 의해 잘 조정되

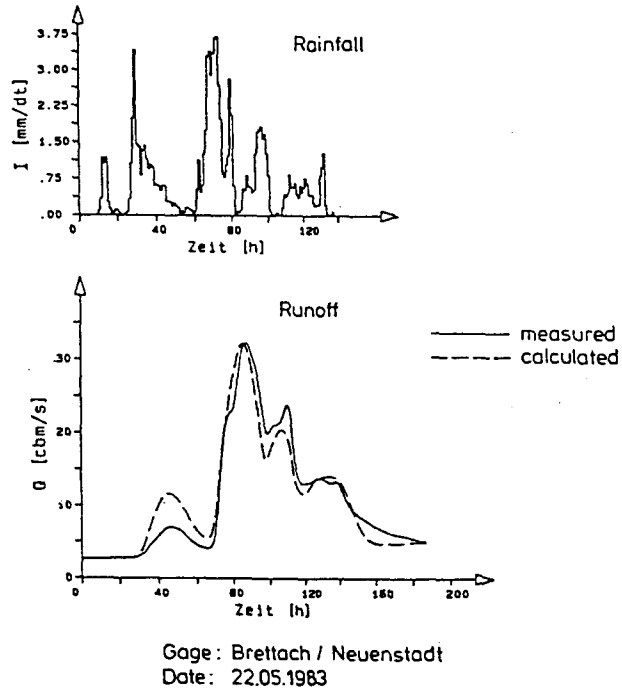


그림 5. IHW모델에 의한 기지의 강수로 부터 유출의 측정치와 계산치의 비교

어야 한다. 그러한 최종 검증의 결과가 그림 5에 나타나 있다. 이것은 1983년 6월에 관측된 홍수 사상으로 'Neckar'강의 지류이고 유역면적은 101km²인 'Boettach'강의 예이다. 비록 검증결과가 일반적으로 만족스럽고 20%오차 이내에서 다른 홍수사상으로 확정된다 하여도, 우리는 최고 강우사상에 의한 유입-유출 모델로부터 얻어진 결과와 첨두유량의 극치 분석으로 얻어진 유량을 서로 관련시켜서 판단하여야 한다. 만약 관측기간이 길 수 있다면 최고치계열이 더 좋은 값을 얻을 수 있다. 극치값은 지형학적 형상, 토지사용, 지질학적으로 유사한 인접 하천으로부터 전환하여 얻을 수 있으며 이것은 독립적인 결과를 제공하여 준다. 즉 비록 재현기간 T년의 홍수가 재현기간 T년의 강우 입력으로부터 계산되었다 해도, 그것의 최대첨두유량 (maximum peak)은 입력 뿐만 아니라 유출계수와 강우지속기간에 의하여 영향을 받는다.

IHW모델은 완만한 경사 유역의 다수 하천의 관측치를 소화하기에 적합하며, 그것은 일반적인 설계지침으로 활용된다. 계산 결과는 홍수방지

를 위한 우수지의 효율성을 평가하는데 이용된다. 이 모델은 종전의 모델보다 유용하여 효율적이다. 이 모델은 퍼스널 컴퓨터에서 사용할 수 있도록 개선되었다. IHW는 그 모델을 설명하는 연습 과정을 제공하며, 후에는 그 과정 참여자가 그들이 개별적으로 사용할 수 있는 PC package를 제공하고 있다.

2.3 홍수 산정 모델의 확장

IHW 모델은 남부 독일에서와 같은 완만한 경사지역에 잘 맞다. 그러나 그 지역의 평지부분에서는 적용하지 않으며 특별히 'Basel'과 'Mainz'사이의 'Rhine'계곡의 퇴적층 평지에도 적용하지 않고 있다. 이러한 지역을 위해 강우가 지하수로부터 유출로 변환되는 특별한 모델을 개발하였다. (그림 6) 이 모델은 Wald (1986)에 의해 상세히 서술되고 있다. 이 모델의 중요한 점은 수위와 유량이 모두 홍수량 계산에 필요하다는 것이다. 그러므로 그림 6에서 보여 주는 전형적인 상황을 위한, 단순화된 부정류 지하수 모델은 St. Venant 공식을 사용하여 계산된 하천에서의 수

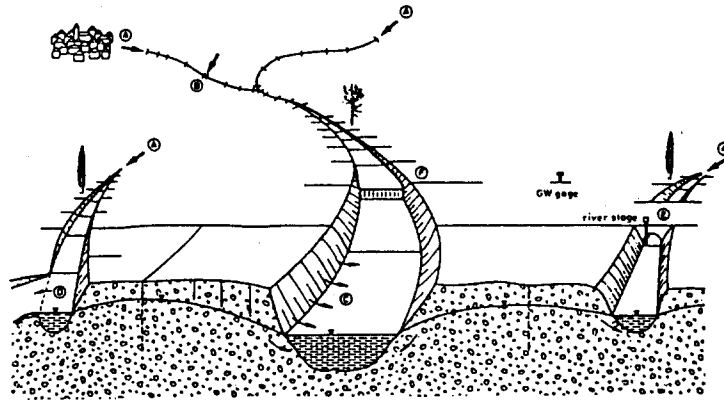


그림 6. 평지의 홍수계산을 위한 하수구 모델의 형상

위와 유출자료가 필요하게 된다.

최근들어 서독에서는 홍수통제에 관한 개념이 바뀌었다. 70년대 들어 전략적으로 입지가 가능한 곳에 우수지들을 세워왔고, 결과적으로 국토의 많은 부분에 홍수 방지 우수지가 건설되었다. 1984년에 우수지의 흙댐을 월류하여 무너뜨리는 큰 홍수가 'Main'강 지류의 작은 유역에서 일어났다 (Landesanstalt fur Umwelt, 1985). 지역 특성상 이로 인한 피해는 작았으며, 그리고 인명 손실도 없었다. 그럼에도 불구하고 국민들은 경악했으며 수자원 당국은 2가지의 항의를 받았다.

첫째는 새로운 수문학적 계산과 모든 기존의 구조물의 철저한 수리학적 조사에 의해 모든 우수지의 안전성이 재평가되어야 한다는 것이며, 둘째는 새로운 저수지들을 전처럼 그렇게 쉽사리 세워서는 안되며, 새로운 홍수 방어체계는 우수지와 강과 계곡의 좁은 단면에서 유발되는 홍수를 과거의 범람원으로 끌어 들이는 등의 하천사업(River Work)의 결합으로 구성되어야 한다는 것이다.

3. 수문학적 모델과 연구에 대한 미래 요구

기존 모델들이 미래에 적용될 경우 발생할 문제점들을 해결하기 위해서는, 기존모델들을 더욱 발전시킬 필요가 있다. 최근에 국제 수문학회에서 발간된 'Hydrology 2000'에 언급됐듯이 미래에 발생할 과학적인 문제를 밝히는 것이 수문학자들에게 지대한 관심사가 되어왔다(참조 : Inter-

national Association of Hydrological Sciences, 1988). 미래 수문학에 있어서 지구의 변화는 매우 중요한 요인이 된다. 예를들면 대기의 점진적인 가열에 기인하는 해수면 상승은 최근 공학토론에서의 주제가 되어왔다 (참조 : Delft, 1987). 그러나 이러한 면은 유역수문학의 관점에서는 매우 작은 영향을 미칠 뿐이다.

3.1 홍수 산정

IHW모델과 같은 홍수흐름 모델들은 서기 2000년 이후에도 유용할것이다. 그러나 현재의 지역화 기법의 모델들은 수정이 필요할 것이다. 예를 들어 유역이 위치한 지역의 서로 다른 지점에서 획득된 자료를 일반화시키며 이 정보를 특정유역에 전환 (transfer) 시키는 작업이 계속적으로 개발될 것이다. 현대에는 더욱 더 물리적인 기초를 둔 모델들을 개발하는 경향이 있다. 그리고 미래에는 어떤 지역의 지형도와 지질도에서 얻어진 정보로부터 단위유량도를 구하는 방법이 제안될 것이다. IHW 모델의 개발을 통하여 우리는 이런 방향으로 어떤 시도를 해 왔다. 그러나 유출을 선형적으로 표현하는 단위유량도도 물리적 기초를 가진 모델 만큼이나 좋은 결과를 유도한다(참조 : Loague nad Freeze, 1985). 그 이유는 물리적 모델은 공간적으로 변수 결정이 어려운데 반하여 단위유량도에서는 유역전체에 대한 적분에 의해 평균되어진 변수를 사용한다. 유역은 유출이 일어나는 동안 매우 습한 'filter'이고 유역이 크면 클수록 단위유량도가 완만해 진다는 것에

주의해야 한다. 통계이론중 중앙집중이론(Central Limit Theory)과 같은 것이 효과적이다. 유역은 선형적으로 연결된 저수지 시스템과 같다. 즉 'Nash' 분기법과 같이 지수함수로 나타내지며, 몇 개의 저수지에 의하여 감마분포를 가지는 제한된 형태의 'Gaussian' 분포를 따른다.

홍수산정은 현재 설계 경우에 의존하며, 그 개념은 예를 들어 100년 빈도 경우는 100년 빈도 홍수를 나타낼 것이라는 것이다. 이와같은 단순한 가정은 미래의 보다 많은 연구를 통하여 그 타당성이 검증되어야 한다. 그에 대한 연구는 공간과 시간의 함수로 표현되는 강우분포모델이 선도하게 될 것이다. 그 같은 모델들 (참조: Way-mire and Guptu, 1981)의 매우 광범한 연구는 주어진 재현기간을 가지는 강우역(rainfall field)의 산정을 위한 모의모델들을 제시하는데 기여할 것이다. 그러나 강우역을 모델화하는 것은 매우 어려우며 침투 및 기초손실과 같은 지표의 매개변수 분포등에 유의하여야 한다. 그러므로 우리는홍수 흐름 산정을 위한 IHW 타입의 모델들이 곧 다른 모델로 대체되리라고 예상치 않는다.

3.2 모델의 운영

수자원 계획을 하는 사람들은 어떤 시스템에 유량을 온-라인으로 입력하는 실시간 예측에 의하여 저수지를 최적으로 운영하기를 원한다. 이러한 목적을 위하여 개발된 IHW 등의 모델들은 홍수로 인한 방재 시스템 운영시 강우-유출 과정을 잘 설명해주고 있으며, 이는 'Plate' 와 'Schultz (1972)에 의하여 상세히 기술되었다.

그러나 이러한 방법을 사용하였을 때 생기는 실패의 원인은 다른 곳에 있다. 즉 강우의 예측이 어렵기 때문이다. 독일의 일반적인 지형상태 하에서는 현재의 예측방법으로는 불충분하다. 예를 들면 'Brettach'유역에서 'Ihringer (1985)는 그간의 자료와 'Kalman filter'의 방법을 이용하여 실시간 예측을 한 결과 1 시간 이상의 시간구간에서는 정확한 예측을 하기 어렵다고 밝히고 있다. 따라서 이러한 모델을 발전시키기 위하여서는 원격탐사에 의한 자료나 레이더 및 기상위성에 의한 자료를 이용하여 정확한 강우예측을 하는 것이 필요하다(Schultz 1988). 여러가지 어려운 경제적, 조직적 여건에도 불구하고 우리가 정확한 강우예측모델을 개발하는데 주력하는 것은 바

로 그런 이유이다.

3.3 생태-수문학적 모형 (Eco-hydrological models)

금세기에 들어와서 산림과 농업 및 그 관련 분야에서 생태계 관리 결정을 위한 생태-수문학이 발전하리라고 기대하였다. 독일에서는 자연하도 내에 일률적으로 건설된 직선하도를 재조정하고 있다. 이러한 작업의 가장 중요한 목적은 더욱더 자연적인 환경의 창조와 야생 동식물들에게 가장 적절한 환경을 제공하기 위한 것이며 또한 부과적인 목적은 강과 계곡을 유지하는 비용을 줄이는 것이다. 재자연화의 가장 전형적인 예가 1986년 'Anselm'에 의하여 보고되었으며 그림 7에 나타나 있다.

자연화방법에서 이용되는 정보의 양은 대단히 적다. 따라서 주로 하도발전의 구조학적 방법을 제한하는 수리학적 입력자료를 이용한 시행착오법에 의하여 이루어지고 있다. 최초의 효과는 개선된 수리학적 지식을 얻는 것이다. 예를 들면 홍수터를 넘는 홍수에 대한 나무 및 다른 식물에 대한 영향을 연구하는 것이다. (Rouve et al., 1987) 이 연구에 의하면 방재를 위하여 홍수가 통과할 만한 강의 하폭을 넓히는 것이 필요하다. 일반적으로 직선화된 하도의 홍수터는 자연하도의 홍수터에 비하여 반정도의 크기로도 충분한 효과를 볼 수 있다.

장래에는 'quantitative response functions'을 이용한 수리학적 입력자료과 생태계의 반응사이의 관계를 정량적으로 규명할 수 있을 것이다. 그 예는 라인강이나 다뉴브강 등 유럽대륙을 따라 흐르는 큰 강의 습한 서식지를 설계하기 위한 요구가 그것이다. 강은 과거에 유지하던 크기의 하도를 유지하지 못할 것이고, 홍수터는 농업목적으로 개발되고 주운이나 다른 목적으로 이용될 것이다. 그러나 강의 생태계유지를 위하여 이러한 개발을 할 수 없는 경우도 있다. 즉 습지대는 그 지역의 야생동물과 식물을 위하여 보존될 필요가 있다. 필요한 기술적 방법의 효과를 평가하기 위하여서는 습지대 식물의 반응(respons function)을 알아야 한다. 예를 들면 라인강의 습지대 식물중 어떤 종류는 오랜 기간 동안의 홍수를 견디어 내는 반면 짧은 기간의 홍수에 대해서는 파괴되거나 심각한 피해를 입는다. 또한 어떤 종류

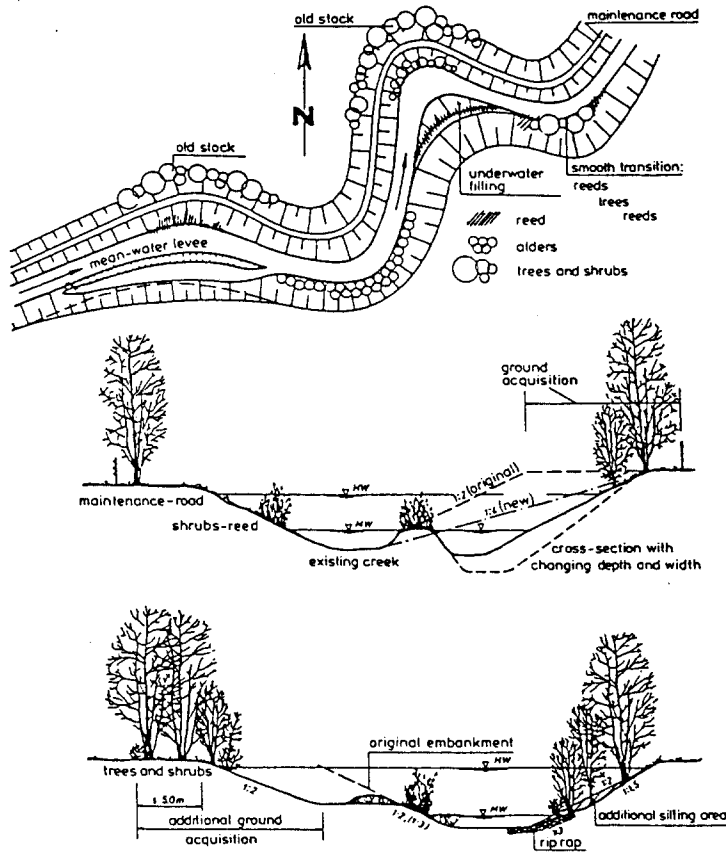


그림 7. 재자연화 계획의 예 (Anselm, 1986)

는 특정한 수위이상에서 피해를 입기도 하고 또 다른 종류는 길지 않은 가뭄에 대하여 이겨나가기도 한다. 이러한 생태계의 반응을 알 수 있다면 야생동식물에게 최적의 환경을 제공할 수 있고 궁극적으로 인간에게 이익을 줄 수 있다.

수문학은 관개를 위한 수문학적 정보의 발전을 통해 농업과 조화를 이루어야 한다.

또한 토지생산성을 향상시키기 위한 방법도 강구되어야 한다. 다른 한편으로는 달팽이 및 해충 등을 보호하기 위하여 저수지의 수위 및 하천의 유량을 조절하여야 한다.

3.4 수질 모델

현존하는 강우-유출 과정의 적용모델의 한계는 비점 오염원 (nonpoint source)의 오염을 고려

한다면 가장 명백해진다. 산성비 오염은 첫번째의 예이다. 지하 대수층로부터 대부분이 채취되는 식수(drinking water)의 수질에 관한 관심이 증가하고 있기 때문에 그런 과정들을 고려할 수 있는 모델들이 요구되어진다. 그런데 그 식수는 쓰레기, 또는 다른 산업공장으로 부터 유출되는 오염된 물 뿐만 아니라 농업 또는 예기치 않은 곳으로 부터 방출되는 오염에 의해 위협받고 있다. IHW 모델 형태의 모델들은 표면 유출과 관계있는 수질 매개변수들에만 작동하는데 그것은 그것들이 1차 근사치 (first order approximation)을 줄 수 있기 때문이다. 다른 근원들로부터 발생하는 오염들로 인한 수문학적 매개변수들의 공간-시간적 변동성(space time variability)을 설명할 수 있는 모델들이 사용되어야 할 것이다.

수질문제의 대표적인 상태는 그림 1을 기본으로 하여 가정할 수 있다. 하나 또는 그 이상의 인근에 존재하는 오염원의 면적을 고려해야만 한다. 수질모델은 오염물이 원래 지점에서 유역안의 다른 지점으로 움직이는 운동을 결정하는 과정을 설명해야만 한다. 수질 모델의 목적은 지구 표면이나 지하로부터 유출될 때 어떤 지점에서의 오염물의 농도를 예측하는 것이다.

수질모델을 통하여 정확한 결과를 얻기 위한 가장 좋은 기회는, 오염물의 이동이 명백하게 수직적인 국부 오염상태일 경우이다. 이 오염물의 이동은 침투에 의한 것이고 면적요소(area element)에 기초한 침투모델에 의해 설명될 수 있다. 그리고 그것은 수문학적인 강우-유출 모델의 가장 작은 단위이다. 강우는 수직적인 침투성분과 수평적인 표면 유출성분으로 나누어진다. 그 침투는 지하수를 다시 채우고 포화되지 않은 토양층에 의한 어느 정도의 여과후에 표면오염물을 지하수로 운반한다.

표면유출은 경사아래로 물(오염물이 포함된)을 운반하며, 포화되지 않은 지역을 통한 측방 이동의 효과는 거의 고려되지 않는다.

많은 모델들은 면적요소(area element)에 대한 강우-유출 과정을 설명하기 위해 존재한다. 'Maniak'에 의해 표현된 모델이 그 대표적인 예이다. 그런데 그것에서 차단은 잎이 덮힌 면적과 계절의 함수로 표현되며 침투는 'Green-Ampt type model'의 방법에 의해 계산된다. 이 모델을 실제로 적용할 때 유용한 자료를 얻기 위한 어려움은 하류운동을 표현하는 매개변수들의 자연적인 변동들로부터 온다. 화학적반응이나 물리적 변화가 일어나거나 일어나지 않는 오염물의 이동을 추적하기 위해 많은 연구가 필요하다. 실험실은 어떤 환경에서 유용한 현장정보로 전환할 수 있는 기본적인 결과를 제공한다. 수문학자들은 수질 수문 모델을 얻기 위하여 화학자와 생물학자들과 협력하여 이런 실험들을 하여야 하고 또 앞으로 행하여 질것이다. 실험실 결과를 현장에 적용하는 것은 대개 간단치 않다. 심지어 실험으로부터 얻은 물리적으로 기본적인 과정(process) 모델에 대한 매개변수들도 현장 상태에 적용할 수 없을 수도 있다는 것이 잘 알려져 있다. 잘 알려진 예로 토양의 수리학적 전도성(hydraulic conductivity)은 미세공극(micropore)의 구조와

크기에 높은 의존성을 보인다는 사실이다. 실험 장치를 만들 때 수문지형학적(hydrogeological) 매개변수들의 공간적인 변동성을 설명하는 것은 어렵다. 그런 상황은 화학적이나 생물학적 과정을 연구하기가 쉽지 않도록 만든다. 왜냐하면 많은 중요한 오염물들이 현장상태에서 그들이 어떻게 유도되는지가 거의 알려지지 않았기 때문이다.

비점 오염원에 대한 수질 모델 중 가장 작은 지역은 동질의 흙으로(Homogeneous Soil Composition)로 구성되어 있고 한가지 작물이 현장 전체를 덮고 있는 일정한 경사를 가진 지역이다. 이런 지역에서의 유출은 수리학적관련성(hydraulic relation)과 침투모델과의 결합에 의해 근사화될 수 있고, 실제 오염상태에 대한 1차 근사값을 계속 구하게 될 것이다. 농업관련 오염에 대한 대부분의 연구는 이와같은 동질의 흙에서, 특별히 침식작용(erosion)에 관심을 갖고 이루어져 왔다. (Williams, 1975)

불행하게도 대부분의 오염문제는 지표면침식 보다는 수리학적으로 훨씬 복잡하다.

오염이동의 경로를 결정하기 위해서는 경로에서 오염물이 만나는 여과지와 토양, 지하수 또는 강의 침전물에서 오염물의 지체시간을 평가해야 한다. 그런 평가를 가능케하는 동질 면적 모델(Homogeneous area model)은 그림 8에 표현한 것처럼 좀 더 세밀해야 한다. 그런 현장의 대표적인 크기는 1 헥타르에서 불과 몇 헥타르에 불과하다. 이것은 일정한 매개변수를 가지는 강우-유출모델을 표현하기 위한 크기와 비슷하며 그런 모델들이 발전되어 왔다. 예를 들면 이런 모델에는 'Smite'와 'Hebbert' 또는 'Beven'의 물이동 모델이 있으며 이 모델들은 지표면과 지표면 아래의 물운동은 침투방정식에서 보듯이 서로 상호작용을 하므로 유출계수의 임의적인 부여가 필요없게 된다.

이같은 접근들은 불과 오염물 모두에 대한 상세한 이동 모델을 기술할 수 있게 하였으며 충분히 실제유역에 적용할 수 있다. 그것들은 현장 연구보다 훨씬 더 적절하게 사용할 수 있는 효과적인 현장 컴퓨터 프로그램을 제공하여 준다. 또한 그것들은 문제를 현장에서 계산하고 검증하기에 충분하도록 단순하게 구성되어 있다.

이것들은 광범위한 측정 프로그램을 필요로 할 것이고, 그것들은 프로그램상의 주요부분에 대한

입력자료로 부터 결과치의 도출까지에 대한 과정을 추적할 수 있을 만큼 상세하게 설명되어야 한다. 계산을 통해 복잡한 모델의 매개변수들을 추론하는데 있어서의 심각한 문제는 각각의 과정들이 변환의 고리(chain of conversion)에서 정확히 인식되어 질때 만 해석될 수 있다는 것이다. 이같은 이유때문에 IHW는 'University of Karlsruhe'의 15개 서로 다른 기관들이 연합하여 질산염, 인산염, 탄화수소, 중금속 등과 같은 물질들의 평형상태뿐 만 아니라 유체흐름과 작은 도시 지역의 환경사에서 침식되는 물질들의 이동등을 결정하기 위해 노력하는 광범위한 현장연구에 종사하고 있다.

3.5 수질모델의 발전 방향

수질 문제의 적용에서도 넓은 면적에 대한 더욱 자세한 모델의 개발이 필수적이다. 'hill slope model'을 큰 유역에 확대 적용하는 것은 크고 균일하지 않은 유역을 대상으로 그림 8과 같은 'strip model'을 확대 적용함으로써 구하여지는 일종의 'distributed model'이다. 이러한 모델에 대한 예는 유럽지역에서 개발된 SHE

출로(pollutant path)를 계산할 수 있다.

이러한 모델의 대부분은 모든 과정을 수학적으로 풀이한다. 'field model'을 사용하면, 물순환 과정 및 그로 인하여 야기되는 공해물질의 이동을 시간적 및 공간적으로 모든 점에서 예측 할 수 있다. 이러한 유형의 가장 대표적인 모델은 지하수모델로서 각 지점의 유속 및 압력을 계산한다. 이론적으로 이러한 모델은 무작위성(randomness)으로 부터의 영향을 배제할 수 있다. 즉 물리, 화학, 생물학적 과정을 설명하는 미분방정식에 의하여 강우, 공해, 식생피복 상태 및 태양열 등의 입력을 이용하여 공간 및 시간적인 변화를 계산할 수 있다.

실제로 가장 정교한 모델들조차도 가장 단순한 정보없이 세워질 수 없다. 아무도 그와 같은 모델을 운영하는데 필요한 모든 필수적인 정보를 결정할 순 없다. 그러므로 그 모델의 매개변수는 인공위성에서의 측정을 포함하는 확장된 영역실험이나 다른 먼 상식적 결과로 부터 가장 잘 추론된다. 불행히도 물의 전달에 영향을 주는 유역의 자연적인 특성은 어떤 넓은 공간의 변화성을 가지는 매개변수에 의해 설명된다. 이들 매개

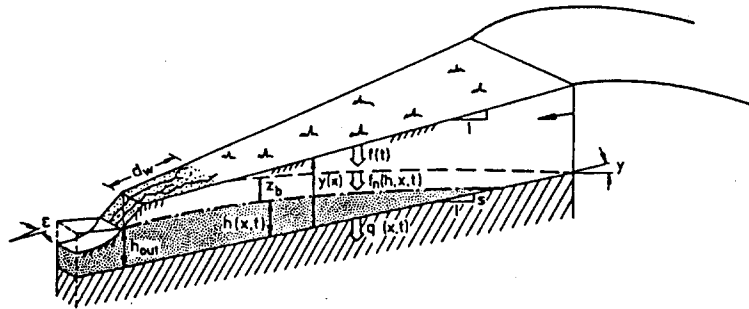


그림 8. 동질 유역 모델 (Smith and Herbert, 1983)

변수들은 식물피복과 지형학 또는 토양 특성(다공성 또는 굳기)와 같은 지표면의 특성에 의존한다. 그리고 그들은 공간과 시간적으로 변화하지 않는데 그 이유는 계절적 변화를 나타내는 매개변수가 생물학적, 화학적 변화를 반영하기 때문이다.

이미 언급된 복잡한 사정으로 일반적으로 유역의 'field model'들은 지표면 유출과 지하수흐름의 분리로 인해 단순화된다. 더욱 정교한 모델들

model(Beven; 1985) 이다. 일반적으로 이러한 유형의 모델들은 많은 양의 자료를 필요로 하는데 주로 직접 계측하거나, 이웃한 유역의 자료를 사용한다. 이러한 모델의 장점은 그 지역의 수자원이나 공해물질의 분포를 지역적으로 계산할 수 있는 것이다. 지역적으로 변하는 입력 및 출력자료를 결정하여야 할 경우 이런 모델을 사용할 수 있다. 수질문제를 해결해야 하는 경우 토지이용의 변화 및 공해 배출업소 등에 의한 공해물질 배

에서는 이러한 두 근접한 수평적인 흐름은 지표 수 방정식에서 침투 손실로 나타나는 수평적 흐름과 지하수 흐름동안 재충전되는 변화를 갖는 침투모델을 통하여 서로 관련하고 있다.

이것들은 적분을 통한 하나의 공간차원(spatial dimension)을 제거함으로써 단순화 시킬 수 있는데, 그 예로 지하수 방정식은 깊이의 적분항으로 나타내며, 개수로 흐름 방정식은 단면적의 적분항으로 나타난다. 그와같은 모델은 컴퓨터 그래픽을 위한 훌륭한 기능을 제공한다. (Louks, 1985).

컴퓨터 그래픽은 등속선도와 등오염도를 그릴 수 있게 한다. 그리고 그것은 어떤 결론을 얻는데 매우 효과적인 도구가 될 수 있다. 그러나 그러기 위하여서는 그 모델에 기초가 되는 자료가 양호해야 한다는 것을 인식해야 한다. 만약 자료가 불충분하다면 계산된 흐름과 결과가 맞다는 착각을 주게 될 것이다. 이러한 방법은 매우 계산결과를 표현하는 놀라운 방법임에 틀림없다. 그러나 그것들이 설계에 기초가 되는 그 모델들의 근본적인 결점을 극복할 수 없음을 알아야 한다. 모델 검증과 관계되는 문제들은 별도로 치면 (이는 뒤에 다루어 진다) 컴퓨터 플로팅은 더욱 더 실용적인 그래픽 출력과 주나 이를 실제 유역에 적용하려면 더 많은 시간이 필요하다는 것을 알게 된다. 또한 규명되지 않는 실제 현장을 잘못 재현하지 않도록 주의하여야 한다.

3.6 'Field type model'들의 불확실성

아마도 21세기 수문학적모델의 가장 바람직한 형태는 출력이 도식적으로 나타나는 'field type model'일 것이다. 이 모델들의 복잡한 구조는 컴퓨터의 발전으로 운영에 큰 어려움이 없을 것이고, 그 적용도 어렵지 않을 것이다. 그러나 그 모델에 대한 검증(calibration)과 유효성(validation) 여부는 컴퓨터의 발전과는 다른 문제이다. 모델을 어떤 주어진 상황에 적용하기 전에 모델의 매개변수가 무엇인지 알아야 한다. 일반적으로 이 매개변수들은 일정한 값을 가지는 것이 아니라, 시간적, 공간적으로 변화하며 때로는 무작위 변수이기도 하다. 내부변수를 변환시키기 위한 무작위변수는 알 수 없으며 실측으로부터 측정할 수 있다. 일반적으로 유역의 제한된 몇 개 지점에서만 상세한 실측이 가능하므로, 이들의

점 실측치(point measurements)를 이용하여 유역 평균을 구하는 것이 문제가 된다. 따라서 이 분야가 현대 수문학에서 가장 활발히 연구되고 있으며, 'kriging'과 같은 지형통계적(geo-statistical) 방법이 이용되고 있다.

이러한 유형의 모델을 경험적으로 지원하기 위한 현장조사는 많은 시간을 소비하고, 실행하는데 많은 돈이 필요하다. 따라서 현장 연구는 거의 이루어지지 못하고 있다. 이러한 계통의 연구가 많이 없으므로 IHW 에서 시행한 'hill slope' 연구를 기초로 이들 모델의 변수를 결정할 수 있고, 나아가 모델을 적용할 수 있다.

여러 매개변수와 입력자료 및 모델의 운영상의 불확실성은 모델이 제공하여주는 정보들의 질적 수준을 낮추어 이러한 불확실성이 복잡한 모델들의 유용성에 대하여 의심하게도 한다. 자연적 변화를 비교하여 볼 때, 복잡한 모델을 단순화함에 따라 생기는 부과적인 불확실성은 대단히 작다. 따라서 연구의 가장 중요한 영역은 자연적 변화로 야기되는 모델의 불확실성을 제거하는 것이다. 만약 모델의 불확실성에 대한 확률밀도함수(pdf)가 표본이나 실측자료의 확률밀도함수와 큰 차이가 없을 때에는 모델을 더 개선할 필요가 없다. 불확실성과 자연적 변화는 많은 의문을 제기하고 있으며, 현 시점에서 연구되어야 할 과제이고, 결국은 장래의 수문학자에 의하여 극복되게 될 것이다. 장래의 수문학자는 변수추정 방법과 변수의 통계학적 분포를 고려하여야 하며, 불확실성에 대한 정확도 및 부정확한 변수에 의하여 생기는 결론의 불확실성에 대한 고려는 초과 확률과 같은 단순통계에서 부터 보다 정교한 다목적 기준에 이르기까지의 다양한 기준이 필요하다.

일반적으로 어떤 모델의 가치는 수치 (numeral value)가 모델에 의한 결론으로 나타낼 수 있을 때 평가할 수 있다. 만약 결론이 모델의 복잡성에 대해 예민도가 작을 경우, 모델은 더 개선할 필요가 없다. 그러나 그 반대의 경우, 즉 자료의 개선이나 모델의 개선이 불확실한 결론을 줄일 가능성이 있는 경우 더 많은 연구가 필요하다.

모델의 불확실성은 수년에 걸쳐 극복할 수 있다. 그러나 불확실성의 양적 (또는 수치적)인 것뿐 아니라, 사용목적에 따른 상대적인 것도 수문학자는 알 수 있어야 한다.

운영 수문학(Operational Hydrology)의 목적은 수문학자를 위한 것이 아니라 수문학에 지식이 없는 정책 결정이나 책임자를 위한 것이다. 따라서 수문학자들이 도전해야 할 당면과제는 수문학을 알지 못하는 사람들을 위하여 불확실성을 포함한 이론적 결론을 납득시키는 방법을 개선하는 것이다.

4. 결론

수문학은 두 중요한 뿌리를 가진 학문이다. 그 하나는 지구물리학이다. 이것은 물과 그 주위 환경의 변천에 대한 수문학적 과정의 기본지식을 탐구하는데 까지 확장된 이론적 수문학을 이끌어 왔다. 그 주요한 목적은 수문학적 순환의 요소에 대한 인간의 역할까지 포함된 자연의 활동에 대한 이해를 돕는 것이다. 그것의 방법론적인 범위는 단순한 서술적 설명에서 부터 정교한 수학적 수량화까지이다. 두번째는 'water system' 설계를 해야하는 공학자들의 실제적 필요성이다. 이는 어떤 수치를 창출하는 것을 우선적인 목적으로 하는 실용적인 수문학을 이끌어 왔다. 그 목적은 수리 구조물이나 수자원 계획을 수립하는데 필요한 정보를 제공한다.

만약 누군가가 문서화된 과학적 간행물이나 토론의 회의록등을 통해 지난 반세기 동안의 수문학의 진행과정을 되돌아 보면 수문학자들이 그들 학문의 개척자로서의 소임을 다해 왔음을 명백히 알 것이다. 많은 좋은 이론적 모델은 물방울이 그 최초의 형태인 구름의 응축에서 마지막으로 지하수나 하천의 흐름으로 유입하는 전 과정을 제시하고 있다.

공학자는 이론 수문학자들이 발전시킨 방법의 사용자가 되어야 한다. 오늘날에는 더욱 이론적인 색채가 가미되고 그 잠재적 유용성이 현재 공학자들이 사용하고 있는 방법보다도 큰 많은 모델이 있다. 그러나 사용자들에게 있어서는 이론적 수문학자들이 원하는 학문적 변화가 없다. 실용적인 공학자들은 과학적 문헌을 등한시 하는 경향이 있는 대신에 다른 공학자들이 일반적으로 받아들인다고거나 성문화된 기준이나 규칙을 따르고 있다. 사실 실용적인 공학자들은 오래전설계 문제가 오랜기간 의심의 여지없이 사용되어 왔다면, 새로운 기법에 대하여 관심을 두지 않는다. 이는 예를 들어 수자원 개발 문제에 OR기법

을 적용하는 것 같은데에 무관심한 실무자들을 비난하는, 수자원 연구의 특별한 분야인 이론학자들에게는 매우 유감스러운 일이다. 그러나 수문학에 있어서 오래된 과제를 풀기 위한 새로운 기법이 단지 과학적 논문에 의해 학문적 작업에서 실무에 적용될 수는 없다. 모델의 개발자와 사용자사이에는 오랜 동안의 지속적이고 창조적인 협력이 필요하다.

실무자와 공대 토목공학과에서 이론을 개발하는데에 주력하는 수문학자간의 이러한 협력은 독일에서 오랜 전통이 되어 왔고 양측에 많은 이익이 되어 왔다. 대학의 수문학자들은 현 세대의 컴퓨터에 기초한 방법, 예를 들어 검증하는 안전성에 대한 공공의 인식에 요구되어지는 홍수방지 저수지(flood protection reservoirs)를 위한 설계 홍수량 계산과 같은 방법을 개발했다. 이러한 작업을 통해 대학의 학자들은 지구의 환경에서 일어나는 실제적인 문제에 친숙하게 되며 과학적인 기반을 갖고 일상적으로 적용할 수 있게 개발된 방법들에 반응할 수 있게 된다. 그렇게해서 현재에 사용되고 있는 방법들은 연구에서 적용까지의 'feedback loop'를 통해서 다시 연구함으로써 보다 나은 실용적 방법들을 얻을 수 있다. 만약 실무에서 해답이 성문화 되지않고 설계자의 보통 경험의 밖에 있는 새로운 문제에 직면하는 상황은 이와 다르다. 이러한 문제에서 실무자는 - 학자가 기꺼이 협력해 준다면 - 학자에게 문제를 가지고 가서 함께 일하고 실무자가 이해할 수 있는 수준으로 토론하고 실무적 관점에서 거시적으로 상황을 살펴보려 한다. 이것은 학자가 실제적 적용에 관심을 갖고 있으며 그의 개인적 연구를 그 문제에 집중한다는 것을 의미한다. 이러한 협력은 그 자체만을 해결하는 것이 아니다. 왜냐하면 현재 문제에 대한 인식은 그의 기본적 연구를 통해, 그 스스로나 다른 사람이 훗날의 문제에 대한 지적인 예측을 이끌어 낼 준비를 할 수 있기 때문이다.

우리의 경험에 의한 일반적인 결론은 학자는 그의 공학적 동료들과 21세기의 수문학에 대한 최상의 공헌으로서 일에 도전하고 있으며 그들은 유용성이라는 관점에서 큰 만족을 이끌어낼 뿐만 아니라, 수문학자들뿐 만 아니라 수리학자 그리고 실무동료들을 친구로삼거나 교제를 하므로서 거시적 안목을 얻고 있는 것이다.

참고 문헌

- R. Anselm(1986):"Bauweisen und Kosten naturnaher Gewässerumgestaltung" in: Mitteilungen, Institut für Wasserbau und Kulturtechnik, Universität Karlsruhe(TH), Heft 174, pp.97-130.
- A. Becker and E. Glos(1967):"Grundlagen der Systemhydrologie" Mitteilungen, Heft 32, Institut für Wasserwirtschaft, Berlin.
- K. J. Beven, R. Warren, and J. Zaoui, (1982):"SHE:Towards a methodology for Physically based distributed forecasting in hydrology" in "Hydrological Forecasting", IAHS Publication No. 129, pp.133-137.
- K. J. Beven(1985):"Distributed models", Ch.13 in "Hydrological Forecasting"(M.G. Anderson and T.P. Burt, eds.), J. Wiley, pp.405-435.
- J. Figlus(1986):"Transfer functions for sewer systems based on a hydrological model" in: C. Masimovic and M. Radojkovic(eds) Urban drainage models, Pergamon Press, Oxford, Uk, pp.239-249.
- J. Grobe(1977):"Die statistische Vorhersage von extramen Punktniederschlägen und deren Abminderung in Abhängigkeit von extremen Punktniederschlägen und Wasserwirtschaft, Universität Karlsruhe.
- S. Kelman, W. Storch et al.(1977):ASCE Task Committee on Agricultural Runoff and Drainage. Report on "Quality aspects of agricultural runoff and drainage", Proc. ASCE, Vol.103, Journal of the Irrigation and Drainage Division, pp.475-495.
- Z. Kundzewicz, L. Gottschalk, and B. Webb(eds.)(1987):"Hydrology 2000", IAHS Publication No. 171, IAHS Press, Institute for Hydrology, Wallingford, UK.
- R. K. Linsley, M. R. Kohler, and J. L. Paulhus(1958):"Hydrology for Engineers", McGraw-Hill, New York, U.S.A.
- Landesamt für Umwelt,
- Baden-Württemberg,(1985):"Das Hochwasser am.21.6. 1984 im Main-Tauberkreis"(The extreme flood of June 21, 1984 in the Main Tauber Country of the State of Baden-Württemberg), Handbuch der Hydrologie Baden-Württemberg, Report No. 6.2.
- K. M. Loague and R. A. Freeze(1985):"A comparison of rainfall-runoff modeling techniques on small upland catchments", Water Resources Research, Vol.21, pp.229-248.
- D. P. Loucks, J. Kindler, and K. Fedra(1985):"Interactive water resources modeling:an overview", Water Resources Research, Vol.21, pp.95-102.
- W. Lutz(1984):"Berechnung von Hochwasserabflüssen unter Anwendung von Gebietskenngrößen" Mitteilungen Heft 24, Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft, Universität Karlsruhe, p.235.
- U. Mainak(1986):"Rainfall runoff model for rural catchments", Proceedings, Fourth International Hydrology Symposium:Multivariate Analysis of Hydrological Data, Water Resources Publications, Littleton, Colo., pp.880-893.
- R. H. McCuen, S. L. Wing, and W. J. Rawle(1984):"Estimating urban time of concentration", Proc. ASCE, Vol.110, Journal of Hydraulic Engineering, pp.887-904.
- J. F. Mock(1985):"Engineering measures for reservoirs and irrigation to reduce water-borne diseases", Proc. Hamburg Symposium:"Scientific Procedures Applied to the Planning, Design and Management of Water Resources System", IAHS Publications, No.147, pp.503-520.
- J. E. Nash(1957):"The form of the instantaneous unit hydrograph", Bulletin IAHS No.45, pp.114-121.
- E. J. Plate(1987):"Planning a system of flood

및 非接觸測定시스템이므로, 流況의 測定, 解析이 可能하며, 浮體등의 運動을 解析할 수 있는 裝備이다(寫眞 4).

現在, 實施中이거나 推進中인 事業으로서, 河川堤防根固工의 水理特性, 取水狀의 設計方法, 耐波消波블럭의 改良, 回折波 및 越波의 干涉 등의 基礎研究와 都市高速化 道路擴張을 위한 漢江

水理實驗, 炭川水理實驗, 牙山灣水理實驗, 群山, 長項地區水理實驗등 있다.

한편, 國立建設試驗所에서는 尖端科學技術을 應用한 裝置의 使用으로 水理實驗技術의 向上은 물론, 國內外的 精度높은 數值模型을 利用하는 hybrid模型 技法의 適用을 企圖하고 있으며, 이로써 最適한 水工構造物建設의 支援이 期待된다.

→ 20p에서 계속

- protection reservoirs in the Sulm catchment in the Federal Republic of Germany" A case study in: Y. Haimés, J. Kidler, and E. J. Plate(eds.): The process of water resources planning: a system's approach. UNESCO Studies and Reports in Hydrology, No.44, UNESCO, Paris, pp.79-88.
- E. J. Plate and J. Ihringer(1988): "Operational models for flood calculations" to appear in Journal of Hydrology, Vol.100.
- M. Radojkovic(eds.) Urban drainage models, Pergamon Press, Oxford, UK E. J. Plate, G. A. Schultz, G. Seuss, and H. Wittenberg(1977): "Der Ablauf von Hochwasserwellen in gerinnen", Schriftenreihe des DVWK, Heft 25.
- E. J. Plate and G. A. Schultz(1972): "Flood control policies developed by simulation". Proc. 2nd International Symposium in Hydrology. Water Resources Publications, Ft. Collins, Collins, Colo, USA, pp.246-258.
- E. J. Plate and B. Treiber(1979): "A simulation model for determining the optimum area to be irrigated from a reservoir in arid countries" Proceedings IWRA Third World Congress on Water Resources, Mexico City, Vol.1, pp.1-15.
- A. J. Raudkivi(1979): "Hydrology: An Advanced Introduction to Hydrological Processes and Modelling", Pergamon Press, Oxford, UK.
- G. Rouve(ed.)(1987): "Hydraulische Probleme beim naturanhen Gewasser ausbau" Research Report, German Research Association.
- G. A. Schultz(1988): "Remote sensing in hydrology" Journal of Hydrology, vol.100, to be published.
- R. E. Smith and R. H. B. Hebbert(1983): "Mathematical simulation of interdependent surface and subsurface hydrological processes", Water Resources Research, Vol. 19, pp.987-1001.
- J. Wald, W. Kron, W. Buck, and E. J. Plate(1986): "Generation of storm runoff in an area with a high groundwater table", Proc. of the IAHS Budapest Symposium, IAHS publication no.156, pp.97-109.
- E. Waymire and V. K. Gupta(1981): "The mathematical structure of rainfall representation: 1. A review of the stochastic rainfall models", Water Resources Research, Vol.17 pp.1261-1272.
- J. R. Williams(1975): "Sediment yield predictions with universal equation using runoff energy factor", Agricultural Research Service ARS-S-40, USDA, Wash., pp.244-252.
- H. Wittenberg(1974): "Der Einflub zunehmender Bebauung auf den Hochwasserabflub", Mitteilungen, Heft 4, Institut fur Hydrologie und Wasserwirtschaft, Universitat Karlsruhe.