

HEC-2 模型의 理論과 運營

鮮于仲皓

서울大學校 工科大學 土木工學科 教授

成基元

서울大學校 工科大學 土木工學科

제1장 HEC-2 模型 및 本書의 紹介

HEC-2 는 1970년대 미국 Hydrologic Engineering Center 에서 개발되어 거듭 그 성능과 기능이 보강되어지고 있는 수면곡선 계산을 위한 프로그램이다. 이 프로그램은 자연하천이나 인공하천에서의 흐름이 정상류(steady flow) 이면서 부등류(gradually varied flow)일 경우의 수면곡선과 기타 제반의 수리인자를 계산하여 출력한다. 이 과정을 위한 계산방법은 일차원 에너지 방정식을 표준축차법(standard step method)으로 해석하는 절차를 따르고 있다.

이 프로그램은 자연하천에 대한 수면곡선 계산 이외에도 홍수터(flood plain) 관리와 홍수로에 대한 하도잠식(encroachment) 등을 평가할 수 있는 기능이 있기 때문에 홍수보험(flood insurance) 연구에 탁월한 역할을 할 수 있으며 그리고 하천개수(channel improvment) 에 의한 수면곡선의 변화, 다리 등 수리구조물의 존재에 의한 수면곡선의 영향 등을 평가할 수 있는 기능이 있다.

HEC-2 프로그램의 주 목적은 주어진 자료를 바탕으로 임의 지점의 수위를 파악하는데 있으며 이를 위한 자료로는 하상자료, 계산시작점의 수위, 유량, 손실계수, 단면자료와 하천길이 등이 필요하다. 그러나 HEC-2는 한번 실행으로 다양한 수리계산이 가능한 우수한 프로그램이지만 기본적인 운영은 비교적 용이한 편이다. 그리고 특정 목적을 위한 다양한 선택기능들이 제공되어지고 있으며 더욱 전문적인 운영을 위해서는 사용자 설명서를 참고하면 된다.

이 책은 HEC-2의 일반적인 내용과 더불어 HEC-2의 특수기능에 대하여도 내용을 할애하였으며 'HEC-2 사용자 설명서' 나 HEC-2에 관련된 관계서적을 다수 참고하여 제시한 예제나 출력물에 대한 설명을 부가하여 이해를 도모하고자 하였다. 그리고 이 책의 제작과정은 HEC-2는 1985년도에 개정된 version을 이용하였다.

제2장 HEC-2의 基本理論과 公式

2.1 不等流計算의 基本 公式

2.2 開水路 흐름의 分類

2.3 基礎資料

제3장 資料入力

HEC-2 를 통하여 하나의 단면에 대한 수리계산(예를들면 등류수심, 한계수심계산 등)으로부터 800개 단면에 대한 18개의 종단면수면곡선(profile)을 얻을 수 있다. 그리고 모델링되는 대상의 물리적 특성이나 상황에 따라서 특별한 option들이 사용되기도 한다. 입력되는 데이터 형식은 27가지가 있으며 각각은 특정 행의 특정 field 에 지정되어 있다. HEC-2 프로그램의 입력화일의 형식은 각 8칸으로 구성되는 10개의 field로 이루어진다.(그림(3.1))

그림(3.1) 입력화일의 표준양식

ID.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8.....9.....10

각 입력변수는 각 field에 기입하면 되나 첫번째 field는 예외이다. 첫번째 field의 처음 두 칸은 line Identification 문자(예를 들면 T1, J1, X1 등)를 기입하게 되며 나머지 6칸이 변수 값을 위한 공간이 된다. 변수 값들은 field의 오른쪽에 정렬되도록 하며 빈 field는 0의 값으로 해석된다. 데이터 행은 표(3.1)에서 분류한 6가지 영역으로 분리된다.

표(3.1) 변수 field 분류

Documentation lines	T1~T3	설명문
	AC	설명문
	C	설명문
Change lines	NC	시작지점의 Manning의 n
	NH	Manning의 n의 수평분포
	NV	Manning의 n의 연직분포
	QT	유량자료
	ET	하도잠식
	CI	하천개수
	IC	빙자료

표(3.1) 계속

Bridge lines	SB	Special bridge method
	BT	다리위치 좌표
Job control lines	J1	시작지점 조건
	JR	시작점의 수위-유량관계
	JS	분지흐름
	J2~J6	option
	EJ	작업종료
	ER	실행종료
Cross section lines	X1	단면설정
	RC	수위-유량관계
	X2~X5	option
	GR	지점 단면 좌표
Split flow lines	SF	분지흐름
	JC	계산이름
	JP	계산인자
	TW	웨어위치
	WS	웨어인자
	WC	웨어규격
	TN	등류수심위치 지정
	NS	등류수심
	NG	지표좌표
	TC	수위-유량관계 위치
	CR	수위-유량관계
	EE	분지흐름 입력종료

Documentation line은 하천의 이름, 대상구역, 자료출처 등 자료정보를 기술하기 위한 용도로 사용되며 Job control line은 데이터 처리를 지정하거나 출력양식을 조정하고 계산방법을 선택하거나, 수행의 마무리를 지정하는 용도로 사용된다. Change line 은 Manning의 n 값, 유량, 하도잡식의 조건 등을 초기에 지정하거나, 변경할 때 이용한다. Cross section line은 하천의 단면에 대한 좌표 등 지형을 지정하는 용도로 사용된다. Bridge and Split flow option line은 다리 해석 등의 option을 지정할 경우에 이용된다.

제4장 出力指定과 解析

출력해석은 모델링 과정과 과업평가에 있어서 가장 중요한 부분중의 하나이다. 출력결과를 통해 만족할만한 결과를 얻을 때 까지 입력인자를 재조정하는 과정이 필요한데 이는 출력해석을 통해 이루어 진다. 이와 같은 출력해석을 위하여 HEC-2 의 출력을 다양한 양식으로 얻을 필요가 있다. 이를 지정하기 위해서 control option 선택이 필요하다. 이와 같은 control option을 표(4.1)에 수록하였다.

표(4.1) 출력제어 Option

Output	Control(Lines)
Commentary	C
Input Data Listing	J1.1
Detailed Output by Cross Section	J5
Flow Distribution	J2.10, X2.10
Traces	J2.10, X2.10
Summary Tables	J2.1, J3, J5

HEC-2 의 출력양식지정은 크게 standard output과 optional output의 두가지로 나누어 지며 각 양식의 특징과 포함되는 내용은 다음과 같다.

(1) standard output

standard output은 표제(banner), 입력데이터, 각 단면 수리인자의 상세한 출력, summary table, 수면곡선 등을 포함한다. 이들 항목 중 표제를 제외한 항목은 사용자의 지정에 따라 생략될 수도 있다.

- ① 표제 : 출력화일의 서두에 위치하며 프로그램의 사양에 대한 정보를 수록하고 있다.
- ② output label : 각 profile 자료나 단면자료 앞에는 고유의 label이 있는데 (예: *PROF1 혹은 *SCENO 1.000) 이것은 화일에서 찾고자하는 데이터의 위치를 쉽게 찾을 수 있도록 돕는다.

③ 단면출력자료 : 각 단면에서의 40개 변수에 대한 수리계산자료가 제공된다. 각 변수는 약자로 표기되어 있으며 이들 약자에 대한 정의를 표(42)에 수록하였다. 또한 빈번하게 special note와 error message가 프로그램에 의하여 만들어져서 단면 출력자료에 포함되곤 하는데 이는 계산에 사용된 가정이나 option 등을 설명하거나 오류사항을 지적하기 위함이다. 예를 들어 3절의 예제의 첫번째 profile에 대한 결과 일부를 그림(41)에 수록하였다. 여기서 단면 1.000의 note에 포함된 "CCHV-.100 CEHV-.300" 은 NC line에서 지정한 수축과 확장계수 값을 의미하고 단면 3.000에 위치한 "1490"과 "3495"라는 note는 NH line 과 effective-area option 이 사용되었음을 보여준다.

④ special note : 단면출력자료 곳곳에 special note가 있을 수 있는데 이는 계산을 위한 가정과 사용된 option에 대한 정보를 수록하고 있다. 이와 같은 special note의 내용을 확인하려면 사용자설명서의 "Special Note Listing" 부분을 참고하면 된다. 간혹 많은 수의 note는 입력자료의 수정을 요구하는 의미로 파악하기도 한다.

⑤ profile plot : 5개 이상의 단면 자료가 입력되는 경우 출력화일에서 profile plot를 발견할 수 있다. 여기에는 수면곡선 외에도 한계수심, 에너지선, 하천최저부(invert), 좌우제방 등이 도시된다.

⑥ summary table : multiple profile을 수행할 때 제공된다. 하지만 한개의 profile을 수행할 경우에도 J2 line의 첫번째 field에 -1를 기입하면 이 table을 얻을 수 있다.

(2) optional output

유량분포(flow distribution) 나 계산추적(computational trace) 등과 같은 부가적인 출력내용을 얻기 위하여 별도의 option 이 이용되기도 한다.

① 유량분포 : 이 option이 지정되면 단면의 횡방향에 대한 면적, 유속, 유량의 백분율분포 등이 출력된다.

② 계산추적 : 이 option은 주요변수(key variable)의 값을 계산순서대로 출력시켜

표(4.2) 단면출력자료의 변수설명

Variable	Description
ACH	Cross section area of channel
ALOB	Cross section area of left over bank
AROB	Cross section area of right over bank
BANK ELEV LEFT/RIGHT	Left and right bank elevation
CRWS	Critical water surface elevation
CWSEL	Computed water surface elevation
DEPTH	Depth of flow
ENDST	Ending station where the water surface intersects the ground on right side
HL	Energy loss due to friction
HV	Discharge weighted velocity head for a cross section
OLOSS	Energy loss due to minor losses such as transition
Q	Total flow in the cross section
QCH	Amount of flow in the channel
QLOB	Amount of flow in the left overbank
QROB	Amount of flow in the right overbank
SECNO	Cross section number
SLOPE	Slope of energy grade line
SSTA	Starting station where the water surface intersects the ground
TOPWID	Top width
VCH	Mean velocity in the channel
VLOB	Mean velocity in the left overbank
VOL	Cumulative volume of water from the first section
VROB	Mean velocity in the right overbank
XNL	Manning's n for the left overbank area
XNR	Manning's n for the right overbank area
XLCH	Distance in the channel between cross sections
XLOBL	Distance in the left overbank between cross sections
XLOBR	Distance in the right overbank between cross sections
XNCH	Manning's n for the channel area

SECNO	DEPTH	CWSEL	CRIWS	WSELK	EG	HV	HL	OLOSS	BANK	ELEV
Q	QLOB	QCH	QROB	ALOB	ACH	AROB	VOL	TWA	LEFT/RIGHT	
TIME	VLOB	VCH	VROB	XNL	XNCH	XNR	WTN	ELMIN	SSTA	
SLOPE	XLOBL	XLCH	XLOBR	ITRIAL	IDC	ICONT	CORAR	TOPWID	ENDST	
*PROF 1										
CCHV= .100 CEHV= .300										
*SECNO 1.000										
1.00	8.00	13.00	.00	13.00	13.07	.07	.00	.00	12.00	
200.	5.	194.	1.	17.	90.	5.	0.	0.	12.00	
.00	.28	2.15	.28	.080	.040	.080	.000	5.00	116.67	
.000590	0.	0.	0.	0	0	0	.00	63.33	180.00	
0										
*SECNO 2.000										
2.00	7.88	13.28	.00	.00	13.35	.06	.28	.00	12.40	
200.	4.	195.	1.	15.	97.	4.	1.	1.	12.40	
.07	.25	2.02	.25	.080	.040	.080	.000	5.40	132.38	
.000517	500.	500.	500.	1	0	0	.00	64.40	196.79	
0										
1490 NH CARD USED										
*SECNO 3.000										
3495 OVERBANK AREA ASSUMED NON-EFFECTIVE, ELLEA= 16.00 ELREA= 12.00										
3.00	5.55	13.55	.00	.00	13.61	.06	.26	.00	16.00	
180.	0.	178.	2.	0.	93.	4.	2.	1.	12.00	
.14	.00	1.92	.39	.080	.040	.080	.000	8.00	229.22	
.000649	500.	450.	400.	1	0	0	.00	36.56	265.78	

그림(41) 例題(3.1)의 結果出力 (一部)

서 수행을 검토하거나 오류를 찾아낼 경우에 도움을 준다. 두 단계의 추적이 가능한데 이들 중 부추적(minor trace)은 단면보간된 지점의 출력, Manning의 n, 계산수위, 한계수심 등을 추적한다. 주추적(major trace)은 minor trace의 결과에 추가하여 각 단면의 부분면(subdivision)에서의 수리인자 등을 추적한다.

③ 표와 그림 : 예약지정된 표 option 은 표(4.3)과 같다. 이외에 사용자 지정도 가능한데 이는 사용자설명서를 참고하면 된다.

표(4.3) 예약 정의된 출력지정

Code	Table
100	Cross-section Output at Bridge (SBM only)
105	Four-cross-section output at bridges (SBM only)
110	Encroachment data
120	Channel improvement data
150	Standard summary (two tables produced)
200	Floodway data
201	Flood insurance zone data

제5장 出力解析(Output Analysis)

프로그램 자체의 오류를 제외하고는 출력의 질은 전적으로 입력자료의 질에 좌우된다. 따라서 입력자료의 검토 및 조정에 대한 검토는 모형개발이나 사업평가 등에 있어서 중요한 과제가 된다. 오류를 발생시킬 가능성이 있는 주요변수를 검토하기 위하여 summary table 과 단면출력자료를 이용하는 것이 바람직하다. 계산수심, 수면폭, 유속, 에너지경사, 유량분포, 통수능비율(conveyance ratio) 등과 같은 주요변수들은 단면 단면 비교할 필요가 있다. 이들 값의 극단적인 변화는 입력 자료에 문제점이 있음을 나타내기도 하기 때문이다. 이들 주요인자의 오류원인과 대책을 다음에 요약 하였다.

- ① 계산수심 : 근거가 없이 계산수심이 큰 폭으로 변화하면 이는 명백한 오류의 표시이다. 계산수심은 계산과정의 마지막 결과물이기 때문에 다른 부분의 오류로부터 발생하여 전달되었을 가능성이 크다. 다른 변수와 입력자료를 재검토하여 문제의 근원을 찾아내도록 한다.
- ② 수면폭(top width) : 이것의 극단적인 변화는 GR 행에 정의된 단면지형자료 입력에 문제점이 있음을 보여준다. 측량자료와, 지도 그리고 단면출력결과를 바탕으로 검토한다.
- ③ 유속 : 단면사이의 급격한 유속변화는 단면 지형이 적절히 정의되어 있지 않거나 摩擦損失 혹은 摩擦外損失(minor energy loss)이 정확히 지정되어있지 않기 때문으로 발생할 수 있다.
- ④ 에너지선 : 단면사이의 에너지 경사가 클 경우는 에너지손실이 적절히 모델링되지 못했을 경우에 발생한다. 큰 에너지선의 경사는 통수능의 급격한 변화를 의미한다. 따라서 통수능 계산의 문제점을 검토한다. 긴 하도에서 이런 문제가 발생할 경우 단면 사이에 추가로 단면자료를 삽입한다. 일반적으로 30% 이상의 에너지 감소 혹은 40% 이상의 에너지 증가가 발생할 경우 단면 사이의 거리가 너무 멀리 있을 경우 발생하는 오류로 해석하기도 한다.
- ⑤ 유량 : 단면사이의 횡방향의 유량분포가 급격히 차이를 보일 경우 단면입력자료

의 검토가 필요하다.

⑥ 통수능 : 통수능을 출력하는 option(KR option)은 사용자가 지정해야한다. 이 값은 에너지선경사의 경우처럼 단면사이의 거리의 적절성을 확인하는데 사용한다. 일반적으로 KR의 범위가 $0.7 < KR < 1.4$ 의 범위 밖에 있는 경우 추가 단면이 필요하다고 판단한다.

이 이외에도 다른 변수들의 검토는 필요하고 문제점이 파악되면 적절한 조정을 기한다. 비교적 빈번하게 발생하는 문제의 원인은 크게 다음 3가지로 요약할 수 있다.

① Manning의 n 값은 토지사용자료와 항공사진, 실지조사 등을 통하여 얻는다. 이 값은 공간적으로 다르게 분포할 수도 있고 같은 조건 하에서도 측정자에 따라서 대략 25%의 변화를 보이기도 한다. 이 점에 유의하여 입력자료의 검토를 시행한다.

② 확장 및 수축계수가 정확히 설정되어 있는지 살펴본다.

③ 굴곡진 단면에서의 단면설정 갯수가 적절한지 검토한다. 굴곡각도가 18° 이상일 경우 추가로 단면자료가 기존단면 사이에 새로 설정되어야 한다.

제6장 橋梁을 通過할 境遇의 水面曲線의 變化

대부분의 도시 유역에 대한 홍수터(flood plain) 연구에 있어서 교량을 통과할 경우의 수면곡선의 변화에 관한 해석은 중요한 문제이다. 다양한 교량의 형태와 복잡한 조건으로 인하여 교량으로의 흐름 해석은 다루기 어려운 문제중의 하나이다. 교량과 암거(culvert)에서 일어나는 대부분의 에너지 손실은 구조물의 직상류 수로와 직하류 수로에서 발생하는 손실과 구조물통과시의 손실로 볼 수 있다. 교량의 직상류는 교량 입구로 들어갈 때 수축으로 인한 천이(transition) 상태이고, 교량 직하류는 교량 출구를 빠져나갈 때 확장으로 인한 천이 상태이다. 보통 이 두 수로 구간에서의 에너지 손실을 HEC-2에서는 標準逐次法(standard step method)으로 해석한다. 교량구조물을 통과할 때의 해석방법은 3가지가 있는데, normal bridge method, special bridge method, external hydraulic calculation 이 그것들이다.

6.1 Normal Bridge Method

normal bridge method 는 수면곡선을 Manning 식과 標準逐次法을 이용하여 계산하며 교량이 존재하지 않는 하천에서의 수면 계산과 유사하다. HEC-2 프로그램은 교량의 존재를 수면하의 교량 구조물에 의한 전체 흐름 면적 (total flow area)의 감소와 교량과 물과의 접촉으로 인한 윤변의 증가로 파악한다. 교량은 도로정상부 (top of road way) (ELTRD)와 low chord (ELLC) 를 X2 line에 기입함으로 정의된다. 또한 측점 (roadway station)과 도로 정상부에 대한 표고는 BT line 에 기입함으로써 정의된다. 이를 정리하면 normal bridge 방법 하의 교량 구조물은 2가지 방법으로 표현할 수 있다.

- ① BT line 에 도로 측점과 low chord 좌표를 기입하는 방법
- ② X2 line 에 일정한 값의 low chord나 도로 정상부를 기입하고, 나머지 중요한 부분은 GR line 에 좌표로 기입한다. 작은 사각형은 교량이 없는 경우의 하천 단면을 정의한 것으로, 삼각형으로 표현된 교량 구조물의 좌표가 추가 되는데 이는 도로 정상부와 low chord의 표고를 말한다. 교량교대면은 교대 위치의 GR line에 표

시된 지표 표고 좌표와 동일한 위치에 BT line의 low chord elevation을 기입함으로써 표시된다. 교량 입구면은 GR line은 바닥을 표시하고 BT line은 입구의 low chord를 기입한다. 그림과 같은 곡선 입구는 측점수를 증가시키므로써 보다 개선된 곡선을 묘사할 수 있다. 標準逐次法 계산에서 프로그램은 빗금친 영역으로 묘사된 부분을 인식하고 통수능(conveyance)을 감소시킨다. 또한 물과 접촉하는 교량면을 묘사하기 위하여 윤변을 조정한다. 교량 입구의 조도 계수는 NC, NH, NV line에 지정한다. 만일 NV option을 사용할 때 이는 연직방향으로의 조도 변화를 지정하는 것으로 이때는 조도(roughness) 대 표고(elevation)의 자료가 필요하다. 한 교량 단면이 lower chord와 바닥 조도가 다를 때 composite N 값 대 표고의 연관 관계가 꼭 필요하다. 이 프로그램은 lower chord와 channel portion 이 다른 N 값을 사용토록 하는 능력은 없다.

normal bridge method를 사용하여 교량 모델링을 하려면 여섯개의 단면이 필요하다. 첫번째 단면은 교량으로 부터 하류 방향으로 충분히 먼 거리로 흐름이 완전히 확장되어 유선간이 평행을 이루는 구역이다. 두번째 단면은 교량의 직하류면에 설정하고, 세번째 네번째 단면은 각 면과 인접한 교량 내부의 면이다. 다섯번째 면은 교량의 직하류면이고 여섯번째면은 교량의 상류 방향으로 충분히 먼 거리에 수축의 영향이 없는 곳으로 유선간은 평행한 곳이다. 단면 1 은 교량 해석의 첫번째로 요구되는 곳이나, 하천 전체의 모델링에서의 첫번째 면이 아니어도 된다. 따라서 상하류에 이 여섯면 이외에도 다른 면이 있어도 된다. 관측을 통한 경험으로 확장각은 4:1 이다. 다시 말해서 단면 1 은 두 교대거리의 4 배를 하류방향으로 위치한다. 만일 이 방법에 의해 계산된 거리가 납득이 안 갈 정도로 길 경우 임의로 짧게하기 위해 단면 1, 2 사이에 위치토록 한다. 단면 3, 4 사이에 거리가 멀거나 (긴 암거), 형태나 조도의 변화가 있을 경우 3 과 4 사이에 추가된 단면이 필요하다. 단면 6 의 위치는 단면 1 과 비슷한 개념으로 축소각 1:1 을 사용한다.

유효단면(effective area)은 한 단면 중 유속의 방향이 단면에 수직으로 하류방향으로 흐르는 부분을 말한다. 이에 하류방향으로 흐름을 수송하지 않는 부분을 비

유효 단면(ineffective flow area)이라고 한다. 비유효 단면은 GR line과 BT line에서 정의된 도로 정상부와 low chord 부분이며 계산에서는 제외된다. 그리고 GR line에서 정의된 제방의 표고를 넘지 않는 한 모든 흐름은 하천 단면에 제한된다. 유효 단면 설정에 필요한 자료는 X3 line에 사용된다.

제7장 洪水터 管理

홍수터란 강, 하천, 호수 등에 접한, 평상시에는 건조하지만 홍수기간 중에는 범람되는 지역을 말하며, 하천과 홍수터는 하천의 통수기능을 담당하는 일체의 조합으로 볼 수 있다.

홍수터 분석을 하는 첫번째 과정은 자료수집이다. 수집되는 자료로는 지형도, 홍수자료, 단면자료, 하도 조도 등이 포함되고, 또한 원하는 재현기간에 대한 홍수량의 산정이 요구된다. 원하는 재현기간에 대한 홍수량이 결정되면 다음과정은 하천을 따라서 수면 곡선을 계산한다. U.S. Federal Emergency Management Agency (FEMA)는 홍수터 관리 기준의 수립을 목적으로 100년 빈도 홍수를 기저홍수 (base flood)라 정하였다. 매립 등에 의한 홍수터의 하도잠식 (encroachment)은 통수능을 저하시키고 하천의 홍수위를 증가시키며 하도 잠식된 지역 뒤쪽 지역의 홍수 위험도를 증가시킨다. 하지만 홍수터 관리의 한 국면은 홍수 위험도의 증가를 수반하는 홍수터의 개발로부터 얻어지는 경제적 이익을 무시할 수 없는 점에 있다.

FEMA 는 100년 빈도 홍수로 단면을 다음과 같이 홍수로 (floodway)와 홍수로건 (floodway fringe)으로 나누었다. 홍수로란 하천과 바로 인접한 홍수터를 말하며 이는 100년 빈도의 홍수가 통과하여도 심각한 수위증가가 없도록 하도 잠식이 없도록 해야 하는 부분이다. FEMA는 위험한 유속이 발생하지 않는 선에서 홍수위가 1.0foot 를 넘지 않도록 하는 하도 잠식을 위한 최소 규정을 정하였다. 그리고, 홍수로건은 100년 빈도 홍수에 대하여 1.0foot 이상의 홍수위 증가가 없는 홍수로와 경계를 접한 홍수터의 부분을 말한다. 특히 미 정부는 홍수로 설정에 있어서 다음과 같은 지침을 정하였다.

- ① 홍수로의 결정은 기저 홍수라 지정된 100년 빈도의 홍수량에 의하여 한다.
- ② 홍수터는 홍수로 지역과 홍수로건 지역으로 나눈다.
- ③ 홍수로의 설정은 기존의 홍수터에서 기저 홍수량이 흐를 경우의 수위보다 1foot 이내의 수위를 유지토록 한다.
- ④ 홍수로건은 홍수로의 경계와 기존의 홍수터 경계의 사이의 면적을 말하며 수리

계산을 위해서는 이곳의 통수능은 제외한다.

- ⑤ 특별한 이유가 없는 한 하천의 양 단면에 일정하게 통수능을 감소시킴으로써 홍수로 결정한다.
- ⑥ 홍수로 결정에 관한 수리, 수문학 적용은 기존 유역의 조건을 바탕으로 한다.
- ⑦ 홍수로 결정의 최종 승인은 주, 지역 공무원의 조정을 통한다.

7.1 模型化 過程

HEC-2에서는 홍수로 산정의 절차를 다음에 의한다.

- ① 과거 홍수자료를 조사한다.
- ② 기존의 홍수터에 대하여 1내지 0.2% 확률의 홍수를 포함한 유량에 대하여 수면 곡선 계산을 한다.
- ③ 적합한 결과를 보이고 있는지 분석한다.
- ④ 기저 홍수 (1%의 확률)를 하도 잠식 조건에 적용하여 수면 곡선 계산을 한다.
- ⑤ 기존 홍수터에 대한 결과와 하도 잠식 후의 결과를 비교한다.

이 때 계산된 수위가 기준을 넘을 경우, 유속이 심각하게 빨라질 경우, 홍수로건 내에서 납득하기 힘든 수위상승이 발생할 경우, 기복이 심한 흐름경계가 발생할 경우 등에는 조정을 한다.

- ⑥ 조정된 입력으로 다시 수행한다. 필요하다면 받아들여질 수 있는 결과를 얻을 때까지 몇번씩 반복한다.

7.2 起伏이 심한 흐름境界 處理

7.3 既存 洪水터 解析

7.4 HEC-2를 통한 河道蠶食 計算

이 방법은 HEC-2의 하도 잠식 방법 중 가장 폭넓게 쓰이는 방법이다. 이 방법

은 기존 홍수터에 대한 수위의 목표값 증가분을 근거로 하여 단면의 하도 잠식 한계를 설정한다. HEC-2 프로그램은 첫째로 기존 홍수터에 대한 수위를 계산한다. 그리고 이 프로그램은 목표값 양만큼 이 수위를 상승시킨 후 이 때의 모든 단면에 대한 통수능의 백분율 증가분을 계산한다. 그리고 나서 양 overbank 영역의 두 끝단으로부터 같은 양만큼 증가된 통수능과 등가로 폭을 줄여감으로써 하도 잠식 구간을 설정한다. 이 방법에서 한쪽 overbank의 통수능이 충분치 못하면 프로그램은 다른 쪽에서 부족분을 보상한다. 이때 한번 하도 잠식 좌표가 설정되면 그 단면에 대한 수위를 계산한다. 그리고 이 과정을 모든 단면에 대하여 반복한다. 이러한 하도 잠식에 대한 option 은 J1과 ET LINE에 설정한다. 그리고 ET LINE의 5번째 field에 10.4라는 값을 기입하면 목표값은 1foot 이고 하도 잠식방법이 4 라는 것을 말한다. 즉 소숫점 왼쪽의 10은 1foot 를 의미 하는 것이다. 방법 4 를 이용하여 하도 잠식을 계산하는 또 다른 방법이 있다. 전형적인 방법은 양 overbank에서 같은 양만큼의 통수능을 제거하는 것이지만 반면 이 방법은 양 overbank의 기존의 통수능의 분포에 비례하여 제거한다. 이 방법은 ET LINE의 목표값과 방법을 선택하는 값 앞에 '-' 기호를 붙임으로써 가능하다(예, -10.4). 어떤 사용자는 방법 4 의 결과에 대하여 혼란을 느낄 것이다. 왜냐하면 설정된 하도 잠식으로 인한 수면 곡선이 목표값만큼 증가된 기존의 수면 곡선과 같기를 기대하기 때문이다. 방법 4 는 이 결과를 제공하지 않을 수 있다. 하도 잠식이 설정되면 이 단면 변화를 바탕으로 표준 축차법으로 수면 곡선을 만든다. 이 결과는 목표 수위보다 다소 높거나 낮다. 이 결과는 단면 변화에 따른 유속과 유량의 재분포나, 하류의 하도 잠식에 의해 背水(back water) 효과가 복합적으로 이루어지기 때문이다. 따라서 반복 수행을 통하여 이를 보정해 나가야 한다.

제8장 河川改修

HEC-2에서 CI 명령의 선택은 하도단면의 사다리꼴 형태의 断面堀鑿을 모의하는 것이다. 이 경우 사다리꼴 굴착을 정의하기 위해서는 굴착을 위한 중심선의 위치, 개수된 하천 最底部(invert)의 標高, 개수된 河川區間(reach)의 길이, 새로운 조도계수, 좌우 제방의 경사 그리고 바닥의 폭 등이 필요하다. 그런데 HEC-2는 한번의 실행에 5개 까지의 바닥의 폭을 지정할 수 있다.

(1) CI 行

(2) 中心線 位置(Centerline Station)

(3) 河川 最低部の 標高(Channel Invert Elevation)

(4) 再調整된 Manning의 n값과 變形된 河川區間の 길이

(5) 堀鑿斷面の 傾斜

(6) 바닥 幅

제9장 射流흐름(Supercritical Flow)

9.1 HEC-2를 利用한 射流흐름의 分析

HEC-2에 적용되는 이론적 가정은 앞서 설명한 바 있으며 이들은 射流흐름 분석에 제약으로 작용하는 것이 대부분이다. 이러한 제약들은 定常 흐름, 漸進的 不等 흐름, 一次元 흐름, 두 단면 간의 一定한 摩擦傾斜, 固定境界(rigid boundary) 조건 그리고 緩慢한 河川傾斜 등 이다. 그런데 이 가운데 마지막 두가지는 특히 射流흐름 해석에서 유의할 사항인데 왜냐하면 射流흐름은 상대적으로 유속이 빠르며 경사가 급한 하도구간에서 발생하기 때문이다. 또한 자연하천에서 빠른 유속이 발생하면 고정경계가 의미를 잃는다. 掃流砂物質은 움직이며 이에 따라 하도단면의 형상이 변하기 때문에 고정경계 조건은 자연하도의 조건과 부합하지 않기 때문이다. 또한 HEC-2에서 추천하는 경사의 한계치 1:10을 넘는 경우가 발생하기도 하기 때문에 수행에 제약이 수반된다. 하지만 위에서 제약하는 조건을 만족하는 하천에 대하여는 常流흐름의 분석이나 다를 바 없다.

제10장 HEC-2의 其他機能

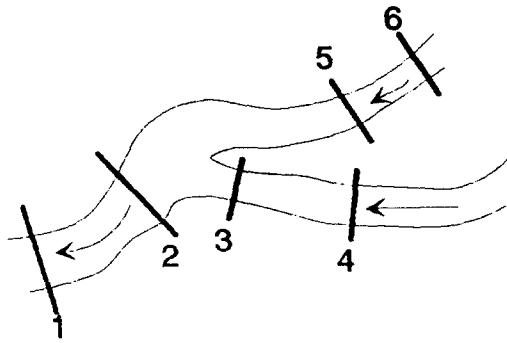
10.1 支流의 水面曲線 計算

常流흐름의 계산에서 단일 수행으로 주하천과 支流의 수면곡선을 동시에 계산할 수 있다. 이를 위하여 먼저 주하천의 단면자료를 하류단에서 상류방향으로 계산이 진행되도록 배치하고 지류에 대한 자료는 주하천의 자료 이후에 입력한다. 그림(10.1)은 단일 지류의 예를 도시한 것이다. 단면1에서 단면4까지가 주하천의 단면이고 단면5와 단면 6이 지류의 단면이다. 입력과정에서 자료의 입력과정에서 단면4의 자료입력 후에 단면2의 자료를 반복해서 입력하여 지류계산의 시작임을 알린다. 그런데 이 때 단면번호 2는 -2로 부호를 바꾸어주어 주하천 단면번호 2와 차별한다. 왜냐하면 프로그램은 음수의 단면번호를 만나게되면 이 번호에 상응하는 양의 값의 단면을 찾아, 계산된 수위를 지류의 계산시작 수위로 간주하기 때문이다. 그런 후 프로그램은 단면2부터 단면5와 단면6의 수면곡선을 계산하게된다.

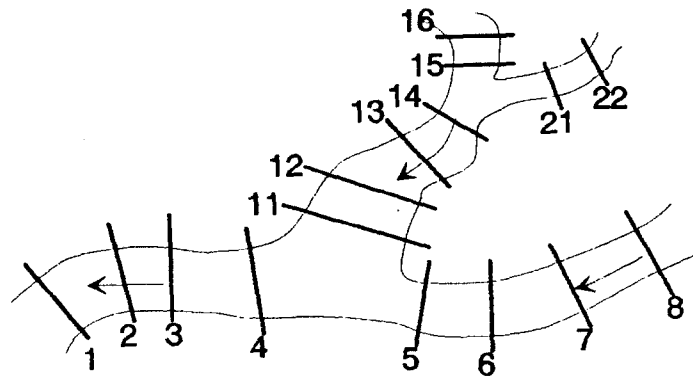
어떤 경우는 2차 지류의 계산까지도 필요한 때가 있다. 이런 경우 2차 지류를 갖는 1차 지류를 주하천의 부분으로 취급하여 자료를 입력하고 주하천의 분기점 상류부의 주하천 하도구간을 지류로 간주하면 단일 계산을 통하여도 모든 지류의 수면곡선을 계산할 수 있다. 이러한 자료의 배치를 그림(10.2)에 예로 도시하였다. 여기서 단면1에서 단면8은 주하천이고 단면11에서 단면16은 1차 지류 그리고 단면 21과 단면 22는 2차 지류이다. 이러한 하천망에 대한 단면 자료는 표(10.1)과 같은 단면배치를 통해 입력한다.

표(10.1) 지류의 단면배치

입력 순서	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
단면 번호	1	2	3	4	11	12	13	14	15	16	-4	5	6	7	8	-14	21	22



그림(10.1) 單一支流의 河川



그림(10.2) 2次 支流를 갖는 河川

參考文獻

Bedient, P.B. and W.C. Huber, *Hydrology and Floodplain Analysis*, Addison Wesley, 1988.

Chow, V.T., *Open Channel Hydraulics*, McGraw-Hill, NY, 1959.

Hoggan, D.H., *Computer Assisted Floodplain Hydrology and Hydraulics*, McGraw-Hill, NY, 1989

Hydrologic Engineering Center, *HIEC-2 Water Surface Profiles, Users Manual*, U.S. Army Corps of Engineers, Davis, Calif., September 1982.