

HEC-1을 이용한 홍수 수문곡선 모의방법

충남대학교 공과대학 토목공학과 교 수 김 재 한

금오공과대학 토목공학과 교 수 이 재 준

한국건설기술연구원 수자원연구실 선임연구원 이 흥 래

제1장 머리말

물을 다루는 여러학문 중에서 특별히 인간과 물의 관계를 취급하는 공학의 한 분야로 수문학은 최근에는 전산기 발달에 힘입어, 1960년대 이후 수문과정의 요소를 개념화하고 모형화하는 단계를 지나면서 급진적으로 발전해 왔다. 특별히 강우와 유출의 관계를 정확하게 규명하는 일은 수문학의 핵이라 해도 지나침이 없을 것이다. 강우와 유출의 관계를 해석함으로써 홍수에 대한 해석과 이에대한 여러 대책을 수립할 수 있으며, 댐과 같은 각종 수공구조물이나 우배수 관거 등을 설계할 때도 강우와 유출에 대한 정확한 규명이 필요하다. 또한 최근에는 인간이 모여살고 있는 도시구역의 유출해석도 수문학의 새로운 분야로 발전해오고 있다. 이런 치수분야 뿐 아니라 이수 계획에서도 구역내의 중·장기 유출해석은 수자원이용과 관리에 근간이 되는 것이다. 이러듯 강우와 유출관계를 정확히 규명하기 위한 노력은 여러가지 방법을 동원해 지금도 지속적으로 이루어져 오고 있다.

HEC-1 모형(Flood Hydrograph Package)은 미 공병단(U.S. Army Corps)내의 Hydrologic Engineering Center에서 개발한 여러가지 HEC 시리즈 중에서 가장 먼저 개발된 것으로, 유역에서의 홍수를 해석하는 프로그램으로 1968년 10월에 L.R. Beard 등에 의해 개발되었다. 이 모형은 그 이후에도 입력과 출력 형태를 보강하고 kinematic wave 해석, 최적화 기법, 댐 파피이론 등 여러가지 기능이 보강되어 왔다.

HEC-1에 포함된 내용은 수문학의 거의 일반적인 내용이 망라되었다 해도 과언이 아니다. 이런 많은 내용 중에서 하도의 수면형 계산을 위해서는 HEC-2 모형으로 분리하여 더욱 발전시켰으며, 저수지 시스템 분석에 관한 분야는 HEC-3, 저수지와 하도에서의 홍수조절 해석을 위해 HEC-5, 저수지와 하천에서 퇴적과 세굴에 관한 해석은 HEC-6 그리고 월유출 해석을 위해 HEC-4 모형으로 각각 개발시켜 나갔다. 또한 HEC-1 모형은 해석용 프로그램으로 개발되었는데, 홍수예보를 위해 실시간으로 해석하는 HEC-1F도 개발되고 있다.

본 책은 HEC-1에 포함된 여러가지 기능, 즉 유역유출 해석, 하도추적, 다중계획-다중홍수해석, 홍수피해분석 등에 적용된 기본이론과 분야별 예제를 중심으로 작성하였다. 특히 HEC-1은 보통 국내에서 강우-유출 해석분야에 주로 활용되는 바, 이 경우 국내자료를 이용해 강우-유출을 해석하였고, 실무적인 차원에서 이해하기 쉽게 설명하고자 작성하였다. 또한 내용이 HEC-1 모형에 관한 것이므로 당연히 'HEC-1 사용자 설명서(HEC-1 USERS MANUAL)'의 내용을 근간으로 하였으며, 순서 역시 이에 준하였다. 여기에 포함된 여러 해석의 기본이론과 예제를 정리, 수록하였고, HEC-1 모형에 관한 관련 서적을 다수 참고하여 작성하였다.

제2장 HEC-1 개요

2.1 HEC-1 모형소개

HEC-1모형은 강우에 의한 유역의 표면유출을 모의하기 위해 수리, 수문학적 요소로 유역을 상호연결하여 모의토록 설계되었다. 일반적으로 각 요소는 유역내 소유역에서 강우-유출 과정의 한 사항을 모형화 한다. 이런 요소는 표면유출, 하도 혹은 저수지추적 등을 재현한다. 이런 재현은 물리적 과정을 나타내는 수학적 관계와 요소의 특별한 특성을 표현하는 일련의 매개변수가 필요하다. HEC-1 모형을 통해 유역내 임의지점에 대한 유출 수문곡선을 계산해 낼 수 있다.

2.2 설명서 개요

이 사용자 설명서는 HEC-1에서 사용하는 개념, 방법론, 입력에 요구되는 사항,과 출력양식등이다. 모형의 능력과 이 설명서의 구성에 대해 각각 간략히 소개하였다.

(1) 흐름망 모형 개념과 방법론

제3장에는 HEC-1 흐름망 구성요소에 대한 설명이 기술되어 있다. 유역에서 강우-유출을 모의하는 내용이 HEC-1의 적용에서 가장 중요한 부분이며, 다른 기능은 부가적인 것이다.

제4장은 유출을 모의에 사용한 여러 계산방법 즉, 유효우량 결정법, 단위도, kinematic wave와 Muskingum-Cunge 방법을 기술했으며, 모형변수의 최적값을 결정하는 방법은 제5장에 설명했다.

(2) 추가적인 홍수 수문곡선 모의 선택

제6장은 5가지 계획에 대해 설계홍수량을 9개까지 변화하며 모의할 수 있는 다중계획-다중 홍수분석을 설명하고 있고, 제7장에는 댐의 구조적 파괴나 월류에 의한 결과를 분석할 수 있는 댐-파괴 모의기능에 대해 설명하고 있다. 제8장은 전 유출망에 대해 강우깊이와 유역면적의 관계를 일관성 있게 유지하는 홍수 수문곡선을 계산하는 과정에 대해 기술하고 있다.

(3) 홍수피해 분석

제9장은 다중계획-다중홍수분석에서 정의되는 피해구간에 대해 홍수피해의 경제적 평가에 대해 설명하고 있다. 이 분석을 통해 제공되는 매년 예상피해와 홍수조절에 효과는 사용자가 제공하는 피해자료와 각 구간의 계산된 유량에 기초하여 계산된다. 제10장에서는 HEC-1이 제공하는 최적화 과정을 사용해 최적의 홍수조절 체계를 추정하는 과정에 대해 설명하고 있다.

2.3 이론적 가정과 제한 사항

입의 하천유역은 소유역들을 서로 연결하여 표시할 수 있다. 소유역을 대표할 수 있는 모형 매개변수에 의해 수문학적 과정이 표현될 수 있다는 가정하에 본 프로그램이 만들어 졌다. 만약에 이 대표값들이 해당 소유역에 부적당하다면 평균매개변수가 적용될 만한 소유역으로 분할하는 것이 필요하다. 모형의 매개변수들은 공간적 뿐만 아니라 일시적으로 평균값을 나타낸다. 따라서 사용하는 시간간격은 계산시간에 걸쳐 평균값이 적용될 수 있도록 충분히 작아야 한다.

본 모형에는 몇가지 중요한 제한사항이 있다. 무강우 기간에 토양습윤에 대한 변동사항을 조사하지 않기 때문에 모의계산은 하나의 호우에 대해서만 실시된다. 사용자가 지정한 rating curve를 이용해 수위로 인쇄될 수 있더라도, 모형의 계산결과는 수위가 아니라 유량으로 출력된다. HEC-2와 같은 수리계산 프로그램은 일반적으로 수위를 얻기위해 HEC-1과 결합해서 사용할수 있다. 흐름추적은 수문학적 추적방법에 의해 수행된다. 저수지 추적은 수문에 의해 홍수를 조작하는 경우에는 적용이 부적당한 수정 PULS 기법을 사용하였다.

제3장 모형구성

흐름망 모형(stream network model)은 HEC-1 프로그램의 기본이 된다. 다른 모든 프로그램은 하천유역내 임의 지점에서 홍수 수문곡선을 구하기 위해 이 모형에 추가되는 것이다. 3.1절은 하천유역에서 흐름망 모형을 구성하기 위해 HEC-1 모형에서 사용하는 일반적인 사항을 설명하고 있다. 3.2에서는 단계적 과정을 통해 모형을 구성하는 방법에 대해 언급하였고, 3.3-3.8절은 하천유역의 각 특성을 표현하는 요소들의 기능에 대해 기술하고 있다.

3.1 흐름망 모형 개발

하천유역은 지형도나 다른 지질자료를 이용해 흐름망 요소로 분할, 상호 연결하는 형태로 표현할 수 있다. 이런 요소의 유역 모식도는 다음 단계와 같이 구한다. (그림3.1.1, 그림3.1.2 참조)

(1) 대상 유역의 경계선 작성

이 작업은 지형도를 이용해 수행할 수 있다. 물론 도시유역에서 정확한 작업을 위해서는 배수망도 같은 자료가 추가로 필요할 것이다.

(2) 유역을 모형에서 사용할 소유역 분할 번호와 흐름망 요소의 형태 결정

유역분할은 두가지 사항 즉, 연구목적과 유역의 수문기상학적 변화등을 고려해 실시한다. 소유역에서는 강우분포가 균등하고 침투현상도 같다는 가정이므로, 분할유역이 커질수록 부정확하게 된다.

(3) 소유역은 모형 요소의 조합으로 표현

소유역 유출, 하도추적, 저수지추적, 하도변경, 펌프 요소 등을 사용자가 사용할 수 있다.

(4) 분할 소유역들과 이의 구성요소를 하천유역의 연결성을 고려해 상호 조합

HEC-1은 다른 요소로 부터 얻어지는 유출량을 서로 연결하고 조합하는데 활용할 수 있는 방법이 매우 많다. 이 과정을 끝으로 유역의 모식도가 완성된다.

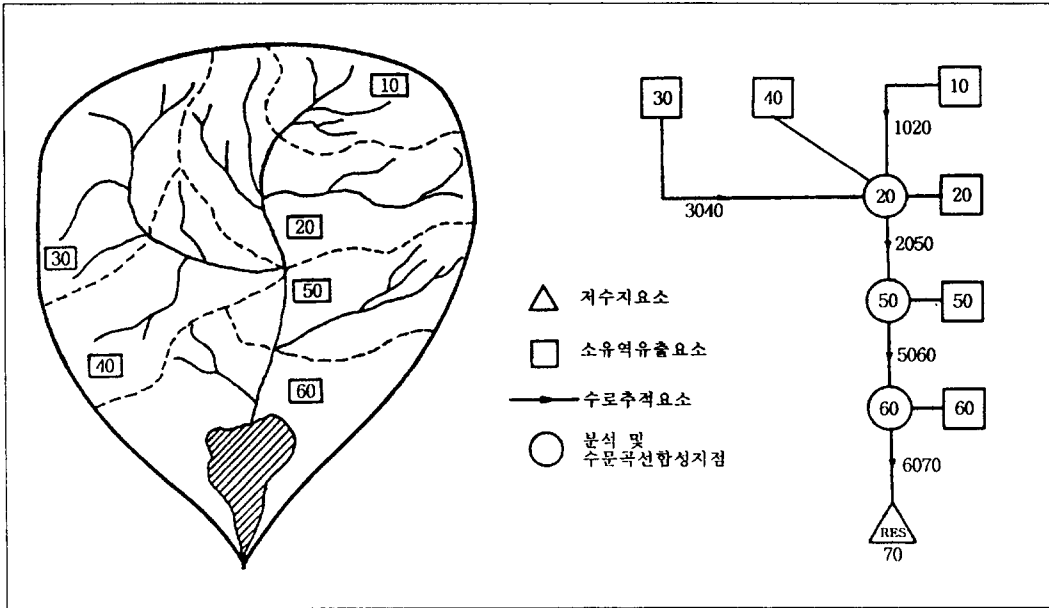


그림3.1.1 하천 유역도

그림3.1.2 하천유역 모식도

3.2 지표면 유출 요소

분할 소유역의 지표면 유출 요소는 지표면과 수로에서 물의 이동을 나타낸다. 초과강우량은 토양의 침투를 함수에 따라 우량주상도상에서 침투와 차단등의 손실량을 제하여 구한다. 초과강우량으로 단위도법이나 kinematic wave 방법에 의해 소유역 출구의 유출 수문곡선을구할 수 있다. 단위도법은 소유역 출구의 유출수문곡선을 제공하는데, 만약에 그 지점이 유출계산에 부적하면 소유역을 더 분할하던가 국부적인 유입량을 분산하기 위해 kinematic wave 방법을 사용하는 것이 필요하다. kinematic wave 방법에 의한 유출흐름은 주수로 구간을 따라 지표면 유출이 균등하게 분포한다고 가정하고 있다. 기저유출은 경험적인 방법에 의해 계산되며, 지표면 유출수문곡선에 이를 더하여 구한다. 강우, 침투및 유출계산 방법 등은 4.1절~4.5절에 설명하였다.

3.3 하도추적 요소

하도추적 요소는 하천수로에서 홍수파의 이동을 표현하는 것이다. 이 요소의 입력자료는 소유역 유출과 하도추적이나 하도분리 등이 각각 혹은 합성되어 구해지는 상류측의 수문곡선이 된다. kinematic wave 방법을 사용할 경우, 국부적으로 분할한 소유역의 유출자료도 주수로의 입력자료

가 되며 하도구간 끝에서 상류측 수문곡선과 합성된다. 4.6절에는 하도에서 유출 수문곡선을 계산하는 여러가지 방법들이 소개되어 있다.

3.4 하도추적과 소유역 유출요소의 합성

그림3.1과 3.2에서 유역유출10, 20과 하도추적 구간 1020을 예로 설명하면, 유역유출 요소 10이 계산된 후 20번 지점까지 하도추적 구간 1020을 따라 계산된다. 20번 지점에서 유출 수문곡선은 단위도나 kinematic wave 방법을 선정하여 계산할 수 있다.

단위도법을 사용하는 경우 유역유출 요소 10이 계산된 후 하도추적 구간 1020을 따라 20번 지점까지 계산이 이루어진다. 소유역 20의 유역유출을 계산한 후 이는 20번 지점에서 하도구간 1020에서 구한 유출 수문곡선과 합성된다. 다른 방법은 소유역 10과 20의 유역유출을 홍수추적을 하기 전에 합성할 수 있다. 이 경우 소유역 20의 유역유출은 하도구간 1020의 최상류단에 집중되게 된다. kinematic wave 방법은 20 소유역에서의 유출은 1020 하도구간에 균등하게 분포하여 측방 유입되게 모형화 되었다. 10 소유역의 유출은 1020 하도구간을 따라 측방 유입되는 유량과 함께 20번 지점까지 추적된다.

유역유출과 하도유출을 적절히 조합하여 강우-유출과 하도추적의 복잡한 문제를 재현할 수 있다. 모의과정은 합류점에 도달할 때까지 하류방향으로 진행된다. 합류점 아래로 모의하기 전에 그 합류점 위의 모든 유량이 계산되고 그 합류점까지 추적된다. 합류점에서 유량들이 합쳐지고, 이 합쳐진 유량은 하류로 다시 추적된다. 그림3.1.2에서 20번 지점에 유입되는 모든 유량은 하도구간 2050에서 추적되기 전에 합쳐져야 한다.

3.5 저수지 요소, 분류 및 펌프요소

저수지추적 요소는 3.3절에서 언급한 하도추적 요소와 유사하다. 이는 저수지, 호수, 저류지, 고속도로 암거 등에서 저류와 유출특성을 표현하는데 사용된다. 상류의 유입량과 저류추적 방법을 이용해 저수지 유입량을 추적하는 이 기능은 4.6절에 기술하였다. 저수지에서의 방류는 수위만의 함수이고 조절기능은 부여되어 있지 않다.

분류요소는 수로의 분류, 유량이 둘로 나누어지는 경우나 하천유역 한 지점에서 다른 지점이나 유역 밖으로 유량이 옮겨지는 경우를 해석하는데 사용된다. 분류요소는 상류의 유입량을 받아 4.7절에서 언급한 바와 같이 사용자가 규정한 rating curve에 의해 유량을 배분하며, 펌프요소는 양수발전등을 모의하는데 사용할 수 있다. 필요한 입력자료는 펌프뎀수와 용량, 수위 등이다.

제4장 강우-유출 모의

HEC-1 모형은 실제 하천유역에서 일어나는 강우-유출 과정을 모의하기 위한 개념적 모형으로 모형 요소들의 기능은 강우-유출 과정에 포함되어 있는 기상학적, 수문-수리학적 과정들을 표현하는 수학적 관계에 기초하고 있다. 이런 과정들은 강우, 침투, 차단, 초과강우의 유출변환, 기저 유출의 합성과 홍수수문곡선의 추적 등으로 구분된다. 아래에서는 이런 과정들을 모의하기 위해 모형에서 사용하는 매개변수와 계산방법에 관해 기술하고 있다.

4.1 강수

지점 우량자료가 입력자료로 이용되며, 이는 우량주상도로 변환하여 모든 유출계산에 사용된다. 강우는 유역 평균값으로 가정하며, 우량주상도는 계산간격 동안 평균강우 깊이를 의미한다.

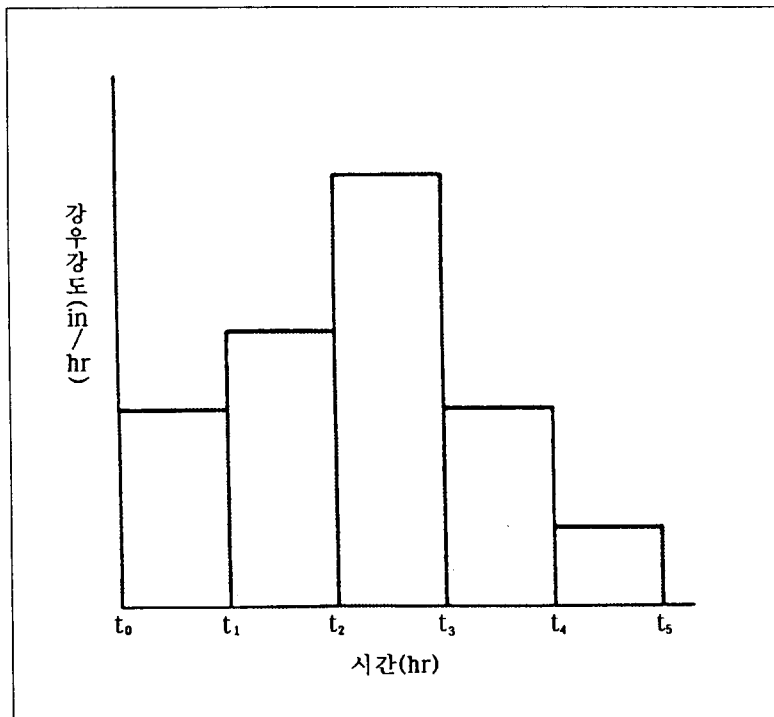


그림 4.1.1 우량 주상도

4.2 차단과 침투

HEC-1 모형에서 차단, 저류, 침투 등의 강우손실 계산시 주목할 2가지 주요한 사항이 있다. 첫째, 유출에 기여하지 못하는 강우는 손실되는 것으로 간주하며 둘째, 강우손실에 사용되는 식은 토양습윤이나 지표면 저류되는 물은 고려하지 않는다. 이는 HEC-1 모형이 단일 호우사상에 적용할 수 있는 모형임을 의미한다.

강우의 손실은 단위도나 kinematic wave 모형에 의해 계산될 수 있다. 단위도에 의해 계산하는 경우 강우손실은 소유역 전체에 걸쳐 균등하게 분포되는 것으로 간주하나, kinematic wave 방법에서는 지표면 유출이 발생하는 면에 대해서 강우손실을 적용할 수 있다. 소유역에 호수, 저수지, 불투수층 지역이 포함되어 있으면 이런 유역에 대해서는 강우손실을 무시할 수 있다.

강우손실을 계산하는 방법은 4가지가 있으며, 그림4.2.1과 같이 우량주상도에서 이 손실값을 제하면 초과강우가 되는데 이는 소유역에서 유출 수문곡선을 계산하는데 이용된다.

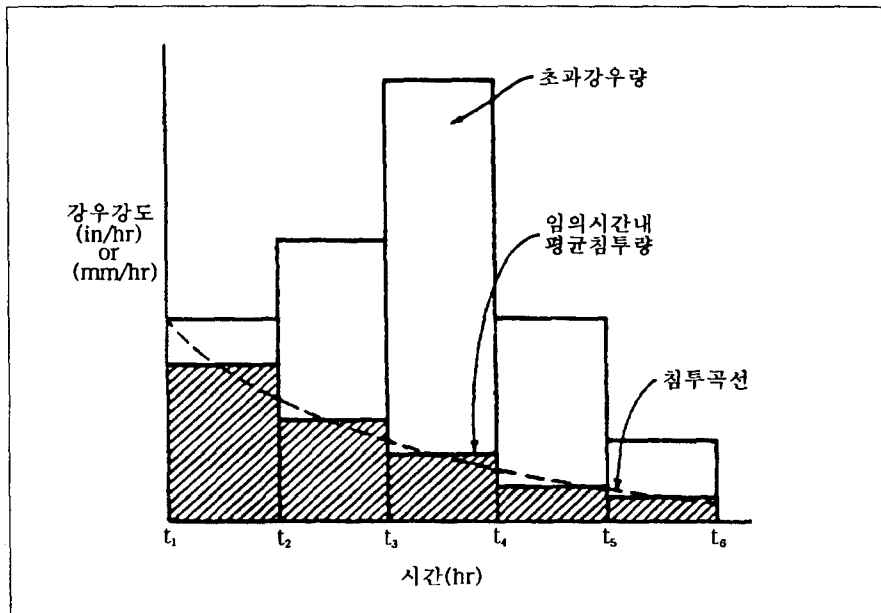


그림 4.2.1 손실률과 유효 우량주상도

4.2.1 초기손실과 일정손실률

이 방법은 초기손실(STRTL)과 일정손실률(CNSTL)을 사용한다. 모든 강우는 초기 손실량이 만족될 때 까지 손실되며, 초기 손실량이 만족된 후에는 일정률에 의해 손실된다.

4.2.2 지수손실률

이 방법은 강우의 손실률을 강우강도와 누가손실량에 적용시키는 경험적인 방법이다. 누가손실량은 토양습윤 저류량을 나타낸다. 손실률은 다음의 식으로 계산되며, 그림4.2.2에 표시되어 있다.

$$A_{LOSS} = (AK + D_{LTK}) PRCP^{E_{RAIN}} \quad (4.4)$$

$$D_{LTK} = 0.2 D_{LTKR}(1-(C_{UML}/D_{LTKR}))^2 \quad (C_{UML} \leq D_{LTKR} \text{ 인 경우}) \quad (4.5)$$

$$AK = STRKR/(RTIOL^{0.1C_{UML}}) \quad (4.6)$$

여기서, A_{LOSS} 는 계산시간 동안 손실률(mm/hour), AK 는 초기손실계수, C_{UML} 은 누가손실량, D_{LTK} 는 누가손실량(C_{UML})이 초기손실량(D_{LTKR})보다 작은기간의 강우손실률 증가량

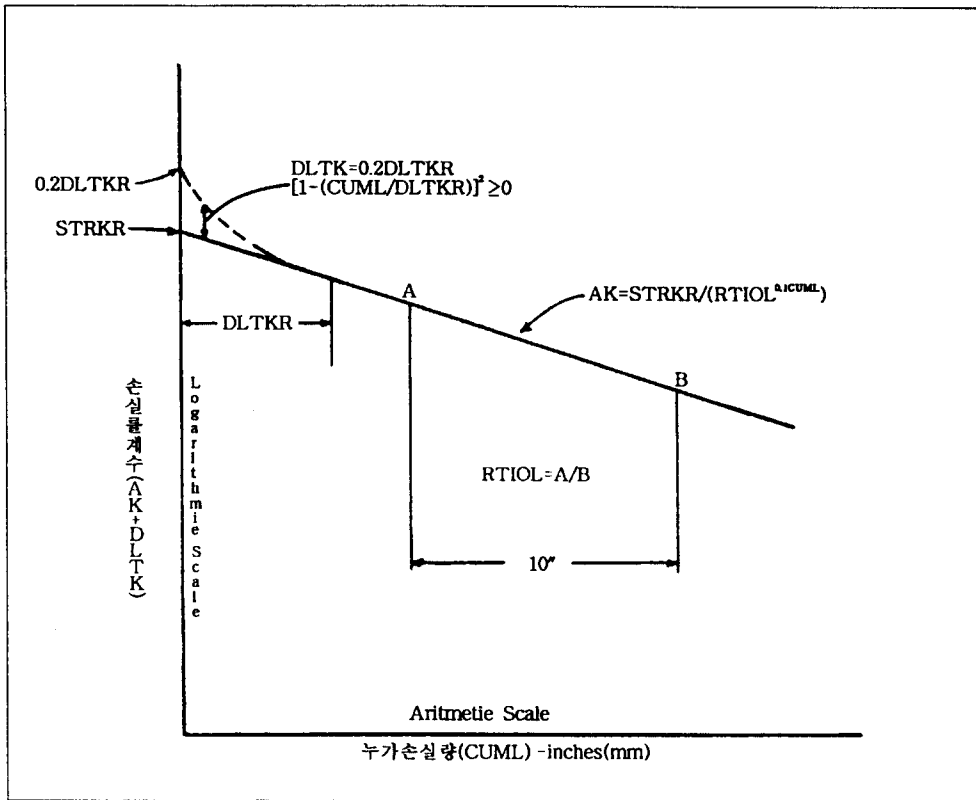


그림 4.2.2 HEC-1의 손실률 함수

DLTKR은 손실률 계수가 증가하는 동안의 초기 누가손실우량이다. 이 매개변수는 선행토양조건에 의한 함수이다. STRKR은 강우손실을 계산하기 위한 지수감소곡선의 초기값으로 침투능의 함수이며 토양종류와 이용상태, 지표면 상태 등과 같은 유역특성에 관계된다. RTIOL은 누가 손실량이 10mm 이상되는 구간에서 지수 감소곡선 상의 강우손실률 계수의 비를 나타낸다. 이 변수는 유역표면에서 강우를 흡수할 수 있는 능력을 의미하며, 크고 균질한 유역에서는 일정한 값을 갖게된다. ERAIN은 유역의 평균 강우손실 특성에 대한 강우의 영향을 반영하는 강우손실 함수의 지수값으로서, 임의 지역에서 호우가 발생하는 방법을 반영하며 이 변수값은 0.0~1.0 이다.

어떤 조건에서는 2개 매개변수 침투모형으로 지수감소률을 적용하면 보다 편리할 수 있다. 초기 및 일정손실률 함수를 구하기 위해 ERAIN =0.0, RTIOL =1.0 계산한다. 또한 초기손실량 없이 지수적으로 감소하는 손실률 함수를 얻기 위해 ERAIN =0.0, DLTkR =1.0 으로 한다. 지수감소 함수의 매개변수 추정 은 제5장에서 언급하는 HEC-1매개변수 최적화 사양을 선택하여 구할 수 있다.

4.2.3 SCS 유출곡선지수

미 농무성 토양보전국(Soil Conservation Service)에서는 미국 전역에 걸쳐 토양의 분류체계를 구축하여, 많은 실험과 경험을 토대로 토양 배수특성과 유출곡선지수(CN)과의 관계를 도출하였다. SCS에서는 토양군들과 유출곡선지수 사이의 관계를 지표면 토양, 토지이용 상태 및 선행강우 조건의 함수로써 나타내었다. 강우 손실량은 CN값과 IA(단위깊이당 초기 지표습윤 저류능력)의 값에 의해 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$ACEXS = \frac{(ACRAN - IA)^2}{ACRAN - IA + S} \quad (4.7)$$

$$S = \frac{25400 - 254 * CN}{CN} \quad (4.8)$$

여기서, ACEXS는 누가초과우량(mm), ACRAN은 누가우량(mm), S는 토양의 잠재저류수량(mm)

사용자가 IA를 규정하지 않으면 이 값은 다음과 같이 가정된다.

$$IA = 0.2 * S \quad (4.9)$$

상기 식은 SCS에 의해 경험에 근거해 제시한 식이다. SCS방법은 호우에 대하여 전체 초과우량만을 제공하므로, 일정 시간동안의 초과강우 증가량은 그 전 시간까지의 누가 초과강우량에서 일정시간까지의 누가 초과강우량의 차로 구한다.

4.2.4 Holtan의 손실률

Holtan 등은(1975) 아래 식과 같이 침투능에 근거한 손실률을 계산하였다.

$$f = GI * A * SA^{BEXP} + FC \quad (4.10)$$

여기서, f는 침투능(in/hr), GI는 식물의 성장정도를 나타내는 지표, A는 지표층의 공극과 관계되

는 지표(in/hr/in^{1.4}), SA는 침투수가 저류 가능한 지표층의 공극깊이, FC는 지표층 아래 토양종류에 따른 침투률, BEXP는 실험을 통해 구해지는 값으로 보통 1.4

Holtan은 여러종류의 식물에 대해 A값을 추정하였으며, 이 값은 식물의 줄기나 뿌리에 의해 점유되는 지표면의 점유율로써 식물의 성장정도를 나타낸다. FC값은 SCS핸드북에서 분류한 수문학적 토양분류에 근거하여, 4가지 토양군에 대해 Musgrave(1955)는 다음과 같이 값을 제시하였다.

A군 토양 : 0.45~0.30, B군 토양 : 0.30~0.15, C군 토양 : 0.15 ~0.05, D군 토양 : 0.05 ~ 0.0
 SA는 침투되는 수분의 양에 의해 감소되나, 침투률인 FC 값은 증가시키게 된다. 이런 방법으로 SA를 계산하면 침투률이 클 때에 토양수분의 재공급 현상이 일어남을 주목해야 한다. 일정시간 동안 침투되는 수량은 가용수량(강우나 융설량)보다 작게 계산되거나, 평균침투능에 시간간격을 곱하여 계산한다. HEC-1에서 사용되는 침투식은 다음과 같다.

$$F = \frac{F1 + F2}{2} * TRHR \tag{4.11}$$

여기서, F1, F2 와 SA1, SA2는 시간간격(TRHR)의 처음과 끝에서의 침투율과 저류가능 침투깊이를 나타내며 다음 식으로 각각 구한다.

$$F1 = GI * A * SA1^{BEXP} + FC \tag{4.12}$$

$$F2 = GI * A * SA2^{BEXP} + FC \tag{4.13}$$

$$SA2 = SA1 - F + FC * TRHR \tag{4.14}$$

4.3 단위유량도

단위도 기법은 분할 소유역에서 초과강우를 유량으로 변환하는 소유역 유출요소 계산에 사용된다. 단위도는 직접 프로그램에 입력할 수 있으며, 합성단위도 역시 사용자가 제공하는 매개변수로부터 유출계산할 수 있다.

4.3.1 단위도 기본이론

1시간 단위도는 유역에 1시간 동안 단위 초과강우량이 균등하게 내릴 때 이로 인한 유역에서의

유출로 정의된다. HEC-1에서는 자동적으로 유역의 유출을 모의하는 시간간격과 같게 단위도의 지속기간을 설정한다. 초과우량 주상도는 다음과 같은 식을 사용하여 분할 소유역의 유출량으로 변환된다.

$$Q(i) = \sum_{j=1}^i U(j) * X(i-j+1) \quad (4.15)$$

여기서, $Q(i)$ 는 계산간격 i 의 소유역 유출량, $U(j)$ 는 단위도의 j 번째 종거값, $X(i)$ 는 계산간격 i 에서 평균 유효강우량

이 식은 2가지 중요한 가정을 근거로 하고 있다. 첫째 단위도는 소유역의 특성을 나타내며 호우에는 무관하다는 것이며, 둘째는 지속기간이 다른 초과강우들로 부터의 유출은 선형적으로 중첩하여 구할 수 있다.

4.3.2 종합단위도

합성단위도는 유역의 지형적 특성으로 부터 구할 수 있으며, 매개변수는 5장의 매개변수 최적화 기법을 통해 결정할 수 있다. HEC-1모형에는 다음 3가지 합성단위도를 이용할 수 있다.

(1) Clark 합성단위도

3가지 매개변수 즉, 도달시간(T_c), 저류상수(R), 등유하시간-면적 곡선 등이 필요하다. 이 모형은 등유하시간-면적곡선이 주어지지 않은 경우, 다음과 같은 식으로 그 값을 결정한다.

$$AI = 1.414 T^{1.5} \quad 0 \leq T \leq 0.5 \quad (4.16)$$

$$1 - AI = 1.414 (1 - T)^{1.5} \quad 0.5 \leq T \leq 1 \quad (4.17)$$

여기서, AI 는 등유하시간으로 나눈 소유역누가면적, T 는 등유하시간으로 나눈 소유역의 도달시간.

등유하시간-면적곡선은 단위 유효우량에 대해서 단위시간별 유출량으로 계산될 수 있으며, 주어진 시간간격에 대해 적분하여 총 유출량을 계산할 수 있다. 이 수문곡선은 유역의 저류효과를 고려하기 위해서 선형저수지 개념을 적용한다. 구한 수문곡선은 순간 유효우량에 대한 단위도이므로, 주어진 시간간격에서 발생하는 단위 유효우량에 대한 수문곡선을 구하기 위해 이를 평균한다.

선형저수지 추적은 다음 식을 사용해 계산된다.

$$Q(2) = CA * I + CB * Q(1) \quad (4.18)$$

저수지추적 계수는 다음 식으로 계산된다.

$$CA = \frac{\Delta t}{(R+0.5*\Delta t)} \quad (4.19)$$

$$CB = 1 - CA \quad (4.20)$$

$$QUNGR = 0.5 * (Q(1) + Q(2)) \quad (4.21)$$

여기서, Q(1) Q(2)는 추적기간의 시작점과 끝점에서의 순간유량, I는 수문곡선의 종거값, Δt는 계산 시간간격, R은 유역의 저류요소, QUNGR은 계산시간 간격의 끝점에서의 단위도 종거값이다. 단위도 종거의 계산은 단위도면적이 0.995를 초과하거나, 종거수가 150개를 넘으면 종료된다.

(2) Snyder 합성단위도

Snyder 방법은 단위도의 침투유량, 침투유량 발생시간, 침투유량의 50%, 75%에 해당하는 유량의 단위도폭을 각각 결정한다. 이 방법은 HEC-1에서 요구하는 완전한 단위도를 제공하지 못하므로 이 프로그램에서는 Snyder 단위도를 고려한 Clark 방법을 사용하고 있다. 초기 Clark 매개변수는 Snyder 매개변수(Tp, Cp)로 부터 구한다. 단위도는 Clark 방법으로 계산하며, Snyder의 매개변수 들은 아래 식을 이용하여 단위도로 부터 구한다.

$$CPTMP = QMAX * \frac{Tpeak - 0.5 * \Delta t}{C * A} \quad (4.22)$$

$$ALAG = 1.048 * (Tpeak - 0.75 * \Delta t) \quad (4.23)$$

여기서, CPTMP는 계산된 단위도에서 구할 수 있는 Snyder의 Cp, QMAX는 단위도의 최대유량, Tpeak는 QMAX가 발생하는 시간, Δt는 초과강우의 기간, A는 소유역면적, C는 변환계수, ALAG는 Snyder의 표준 지체시간(Tp).

Snyder의 표준지체시간은 유효강우 지속기간이 Tp/5.5에 해당하는 단위도에 대한 것이다.

Clark의 T_c 와 R 은 상기 식에서 구한 T_p , C_p 와 주어진 값과의 차를 보정하기 위해 수정된다. 이 모형에서는 이 작업을 20회 반복하거나, 오차가 주어진 값에 대해 1% 보다 작으면 종료된다.

(3) SCS의 무차원 단위도

1972년에 미 농무성의 토양보전국(SCS)에서 개발한 SCS 무차원합성단위도의 입력자료는 한개의 매개변수로 되어있다. 이는 TLAG로 유효강우 우량도의 무게중심에서 단위도의 침투유량 발생지점까지의 시간으로 정의된다. 침투유량과 침투유량 시간은 다음 식에 의해 계산된다.

$$TPEAK = 0.5 * \Delta t + TLAG \quad (4.24)$$

$$QPK = \frac{484 * AREA}{TPEAK} \quad (4.25)$$

여기서, TPEAK는 단위도의 침투유량시간, Δt 는 계산간격, QPK는 단위도의 침투유량, AREA는 소유역 면적

지속시간이 다른 단위도와 침투유량은 아래 그림의 무차원 단위도로 부터 보간법으로 구한다.

단위도의 지속시간과 같은 프로그램 계산시간 간격의 선택은 $\Delta t = 0.2 * TPEAK$ 관계식을 기초로 이루어지나 $0.25 * TPEAK$ 보다 커서는 않된다. 이러한 관계는 다음과 같은 경험식에 근거를 두고 있다.

$$TLAG = 0.6 * Tc \quad (4.26)$$

$$1.7 * TPEAK = \Delta t + Tc \quad (4.27)$$

여기서, T_c 는 유역의 도달시간.

이런 관계로부터 단위도의 지속시간은 $0.29 * TLAG$ 보다 작아야 한다는 것을 알 수 있다.

4.4 Kinematic Wave와 Muskingum-Cunge방법에 의한 유출해석

유역유출을 해석하기 위해 흐름면, 집수로, 주수로 등 3가지 개념적 요소가 이용된다.(그림4.4.1 참조) kinematic wave 방법과 Muskingum-Cunge 방법은 상류와 집수로 및 주수로 를 통한 측방 유입량을 계산할 수 있다. 이 장에서는 kinematic wave 방정식과 Muskingum-Cunge 방법의 기본이론과 응용한 내용에 대해 다루고 있다.

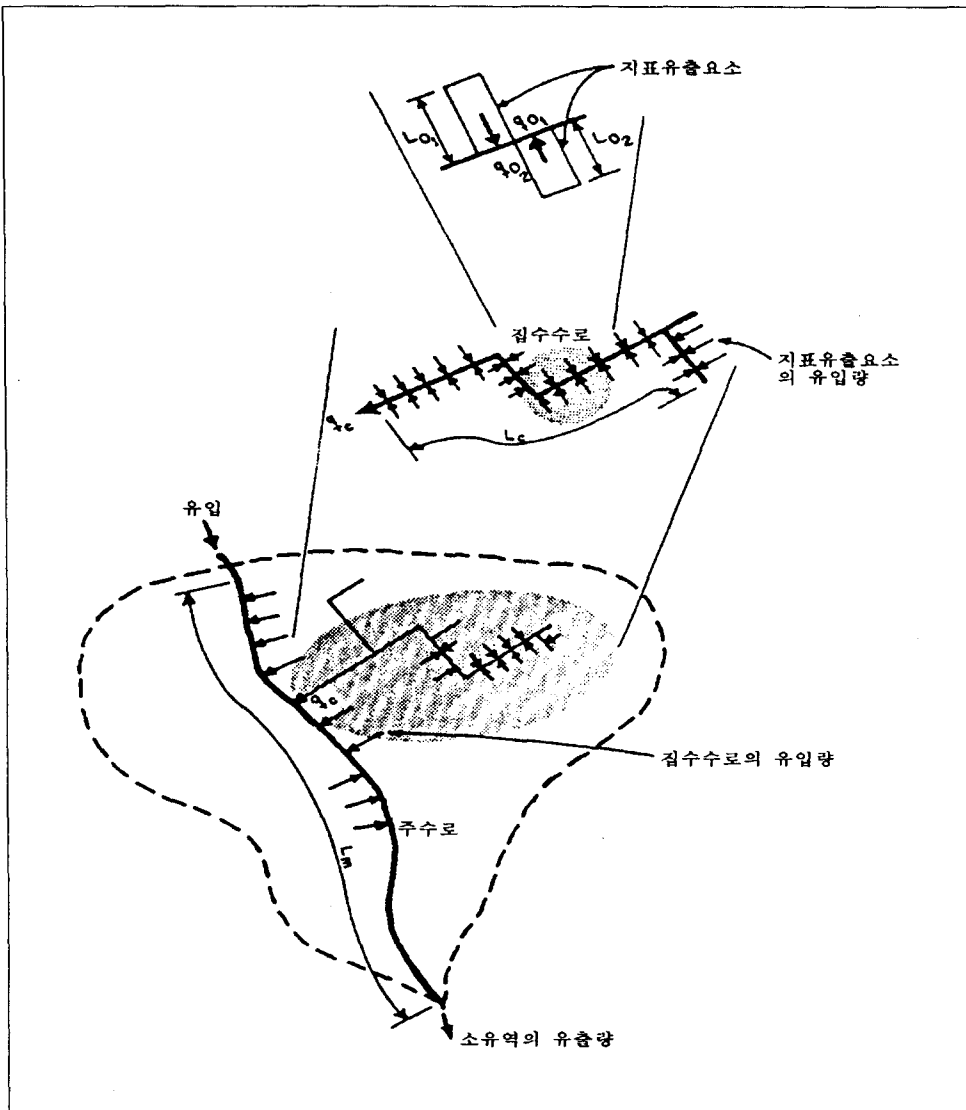


그림 4.4.1 각 유출요소의 상관도

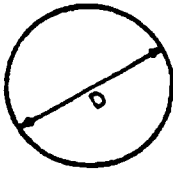
4.4.1 Kinematic Wave 방정식의 기본개념

kinematic wave 이론에서 운동방정식을 풀기위해 수면경사와 하상경사를 같다고 가정하며, 가속도 요소는 무시한다. (미터단위로 주어진 매개변수들은 피트단위로 바꾸어야 한다.) 이렇게 하면 Saint-Venant 식은 다음과 같이 단순화 된다.

$$S_f = S_0 \quad (4.28)$$

여기서, S_f 는 마찰경사이며, S_0 는 하상경사이다.

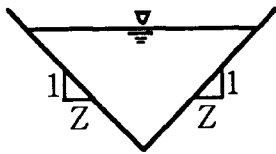
원형



$$\alpha = \frac{0.804}{n} S^{1/2} D^{1/6}$$

$$m = 5/4$$

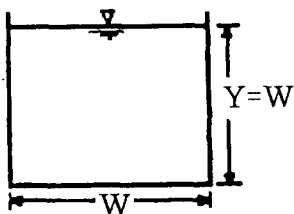
삼각형



$$\alpha = \frac{0.94}{n} S^{1/2} \left(\frac{Z}{1+Z^2} \right)^{1/3}$$

$$m = 4/3$$

정사각형

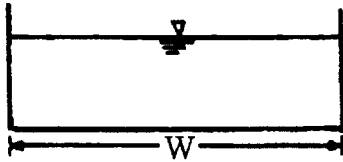


$$\alpha = \frac{0.72}{n} S^{1/2}$$

$$m = 4/3$$

그림4.4.2 여러 단면수로에서 kinematic wave 매개변수

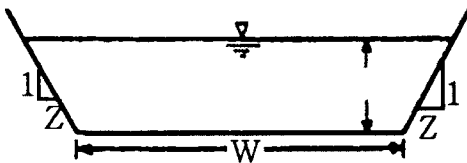
구 형



$$a = \frac{1.49}{n} S^{1/2} W^{-2/3}$$

$$m = 5/3$$

사다리형



$$Q = \frac{1.49}{n} S^{1/2} A^{5/3} \left(\frac{1}{W + 2Z\sqrt{1 + Z^2}} \right)^{2/3}$$

그림 4.4.2 (계속)

이리하여, 수로내 임의 지점에 대한 유량은 다음의 Manning 공식에 의해 계산할 수 있다.

$$Q = \frac{1.486}{n} S^{\frac{1}{2}} R^{\frac{2}{3}} A \quad (4.29)$$

여기서, Q는유량, S는 수로바닥 경사, R은 동수경사, A는 단면적, n은 Manning의 조도계수.

상기 식은 다음과 같이 간단한 형태로 바꿀 수 있다.

$$Q = a A^m \quad (4.30)$$

여기서, α 와 m 은 수로의 형태와 표면조도에 따른 값이다. 그림4.4.2는 HEC-1에서 사용하는 여러 가지 수로형태와 이에 따른 α 와 m 의 관계를 나타내고 있다.

운동량 방정식은 단면적과 유량과의 단순한 관계로 나타내었으므로, 홍수파의 거동은 다음의 연속방정식으로 표시된다.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial X} = q \quad (4.31)$$

4.4.2 해석과정

지표면 유출이나 하도추적에 대한 지배방정식은 다음과 같이 유도할 수 있다. 이 방법은 유입량 즉, 초과강우나 측면 유입량은 시간중분 동안 일정하며, 대상 유역이나 하도구간별 요소에 균등하게 분포하는 것으로 가정한다. 간단히 나타낸 운동량방정식과 연속방정식을 합하여 다음과 같은 지배방정식을 유도할 수 있다.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \alpha m A^{(m-1)} \frac{\partial A}{\partial X} = q \quad (4.32)$$

이 식은 A 만의 함수이며, α 와 m 은 상수로 간주된다. 상기 식으로부터 다음과 같은 유한차분방정식의 표준형을 유도할 수 있다.

$$\frac{A(i,j) - A(i,j-1)}{\Delta t} + \alpha m \left[\frac{A(i,j-1) + A(i-1,j-1)}{2} \right]^{m-1} * \left[\frac{A(i,j-1) - A(i-1,j-1)}{\Delta X} \right] = \bar{q} \quad (4.33)$$

여기서, \bar{q} 는 다음과 같이 정의된다.

$$\bar{q} = \frac{q(i,j) + q(i,j-1)}{2} \quad (4.34)$$

그림4.4.3과 같이 시간-공간 격자 상에 표시하면, 임의의 시간과 위치에서 A 의 미지값에 대한 해의 위치를 나타낼 수 있다. 문자 i 는 수로를 따라 나눈 위치를 나타내며, 문자 j 는 시간간격을 의미한다. 현재의 값 $A(i,j)$ 를 제외하고는 전 단계 $i-1$ 과 $j-1$ 위치에서 또는 경계조건으로부터 모든 항을 알 수 있으므로, $A(i,j)$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

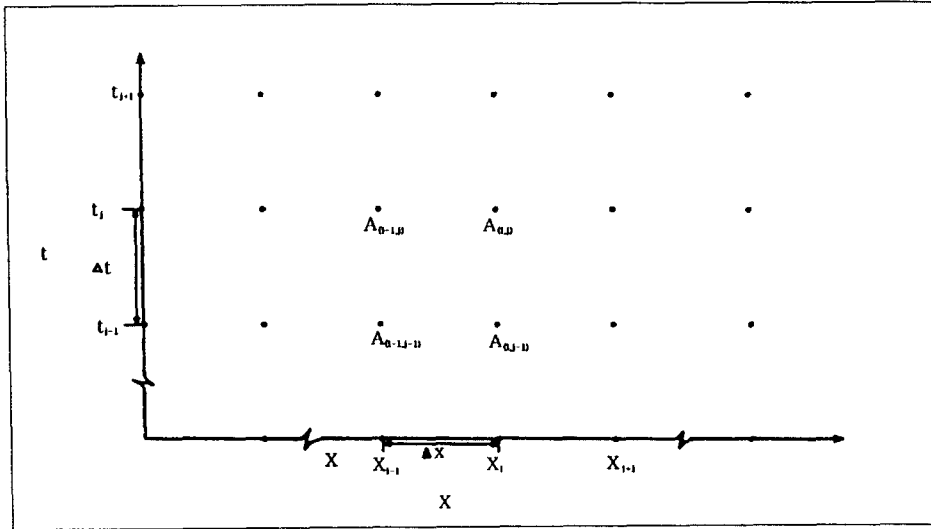


그림4.43 유한차분법 격자

$$A(i, j) = \bar{q}\Delta t + A(i, j-1) - \alpha m \left(\frac{\Delta t}{\Delta X} \right) \left[\frac{A(i, j-1) + A(i-1, j-1)}{2} \right]^{m-1} * \quad (4.35)$$

$$[A(i, j-1) - A(i-1, j-1)]$$

상기 식에서 A(i,j)를 구하면 이 지점서 유량은 다음 식과 이 구할 수 있다.

$$Q(i, j) = \alpha [A(i, j)]^m \quad (4.36)$$

위에서 언급한 유한차분법의 표준형을 이용하기 위해서는 다음 조건을 만족하여야 한다.

$$C < \frac{\Delta X}{\Delta t} \quad (4.37)$$

여기서, C는 파속(wave celerity)으로 유출량을 임의 추적유역 평균면적으로 나눈 평균변화률이다. 이 조건이 만족되지 않으면 수치계산의 안정성을 얻기위해 다음 식을 사용한다.

$$\frac{Q(i, j) - Q(i-1, j)}{\Delta X} + \frac{A(i-1, j-1) - A(i-1, j-1)}{\Delta t} = \bar{q} \quad (4.38)$$

상기 식에서 미지항은 Q(i,j) 밖에 없으므로, 이에대해 정리하면 다음과 같다.

$$Q(i, j) = Q(i-1, j) + \bar{q}\Delta X - \frac{\Delta X}{\Delta t} [A(i-1, j) - A(i-1, j-1)] \quad (4.39)$$

여기에서 $Q(i,j)$ 를 구하면 $A(i,j)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$A(i,j) = [Q(i,j)]^{\frac{1}{m}} \quad (4.40)$$

계산결과의 안전성과 수렴성을 보장하기 위해 HEC-1 프로그램에서는 프로그램에 의해 Δt , Δx 를 선정한다. 물론 이는 경험에 근거하고 있으며, Δx 는 프로그램에 의한 다음 한계치의 사이 값이 되도록 계산된다.

$$\frac{LREACH}{50} \leq \Delta X \leq \frac{LREACH}{2} \quad (4.41)$$

여기서, LREACH는 수로구간의 거리이다. Δt 는 다음 식과 같은 조건을 만족해야 한다.

$$\Delta t \geq \frac{600}{NQ-1} * TRHR \quad (4.42)$$

NQ는 수문곡선의 세로축 갯수이며, TRHR은 계산시간 간격이다.

4.4.3 Muskingum-Cunge 추적방법의 기본이론

이 홍수추적 방법은 유역요소의 경우 kinematic wave와 같이 지표유출수, 집수로나 주수로를 통한 상류측 측방흐름량을 추적하는데 사용할 수 있다. 수로추적 기법은 유입수문곡선과 물리적 수로특성에 의한 수문곡선의 확산을 고려한 비선형계수 방법이다. 다른 수문학적 방법과 비교하여 유리한 점은 매개변수가 물리적인 면에 근거하고 있으며, 흐름조건에 따라 광범위하게 변화하는 부정류 방정식의 해와 비교해 잘 일치함을 보였으며, 이 방정식의 해는 사용자가 임의로 정하는 계산시간 간격에 무관하다는 점 등이다.

기본 방정식은 연속방정식과 운동량 방정식에서 유도된다.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial X} = q_L \quad (4.43)$$

$$S_f = S_o - \frac{\partial Y}{\partial X} \quad (4.44)$$

상기 식4.43과 식4.44를 합쳐서 선형화하면, 다음과 같은 대류-확산 방정식을 얻을 수 있다.
(Miller와 Cunge, 1975)

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + c \frac{\partial Q}{\partial X} = \mu \frac{\partial^2 Q}{\partial X^2} + cq_L \quad (4.45)$$

여기서, Q는 유량, A는 유수단면적, t는 시간(초), X는 수로길이(ft), Y는 수심(ft), q_L 은 단위수로 길이당 측방유입량, S_r 는 마찰경사, S_o 수로바닥 경사, c는 하류방향의 홍수파 속도. 그리고 μ 는 수리학적 확산계수로 다음과 같이 표시된다.

$$\mu = \frac{Q}{2BS_o} \quad (4.46)$$

여기서, B는 수면폭.

연속방정식을 X-t 평면에 표시하면 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Q_{j+1}^{n+1} = C_1 Q_j^n + C_2 Q_j^{n+1} + C_3 Q_{j+1}^n + C_4 Q_L \quad (4.47)$$

여기서,

$$C_1 = \frac{\frac{\Delta t}{K} + 2K}{\frac{\Delta t}{K} + 2(1-K)}, \quad C_2 = \frac{\frac{\Delta t}{K} - 2K}{\frac{\Delta t}{K} + 2(1-K)}$$

$$C_3 = \frac{2(1-X) - \frac{\Delta t}{K}}{\frac{\Delta t}{K} + 2(1-K)}, \quad C_4 = \frac{\frac{2\Delta t}{K}}{\frac{\Delta t}{K} + 2(1-K)} \quad (4.48)$$

$$Q_L = q_L \Delta X$$

추적 구간내의 저류량은 아래 식과 같이 전형적인 Muskingum 저류량 형식으로 가정한다.

$$S = K [XI + (1-X) O] \quad (4.49)$$

여기서, S는 하도내 저류량, K는 대상구간내의 유달시간, X는 가중계수, I는 유입량, O는 유출량.

Muskingum 방법에서 분산의 양은 X값에 기인하는데, 이 무차원 상수 값은 0.0 ~ 0.5 이다. X는 하도의 물리적 특성과는 직접적으로 관계되지 않는다. Muskingum 방법의 분산은 어떤 방법으로

방정식을 푸는냐에 따라 달라지게 되므로 이는 물리적인 것이라기 보다는 수치해석적인 분산으로 간주된다. Muskingum-Cunge 식에서는 수치해석 방법의 분산을 물리적 분산에 일치시키므로써, 분산의 양이 조절된다. 따라서 이 방법은 분산 상기 방정식의 근사해로 간주된다. 결과적으로 매 개변수 K, X는 다음과 같이 표현된다.

$$K = \frac{\Delta X}{C} \quad (4.50)$$

$$X = 1/2 \left(1 - \frac{Q}{B S_0 c \Delta X} \right) \quad (4.51)$$

Courant(C)와 레이놀드 수(D)는 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$C = c \frac{\Delta t}{\Delta X} \quad (4.52)$$

$$D = \frac{Q}{B S_0 c \Delta X} \quad (4.53)$$

비선형 분산방법인 Muskingum-Cunge 홍수추적법에서 계수들은 다음과 같다.

$$C_1 = \frac{1+C-D}{1+C+D}, \quad C_2 = \frac{-1+C-D}{1+C+D} \quad (4.54)$$

$$C_3 = \frac{1-C-D}{1+C+D}, \quad C_4 = \frac{2C}{1+C+D}$$

여기서, 무차원수 C, D는 물리적인 양(Q, B, S₀, C)과 격자크기(ΔX, Δt)와 같은 항으로써 표시

이 방법은 수리학적 요소(Q,B,C)가 비선형으로 표시되므로, 모든 단계의 ΔX, Δt에서 홍수추적 계수(C₁, C₂, C₃, C₄)를 반복 계산한다. 반복해서 구한 4 격자점의 평균값으로 c, B와 Q를 구한다. ΔX와 Δt의 값은 모형의 정확성과 안정성을 위해 내부적으로 선정된다.

우선, Δt는 다음의 3가지를 고려하여, 가장 작은 값으로 선정한다.

- 1) 사용자가 IT를 고려해 계산 시간간격(NMIN)을 정한다
- 2) 유입 수문곡선의 상승부 시간을 20으로 나눈 값
- 3) 수로구간에서의 유달시간

Δt가 선정되면, ΔX는 다음과 같이 계산된다.

$$\Delta X = c \Delta t \quad (4.55)$$

그러나 ΔX 는 이 계산방법의 지속성 유지를 위해 다음의 조건을 만족해야 한다.

$$\Delta x = 1/2 \left(c \Delta t + \frac{Q_0}{B S_0 c} \right) \quad (4.56)$$

여기서, Q_0 는 다음 식과 같으며, Q_B 는 유입수문곡선에서 구한 기저유량이다.

Muskingum-Cunge 홍수추적 방법에서 필요한 입력자료는 주수로나 집수로에 대한 자료들이다.

- 1) 수로의 대표단면
- 2) 구간길이(L)
- 3) 주수로와 제방에 대한 Manning 조도계수(n)
- 4) 수로의 바닥경사(S_0)

수로단면은 그림4.4.2와 같이 단순화된 수로형이나 그림4.6.1과 같이 8개 좌표점으로 나타내는 단명형을 이용할 수 있다. 간단한 수로형을 이용하는 경우 다음과 같이 RD 카드를 사용하여 이 홍수추적 방법을 수행할 수 있다.

KK : 계산상태 확인 카드

RD : Muskingum-Cunge 자료

만약에 8개 이상의 좌표점을 이용하는 경우, 다음과 같이 카드를 입력하면 된다.

KK : 계산상태 확인 카드

RD : Muskingum-Cunge 추적방법을 표시하는 공란카드

RC : 8개 좌표점의 횡단면 자료

RX : 8개 좌표점의 횡단면 자료

RY : 8개 좌표점의 횡단면 자료

이 경우에는 RC, RX, RY 카드에 모든 필요한 자료가 입력되므로, RD카드 자료는 필요치 않다

4.5 기저유량

HEC-1 모형에서는 다음의 3가지 변수(STRTQ, QRCRN, RTIOR)로써, 유출수문곡선 상에서 기저유량의 효과를 고려하고 있다. 그림4.5.1은 수문곡선상에서 이들 변수 관계를 나타내고 있다: 변수 STRTQ는 하천에서 초기유량을 나타낸다. 이는 무강우시 지하수 유출에 의해 영향을 받으며, 해석호우와 그 전 호우사이의 시간과 같은 선행조건의 함수이다. 변수 QRCSN은 계산 수문곡선의 감소부에서 지수감소적으로 감소하는 지점의 유량을 나타낸다. 초기유량과 계산 수문곡선 감소부에서의 감소변화는 사용자가 선정하는 변수값 RTIOR를 따르게 되며, 이는 유역의 유출특성을 나타내는 값이다.

RTIOR의 값은 감소부에서 임의 유량과 1시간 후의 유량과의 비로 정의된다. 프로그램에서 감소 유량은 다음 식과 같이 계산한다.

$$Q = Q_0 (RTIOR)^{-n \Delta t} \quad (4.59)$$

여기서, Q_0 는 STRTQ나 QRCSN 값, $n\Delta t$ 는 감소가 시작된 이후의 시간.

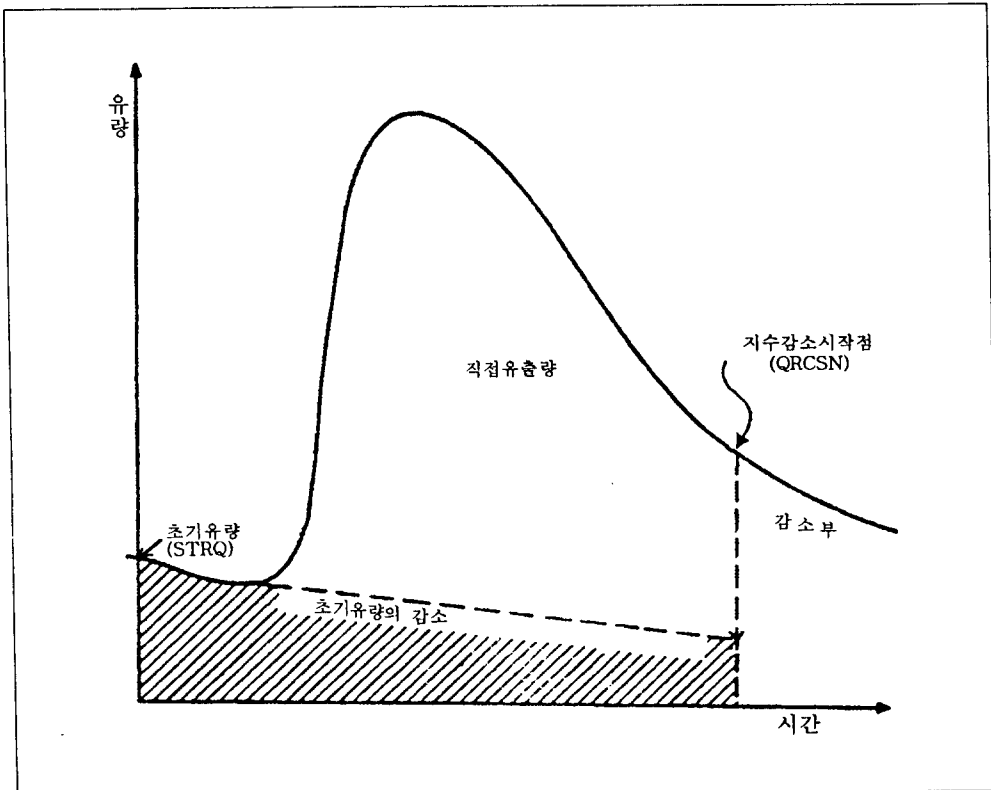


그림4.5.1 기저유출 분리도

또한 QRCSN, RTIOR은 대수지 상에 관측유량과 시간을 도시하여 구할 수 있다. 이때 감소부에서 직선으로 변화하기 시작하는 점이 QRCSN값이며, 이 직선의 기울기가 RTIOR의 값이 된다. 다른 방법으로는 QRCSN 값을 첨두유량과의 비로 나타낼 수도 있다. 즉, 감소곡선상의 유량이 첨두유량의 0.1에 해당할 때 그 지점부터 지수함수적으로 감소한다고 규정할 수 있다.

수문곡선의 증가부에서는 계산된 직접유출량에 초기유출량에 감소비율을 적용한 값을 더하여 기저유출을 고려한다. 감소부에서도 계산된 유량값이 QRCSN보다 작게될 때 까지 같은 방법으로 적용된다. QRCSN의 값에 도달되는 시간은 계산 수문곡선에서 추정되고, 이 후의 수문곡선은 계산된 유량이 기저유량보다 크지 않는 한 위의 감소식에 의해 계산된다. 첨두유량이 2개 있는 유출 수문곡선에서 2번째 첨두유량의 상승부 계산은 최초 모의시 사용한 초기유량의 감소값에 직접 유출량을 더하여 계산된다.

4.6 홍수추적

홍수추적은 하도구간과 저수지에서 홍수파의 거동을 모의하는 것이다. HEC-1 모형에서 이용하는 홍수추적 방법의 대부분은 연속방정식과 유량-저류량의 관계에 기초를 두고 있다. 홍수추적 모형의 종류는 Muskingum 방법, Kinematic wave, 수정 Pulse 방법, Working R&D, Level-pool 저수지 추적 방법 등이다. 이 모든 방법은 상류에서 하류로 독립 구간별로 진행되며, 배수영향과 도수나 고조같은 수면의 불연속성은 고려되지 않는다.

HEC-1 모형에서 사용하는 저류추적 방법은 추적구간이나 저수지의 저류특성을 나타내는 자료를 필요로 하며, 이런 모형의 종류로는 수정 Pulse 방법, Working R&D, Level-Pool 저수지 추적 방법 등이 있다. 역시 평균 수문곡선의 지체를 기본으로 하는 추적방법은 2가지가 있다. 이런 방법은 물리적 근거는 없으나 여러 하천에 적용하여 바람직한 결과를 얻었다.

4.6.1 하도침투

하도에서 침투에 의한 손실량은 아래 식에서 계산할 수 있다.

$$Q(I) = [(QIN(I) - QLOSS)] * [(1 - CLOSS)] \quad (4.60)$$

여기서, QIN(I)은 손실이 있기 전, 시간 I에서 유입수문곡선값, QLOSS는 일정손실량, CLOSS는 손실에 해당하는 분수값, Q(I)는 손실을 제외한 수문곡선 좌표값.

수정 Puls 방법은 수문곡선을 추적하기 전에 이 손실량을 먼저 계산하며, 그 밖의 모든 방법은 추적을 실시한 후에 이 손실을 고려하여 수문곡선을 작성한다.

4.6.2 Muskingum 방법

Muskingum 방법은 다음의 식을 이용하여 하도구간에서의 유출을 계산한다.

$$QOUT = (CA - CB) * QIN(1) + (1 - CA) * QOUT(1) + CB * QIN(2) \quad (4.61)$$

$$CA = \frac{2 * \Delta t}{2 * AMSKK * (1 - X) + \Delta t} \quad (4.62)$$

$$CB = \frac{\Delta t - 2 * AMSKK * X}{2 * AMSKK * (1 - X) + \Delta t} \quad (4.63)$$

여기서, QIN은 추적구간으로의 유입량, QOUT은 추적구간에서 유출량, AMSKK는 추적구간에서 홍수의 유달시간, X는 Muskingum의 가중계수(0.0 ≤ X ≤ 0.5).

계산절차는 분할소구간(NSTPS)에 대해 반복적으로 계산되므로, AMSKK는 하도구간 전체에 걸친 유하시간이다. 또한 계산의 안전성과 계산 수문곡선의 정확성을 도모하기 위해서, 추적구간은 다음의 조건을 만족해야 한다.

$$\frac{1}{2(1-X)} \leq \frac{AMSKK}{NSTPS * \Delta t} \leq \frac{1}{2X} \quad (4.64)$$

4.6.3 수정 Pulse방법

수정 Pulse방법(Chow,1964)은 Henderson(1966)의 저류추적법의 한 변형으로서, 하도추적과 저수지 추적에 이용될 수 있다. 특히, 하도추적에 적용할 경우, 하도구간의 길이와 한 구간 내에서 세분되는 추적단계의 수에 따라 계산 홍수파의 정도가 좌우됨을 주의해야 한다. 추적단계의 수(NSTPS)는 저류추적법에서 검정 매개변수의 역할을 하여, 최적의 계산 수문곡선이 정해지면 그때의 값을 출력한다. 저류지시함수(storage indication function)는 다음과 같이 주어진 저류량과 유출자료로부터 계산된다.

$$STRI(I) = \frac{C * STOR(I)}{\Delta t} + \frac{OUTFL(I)}{2} \quad (4.65)$$

여기서, STRI는 저류지시량, STOR은 주어진 유출량에 대한 추적구간에서의 저류량, OUTFL은 추적구간에서의 유출량, C는 단위변환계수, Δt는 시간간격, I는 유출량, 저류량값 첨자. 각

추적시간 끝에서 저류지시량은 다음과 같이 주어진다.

$$STR(2) = STR(1) + QIN - Q(1) \quad (4.66)$$

여기서, QIN은 평균유입량, Q는 유출량, 1,2는 시간간격의 시작과 끝을 의미.

시간간격 끝점에서 유출량은 저류지시량과 유출량의 비를 나타낸 표에서 보간법으로 구할 수 있으며, 이 때 저류량은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$STR = \left(\frac{STR_1 - Q}{2} \right) * \frac{\Delta t}{C} \quad (4.67)$$

수위자료가 있는 경우, 수위자료는 계산된 저류량에 대해 보간된다. 초기조건은 저류량, 유출량, 수위 등의 항으로 표시될 수 있다. 저류량과 유출량의 값은 이 초기값으로부터 계산된다.

수정 Puls 방법에서 저류량-유출량의 관계는 다음 2가지 방법으로 이용된다.

1) 저류량-유출량의 관계곡선

하천이나 저수지의 수문곡선 또는 수리학적 해석을 통해 저류량-유출량 관계를 유도하여 이를 HEC-1 프로그램에 직접 입력시키는 방법이다.

2) 상시 수심에 의한 저류량과 유출량

수정 Puls 나 working R&D 추적방법에서 이용하는 저류량-유출량 관계는 하도단면의 특성으로부터 계산할 수 있다. 추적구간의 하도단면 특성은 그림4.6.1과 8점으로 나타내며, 유출량은 Manning 공식을 사용하여 상시수심에 대해 계산된다. 저류량은 이 하도단면적에 추적구간 거리를 곱하여 계산한다. 저류량과 유출량은 하도단면의 가장 낮은 지점에서 지정한 최대수위까지 20개의 등간격 별로 계산하며, 단면의 양 끝단에서는 최대수위까지 수직으로 연장된다.

그림4.6.1과 같이 이 프로그램의 입력변수는 수리학적, 기하학적 변수들로 ANL, ANCH, ANR, RLNTH, SEL, ELMAX과 (X,Y)좌표 등이다. ANL, ANCH, ANR은 좌안, 주수로, 우안측의 Manning의 조도계수이며, RLNTH는 하도추적 구간의 길이이다. SEL은 유출량 계산을 위한 에너지 경사이고, (X,Y)는 횡단면내 8개 지점의 좌표값이다.

저류구간과 이동구간이 매우 상이한 경우에는 상시수심으로 저류량과 유출량을 계산할 수 없다. 또한, 하천의 횡단면이 8개 좌표점으로 균등하게 나타낼 수 없는 경우, 계산된 수심은 어떤 지점에서도 적용될 수 없을 것이다. 일반적으로 이 방법에서 제시되는 결과는 하류의 영향을 고려하지 못하는 단점이 있다.

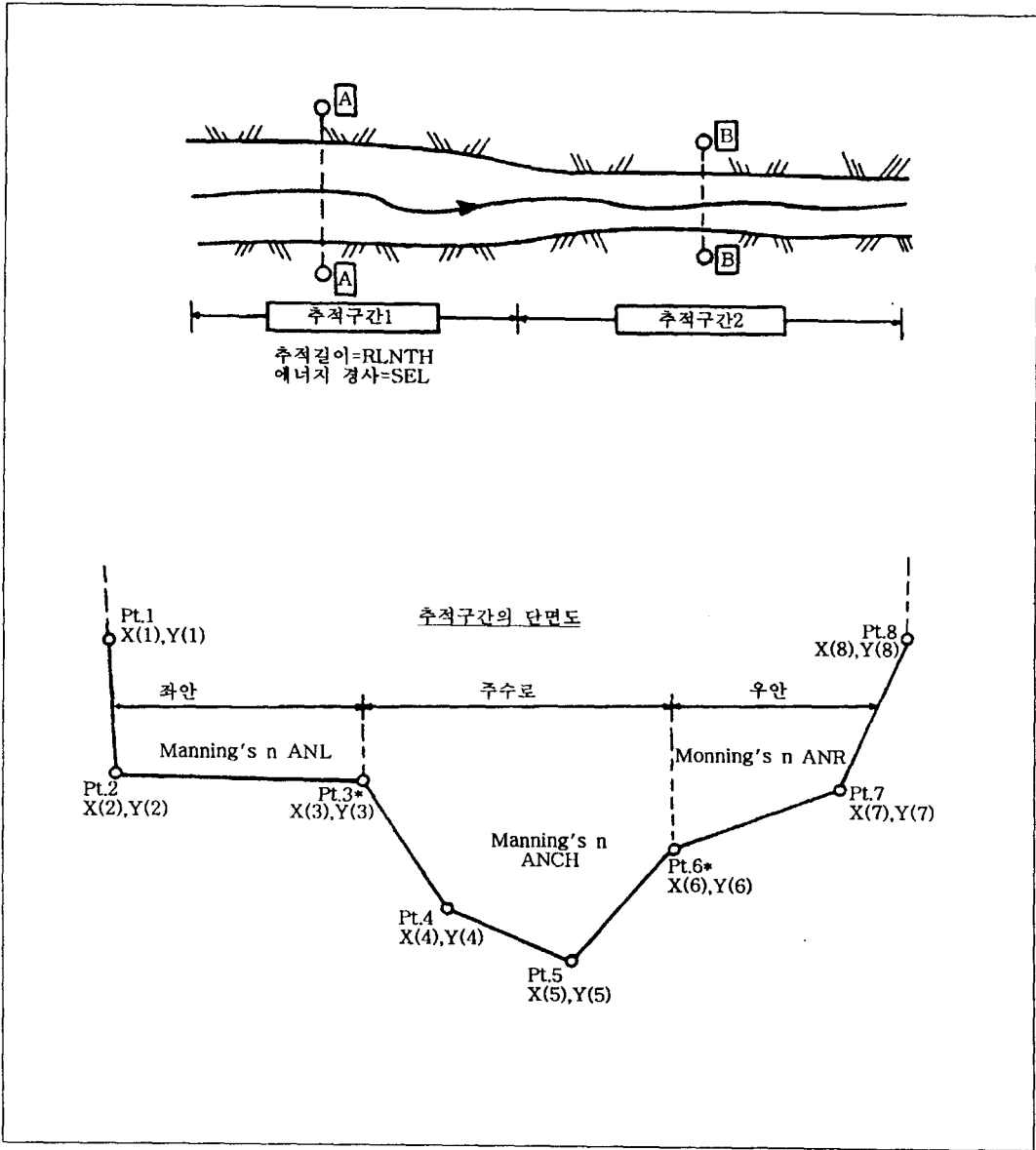


그림4.6.1 상시수심에 의한 저류-유출 하도추적

4.6.4 Working R&D

Working R&D(Corps of Engineer, 1960) 홍수추적 방법은 Muskingum 이론과 같이 썩기형 저류효과를 고려한 수정 Puls 방법을 변형시킨 것으로, 계산단계의 수와 X요소가 검정 매개변수로 사용되며, 따라서 이 변수들은 계산된 수문곡선에 중요한 영향을 미칠 수 있다.

D(working discharge)값과 R(storge indication)은 각각 다음 식과 같이 주어진다.

$$D = X \cdot I + (1 - X) \cdot O \quad (4.68)$$

$$R = \frac{S}{\Delta t} + \frac{D}{2} \quad (4.69)$$

여기서, I는 유입 수문곡선의 종거값, O는 유출 수문곡선의 종거값. X는 쇄기형 저류를 의미하는 Muskingum 계수.

Working R&D 홍수추적 방법의 계산절차는 다음과 같다.

- 1) 초기 유입량, 유출량 및 저류량으로 부터 초기 R, D값을 계산한다.
- 2) 다음 단계의 R값을 다음 식으로 부터 구한다.

$$R_2 = R_1 + \frac{I_1 + I_2}{2} - D_1 \quad (4.70)$$

- 3) R과D 자료로 부터 D₂ 값을 보간법으로 구한다.
- 4) 아래 식으로 부터 유출량을 계산한다.

$$O_2 = D_2 - \frac{X}{1-X} * (I_2 - D_2) \quad (4.71)$$

저류량과 유출량과의 관계는 프로그램에 입력자료로 직접 입력하거나 위에서 언급한 상시수심에 의한 방법으로 계산된다.

4.6.5 level-pool 저수지 추적방법

level-pool 저수지 추적방법은 저수지 수면이 수평이라고 가정하며, 제7장에 수록한 dam-break 계산에서도 함께 사용된다. 질량보존의 법칙을 사용해 주어진 시간(Δt)동안 저수지 저류량의 변화량(S)은 평균 유입량(I)에서 평균 유출량(O)을 제한 것과 같아 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{S_2 - S_1}{\Delta t} = \frac{I_1 + I_2}{2} - \frac{O_1 + O_2}{2} \quad (4.72)$$

저류량 S₂와 유출량 O₂의 결정은 시간간격(Δt)의 끝에서 초기 수위값을 가정하고 이를 이용해 다음 식으로 나타내는 추정수위에 대한 연속오차(Y)가 ±1(CMS)이 될 때 까지 반복해서 계산된다.

$$Y = \frac{S_2 - S_1}{\Delta t} - \frac{I_1 + I_2}{2} \quad (4.73)$$

1) 저류량 자료

level-pool 저수지 추적방법은 저수지 수위-저류량과의 관계자료가 필요하며, 이는 다음의 2가지 방법으로 구할 수 있다.

- 가) 전에 계산된 수위와 저류량 자료를 직접 입력하는 경우
- 나) 수위와 수표면과의 관계로 부터 계산하는 경우

수위와 수표면과의 관계에서 저수지 체적을 계산하는 경우에는 그림4.6.2와 같이 원추형 방법으로 구한다. 가장 낮은 수위에서는 표면적이 0 보다 큰 경우에도 저수지 체적은 0으로 가정한다.

2) 유출량 자료

저수지에서의 방출량은 방수구조물의 형태에 따라 다르므로, HEC-1에서는 다음 2가지로 분류하여 각각의 경우를 서브루틴으로 작성하였다.

가) 오리피스와 웨에

이는 댐 안전도 조사를 위한 여수로의 적정성을 판단하기 위해 종종 사용된다.

저수위 방수구를 통과하는 유량은 다음 식으로 계산한다.

$$Q = COQL * CAREA * \sqrt{2g} * (WSEL - ELEVEL)^{EXPL} \quad (4.74)$$

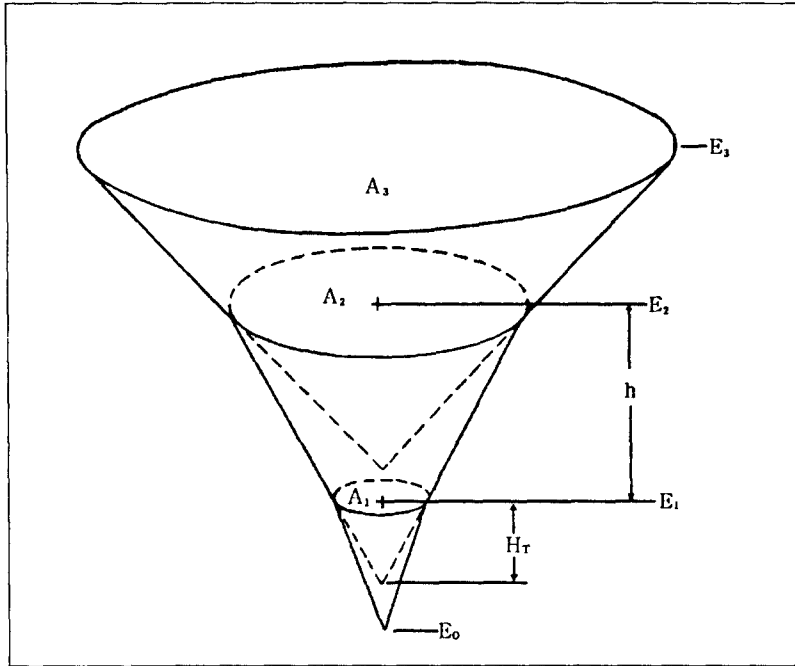
여기서, COQL은 오리피스 유량계수, CAREA는 방수관의 유수단면적, WSEL은 수위, ELEVEL은 방수구 중심에서의 수위, EXPL은 지수.

여수로를 통과하는 흐름은 다음 식으로 계산된다.

$$Q = COQW * SPWID * (WSEL - CREL)^{EXPW} \quad (4.75)$$

여기서, COQW는 웨어의 유량계수, SPWID는 여수로의 유효폭, WSEL은 수위, CREL은 여수로 상단에서의 수위이며, EXPW는 지수이다.

펌프나 댐 파괴를 계산하지 않는 경우, 수위-유출량 곡선은 주어진 수위를 20개로 분할하여 저류량을 계산한다. 저수지 추적은 이때 유도된 저류량-유출량 곡선을 사용하여 수정 Puls 방법으로 계산한다.



여기서, $\Delta V_{12} = \frac{h}{3} (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 A_2})$

$$H_T = \frac{h}{\left(\sqrt{\frac{A_2}{A_1}} - 1\right)}$$

그림4.6.2 저수지 체적계산을 위한 원추형 방법

나) 사다리꼴 및 오지형 여수로 (Trapezoidal and Ogee Spillways)

사다리꼴 및 반곡형 여수로는 그림4.6.3과 같이 가정할 수 있다. 수위-유출량 곡선은 주어진 서류자료를 20개의 수위로 분할하여 계산하며, 방수구가 저수위(Low-level)에 있다면 여수로 상단이 10번째의 수위에 해당하도록 저수위 방수구와 최대수위 사이를 등간격의 수위로 분할한다. 방수구가 저수위에 있지 않다면 여수로 상단은 2번째의 수위에 해당하도록 한다.

여수로 위를 통과하는 유량에 대한 에너지 수두선(HE)는 다음과 같이 계산한다.

$$HE = HEAD - \left(APLOSS * \frac{HEAD}{DESHD} \right) \tag{4.76}$$

여기서, APLOSS는 접근 손실수두, HEAD는 수면과 여수로 상단수위와의 차, DESHD는 설계 수두(Pool Elevation - ELSPI).

교각(pier)과 교대(Abutment)로 인한 에너지 손실은 표4.6.1의 HE/DESHD의 비에 따라 보간법으로 계산되며, 여수로 상단의 유효길이(ZEFFL)는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$ZEFFL = SPWID - 2 * HE * (N * KP + KA) \quad (4.77)$$

여기서, SPWID는 여수로 상단의 길이, N는 교각 수, KP는 교각 수축계수(Pier Contraction Coefficient), KA는 교대 수축계수.

사다리꼴 여수로에 대한 유출량은 한계수심(Critical Depth)으로부터 계산되며, 한계수심(D)에서 유속수두(HV)는 다음 식으로 구한다.

$$HV = \frac{V^2}{2g} = \frac{A}{2T} \quad (4.78)$$

여기서, A는 사다리꼴 여수로의 횡단면적, T는 한계수심에서 사다리꼴 여수로의 폭.

유속수두는 $HE = HV + D \pm 0.001$ 이 될 때 까지 시행착오법으로 계산하며, 오지형 여수로에 대한 유량계수(COFQ)는 다음 식으로 구한다.

$$COFQ = CC * \left(\frac{PDPTH}{DESHD} \right)^{EC} \quad (4.79)$$

여기서, PDPTH는 여수로의 접근수로 수심, CC와 EC는 표4.6.1의 HE/DESHD의 비에 따른 유량계수와 수정지수.

Tailwater에 의한 침수가 없는 여수로의 유량(QFREE)은 다음 식과 같다.

$$QFREE = COFQ * ZEFFL * HE^{1.5} \quad (4.80)$$

Tailwater 수위는 비에너지(Specific Energy)로 계산하거나 또는 Tailwater Rating Table로부터 보간법으로 구한다. 비에너지로부터 계산하는 경우, 하류의 비에너지는 다음과 같이 가정한다.

$$h_{et} = 0.9 * (HE + ELSPI - APEL) \quad (4.81)$$

여기서, h_{et} 는 여수로 끝단에서의 비에너지, ELSPI는 여수로 상단수위, APEL는 여수로 apron에서 수위.

Tailwater 수심은 다음 식을 만족할 때까지 시행착오를 계속한다.

$$(h_{et} - D) * D^2 = \frac{1}{2g} * \left(\frac{QASSM}{APWID} \right)^2 \pm 0.001 \quad (4.82)$$

여기서, D는 Tailwater 수심, APWID는 여수로 Apron의 폭, QASSM은 Tailwater에 의한 침수를 고려하여 수정된 여수로 유량.

침수계수(Submergence Coefficient)는 다음 식을 사용하여 표4.6.2에서 보간법으로 구한다.

$$\frac{HD+D}{HE} = \frac{HE + ELSPI - APEL}{HE} \quad (4.83)$$

$$\frac{HD}{HE} = \frac{HE + ELSPI - APEL - D}{HE} \quad (4.84)$$

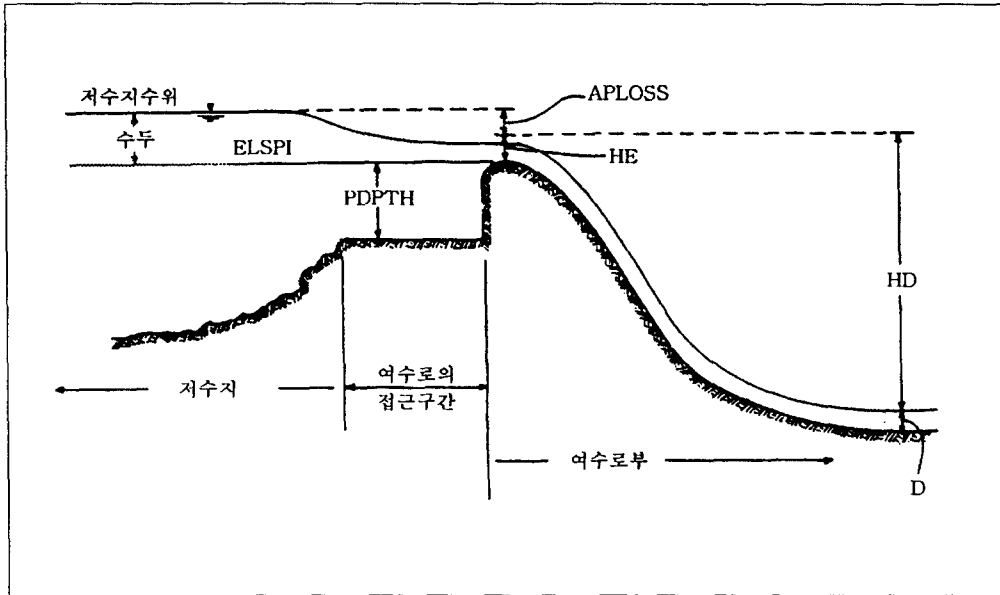


그림4.6.3 오지형 여수로

침수계수를 이용하여 수정된 유량은 다음과 같다.

$$QCORR = QFREE - 0.01 * SUBQ * QFREE \quad (4.85)$$

여기서, QCORR은 수정된 여수로 유량, SUBQ은 침수계수 (%).

새로 수정된 유량을 다시 여수로 유량으로 가정하여 QCORR이 1% 이내로 변할때까지 tailwater 수위와 침수계수 보정을 계속한다.

관내에 채워지지 않은 방수로에서 유출되는 유량은 다음 식으로 구한다.

$$CQFREE = COQL * CAREA * \sqrt{2g} * \sqrt{EL - ELEVEL} \quad (4.86)$$

여기서, CQFREE는 방수로에서의 방류량, COQL은 유량계수, CAREA은 관의 단면적, EL은 저수지 수위, ELEVEL은 방수구 중심점까지의 수심.

tailwater 수위는 Tailwater Rating Table 부터 보간법으로 구하며, 이를 이용하여 수정한 유량은 다음 식과 같다.

$$CQCOND = COQL - CAREA * \sqrt{2g} * \sqrt{EL - ZXTWEL} \quad (4.87)$$

여기서, CQCOND는 침수를 고려하여 수정한 관유량, ZXTWEL는 관로 tailwater 수위.

이전의 절차와 마찬가지로 CQCOND의 값이 0.1% 이내가 될 때까지 ZXTWEL과 CQCOND를 계속 보정한다.

4.6.6 Average-Lag

1) Straddle-Stagger(Progressive Average-Lag) 방법

이 방법은 유출량을 LAG 시간을 지체시키고 NSTDL 유량을 평균하므로써 추적하는 방법이다.

$$Q(I) = QIN(I), I \leq LAG \quad (4.88)$$

$$Q(I) = QIN(I-LAG), I > LAG \quad (4.89)$$

$$QOUT(I) = \frac{\sum_{L=\frac{I-NSTD L}{2}}^{I+\frac{NSTDL}{2}} Q(L)}{NSTDL} \quad (4.90)$$

여기서, LAG는 유입 수문곡선을 지체시키는 시간구간의 수, NSTDL은 유출량을 계산하기 위해 평균한 세로좌표 수, QIN은 유입수문곡선의 세로좌표, Q는 지체된 수문곡선의 세로좌표, QOUT는 유출수문곡선의 세로축.

2) Tatum(Successive Average-Lag)방법

이 방법은 현재와 바로 전의 유입곡선(Current and Previous Inflow)세로좌표 평균값으로 유출 수문곡선을 계산하는 추적방법으로 다음 식과 같다.

$$Q(I) = (QIN(I) + QIN(I-1)) / 2 \quad (4.91)$$

여기서, QIN는 유입수문곡선의 세로좌표, Q는 추적된 수문곡선의 세로좌표이다.

이 방법은 유출수문곡선을 구하기 위해 NSTPS번 반복된다

표4.6.1 여수로 유량계수

비에너지/설계수두 (HE/DES _{HD})	유량계수 (CC)	접근수심조정계수 (EC)	교각수축계수 (KP)	교대수축계수 (KA)	
				콘크리트	토사
0	3.100	0	0.123	- 0.008	0.005
0.1	3.205	0.0059	0.101	0.023	0.030
0.2	3.320	0.0090	0.082	0.045	0.053
0.3	3.415	0.0114	0.063	0.062	0.074
0.4	3.520	0.0135	0.046	0.074	0.092
0.5	3.617	0.0155	0.034	0.081	0.112
0.6	3.710	0.0174	0.026	0.089	0.123
0.7	3.800	0.0191	0.017	0.093	0.137
0.8	3.880	0.0208	0.009	0.097	0.150
0.9	3.943	0.0224	0.003	0.099	0.162
1.0	4.000	0.0241	0	0.100	0.174
1.1	4.045	0.0260	- 0.006	0.100	0.182
1.2	4.070	0.0281	- 0.012	0.100	0.189
1.3	4.090	0.0307	- 0.013	0.100	0.194

(1) Abutment contraction coefficients for adjacent concrete non-overflow section using Waterways Experiment Station (W.E.S.) Hydraulic Design Chart III-3/1 dated August 1960 and making KA=0.1 and HE/HD=1.0.

(2) Abutment contraction coefficients for adjacent embankment non-overflow section from w.E.s. Hydraulic Design Chart III-3/2 Rev. January 1964

(3) Pier contraction coefficients for type 3 piers are from Plate EM 1110-2-1603 (Corps of Engineers, 1965).

표4.6.2 침수계수

(HE + D) / HE																	HD/HE
1.07	1.10	1.15	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00	2.25	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50
침수율 (%)																	
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0.00
55.0	54.0	52.0	49.0	45.0	42.0	40.0	39.0	38.0	38.0	37.5	39.0	40.5	43.0	53.0	58.0	60.0	0.05
36.5	35.0	33.0	31.5	27.0	23.5	21.0	19.0	18.5	18.0	18.8	18.9	19.5	21.2	26.2	29.0	31.0	0.10
27.5	25.0	22.0	19.5	17.5	15.5	14.0	13.5	13.0	12.5	12.4	12.2	12.6	13.4	15.0	17.0	18.3	0.15
21.0	18.0	17.0	15.0	13.0	11.3	9.8	9.0	8.5	8.2	8.0	8.0	8.2	8.56	9.41	11.2	12.0	0.20
18.0	15.5	13.5	12.0	10.0	8.4	7.2	6.0	5.4	5.0	4.9	4.9	5.38	5.89	7.0	7.85	8.5	0.25
16.0	13.5	12.0	10.5	8.0	6.1	4.3	3.7	3.3	3.1	3.0	3.02	3.33	3.82	5.12	6.08	6.66	0.30
15.0	13.0	10.0	8.0	5.5	3.6	2.5	1.8	1.7	1.5	1.4	1.44	1.62	1.89	2.72	3.73	4.19	0.40
15.0	13.0	10.0	8.0	5.5	3.3	2.0	1.2	0.96	0.87	0.86	0.84	0.85	0.93	1.62	2.24	2.70	0.50
15.0	13.0	10.0	8.0	5.5	3.3	2.0	1.1	0.90	0.75	0.52	0.52	0.56	0.60	0.86	1.17	1.65	0.60
15.0	13.0	10.0	8.0	5.5	3.3	2.0	1.1	0.80	0.50	0.48	0.45	0.39	0.39	0.47	0.69	0.93	0.70
15.0	13.0	10.0	8.0	5.5	3.3	2.0	1.1	0.70	0.49	0.45	0.42	0.32	0.25	0.11	0.20	0.34	0.80
15.0	13.0	10.0	8.0	5.5	3.3	2.0	1.1	0.70	0.49	0.44	0.41	0.31	0.22	0.03	0.0	0.0	0.85
15.0	13.0	10.0	8.0	5.5	3.3	2.0	1.1	0.70	0.49	0.44	0.4	0.3	0.20	0.0	0.0	0.0	0.90

제5장 매개변수 검정

매개변수에 대한 검정(Calibration)과 검증(Verification)은 모형화 과정에서 필수적으로 수행되어야 하는데, HEC-1 모형에서는 강우나 유출자료를 이용할 때 이러한 매개변수의 대부분을 검정할 수 있는 매우 유용한 최적화 방안을 제시하고 있다.

5.1 단위유량도와 강우손실 관련 매개변수

5.1.1 최적화 방법 (Optimization Methodology)

HEC-1에서 매개변수 검정은 집수유역에 대하여 관측된 유출수문곡선을 가장 잘 재현성할 수 있도록 자동으로 단위유량도와 손실을 매개변수를 결정할 수 있는 능력을 보유하고 있다.

모형의 입력자료는 유역평균강우, 유역면적, 초기유량(Starting Flow) 및 기저유량 매개변수인 STRTQ, QRCSN, RTIOR 등과 관측 유출수문곡선 등이며, 검정을 통해 결정될 수 있는 유출매개변수들은 Snyder, Clark 및 SCS방법 등의 단위유량도 매개변수와 지수함수, Holtan, SCS 및 Initialy/Constant 방법 등의 손실을 매개변수이다.

유출수문곡선을 가장 잘 재현성하기 위해서는 목적함수 STDER의 값을 최소화해야 하는데, 이를 위해 아래의 식으로 STDER을 최소화 시킬 수 있다. (그림5.1.1 참조)

$$STDER = \sqrt{\sum_{i=1}^n (QOBS_i - QCOMP_i)^2 * WT_i / n} \quad (5.1)$$

여기서, $QCOMP_i$ 는 계산된 유출수문곡선의 세로좌표로서 첨자 i 는 시간을 표시, $QOBS_i$ 는 관측 유출수문곡선의 세로좌표, WT_i 는 평균유량을 초과하는 유량에 대해 오차를 가중시키는 하중계수로 아래와 같다.

$$WT_i = (QOBS_i + QAVE) / (2 * QAVE) \quad (5.2)$$

여기서, QAVE는 평균관측유량.

오차를 최소화하기 위해서는 WT의 값을 최소화시켜야 하며, 매개변수의 실제값은 물리적인 제한 및 수학적인 기능으로 인한 제한이 있으므로 오차가 더욱 가중될 수 있다. 이러 관계로 HEC-1에서는 표5.1.1과 같이 매개변수의 제한범위를 정하고 있다.

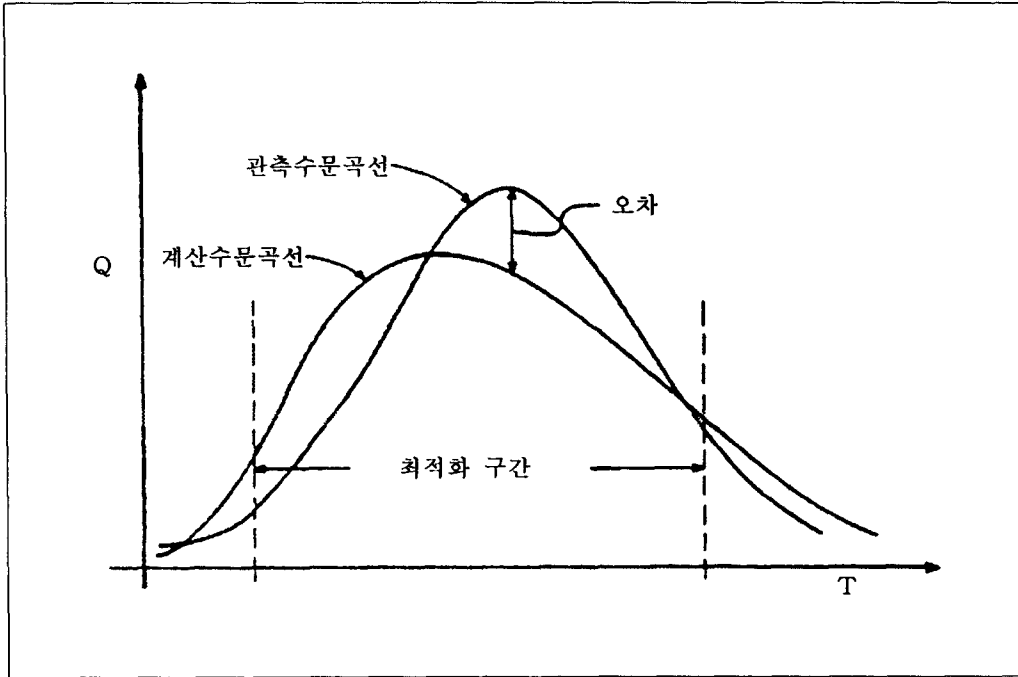


그림5.1.1 최적화를 위한 오차 계산

표5.1.1 단위도에서 손실률 매개변수의 범위

Clark Unit Graph Parameter :

$$TC \geq 1.03 \Delta t, \quad R \geq 0.52 \Delta t, \quad \Delta t = \text{Computation Interval}$$

Loss Rate Parameters

Exponential

$$ERAIN \leq 1.0$$

$$RTIOL \geq 1.0$$

Snowmelt

$$RTIOK \geq 1.0$$

$$-1.11 \text{ } ^\circ\text{C} \leq \text{FRZIP} \leq 3.330 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Uniform

$$\text{STRTL} \geq 0$$

$$\text{CNSTL} \geq 0$$

SCS

$$0 \leq \text{CN} \leq 100$$

Holtan

$$\text{FC} \geq 0$$

$$\text{GIA} \geq 1.0$$

$$\text{BEXP} \geq 0$$

제6장 다중계획-다중홍수 해석

다중계획-다중홍수(multiplan-multiflood) 모의 옵션은 사용자에게 한 번의 컴퓨터 작업으로 유역의 수많은 다른 특성화(계획)에 대한 일련의 홍수를 조사할 수 있게 하는 기능이다. 이 옵션의 잇점은 복합호우와 홍수조절 계획이 효율적으로 모의될 수 있고, 그 결과는 사용자에게 의해 최소의 노력으로 쉽게 비교될 수 있다는 것이다.

다중홍수 모의는 사용자에게 동일 컴퓨터 작업에서 여러가지 다른 홍수의 분석을 가능하게 한다. 다중홍수는 유출이든지 또는 강수든지 어느 하나의 기준사상(base event)의 비율로서 계산된다(예를 들면, 0.5, 1.0, 1.5, 등). 비율 수문곡선(ratio hydrographs)은 하천유역의 모든 구성요소에 대해 계산된다. 강우의 경우, 입력 기준사상인 우량주상도의 각 종거에는 그 비율이 곱해지고, 하천망 강우-유출 모의는 각 비율에 대해 수행되며, 이는 기준사상의 모든 비율에 대해 이루어진다. 유출 비율의 경우, 비율은 계산된 수문곡선 혹은 직접 입력된 수문곡선에 적용되고, 개개의 비율에 대한 강우-유출 계산은 하지 않는다.

다중계획 옵션은 요망하는 홍수조절 계획과 유역의 유출응답 특성 변화를 반영하기 위해 유역 모델을 편리하게 수정할 수 있게 한다. 이 기능은 예를 들면, 홍수조절 옵션들의 비교나 혹은 도시화의 영향을 분석하는데 유용하다.

제7장 댐의 안전도 분석

하천유역에서 하류부 지역에 관한 댐의 월파 혹은 구조적 파괴의 결과 및 그에 대한 가능성을 추정하기 위해 단순화된 수리학적 기법을 이용한다. 이하에서는 댐 월파 해석, 댐 붕괴 모델의 수식화, 댐 붕괴를 모의하는데 사용된 방법론 및 방법의 제한사항들을 기술하기로 한다.

7.1 모델의 수식화

댐 붕괴를 모의하기 위해 제3장에서 기술한 저수지 구성요소를 하천망(stream network) 모델에 사용하였다. 이 경우 하천망 모델을 개발하는 절차는 강우-유출 해석에서와 본질적으로 같지만 모델의 중점은 다르게 될 것이다. 모형화 노력의 대부분은 조사 중인 댐의 유입량 계산과 댐 붕괴의 특성치 규정 및 하천유역에서 요망하는 지역까지 댐 파괴 수문곡선을 추적하는데 소요된다. 댐 하류에서 측방유입류는 댐 파괴로 야기되는 흐름과 비교하여 작은 것이 보통이므로 무시한다.

7.2 댐의 안전도 분석 방법

댐 안전도 모의는 표고-방류량 관계가 댐의 상단부를 월류(댐 월파)하는 흐름을 결정하므로써 혹은 다른 저수지 방류시설을 통해 나가는 것 외에도 댐 붕괴를 통한 흐름을 결정하므로써 계산된다는 점에서 앞서 기술한 저수지 추적과는 다르다. 댐 붕괴를 모의하기 위해 표고-유출량 특성을 level-pool storage routing(제4장 참조)에 결합시켜 사용하였다.

7.2.1 평평한 頂部(Level Crest)인 경우의 댐 월파

댐 상단부를 월류하는 유량은 웨어 흐름 방정식에 의해 계산된다.

$$Q_{od} = COQW * DAMWID * h_1^{EXPD} \quad (7.1)$$

여기서, h_1 은 댐 상단부의 월류수심, COQW는 웨어의 유량계수, DAMWID는 댐상부 웨어

흐름의 유효폭, EXPD는 수두의 지수. (그림 7.2.1참조)

댐 상부의 웨어 頂部길이, DAMWID는 여수로를 포함해서는 안된다. 여수로 유량은 수면표고가 댐의 頂部를 초과할 때 바로 여수로 방정식(제4장 참조)에 의해 계산되며, 댐 월파에 의한 웨어 유량은 여수로 유량과 저수위 방류구 유량에 추가된다.

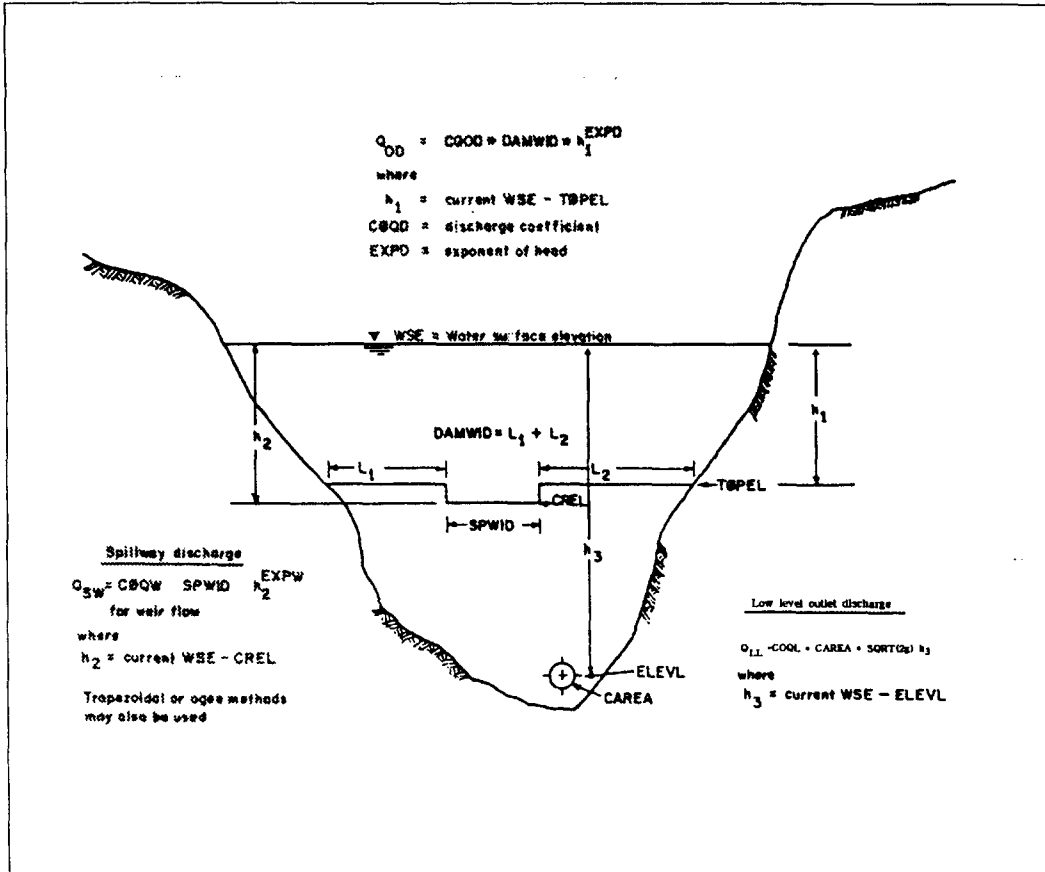


그림7.2.1 여수로와 댐 월류 관련 변수 (HEC-1)

7.2.2 평평하지 않은 頂部(Non-Level Crest)인 경우의 댐 월과

평평하지 않은 댐 頂部 위를 월류하는 한계류는 頂部の 길이와 표고 자료로부터 계산된다. 댐 頂部는 프로그램에 의해서 사용목적에 따라 등가 단면으로 변환된다. 이러한 頂部는 직사각형 단면과 사다리꼴 단면으로 나뉘어지며, 유량은 각 단면을 통해 계산된다.

직사각형 단면(그림7.2.2c)에 대한 한계수심 d_c 는 다음 식과 같다.

$$d_c = 2/3 * H_m \tag{7.2}$$

여기서, H_m 은 단면 저부 위의 수심으로 취해지는 유효 비에너지.

사다리꼴 단면에 대한 한계수심은 다음 식과 같다.

$$d_c = 2/3 * (H_m + 1/4 * \Delta y) \quad (7.3)$$

여기서, Δy 는 단면을 가로지른 표고차(ELVW(I+1) - ELVW(I))이다. 유수단면적 A는 직사각형 단면에서는 $T * d_c$ 로, 사다리꼴 단면에서는 $1/2 T (2d_c - \Delta y)$ 로 계산된다. 여기서, T는 상단 폭(WIDTH(I+1) - WIDTH(I))이다.

단면을 통한 유량은 다음 식으로부터 계산된다.

$$Q = \left(\frac{A^3 * g}{T} \right)^{1/2} \quad (7.4)$$

여기서, g는 중력가속도.

댐 상단부를 월류하는 총 유량은 각 단면을 통과하는 흐름의 합이 된다. 댐이 파괴되고 있을 때 파괴 폭은 댐의 최저부에서 시작하는 頂部 길이에서 감해진다.

7.2.3 댐 파괴

댐 파괴는 Fread(National Weather Service, 1979)에 의해 제안된 방법을 사용하여 모의된다. 구조적 파괴는 댐 파괴에 대한 어떤 기하학적 형태를 가정하므로써 모델화되며, 본 프로그램에서 활용가능한 댐 파괴형상 외에도 해석에 사용된 변수들을 그림7.2.3에 도시하였다.

댐 파괴를 통한 유량 Q는 다음 식으로 계산된다.

$$Q = C1 * BRWID * (WSEL - BREL)^{1.5} + C2 * (WSEL - BREL)^{2.5} \quad (7.5)$$

여기서, WSEL은 저수지의 수면표고, BREL은 파괴 저면 표고, BRWID는 파괴 폭, C1은 직사각형 광정웨어의 유량계수(3.08), C2는 측면경사가 Z인 V-notch 웨어의 유량계수(2.44Z)이다. 파괴는 저수지의 수면이 주어진 표고(FAILEL)에 도달할 때 시작된다. 파괴는 댐의 상단에서 시작되고, 주어진 시간(TFAIL)내에 전체폭으로 파괴 바닥 표고(ELBM)까지 선형적으로 확장된다. 파괴의형을 완전하게 결정하기 위해 댐 상단의 표고는 반드시 지정되어야 한다. 파괴 지속기간(TFAIL)은 50개의 계산 간격으로 나뉘어지고, 이들 짧은 간격은 파괴가 형성되고 있을 때 급하게 변화하는 흐름기간 동안의 추적 오차를 최소화하기 위해 사용된다. HEC-1에서의 하류 추적법은 파괴가 진행되는 동안에 사용된 시간간격보다 일반적으로 더 큰 시간간격을 사용한다. 만일, HEC-1 표준시간이 파괴 지속기간에 비해서 너무 크다면 파괴 수문곡선의 하류 추적에 오차가 유발될 수도 있다. 만일 HEC-1 시간간격이 파괴 지속기간 보다 크다면, 전체 파괴 지속기간

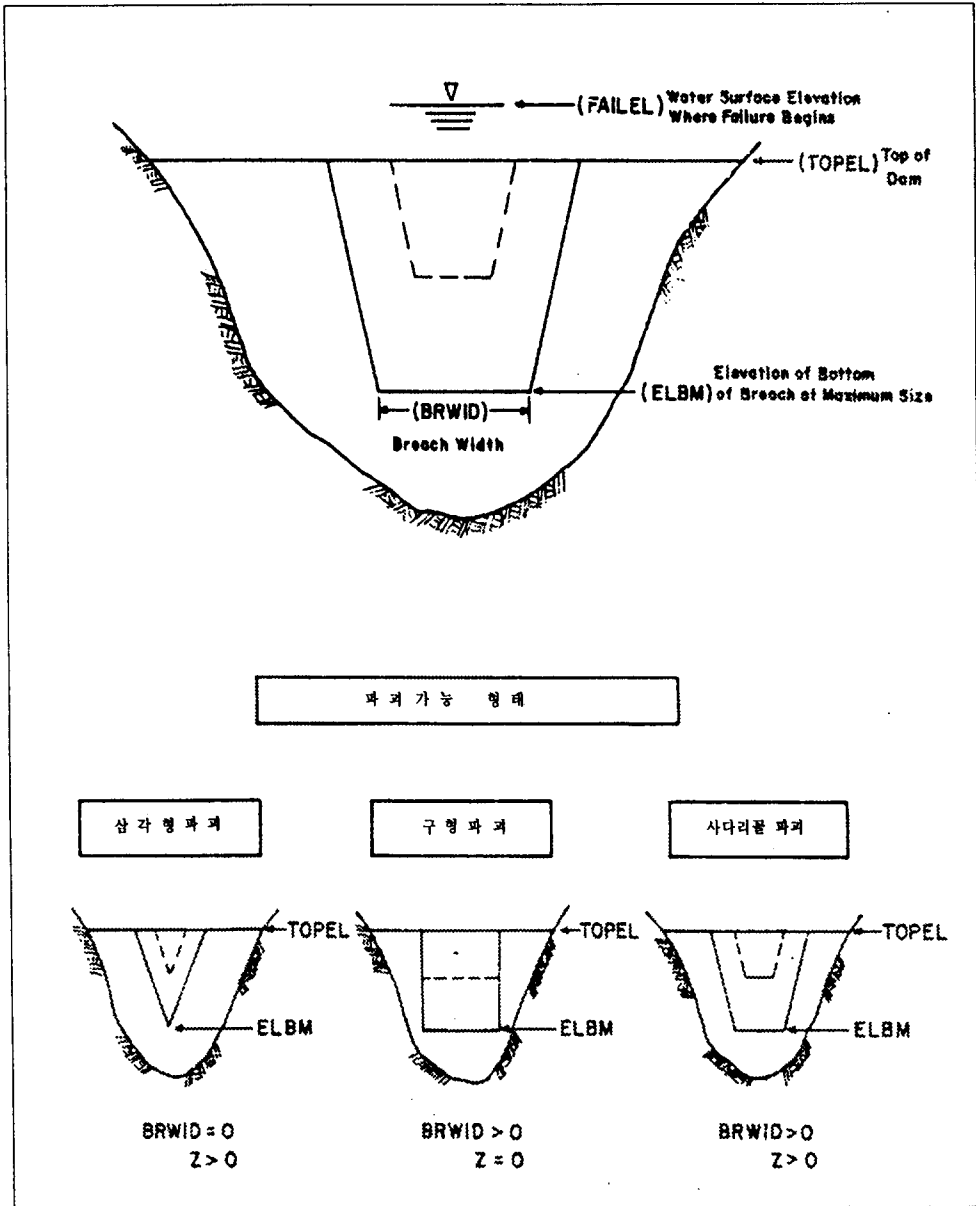


그림 7.2.2 댐 파괴 매개변수

(TFAIL)은 50개의 계산 간격으로 나뉘어지고, 이들 짧은 간격은 파괴가 형성되고 있을 때 급하게 변화하는 흐름기간 동안의 추적 오차를 최소화하기 위해 사용된다. HEC-1에서의 하류 추적법은 파괴가 진행되는 동안에 사용된 시간간격보다 일반적으로 더 큰 시간간격을 사용한다. 만일, HEC-1 표준시간이 파괴 지속시간에 비해서 너무 크다면 파괴 수문곡선의 하류 추적에 오차가 유발될 수도 있다. 즉, 만일 HEC-1 시간간격이 파괴 지속기간 보다 크다면, 전체 파괴 수문곡선

은 하나의 HEC-1 시간간격 이내에서 발생할 수도 있다. 왜냐하면 HEC-1은 단지 구간 끝(end-of-period)에서의 유출량을 보여주고 계산하기 때문에 시간간격 이내에 발생하는 첨두치들은 알 수가 없게 된다.

유출용적과 첨두치 손실이라는 잠재적인 문제는 짧은 간격의 파괴 수문곡선과 일정한 HEC-1 시간간격의 위치를 보여주는 프로그램 출력에서 보기 쉽다. 파괴 수문곡선이 HEC-1의 기간 끝 간격(end-of period intervals)에 의해서 적절히 기술되는 가를 확인하는 것이 중요하다. 그렇지 않으면 하류부 추적에는 오차가 생길 수도 있다.

7.3 제한사항

댐 파괴 모의는 댐 파괴 수문곡선이 하류수 억제에 의해 영향받지 않고 저수지의 수위는 수평을 유지하고 있다고 가정한다. 또한 HEC-1의 수문학적 추적방법이 동적 홍수파(dynamic flood wave)에 대해 적합하다고 가정한다. 적절한 조건하에서 이들 가정은 사실에 가깝게 보완될 것이며, 분석결과는 연구목적에 대해 충분한 정밀도를 갖는 정보를 제공하나, 댐 파괴분석의 결과를 판단함에 있어서는 주의를 요한다. 만약 좀 더 높은 수준의 정밀도가 필요하다면 National Weather Service의 DAMBRK(1979) 모형과 같은 부정류 모델이 사용되어야 한다.

제8장 강수량-면적 관계 모의

수문평가에 있어서 보다 어려운 문제 중의 하나는 원거리 지류에 관한 계획이 하류지점에 홍수를 유발시키는 영향을 결정하는 것이다. 이와 유사한 문제로는 복잡한 하천유역의 일련의 위치에서 표준계획홍수량(standard project floods) 혹은 재현기간이 100년인 홍수량과 같은 유출 수문곡선을 도출하는 것을 들 수 있다. 이들 두 문제는, 대상이 되는 각 지점의 상류부에 집중하는 많은 호우에 대한 지속적인 계산을 필요로 한다.

강수량은 각 소유역의 지류로부터 발생된 대상지점의 유출량이 계획이 시행될 소유역을 포함한 다른 소유역으로부터 기여된 유출량과 일치하여야 한다는 방식으로 유역 전반을 통해 분포되어야만 한다. 연속적인 하류부 수문곡선들간의 일관성은 특정한 소유역의 크기와 특정한 강수량-배수면적 관계에 대응하는 강우량으로부터 각 성분을 구하므로써 유지될 수 있다. 강수량-배수면적 관계는 평가대상이 되는 유출사상(예를 들면 표준계획홍수량)에 대응되어야만 한다.

8.1 일반 개념

호우에 있어서 지류의 유역면적에 걸친 강수량의 평균 깊이는 일반적으로 기여하는 면적의 크기에 따라 감소한다. 그러므로, 보통 연속된 하류 지점까지 각 소유역에 의해 기여된 점감적으로 일관성 있는 홍수량을 다시 계산하는 것이 필요하다. 계속해서 일어날 수문곡선의 증식을 피하기 위하여 HEC-1의 강수량-면적 계산은 복잡한 하천유역에 걸친 강수량의 분포로부터 계산된 많은

수의 수문곡선(지표 수문곡선이라고 부른다)을 사용한다. 지표 수문곡선(index hydrographs)은 강수량-배수면적(지표면적) 값, 강우양상의 시간적 분포, 적절한 손실율, 단위도 매개변수 등으로부터 계산된다. 그림8.1.1은 일관 수문곡선(consistent hydrograph)이 소유역 A, B 및 A와 B의 하천 합류점에 대해 요망되는 경우에 대한 유역의 모식도를 보인 것이다.

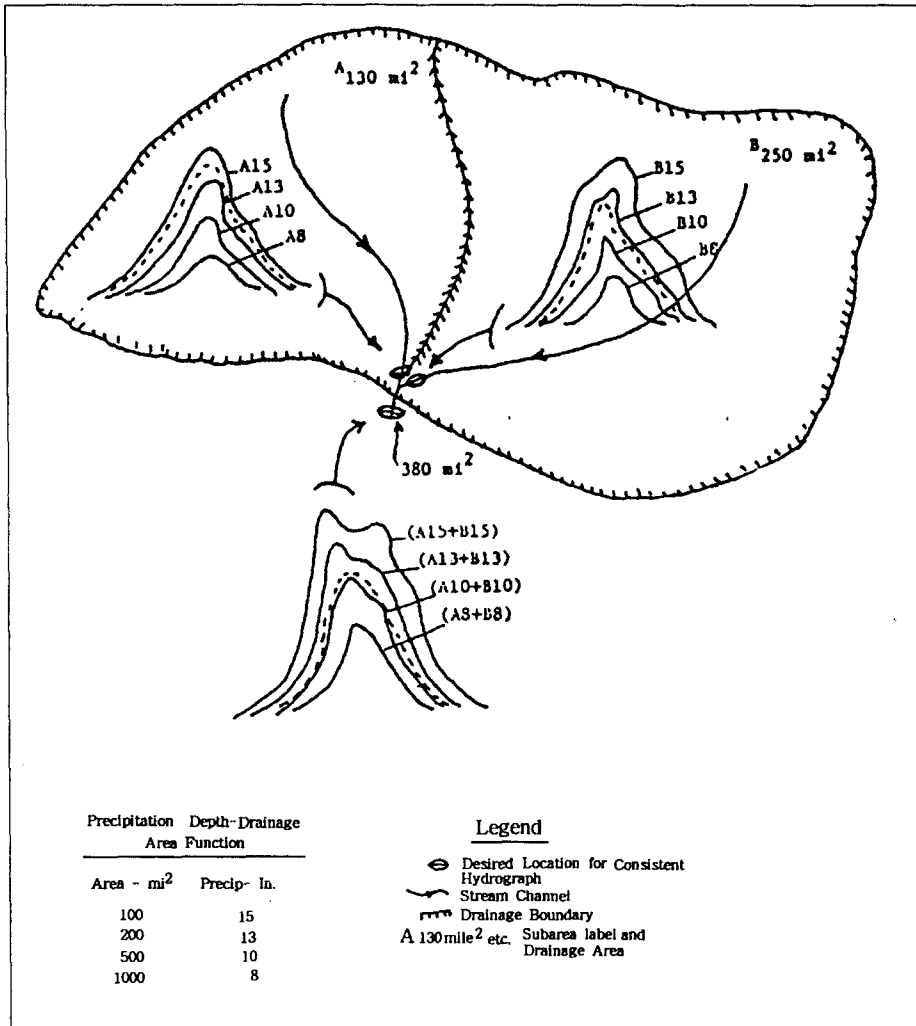


그림8.1.1 2개 소유역의 강우깊이 - 면적모의

계산과정은 소유역 A, B에 대해 동일하다. 각 소유역에 대한 네개의 지표 유출수문곡선은 소유역의 지류 면적별로 15, 13, 10, 8 inch인 강수량에 대해 계산되며, 이들 지표 유출수문곡선을 A15, A13, ..., 및 B15, B13, ... 등으로 표기하였다. 일관 수문곡선은 소유역의 배수면적에 대한 적절한 강수량에 대응하는 수문곡선으로 정의되며, 일관 수문곡선은 소유역의 배수면적을 하나로 묶은 두개의 지표 수문곡선간의 내삽보간에 의하여 결정되며, 그림에 나타내었다.

8.2 내삽보간 공식

내삽보간 공식은 지류의 배수면적을 둘러싼 면적에 대응하는 2개의 지표 수문곡선에 대한 유량 증거에 적용된다. 내삽보간은 지표면적(index area)과 실제 지류면적에 바탕을 두고 있다.

이 공식은 다음으로부터 유도될 수 있다.

- (1) 사용된 유출 변환(단위도)은 선형과정이다.
- (2) 강수량은 대략 지표 배수면적의 대수값(logarithm)에 비례하여 변화한다. 따라서 내삽보간 공식은 다음과 같이 선형 유량-대수 배수면적 관계를 가정하여 유도할 수 있다.

$$Q = Q1 * \left(\log \frac{Ax}{A1} / \log \frac{A1}{A2} \right) + Q2 * \left(\log \frac{Ax}{A1} / \log \frac{A2}{A1} \right) \quad (8.1)$$

여기서, Q는 일관 수문곡선의 순간유출, Ax는 하천 위치에 대한 지류면적, A1은 그 다음 작은 지표면적, A2는 그 다음 큰 지표면적, Q1은 지표수문곡선 1의 순간유출, Q2는 지표 수문곡선 2에 대한 순간 유출

만약 적용된 손실함수가 균일하고, 강수량-배수면적 관계가 실질적으로 반대수지상에서 직선을 보인다면 내삽보간 공식은 정확하게 될 것이다. 내삽보간 공식은 정확하지 않기 때문에, 본 컴퓨터 프로그램은 모든 합류점 하류에 있는 내삽보간된 수문곡선의 침투치가 합류점 상류에 있는 내삽보간된 수문곡선의 침투치보다 작지 않고 크다는 것을 확인하게 하였다.

강수량-면적 계산을 위한 HEC-1의 운용에는 모델화될 유역과 서로 만나게 되는 지류 면적의 구역을 포함하여 5쌍까지의 값에 의해 정의되는 요망하는 강수량-면적 관계가 필요하며, 각각의 강수량-면적에 대해 상이한 시간적 분포형이 규정될 수 있다. 제안된 계획을 고려하거나 고려하지 않은 경우의 강수량-면적에 대한 계속적인 작업은 하류부 홍수 수문곡선에 대한 그 계획의 균형잡힌 평가를 제공해 줄 것이다. 강수량-배수면적 함수로 일관성 있게 한 유역내에서 단일 작업은 모든 위치에서 일련의 수문곡선을 제공해 줄 것이다.

제9장 홍수 피해 분석

홍수피해 경감 계획에는 홍수 침수피해의 경제적 결과를 합리적으로 평가할 수 있는 능력이 요구된다. 홍수피해 분석기능은 홍수 침수피해를 평가하기 위한 능력을 제공하고 선택적인 홍수피해 경감방안에 의해 홍수피해 감소 이익을 결정한다. 홍수피해 분석을 수행하는데 있어서 사용된 방법과 기본적 개념을 검토하기로 한다.

9.1 기본 원리

홍수피해 경감 계획의 수행으로 인해 얻어지는 피해감소는 하천유역에 발생하는 피해요소에 대한 대책방안의 유무에 따른 결과의 차이를 계산하므로써 결정된다. 피해를 침두유량이나 수위의 함수로 가정하고, 홍수 지속기간에는 종속되지 않는다고 가정한다. 총 피해는 하천유역내에 개개 피해구역에 대해 계산된 피해를 더함으로써 결정된다. 각 구역에 있어서의 피해는 개개의 토지 이용도 범주에 대한 피해의 총합으로 계산된다.

HEC-1은 피해-초과빈도 곡선을 적분하므로써 연피해기대치(expected annual damage, EAD)를 계산하는데, EAD는 시간의 계속된 기간에 걸쳐 구역에 발생될 것으로 기대되는 연평균 피해이다. EAD 분석에서 사용된 기본적인 기법은 피해구역을 나타내는 지역의 특성인 빈도 對 유량(수위) 관계 및 피해 對 유량(수위) 관계를 결합하므로써 피해 빈도곡선을 작성하는 것이다. 피해 對 유량(수위) 관계는 홍수류의 수위까지 지역에서 발생하는 재산피해에 기인하며, 유량(수위) 對 초과빈도 관계는 초과빈도를 홍수류의 크기에 기인하는 것으로 하고 있다. 이러한 정보를 조합하므로써, 피해 對 빈도곡선 결과적으로 구역에 대한 EAD가 결정될 수 있다.

결론적으로, EAD는 하천유역에서 발생하는 홍수 피해의 측도이므로 홍수손실 경감방안의 유무에 따른 하천유역의 EAD를 비교하므로써 피해 감소에 따른 이익이 계산된다.

9.2 모델의 구성

홍수 피해 분석은 다중계획-다중홍수 분석을 위하여 개발된 하천유역의 개념적인 모형에 피해 계산기능을 포함하여 확장한 것이다. 피해구역은 다중계획-다중홍수 모델의 각 피해 구역에 대해 유량(수위) 對 빈도와 유량(수위) 對 피해자료로 구성된 경제자료를 제공하므로써 지정된다.

확장된 다중계획-다중홍수 분석에서, PLAN 1은 기본조건(base condition)을 나타내며, 그 다음

의 계획들은 홍수 손실 경감 계획의 대안을 나타낸다. PLAN 1과 그 다음 계획들에 대해 계산된 EAD간의 차이점이 홍수 손실 경감 방안에 의하여 얻어진 피해 감소가 된다.

홍수 피해 분석을 위한 개념적 모델의 개발은 수로망과 피해 계산에 대해 상호관련된 요구사항에 바탕을 두고 있다. 이 관계는 그림9.2.1에 보인 바와 같으며, 소유역, 추적구역, 피해구역들이 하천구역의 예로 묘사되어 있다. 수로망 계산을 위한 소유역과 추적구역의 정의는 3장에서 약속된 기준에 의해 부분적으로 결정되고, 피해계산의 요구사항에 의해서도 부분적으로 결정된다.

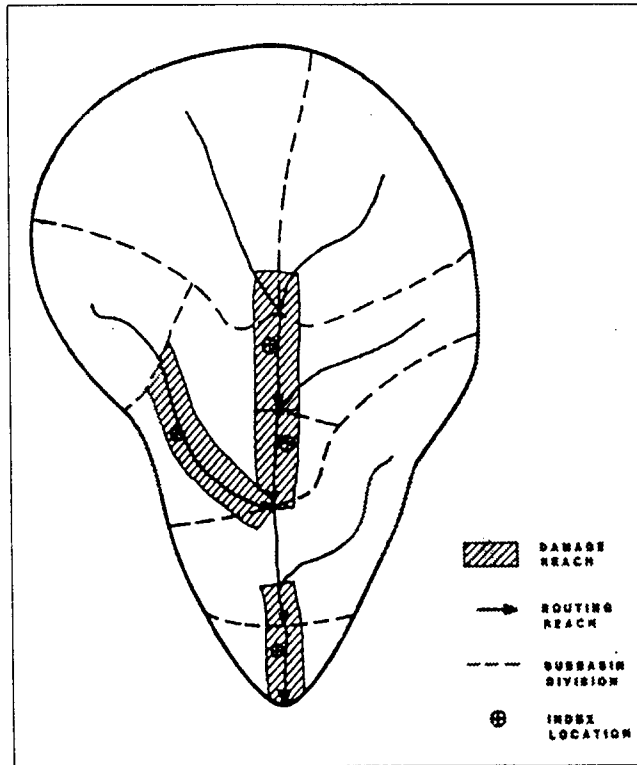


그림9.2.1 홍수 피해 감소 모형

대상이 되는 각 지역에서 피해 구역은 일관된 홍수형(consistent flood profiles)을 갖는 하천구간을 분리하므로서 결정된다. (일관된 홍수형은 구간을 따른 수위종단도가 홍수빈도의 범위에 대해 유사한 형태일 때 발생한다. 예를 들어, 유사한 형(profiles)은 10년과 20년 홍수에 의한 수위간의 차이가 전 구간을 통하여 거의 동일할 때를 의미한다.) 피해 계산에서 사용된 자료는 각 피해 구역 내에서 지표 위치(index location)를 위해 개발된다.

피해구역은 많은 수의 추적 구역의 부분들을 둘러싸고 있을 수도 있다는 점에 주목하여야 한다. 피해 계산에서 사용된 흐름은 이들 추적 구역의 최하류로부터의 유출량에 바탕을 두고 있다. 지표 위치에 대한 피해자료로 조합된 흐름은 전체 피해 구역에서 적당한 피해를 야기시킨다.

9.3 피해 구역 자료

피해계산을 위한 입력자료는 입력자료 텍에서 다중계획-다중홍수 하천망 자료를 따르며, 수 많은 형태로 제공될 수 있다.

피해자료는 수위-피해 또는 유량-피해 표로 제공될 수 있다. 이들 자료는 각 구역에서 많은 수의 서로 상이한 피해범주에 대해 제공될 수 있다.

빈도자료는 수위-빈도 혹은 유량-빈도 표로 제공될 수 있다. 피해자료가 유출량으로 그리고 빈도자료가 수위로 주어진 경우에(혹은 그 역으로), 그 구간에 대한 수위-유량곡선은 수위와 유량을 관련시킬 수 있도록 제공되어야만 한다.

피해구역 위치(damage reach location) 정보는 하천유역에서 피해를 요약하기 위해 규정될 수도 있다. 위치를 설명하는 두가지 표현(예를 들면 하천명과 행정구역명)이 각 피해구역에 대해 제공된다. 피해 요약표는 피해가 발생한 하천과 행정구역별(혹은 임의의 또다른 위치 표현들)로 피해가 합산되고 도표화되도록 만들어진다.

9.4 홍수 피해 계산 방법

홍수피해 분석에는 초과빈도곡선 수정과 EAD 산정이라는 두가지의 기본적인 계산이 있다. 저수지와 하천개수 등의 구조적 홍수조절 방법들은 유량-빈도 관계에 영향을 미친다. 홍수방지공과 홍수경보 등의 비구조적 방법들은 보통 홍수-빈도 관계에 커다란 영향을 주지는 않으나 유량(수위)-피해 관계를 수정시킨다.

9.4.1 빈도 곡선의 수정

피해 구역에 대해 준비된 유량-초과빈도 자료를 PLAN 1 또는 다중계획-다중홍수 모델의 기본계획이라고 한다. 구조적 홍수조절 방법들의 실행이나 유역 응답의 변화는 이러한 초과빈도 관계를 변화시킬 것이므로, HEC-1에서는 다음과 같은 방법을 이용하여 빈도관계를 수정한다.

9.4.2 연피해 기대치(EAD)의 산정

EAD는 유량-빈도 곡선과 각 계획 및 피해구역에 대한 유량-피해 자료를 조합하므로서 산정된다(HEC, 1979a).

제10장 예 제

예제 1 : 단위도와 손실률 매개변수의 최적화

이 예제는 Clark 단위유량도를 이용해 호우사상을 추적하는 예제로, 매개변수인 Tc와 R 및 HEC-1에서 제공하는 지수형 손실함수의 손실률 매개변수들을 최적화하는 과정을 보여준다.

매개변수들은 사용자가 지정해 줄 수도 있다. 이 예제에서는 손실률 매개변수의 하나인 ERAIN을 0.7로 고정하였다. 나머지 매개변수들은 HEC-1의 계산 과정을 통해 최적화한다. 표10.1에는 거운 지점 자료를 이용한 입력,출력 자료를 나타내었다.

입력 파일에 사용된 입력 지시어는 파일의 1,2열에 나타나 있으며 표 10.1에서 볼 수 있는 입력 지시어의 종류를 설명하면 다음과 같다.

ID : 작업의 시작을 알리는 부분. 입력 자료의 내용을 파악할 수 있도록 주석을 달 수 있음

IT : 계산에 관계된 시간적 요소들을 지정하는 부분.

1번 필드 : 계산 시간 간격(분)

2번 필드 : 계산 시작일

3번 필드 : 계산 시작 시각

4번 필드 : 수문 곡선 종거수(300개 이하)

IO : 출력 조정 입력행

1번 필드 : 결과 모두 출력

2번 필드 : 계산된 모든 수문 곡선 출력

OU : 매개변수 최적화를 시도하겠다는 선언을 지정하는 입력행

PG : 우량관측소 및 총우량, 연평균 우량을 나타내는 부분. 이 입력행 다음에는 PI 입력행이 있어야 함

PI : 우량 자료 (PG 다음에 음)

1-10번 필드 : 우량 (in / mm)

KK : 계산할 유역 지정. 각 소유역 마다 이 입력행이 있어야 함

1번 필드 : 관측소명, 혹은 유역명

QO : 실측 유량 (수문곡선 종거)

1-10번 필드 : 유량 (cfs / cms)

PT : 총우량 산정을 위한 관측소 지정(10개까지 가능)

PW : 관측소별 가중치(0에서 1사이의 값)

PR : 우량의 시간적 분포를 계산하기 위한 우량 관측소들(5개까지 가능)

BA : 유역면적 지정 입력행

1번 필드 : 유역면적(sq mi / sq km)

2번 필드 : 해당 유역의 연평균 우량 지정 (필요한 경우)

BF : 기저유출 특성 지정 입력행

1번 필드 : 시작점 유량(cfs / cms)

2번 필드 : 첨두 유량에 이 값(0.25)을 곱한 유량부터 기저유출을 계산하라는 지시

3번 필드 : 감수 계수 (> 1)

UC : Clark 단위도 매개변수 최적화 여부 지정

1번 필드 : '-1'은 도달 시간(T_c , hrs)을 최적화하라는 뜻

2번 필드 : '-1'은 저류 상수(R , hrs)를 최적화하라는 뜻

LE : HEC의 지수형 손실률 매개변수 초기치들 (자세한 내용은 지침서 참고)

ZZ : 입력의 끝을 알리는 입력행

표 10.1 거운 수위표 지점 '87년 6월 14일 호우에 대한 입력과 출력 파일

1. 입력 파일

```

ID      Simulation : Geowoon
ID      Unit Graph and Loss Rate Optimization
IT      60 07JUN87   0000   168
IO      1      2
IM
OU
PG000100
PI      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      1.8      3.6      6.0
PI      11.8     18.3     12.7     9.9     2.0     3.0     1.8     3.1     2.5     3.5
PI      .2      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0
PI      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0
PI      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0
PI      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0
PI      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0
PI      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0
PI      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0
PI      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0
PI      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0
PI      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0
PI      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0
PI      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0
PI      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0
PI      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0
PG019900
PI      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0
PI      .5      3.0      8.5      12.0     9.0      5.0      4.0      5.0      4.0      3.5
PI      2.5      4.0      3.0      1.0      .0      .5      .5      .0      .0      .0
PI      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0
PI      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0
PI      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0
PI      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0
PI      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0
PI      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0
PI      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0
PI      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0
PI      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0
PI      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0
PI      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0
PI      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0
PI      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0      .0

```

HEC-1을 이용한 홍수 수문곡선 모의방법

PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PG019650										
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	1.0
PI	4.0	8.0	14.0	11.0	10.0	1.0	2.0	2.5	3.5	2.5
PI	3.0	.0	.5	.0	.5	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PG019500										
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	3.4	4.6
PI	9.0	12.0	10.0	5.3	2.0	1.4	1.1	1.2	2.3	.7
PI	1.6	.0	.4	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PG019300										
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	2.0
PI	3.0	2.0	7.0	13.0	12.0	1.5	2.5	3.0	2.0	2.0
PI	3.0	.0	.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0

PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PG018950										
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	5.0	8.0	5.0
PI	12.0	10.0	15.0	8.0	2.0	1.0	1.5	.5	2.0	.5
PI	1.0	.0	.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PG018910										
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.8	5.0	5.0
PI	5.0	10.0	13.0	7.0	3.0	1.0	2.0	2.0	1.2	.6
PI	.4	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PG018680										

HEC-1을 이용한 홍수 수문곡선 모의방법

PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	3.8	3.0
PI	6.0	9.0	15.0	14.9	1.4	1.7	.9	2.1	2.5	1.0
PI	1.0	.0	.0	.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	1.2	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PG018460										
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.0	.8	1.2	3.0
PI	6.0	13.0	15.0	15.0	4.0	2.0	2.0	2.5	2.5	2.0
PI	2.0	.0	.0	.4	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
IN	07JUN87	1300								
KK019200										
QO	73.6	75.8	75.8	77.0	78.1	78.1	82.8	85.2	90.1	103.1
QO	126.1	132.3	148.6	184.5	247.2	290.	316.	330.	350.	360.
QO	370.	377.	378.	380.	379.	375.	370.	365.	362.	356.
QO	351.	340.	335.	332.7	329.1	322.0	318.5	315.1	313.4	311.7
QO	310.0	308.4	305.1	305.1	305.1	305.1	290.1	285.2	270.5	270.5
QO	270.5	270.5	258.7	256.4	251.8	247.2	247.2	247.2	247.2	247.2
QO	247.2	247.2	244.9	242.7	240.4	238.2	233.8	229.4	225.1	220.8
QO	216.6	214.5	214.5	212.4	208.3	204.2	204.2	204.2	204.2	204.2
QO	200.2	196.2	192.2	188.3	184.5	180.7	176.9	175.1	175.1	175.1

QO	175.1	173.2	171.4	169.6	166.0	166.0	166.0	166.0	162.4	162.4
QO	158.9	158.9	157.1	157.1	157.1	157.1	155.4	148.6	145.2	143.6
QO	141.9	138.7	135.5	132.3	132.3	132.3	132.3	132.3	132.3	132.3
QO	129.2	129.2	129.2	129.2	126.1	126.1	124.6	117.2	114.3	110.0
QO	108.6	105.8	103.1	103.1	103.1	103.1	103.1	103.1	103.1	101.8
QO	100.4	97.8	96.5	95.2	92.6	90.1	90.1	87.6	85.2	84.0
QO	82.8	82.8	80.4	78.1	78.1	78.1	78.1	78.1	77.0	77.0
QO	75.8	73.6	72.5	72.5	72.5	72.5	72.5	72.5	.0	.0
PT000100	019900	019650	019500	019300	018950	018680	018460			
PW	.025	.100	.078	.049	.077	.007	.012	.048		
PR019900	019650	019500	019300	018460						
PW	.100	.078	.049	.077	.048					
BA2279.5		0.								
BF	73.6	-0.25	1.026							
UC	-1.00	-1.00								
LE	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00						
ZZ										

2. 출력 파일

```

*****
* FLOOD HYDROGRAPH PACKAGE (HEC-1) *
* SEPTEMBER 1990 *
* VERSION 4.0 *
* RUN DATE 09/02/1993 TIME 12:43:39 *
*****

*****
* U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS *
* HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER *
* 609 SECOND STREET *
* DAVIS, CALIFORNIA 95616 *
* (916) 756-1104 *
*****
    
```

```

X X XXXXXX XXXX X
X X X X X XX
X X X X X X
XXXXXX XXXX X XXXXX X
X X X X X X
X X X X X X
X X XXXXXX XXXX XXX
    
```

THIS PROGRAM REPLACES ALL PREVIOUS VERSIONS OF HEC-1 KNOWN AS HEC1 (JAN 73), HEC1GS, HEC1DB, AND HEC1KW.

THE DEFINITIONS OF VARIABLES -RTIMP- AND -RTIOR- HAVE CHANGED FROM THOSE USED WITH THE 1973-STYLE INPUT STRUCTURE.
 THE DEFINITION OF -AMSIK- ON RM-CARD WAS CHANGED WITH REVISIONS DATED 28 SEP 81. THIS IS THE FORTRAN77 VERSION
 NEW OPTIONS: DAMBREAK OUTFLOW SUBMERGENCE, SINGLE EVENT DAMAGE CALCULATION, DSS:WRITE STAGE FREQUENCY,
 DSS:READ TIME SERIES AT DESIRED CALCULATION INTERVAL LOSS RATE:GREEN AND AMPT INFILTRATION
 KINEMATIC WAVE: NEW FINITE DIFFERENCE ALGORITHM

1 HEC-1 INPUT PAGE 1

LINE	ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ID	Simulation : Geomoon									
2	ID	Unit Graph and Loss Rate Optimization									
3	IT	60	07JUN87	0000	168						
4	IO	1	2								
5	IM										
6	OU										
7	PG	000100									
8	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	1.8	3.6	6.0	
9	PI	11.8	18.3	12.7	9.9	2.0	3.0	1.8	3.1	2.5	3.5
10	PI	.2	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
11	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
12	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
13	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
14	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
15	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
16	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
17	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
18	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
19	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
20	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
21	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
22	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
23	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
24	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
25	PG	019900									
26	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
27	PI	.5	3.0	8.5	12.0	9.0	5.0	4.0	5.0	4.0	3.5
28	PI	2.5	4.0	3.0	1.0	.0	.5	.5	.0	.0	.0
29	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
30	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
31	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
32	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
33	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
34	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
35	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
36	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
37	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
38	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
39	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
40	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
41	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
42	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
43	PG	019650									
44	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	1.0
45	PI	4.0	8.0	14.0	11.0	10.0	1.0	2.0	2.5	3.5	2.5
46	PI	3.0	.0	.5	.0	.5	.0	.0	.0	.0	.0

47	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
48	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
49	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
50	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
51	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
52	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
53	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
54	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
55	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0

1

HEC-1 INPUT

PAGE 2

LINE	ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
56	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
57	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
58	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
59	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
60	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
61	PG	019500									
62	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	3.4	4.6	
63	PI	9.0	12.0	10.0	5.3	2.0	1.4	1.1	1.2	2.3	.7
64	PI	1.6	.0	.4	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
65	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
66	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
67	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
68	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
69	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
70	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
71	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
72	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
73	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
74	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
75	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
76	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
77	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
78	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
79	PG	019300									
80	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	2.0
81	PI	3.0	2.0	7.0	13.0	12.0	1.5	2.5	3.0	2.0	2.0
82	PI	3.0	.0	.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
83	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
84	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
85	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
86	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
87	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
88	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
89	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
90	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
91	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
92	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
93	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
94	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
95	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
96	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
97	PG	018950									
98	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	5.0	8.0	5.0
99	PI	12.0	10.0	15.0	8.0	2.0	1.0	1.5	.5	2.0	.5
100	PI	1.0	.0	.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
101	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
102	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
103	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
104	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
105	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
106	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
107	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
108	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
109	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
110	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0

1

HEC-1 INPUT

PAGE 3

LINE	ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
111	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
112	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
113	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
114	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
115	PG	018910									
116	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.8	5.0	5.0
117	PI	5.0	10.0	13.0	7.0	3.0	1.0	2.0	2.0	1.2	.6
118	PI	.4	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
119	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
120	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
121	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
122	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
123	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
124	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
125	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
126	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
127	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0

HEC-1을 이용한 홍수 수문곡선 모의방법

128	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
129	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
130	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
131	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
132	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
133	PG	018680								
134	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	3.8	3.0	
135	PI	6.0	9.0	15.0	14.9	1.4	1.7	.9	2.1	2.5
136	PI	1.0	.0	.0	.5	.0	.0	.0	.0	.0
137	PI	.0	.0	1.2	.0	.0	.0	.0	.0	.0
138	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
139	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
140	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
141	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
142	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
143	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
144	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
145	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
146	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
147	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
148	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
149	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
150	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
151	PG	018460								
152	PI	.0	.0	.0	.0	.1	.0	.8	1.2	3.0
153	PI	6.0	13.0	15.0	15.0	4.0	2.0	2.0	2.5	2.0
154	PI	2.0	.0	.0	.4	.0	.0	.0	.0	.0
155	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
156	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
157	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
158	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
159	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
160	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
161	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
162	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
163	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
164	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
165	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0

1

HEC-1 INPUT

PAGE 4

LINE	ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
166	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
167	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
168	PI	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
169	IN	07JUN87		1300								
170	KK	019200										
171	00	73.6	75.8	75.8	77.0	78.1	78.1	82.8	85.2	90.1	103.1	
172	00	126.1	132.3	148.6	184.5	247.2	290.	316.	330.	350.	360.	
173	00	370.	377.	378.	380.	379.	375.	370.	365.	362.	356.	
174	00	251.	340.	335.	332.7	329.1	322.0	318.5	315.1	313.4	311.7	
175	00	310.0	308.4	305.1	305.1	305.1	290.1	285.2	270.5	270.5		
176	00	270.5	270.5	258.7	256.4	251.8	247.2	247.2	247.2	247.2	247.2	
177	00	247.2	247.2	244.9	242.7	240.4	238.2	233.8	229.4	225.1	220.8	
178	00	216.6	214.5	214.5	212.4	208.3	204.2	204.2	204.2	204.2	204.2	
179	00	200.2	196.2	192.2	188.3	184.5	180.7	176.9	175.1	175.1	175.1	
180	00	175.1	173.2	171.4	169.6	166.0	166.0	166.0	166.0	162.4	162.4	
181	00	158.9	158.9	157.1	157.1	157.1	157.1	155.4	148.6	145.2	143.6	
182	00	141.9	138.7	135.5	132.3	132.3	132.3	132.3	132.3	132.3	132.3	
183	00	129.2	129.2	129.2	129.2	126.1	126.1	124.6	117.2	114.3	110.0	
184	00	108.6	105.8	103.1	103.1	103.1	103.1	103.1	103.1	103.1	101.8	
185	00	100.4	97.8	96.5	95.2	92.6	90.1	90.1	87.6	85.2	84.0	
186	00	82.8	82.8	80.4	78.1	78.1	78.1	78.1	78.1	77.0	77.0	
187	00	75.8	73.6	72.5	72.5	72.5	72.5	72.5	72.5	.0	.0	
188	PT	000100	019900	019650	019500	019300	018950	018680	018460			
189	PW	.025	.100	.078	.049	.077	.007	.012	.048			
190	PR	019900	019650	019500	019300	018460						
191	PW	.100	.078	.049	.077	.048						
192	BA	2279.5	.0									
193	BF	73.6	-0.25	1.026								
194	UC	-1.00	-1.00									
195	LE	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00							
196	ZZ											

```

*****
*
* FLOOD HYDROGRAPH PACKAGE (HEC-1)
* SEPTEMBER 1990
* VERSION 4.0
*
* RUN DATE 09/02/1993 TIME 12:43:39
*
*****
    
```

```

*****
*
* U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS
* HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER
* 609 SECOND STREET
* DAVIS, CALIFORNIA 95616
* (916) 756-1104
*
*****
    
```

Unit Graph and Loss Rate Optimization

```

4 IO  OUTPUT CONTROL VARIABLES
      IPRINT 1 PRINT CONTROL
      IPLOT  2 PLOT CONTROL
      OSCAL  0 HYDROGRAPH PLOT SCALE

IT    HYDROGRAPH TIME DATA
      NMIN 60 MINUTES IN COMPUTATION INTERVAL
      IDATE 7JUN87 STARTING DATE
      ITIME 0000 STARTING TIME
      NQ 168 NUMBER OF HYDROGRAPH ORDINATES
      NDATE 13JUN87 ENDING DATE
      NDTIME 2300 ENDING TIME
      ICENT 19 CENTURY MARK

      COMPUTATION INTERVAL 1.00 HOURS
      TOTAL TIME BASE 167.00 HOURS

METRIC UNITS
DRAINAGE AREA SQUARE KILOMETERS
PRECIPITATION DEPTH MILLIMETERS
LENGTH, ELEVATION METERS
FLOW CUBIC METERS PER SECOND
STORAGE VOLUME CUBIC METERS
SURFACE AREA SQUARE METERS
TEMPERATURE DEGREES CELSIUS

OU    OPTIMIZATION OF UNITGRAPH AND LOSS RATE PARAMETERS
      IFORD 1 FIRST ORDINATE OF OPTIMIZATION REGION
      ILORD 168 LAST ORDINATE OF OPTIMIZATION REGION
  
```

.....

```

*****
*
170 KK * 019200 *
*
*****
  
```

```

169 IM  TIME DATA FOR INPUT TIME SERIES
      JXMIN 0 TIME INTERVAL IN MINUTES
      JXDATE 7JUN87 STARTING DATE
      JXTIME 1300 STARTING TIME
  
```

SUBBASIN RUNOFF DATA

```

192 BA  SUBBASIN CHARACTERISTICS
      TAREA 2279.50 SUBBASIN AREA

193 BF  BASE FLOW CHARACTERISTICS
      STKTO 73.60 INITIAL FLOW
      QRCSM -.25 BEGIN BASE FLOW RECESSION
      RTIOR 1.02600 RECESSION CONSTANT
  
```

PRECIPITATION DATA

```

188 PT  TOTAL STORM STATIONS 000100 019900 019650 019500 019300 018950 018680 018460
189 PM  WEIGHTS .03 .10 .08 .05 .08 .01 .01 .05

190 PR  RECORDING STATIONS 019900 019650 019500 019300 018460
191 PM  WEIGHTS .10 .08 .05 .08 .05
  
```

EXPONENTIAL LOSS RATE

```

195 LE  STRGR -1.00 INITIAL VALUE OF LOSS COEFFICIENT
      DLTKR -1.00 INITIAL LOSS
      RTIOL -1.00 LOSS COEFFICIENT RECESSION CONSTANT
      ERAIN -1.00 EXPONENT OF PRECIPITATION
      RTIMP .00 PERCENT IMPERVIOUS AREA
  
```

194 UC

```

CLARK UNITGRAPH
      TC -1.00 TIME OF CONCENTRATION
      R -1.00 STORAGE COEFFICIENT
  
```

SYNTHETIC ACCUMULATED-AREA VS. TIME CURVE WILL BE USED

PRECIPITATION STATION DATA

STATION	TOTAL	AVG. ANNUAL	WEIGHT
000100	80.20	.00	.03
019900	66.00	.00	.10
019650	63.50	.00	.08
019500	55.00	.00	.05
019300	53.50	.00	.08

HEC-1을 이용한 홍수 수문곡선 모의방법

018950	72.00	.00	.01
018680	64.00	.00	.01
018460	71.50	.00	.05

TEMPORAL DISTRIBUTIONS

STATION 019900, WEIGHT = .10

.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
.50	3.00	8.50	12.00	9.00	5.00	4.00	5.00	4.00	3.50
2.50	4.00	3.00	1.00	.00	.50	.50	.00	.00	.00
.00	.00	.00							

STATION 019650, WEIGHT = .08

.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	1.00
4.00	8.00	14.00	11.00	10.00	1.00	2.00	2.50	3.50	2.50
3.00	.00	.50	.00	.50	.00	.00	.00	.00	.00
.00	.00	.00							

STATION 019500, WEIGHT = .05

.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	3.40	4.60
9.00	12.00	10.00	5.30	2.00	1.40	1.10	1.20	2.30	.70
1.60	.00	.40	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
.00	.00	.00							

STATION 019300, WEIGHT = .08

.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	2.00
3.00	2.00	7.00	13.00	12.00	1.50	2.50	3.00	2.00	2.00
3.00	.00	.50	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
.00	.00	.00							

STATION 018460, WEIGHT = .05

.00	.00	.00	.00	.00	.10	.00	.80	1.20	3.00
6.00	13.00	15.00	15.00	4.00	2.00	2.00	2.50	2.50	2.00
2.00	.00	.00	.40	.00	.00	.00	.00	.00	.00
.00	.00	.00							

INITIAL ESTIMATES FOR OPTIMIZATION VARIABLES

TC+R	R/(TC+R)	STKCR	DLTKR	RTIOL	ERAIN
47.74	.50	5.00	12.50	2.00	.50

INTERMEDIATE VALUES OF OPTIMIZATION VARIABLES

(*INDICATES CHANGE FROM PREVIOUS VALUE)
(+INDICATES VARIABLE WAS NOT CHANGED)

OBJECTIVE FUNCTION VOL. ADJ.	TC+R	R/(TC+R)	STKCR	DLTKR	RTIOL	ERAIN
47.744		.500	1.595*	3.988*	2.000	.500
72.7	71.616*	.500	1.595	3.988	2.000	.500
51.7	71.616	.750*	1.595	3.988	2.000	.500
51.5	71.616	.750	1.739*	3.988	2.000	.500
51.5	71.616	.750	1.739	5.269*	2.000	.500
51.4	71.616	.750	1.739	5.269	2.057*	.500
51.0	71.616	.750	1.739	5.269	2.057	.588*
41.3	84.944*	.750	1.739	5.269	2.057	.588
39.0	84.944	.703*	1.739	5.269	2.057	.588
30.8	84.944	.703	1.159*	5.269	2.057	.588
30.8	84.944	.703	1.159	3.512*	2.057	.588
30.6	84.944	.703	1.159	3.512	2.171*	.588
30.6	84.944	.703	1.159	3.512	2.171	.584*
28.7	89.871*	.703	1.159	3.512	2.171	.584
27.4	89.871	.746*	1.159	3.512	2.171	.584
25.0	89.871	.746	.773*	3.512	2.171	.584
25.0	89.871	.746	.773	5.269*	2.171	.584
24.8	89.871	.746	.773	5.269	1.838*	.584
24.8	89.871	.746	.773	5.269	1.838	.573*
22.2	95.991*	.746	.773	5.269	1.838	.573
22.2	95.991	.751*	.773	5.269	1.838	.573
20.6	95.991	.751	.515*	5.269	1.838	.573
20.5	95.991	.751	.515	7.903*	1.838	.573
20.0	95.991	.751	.515	7.903	1.654*	.573
19.7	95.991	.751	.515	7.903	1.654	.641*
19.0	98.723*	.751	.515	7.903	1.654	.641
18.4	98.723	.751	.450*	7.903	1.654	.641
18.1	100.450*	.751	.450	7.903	1.654	.641
18.1	100.450	.751	.428*	7.903	1.654	.641
18.1	100.450	.751	.428	7.903	1.637*	.641
18.0	100.944*	.751	.428	7.903	1.637	.641
18.0	100.944	.751	.428	7.903	1.637	.621*
18.0	101.352*	.751	.428	7.903	1.637	.621
VOL. ADJ.	101.352	.751	.354*	6.536*	1.637	.621

OPTIMIZATION RESULTS

CLARK UNITGRAPH PARAMETERS

TC 25.19
R 76.16

SNYDER STANDARD UNITGRAPH PARAMETERS

TP 25.63
CP .28

LAG FROM CENTER OF MASS OF EXCESS
TO CENTER OF MASS OF UNITGRAPH 81.98

UNITGRAPH PEAK 7.
TIME OF PEAK 25.00

EXPONENTIAL LOSS RATE PARAMETERS

STKR .35
DLTKR 6.54
RTIOL 1.64
ERAIN .62

EQUIVALENT UNIFORM LOSS RATE .615

COMPARISON OF COMPUTED AND OBSERVED HYDROGRAPHS

STATISTICS BASED ON OPTIMIZATION REGION
(ORDINATES 1 THROUGH 168)

	SUM OF FLOWS	EDUIV DEPTH	MEAN FLOW	TIME TO CENTER OF MASS	LAG C. M. TO C. M.	PEAK FLOW	TIME OF PEAK
PRECIPITATION EXCESS		53.223		16.00			
COMPUTED HYDROGRAPH	31211.	49.291	186.	74.01	58.01	389.	39.00
OBSERVED HYDROGRAPH	31196.	49.267	186.	75.92	59.92	380.	36.00
DIFFERENCE	15.	.024	0.	-1.91	-1.91	9.	3.00
PERCENT DIFFERENCE	.05				-3.19	2.33	
STANDARD ERROR OBJECTIVE FUNCTION		18.		AVERAGE ABSOLUTE ERROR		14.	
		19.		AVERAGE PERCENT ABSOLUTE ERROR		9.24	

UNIT HYDROGRAPH
300 END-OF-PERIOD ORDINATES
VOLUME = .98

0.	0.	0.	1.	1.	1.	1.	2.	2.	3.
3.	3.	4.	4.	5.	5.	5.	6.	6.	6.
7.	7.	7.	7.	7.	7.	7.	7.	7.	7.
7.	7.	6.	6.	6.	6.	6.	6.	6.	6.
6.	6.	6.	6.	5.	5.	5.	5.	5.	5.
5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.
4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.
4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	4.	3.
3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.
3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.	3.
3.	3.	3.	3.	2.	2.	2.	2.	2.	2.
2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.
2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.
2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.	2.
2.	2.	2.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.

10 JUN 0400	77	.00	.00	.00	244.	243.	=	13 JUN 1600	161	.00	.00	.00	79.	88.
10 JUN 0500	78	.00	.00	.00	241.	240.	=	13 JUN 1700	162	.00	.00	.00	78.	85.
10 JUN 0600	79	.00	.00	.00	238.	238.	=	13 JUN 1800	163	.00	.00	.00	77.	84.
10 JUN 0700	80	.00	.00	.00	234.	234.	=	13 JUN 1900	164	.00	.00	.00	76.	83.
10 JUN 0800	81	.00	.00	.00	231.	229.	=	13 JUN 2000	165	.00	.00	.00	75.	83.
10 JUN 0900	82	.00	.00	.00	228.	225.	=	13 JUN 2100	166	.00	.00	.00	74.	80.
10 JUN 1000	83	.00	.00	.00	225.	221.	=	13 JUN 2200	167	.00	.00	.00	73.	78.
10 JUN 1100	84	.00	.00	.00	222.	217.	=	13 JUN 2300	168	.00	.00	.00	72.	78.

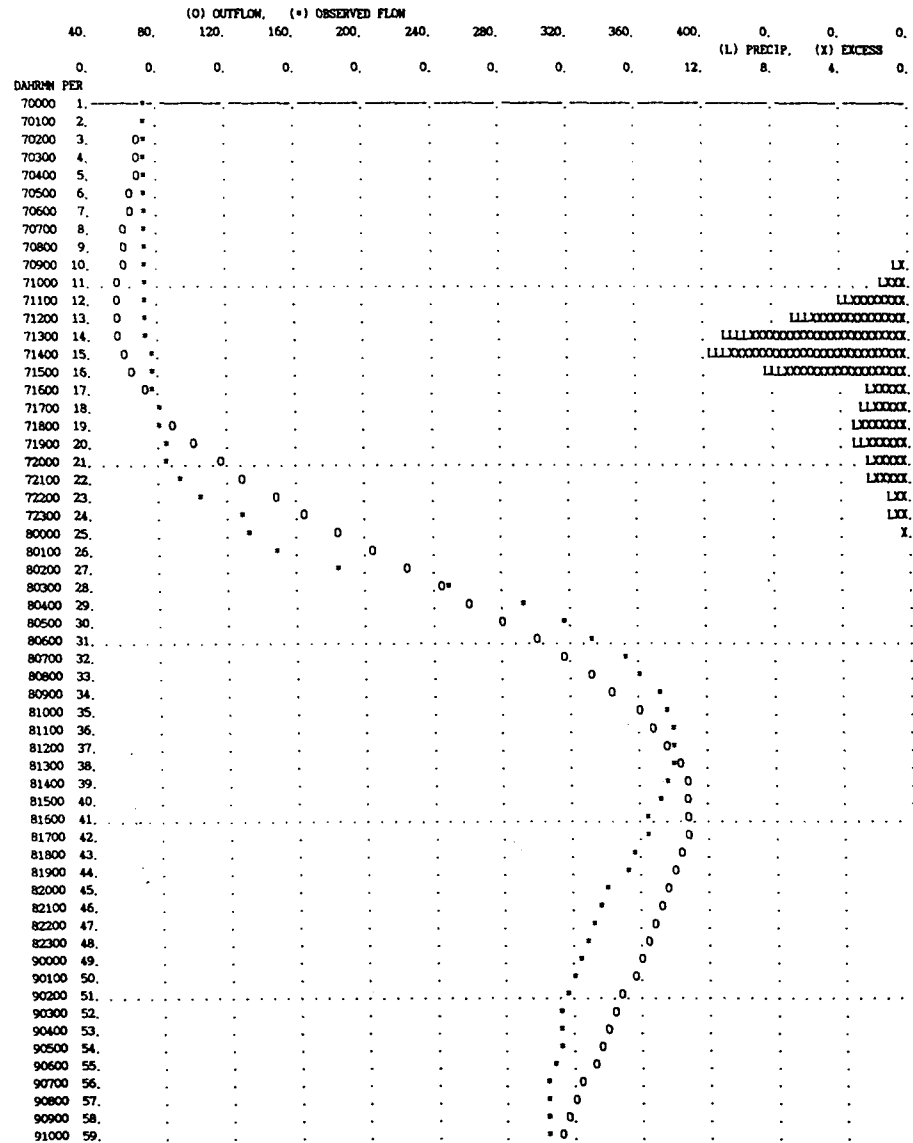
.....

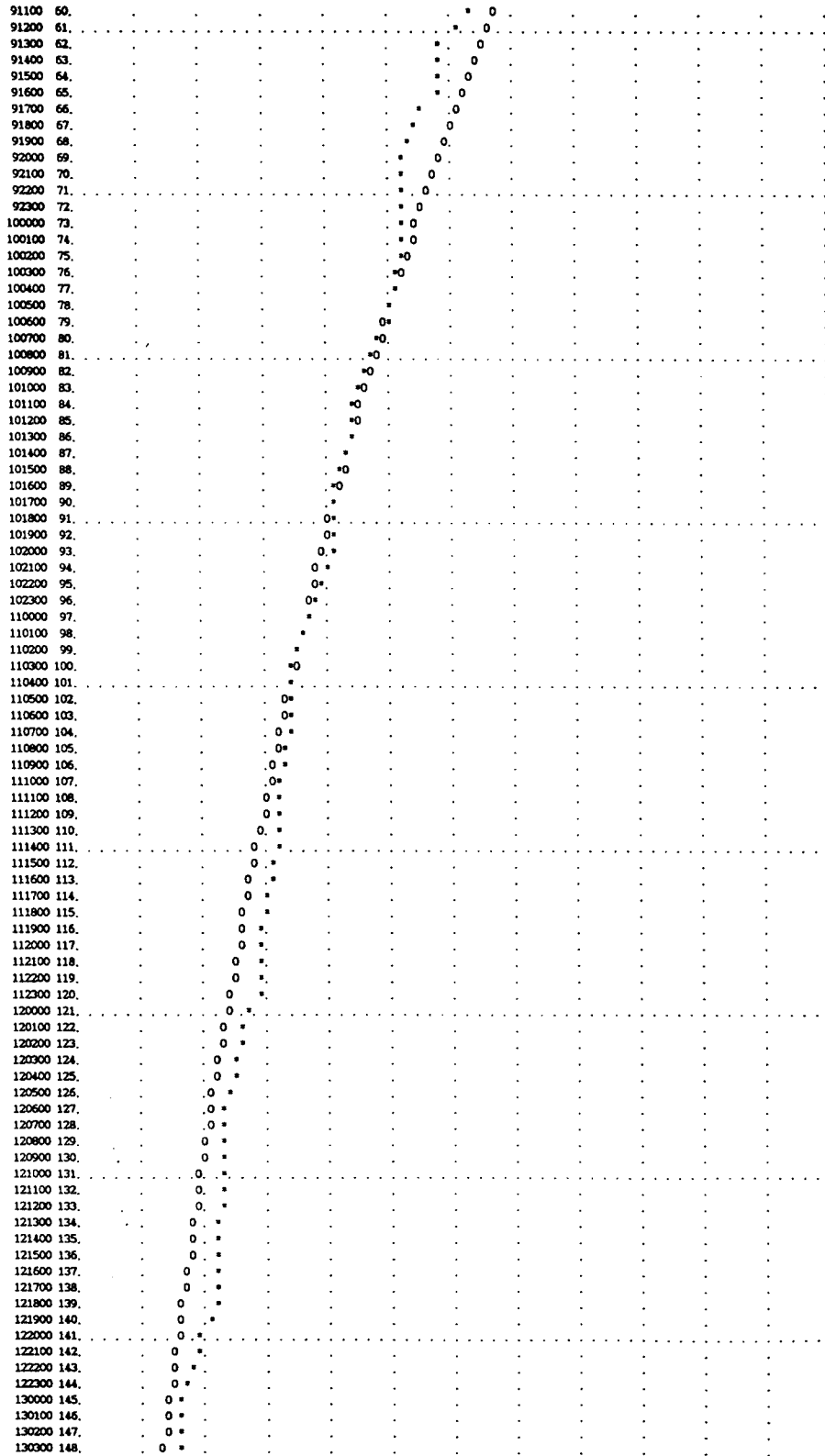
TOTAL RAINFALL = 63.32, TOTAL LOSS = 10.10, TOTAL EXCESS = 53.22

PEAK FLOW + (CU M/S)	TIME (HR)	MAXIMUM AVERAGE FLOW				
		6-HR	24-HR	72-HR	167.00-HR	
+ 389.	39.00	(CU M/S)	386.	362.	287.	186.
		(MM)	3.661	13.737	32.653	49.177
		(1000 CU M)	8346.	31314.	74433.	112098.

CUMULATIVE AREA = 2279.50 SQ KM

1 STATION 019200





130400 149.	0	*
130500 150.	0	*
130600 151.	0	*
130700 152.	0	*
130800 153.	0	*
130900 154.	0	*
131000 155.	0	*
131100 156.	0	*
131200 157.	0	*
131300 158.	0	*
131400 159.	0	*
131500 160.	0	*
131600 161.	0	*
131700 162.	0	*
131800 163.	0	*
131900 164.	0	*
132000 165.	0	*
132100 166.	0	*
132200 167.	0	*
132300 168.	0	*

(-) LIMITS OF OPTIMIZATION

1
1

** STATION 019200 ** DRAINAGE AREA = 2279.50

. . DATE . .		PERCENT ERROR					OPTIMIZATION					RESULTS				
DA	MON YR	AVG	VOL	LAG	PEAK	TC	R	TC+R	R/(TC+R)	TP	CP	QF	STRUC	DLTQR	RTIOL	ERAIN
7	JUN 87	9.2	.0	-3.2	2.3	25.19	76.16	101.35	.75	25.63	.28	7.	.35	6.54	1.64	.62

*** NORMAL END OF HEC-1 ***

참 고 문 헌

1. Hydrologic Engineering Center, HEC-1 Flood Hydrograph Package, Users manual, U.S. Army Corps of Engineers, Davis, California, 1990.
2. Bedient, P.B. and W.C. Huber, Hydrology and Floodplain Analysis, Addison Wesley, 1988.
3. Singh, V.P., Applied Modeling in Catchment Hydrology, WRP, 1982.
4. 한국건설기술연구원, 설계홍수량 산정을 위한 단위 유량도의 합성방법 개발, 건기연 88-WR-111, 1989.
5. 한국건설기술연구원, 수문모형 평가에 관한 연구 - 강우-유출모형을 중심으로 -, 건기연 92 - WR-111-2, 1993.