

# 동역학과 모형(Dynamic Wave Routing)을 이용한 유출 해석에 대하여



김 대 흥 |

서울시립대학교 교수  
dhkimhyd@uos.ac.kr

누구나 다 알고 있는 이야기 이지만, 기후의 변화는 우리의 삶에 매우 큰 변화를 야기하고 있다. 여러 가지 수문현상 중에, 변화를 가장 실감하게 되는 것 중 한가지는 강우의 패턴이 변화하고 있다는 점이다. 지역마다 다르겠지만, 연간 강수량과 같은 거시적 변화와 더불어, 강우강도와 지속기간 또한 우리가 그동안 관측해온 과거와 다른 양상을 나타내고 있음은 수공학과 기상분야 전문가뿐만 아니라 일반인 대부분도 감지할 정도이다.

강우에 대하여 우리 수공학 전문가들의 가장 큰 사명중 하나는 강우유출량과 유출시간 및 하천홍수를 예측하여 인명과 재산을 지키는 일이다. 그런데, 일반적으로 이용되고 있는 대부분의 유출모형은 분포형이거나 집중형 모두 개념적인 방법을 이용하거나, 너무나 많은 가정에 근거한 모형을 이용한다는 것이다. 따라서 우리가 알지 못하거나, 불확실성이 큰 부분은 관측을 바탕으로 경험에 근거하는 매개변수를 이용하여 처리하고 있다. 그러나 전술한 바와 같이, 기후가 변화하고 강

우의 특성이 변화함에 따라 강수의 결과로 나타나게 되는 홍수의 특성이 어떻게 변화하게 될지는 기존의 방법으로 적절하게 예측하기 어려운 점이 있을 것이다.

따라서, 너무나 많은 해결 과제가 산재하지만, 수공학 연구자의 사명중 하나는 바로 강우 특성의 변화가 홍수에 어떤 영향을 주는지를 밝혀내는 것이다. 그렇다면 어떤 도구를 이용할 것인가? 필자의 의견으로는, 우리가 이용할 도구는 다양한 조건을 자유롭게 제어할 수 있고, 이와 같은 다양한 조건을 반드시 물리적으로 타당하게 반영하고 해석할 수 있어야 한다. 왜냐하면, 과거에 일어난 일이 아니라, 미래에 발생할 현상에 대한 것이기 때문이다.

대학생들이 공부하는 다양한 수문학 책에도 잘 나와 있듯이, 동역학과모형은 여러 가지 홍수추적 모형 중 가장 물리적인 접근방법을 이용하여, 기존에 주로 이용되어온 홍수추적기법에 비하여 상대적으로 작은 수의 가정을 하고 있다. 또한 수치모형으로 변화하고 있는 다양한 자연조건을 초기 조건과 경계조건 형태로 예측모형 내에 반영할 수가 있어, 위에서 제시한 요구조건에 부합한다고 할 수 있다.

그렇다면 과연 동역학과모형을 이용하여 강우 유출을 모의하는 것이 가능할 것인가? 물론 쉽지는 않은 일이다. 수심이 깊고 지형의 변화가 완만

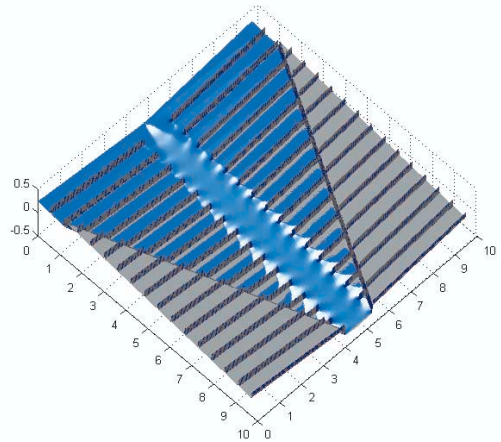
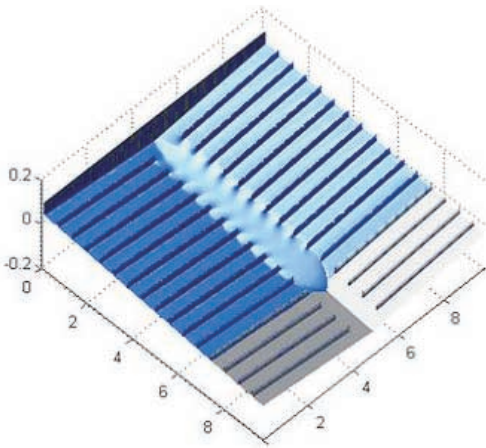


그림 1. (좌) 상류에서 하류로 이동하는 강우에 의한 유출 해석 결과.  
(우) 하류에서 상류로 이동하는 강우에 의한 유출 해석 결과.

한 하천과 호수에 매우 적응성이 높은 기법을 적용해도 그러하다. 그 이유는 강우유출시 발생하는 매우 작은 수심을 질량의 손실 없이 보존하는 것과 유역의 복잡한 지형에서도 안정적으로 작동되는 수치해석 기법 개발의 어려움 등의 다양한 이유 때문이다. 그렇다고 불가능한 일은 아니어서 최근 다수의 관련 연구성과들이 발표되고 있다.

그림 1은 구름이 이동하면서 발생하는 이동강우에 의해 발생하는 지표유출과정을 동역학파모형을 이용하여 계산한 것이다. 유역의 모양이나 강우의 발생지역은 지형의 표고와 이동경계기법을 이용하여 다양하게 변경할 수가 있다. 그림에서의 수심은 수 mm에서 약  $10^{-3}$ mm 정도를 나타내고 있으며, 책모양의 유역 양쪽 경사평면에 설치된 연직벽과 같은 지형물이 존재함에도 안정적으로 흐름이 계산되고 있음을 알 수 있다.

수리모형실험과 수학적 방법과 비교할 때 수치해석의 일반적인 장점과 마찬가지로 동역학파모형을 이용하게 되면, 우리가 원하는 임의의 기상조건을 모의할 수가 있고, 또 하나의 잠점으로, 우리가 원하는 장소와 시간에서 우리에게 필요한 물리량을 확인 할 수가 있다. 이와 같은 해석결과는 단순히 계산결과를 출력하는 것에 그치지 않고 어떤 현상이 왜 그렇게 발생하게 되는지에 대한 유

출과정의 기작을 밝혀내는데 매우 중요한 근거가 될 수 있을 것이다.

예를 들어, 그림 2~5는 사각형 V형 유역에 발생하는 강우유출현상을 동역학파모형을 이용하여 계산하고, 그 결과를 출력한 것이다. 그림 2는 일부지역의 유량과 유속분포를 도시한 것이고, 그림 3은 다양한 강우에 대한 유역 출구에서의 수문곡선을 나타낸다. 그림 4는 하류에서 상류로 이동하는 이동강우에 의하여 사각형의 V형 유역을 따라 유출이 일어나는 과정을 모의한 결과의 일부분으로, 운동량방정식의 각항이 어느 곳에서 또는 어느 시점에 얼마만큼의 기여를 하는지를 분석할 수 있는 정량적이며 (상대적으로) 물리적인 결과를 제시할 수 있음을 나타내고 있다. 마지막으로 그림 5는 공학적으로 매우 중요한 도구중의 하나인

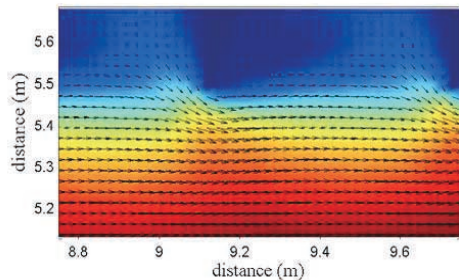


그림 2. 유량과 유속분포도

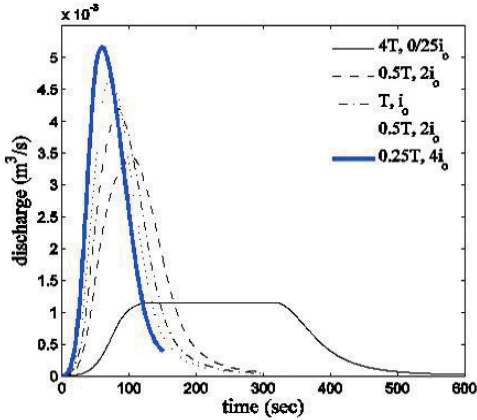


그림 3. 동역학파모형으로 계산한 강우유출곡선

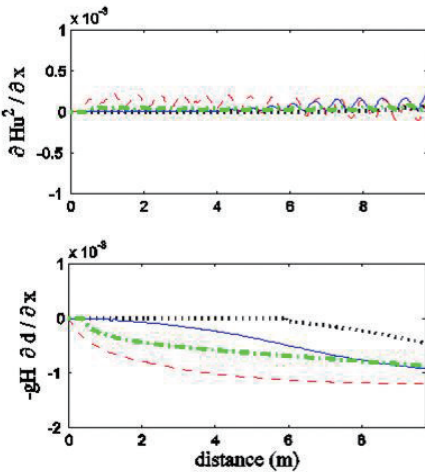


그림 4. V형 유역 중심선에서의 시간에 따른 수심평균운동량방정식 계산 결과

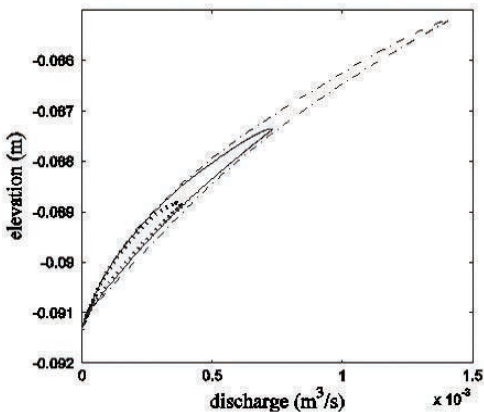


그림 5. 강우량 변화에 따른 수위유량관계곡선

수위-유량관계곡선이 강우량에 따라 어떻게 변화 하는가를 동역학파모형을 이용하여 계산한 결과 이다. 이외에도 강우유출과정의 분석에 필요한 다양한 물리량의 계산할 수가 있다.

물론 아직까지도 동역학파모형을 이용하여 유역을 대상으로 홍수예정보, 특히 실시간 예정보에 적용하기에는 해결해야할 중요한 문제가 남아 있다. 누구나 짐작하겠지만, 동역학파모형은 개념모형에 비하여 너무나도 긴 시간을 필요로 하며 운동파모형과 비교해도 몇 배의 연산시간이 요구되기 때문에, 컴퓨터 연산처리속도의 비약적인 증가에도 불구하고, 그 적용은 아직 요원해 보인다.

그럼에도, 동역학파모형을 이용하여 다양한 기상과 유역조건에 대한 모의를 수행하고 그 결과를 분석하여 수문현상에서 가장 복잡한 과정중 하나인 강우유출에 대한 우리의 이해를 보다 증진하여, 실측치의 분석이나, 개념적 모형과 운동파모형과 같은 보다 많은 가정을 포함하고 있는 모형에 필요한 매개변수를 찾아내고 불확실도를 줄여, 동역학파모형 이외의 도구를 이용하여 홍수를 예측하는 경우에도 일정부분의 기여가 가능할 것이다. 또한, 개인적인 판단이지만, 빠르면 10년 또는 20년 내에는 홍수예정보에도 동역학파모형의 운용에 필요한 충분히 환경이 조성되리라고 예상되므로, 이에 대한 보다 적극적인 연구가 필요한 시점으로 판단된다.

강우유출의 범주를 벗어나서 물질의 수송모형이나 유사모형 등과 결합하여, 강우에 의하여 유역으로부터 하천이나 바다로 흘러들어가는 물질의 추적에도 활용이 가능하다. 그림 6은 동역학파모형을 이용하여 강우유출을 계산하고 그 흐름에 따라 지표면에 있던 물질이 이동하는 현상을 모의한 결과 이다. 이와 같이 동역학파모형은 매우 다양한 분야에 확장이 가능하며, 이론해 및 실험과 계측과 병행하여 물의 순환과 관련 제반현상의 이해의 폭을 넓히는데 그 가능성이 매우 큰 것으로 판단된다.

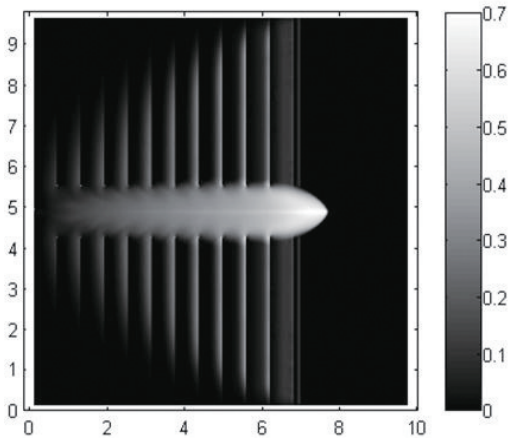


그림 6. 강우에 의한 물질의 유출 과정 모의 결과

### 감사의 글

본 기고는 국토교통부 물관리연구사업의 연구  
비지원(13AWMP-B066744-01)에 의해 수행되  
었습니다. 🌊