
Session 1

부등류 기본 이론

Session I 부등류 기본 이론

목표
◆부등류 수리학 기본 이론
◆에너지 방정식
◆운동량 방정식
◆수치해석 절차

1. 하천 흐름의 분류

■ 공간적 변화에 따른 분류

등류 : 임의의 시간에 흐름 특성(유속과 수심 등)이 공간적으로 일정한 흐름.

부등류 : 임의의 시간에 흐름 특성(유속과 수심 등)이 공간적으로 일정하지 않은 흐름.

■ 부등류의 세부 분류

점변 부등류(Gradually Varied Flow)

급변 부등류(Rapidly Varied Flow)

■ 시간적 변화에 따른 분류

정상류 : 임의의 지점의 흐름 특성이 시간적으로 일정한 흐름.

부정류 : 임의의 지점의 흐름 특성이 시간적으로 일정하지 않은 흐름.

■ 차원에 따른 분류

1 차원: 흐름 특성이 한 방향으로만 변하는 흐름

2 차원: 흐름 특성이 두 방향으로 변하는 흐름

3 차원: 흐름 특성이 세 방향으로 변하는 흐름

- 역학적 분류

상류 : 중력 > 관성력

한계류 : 중력 = 관성력

사류 : 중력 < 관성력

- ▶ HEC-RAS v 2.2 : 1 차원 정상 부등류 해석 전산프로그램

1 차원 부정 부등류 및 유사현상

2. 점변 부등류

2.1 기본 방정식

- 질량 보존식(연속방정식)

$$\sum_{i=1}^{In} Q_i = \sum_{k=1}^{Out} Q_k$$

- 에너지 보존식

$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + h_L$$

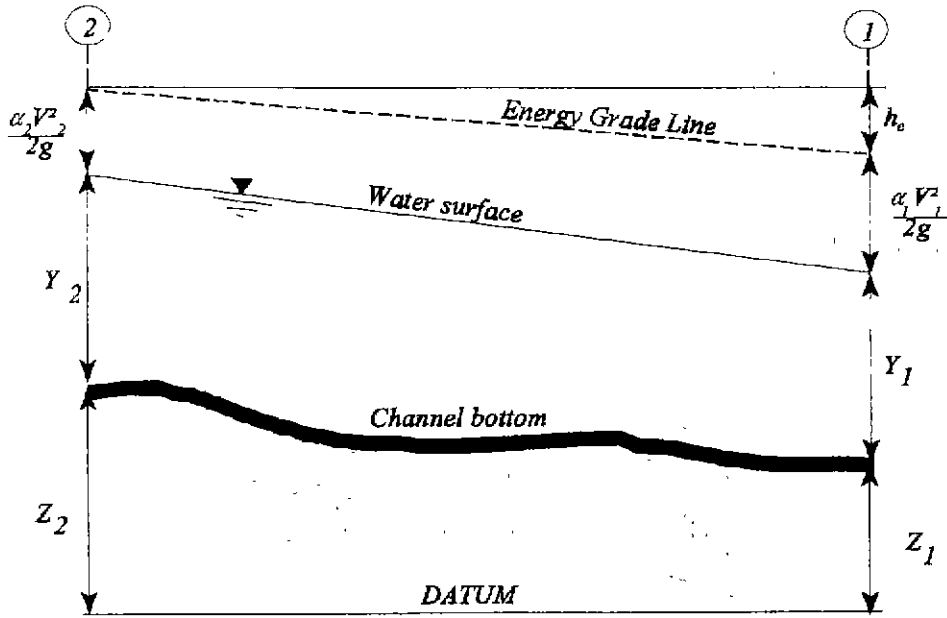


Figure 1.1 Representation of Terms in the Energy Equation

여기서 1과 2는 미소거리 L 간격의 두 단면(1은 하류, 2는 상류단면)

Y : 수심

Z : 하상표고

$V=Q/A$: 평균유속

α : 에너지 보정계수

h_L : 에너지(수두)손실

2.2 수두손실

$h_L =$ 마찰손실 + 단면 축소/확대 손실

$$= L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

여기서

C : 손실계수 축소 : 0.1

확대 : 0.3

1) 두 단면 사이의 거리

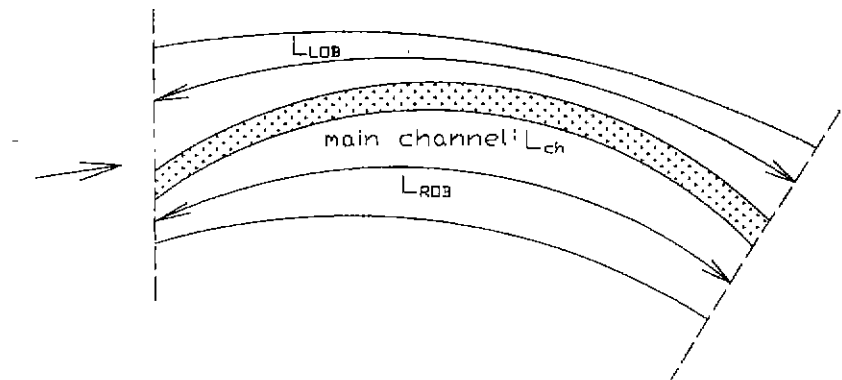


Figure 1.2 만곡부에서 두 단면사이의 거리

L : 유량가중 구간 거리

$$L = \frac{L_{Lob} Q_{Lob} + L_{ch} Q_{ch} + L_{Rob} Q_{Rob}}{Q_{Lob} + Q_{ch} + Q_{Rob}}$$

2) 평균 에너지 경사

■ 평균 통수능법(Default)

$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2$$

$$\text{통수능 } K = R^{2/3} A/n$$

■ 산술평균

$$\bar{S}_f = \frac{S_{f1} + S_{f2}}{2}$$

■ 기하평균

$$\bar{S}_f = \sqrt{S_{f1} S_{f2}}$$

■ 조화평균

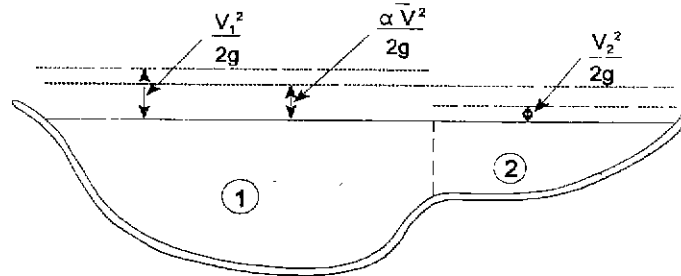
$$\bar{S}_f = \frac{2S_{f1}S_{f2}}{S_{f1} + S_{f2}}$$

여기서

$$S_{f1} = \left(\frac{Q_1}{K_1}\right)^2, S_{f2} = \left(\frac{Q_2}{K_2}\right)^2$$

은 각 단면의 에너지 경사.

2.3 에너지 보정계수



V_1 = mean velocity for subarea 1

V_2 = mean velocity for subarea 2

Figure 1.3 Example of How Mean Energy is Obtained

한 단면의 평균 속도수두를 구하는데 사용된다. => 1차원 흐름

평균 속도수두: 유량가중평균

$$\alpha \frac{\bar{V}^2}{2g} = \frac{\sum Q_i \frac{V_i^2}{2g}}{\sum Q_i}$$

$$\alpha = \frac{\sum V_i^2 Q_i}{\bar{V}^2 \sum Q_i}$$

3. 급변부등류

상류에서 사류로 바뀌거나 사류에서 상류로 바뀌는 흐름은, 수심이 급격히 바뀌는 급변 부등류가 된다. 이러한 흐름에는 유선들이 곧고, 평행하다는 가정을 사용하는 에너지 공식의 적용이 불가능하기 때문에 운동량 보존식을 사용한다.

급변 부등류의 예: 혼합흐름, 교각으로 인한 단면 급축소부, 낙차공, 웨어공, 합류점.

3.1 기본 방정식

질량 보존식과 운동량 보존식

운동량 보존식: Newton의 제 2법칙 $F=ma$ 의 변형

- 1차원 정상류에 대한 운동량 보존식

$$\sum F = \sum_{N_{out}} \rho Q_i V_i - \sum_{N_{in}} \rho Q_k V_k$$

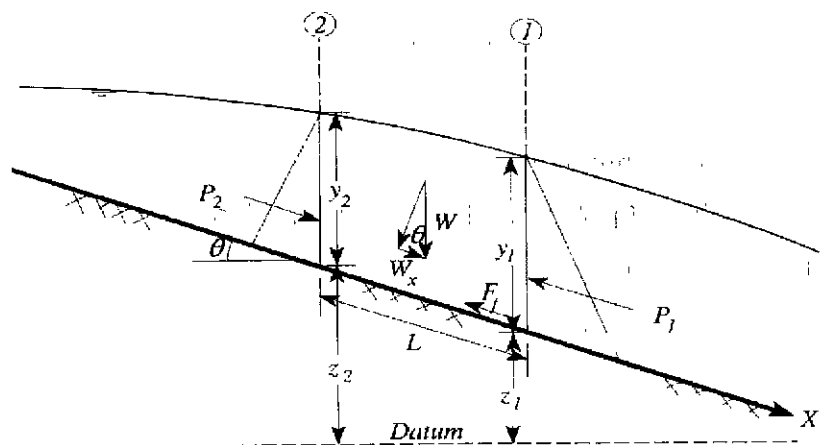


Figure 1.4 Application of the Momentum Principle

4. 부등류 수치해석

기준 단면에서 수심과 유속 등에 대한 정보가 주어졌을 때 기본방정식을 이용하여 하천의 다른 지점에 대한 수심과 유속 등을 계산한다.

■ 에너지 보존식

$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + h_L$$

단면 1: 기지(기준) 단면

단면 2: 미지(목표) 단면

4.1 수치방법

■ 직접축차법(Direct Step Method):

수심이 y_2 인 목표 단면과 기준 단면 사이의 거리 L 을 계산

선형식 => 반복법 불필요

단면형태와 수로경사가 일정한 수로에 적용 가능

HEC-RAS: 암거내 부등류 계산에 사용

■ 표준축차법(Standard Step Method):

기준 단면으로부터 L 의 거리에 위치한 목표단면의 수심을 계산

비선형식 => 반복법 필요

임의의 수로에 적용 가능

1) 표준축차법의 절차

(1) 목표단면의 수심(Y_2)을 가정한다.

상류(subcritical flow) : 상류(上流)에 위치한 목표 단면의 수심을 가정한다.
 하류(supercritical flow) : 하류(下流)에 위치한 목표 단면의 수심을 가정한다.

(2) 유량과 가정된 수심으로부터 유속을 계산한다.

(3) 그러면 목표단면의 가정된 에너지는

$$\tilde{H}_2 = Z_2 + Y_2 + \alpha_2 V_2^2 / 2g$$

(4) 목표단면의 에너지 경사(S_{f2})와 구간의 평균에너지 경사를 계산한다.

(5) 구간에서 발생한 수두손실을 추정한다.

$$h_L = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right|$$

(6) 그러면 목표단면의 에너지

$$\tilde{H}_2 = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_L$$

(7) (3)과 (6)의 에너지를 비교하고 그 차이가

허용범위 이내일 때에는 수렴된 것으로 판정하고 다음 목표 단면으로 진행
 그렇지 않으면 단계 1부터 반복

2) 직접축차법의 절차

(1) 목표 단면의 수심을 설정한다.

(2) 목표 단면까지의 거리를 구한다.

Session II

HEC-RAS를 이용한 부등류 해석

Session II HEC-RAS를 이용한 부등류 해석

목표
◆ 개요
◆ 기본 적용
◆ 부가 기능

1. HEC-RAS의 개요

1.1 HEC-RAS의 구성

Graphical User Interface (GUI)

수리계산 모듈(SNET)

자료관리 모듈

결과처리 모듈

1.2 수리계산 모듈의 개요

정상부등류의 에너지방정식/운동량방정식의 수치처리

다양한 수공구조물에 대한 처리

부정류

유사현상

1.3 관련보고서

사용설명서(Users Manual) : 사용에 필요한 전반적 내용

수리설명서(Hydraulic Reference Manual) : 배경 이론, 가정 및 한계

응용지침서(Applications Guide) : 응용 예

1.4 HEC-RAS의 활용 범위

부등류(혼합류 및 loop형 하천 모델링 가능)

교량 및 교각세굴

압거

홍수터 잠식

하천정비

GIS자료의 사용

1.5 설치 및 실행

■ System(Hardware와 Software) Requirements

IBM 호환 PC와 80386혹은 최신의 CPU

10Mbytes 이상의 Hard disk 공간

CD-ROM Drive

16Mbytes 이상의 RAM

Windows 95 이상

■ 설치절차

Program : CD-ROM의 \HEC-RAS\setup.exe 실행

\HEC-RAS\raspatch.exe 실행

Documents : PDF file (ACROBAT reader를 이용하여 화면검색 및 출력)

ACROBAT reader는 CD-ROM에 수록되었음.

프로그램과 관련 보고서는 <http://www.wrc-hec.usace.army.mil/>에서 down가능함.

■ HEC-RAS의 구동

시작 -> 프로그램 -> HEC -> HEC-RAS 2.2

HEC-RAS의 기본 창

main window의 메뉴: 그림 (화면 capture)

Main window의 단추: 그림 (화면 capture)

2. 전산수리모델의 개발 절차

새로운 "Project"의 시작

자료 입력

수리계산

출력 검토

* Main window의 단추 순서대로 실행

Edit

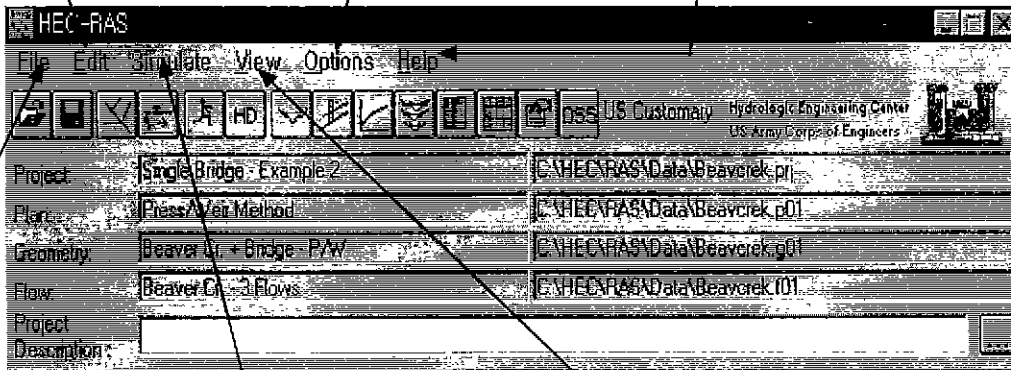
Geometric Data...
Steady Flow Data...
Unsteady Flow Data...
Sediment Data...

Option

Program Setup
Default Parameters
Unit System(US Customary/SI)...
Convert Project Units...

Help

Contents
Using HEC-RAS Help
About HEC-RAS



File

New Project...
Open Project...
Save project
Save Project As...
Rename Project...
Delete Project...
Project Summary...

Import HEC-2 Data...
Import HEC-RAS Data...
Generate Report...
Export GIS Data...
Export to HEC-DSS
Open Backup Project
Exit
d:\hec\ras\data\buffalo.prj
d:\hec\ras\data\example.prj

Simulate

Steady Flow Analysis...
Unsteady Flow Analysis...
Sediment Analysis...
Hydraulic Design Functions...

View

Cross Sections...
Water Surface Profiles...
Rating Curves...
Hydrographs...
X-Y-Z Perspective
Plots...

Cross Sections Table...
Profile Tabel...
Summary Err, Warn,
Notes...

DSS Data

Figure 2.1 HEC-RAS Main Window Menu Bar Structure

Save Project :
 편집중인 프로젝트 저장

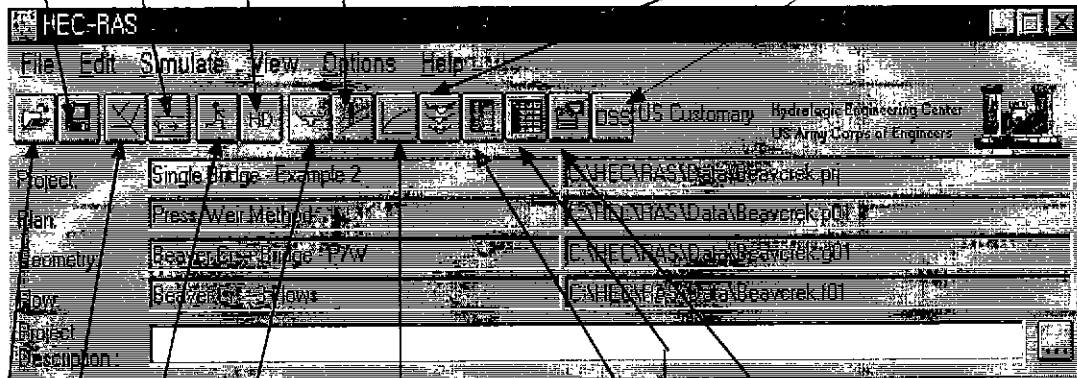
XYZ 투시도 :
 3차원 복합 단면 보기

Steady Flow Data :
 정상류 자료 기입·편집

Hydraulic Design Function :
 수리학적 설계 계산

View DSS Data :
 DSS 데이터 보기

Profiles :
 종단면 수면 곡선 보기



Rating Curves :
 계산된 유량곡선 보기

Cross Sections :
 단면도 보기

Sum Err, Warn, Notes
 에러, 경고, 주의 요약

Steady Flow Analysis :
 정상류 모의실험 실행

Profile Table:
 종단면도에 의한 여러 위치
 의 출력물 보기

Geometric Data :
 기하학적 자료 기입·편집

Cross Tables :
 단면, 교량, 암거, inline
 웨어에서의 세부 출력물 보기

Open Project :
 기존에 존재하는 프로젝트 열기

Figure 2.2 HEC-RAS Main Window Button Bar

2.1 새로운 Project의 시작

1) HEC-RAS의 파일 관리

하나의 'project'에 하나 이상의 'plan'으로 구성된다.

'Plan'은 기하자료와 흐름자료로 구성된다.

그림: project와 plan의 개요

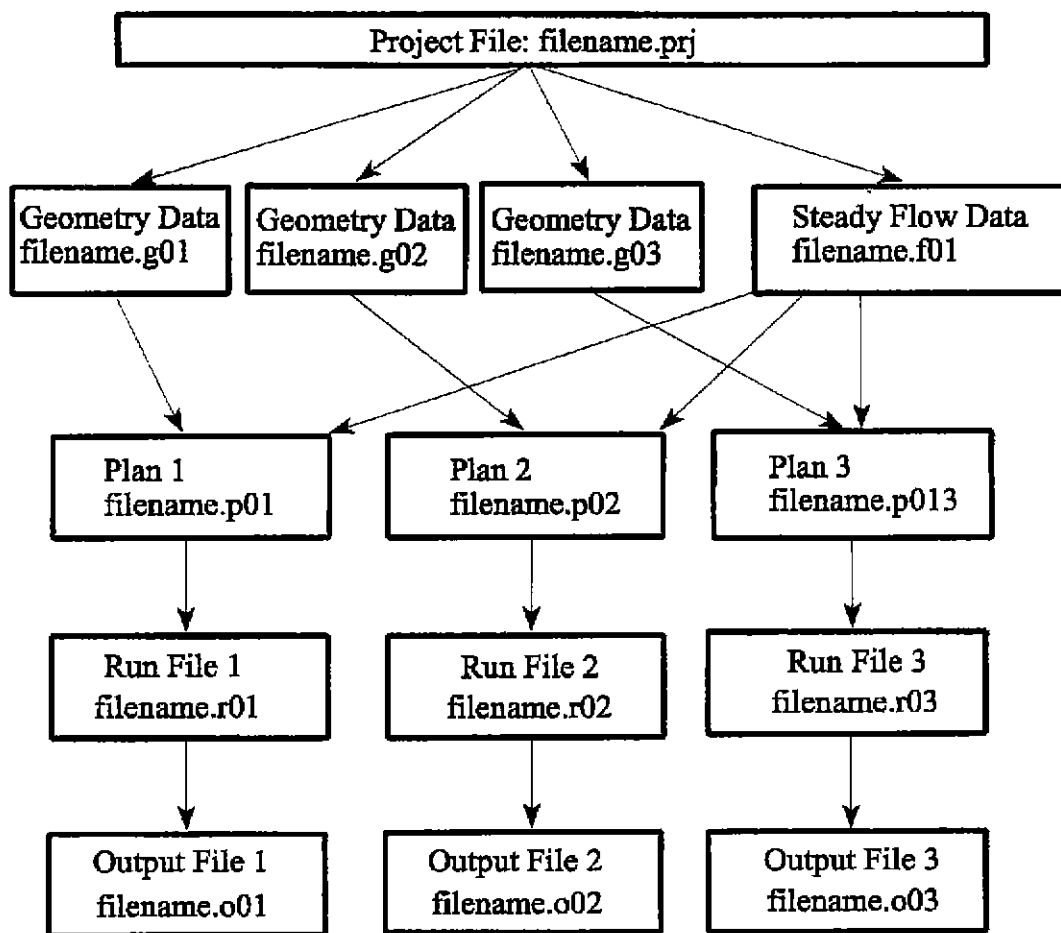


Figure 2.3 Schematic of Project Data Files.

2)단위계의 선택

Option -> Unit -> SI(m) 혹은 English(ft) 중 택일

3) HEC-RAS의 시작

File -> New Project 선택

2.2 자료 입력

Note :한글을 인식하지 못함!!

■ 입력자료의 종류

기하적 자료

흐름 자료

전산해석 자료

1) 기하적 자료

■ 하천망

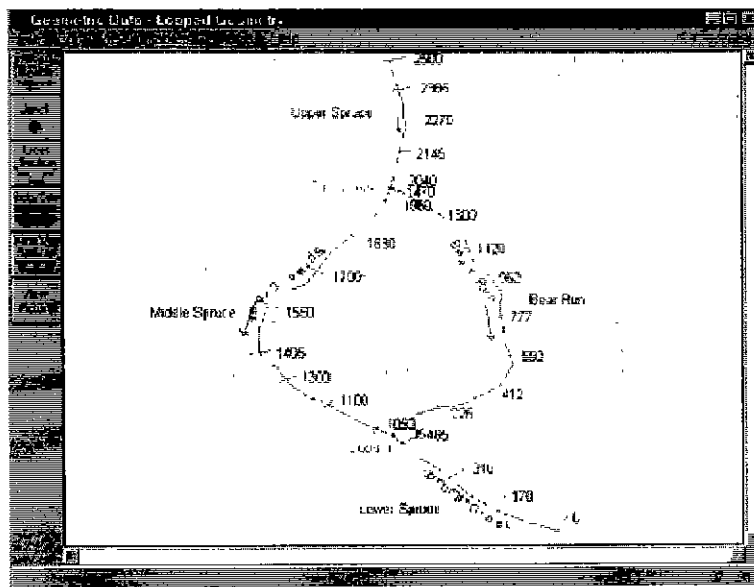


Figure 2.4 Example Schematic for a Looped Network of Reaches

하천(river), 구간(reach), 단면(cross section)과 합류점(junction)으로 구성
하천과 구간 이름

단면 숫자(river station, 임의의 숫자, 숫자가 큰 단면이 상류에 위치)

■ 하천단면 자료

하천 단면의 위치

횡단 좌표 (하류방향으로 볼 때 횡단 좌표는 오른쪽으로 증가)

하상 표고

하류의 다음 단면까지의 거리

주수로 둑 횡단좌표

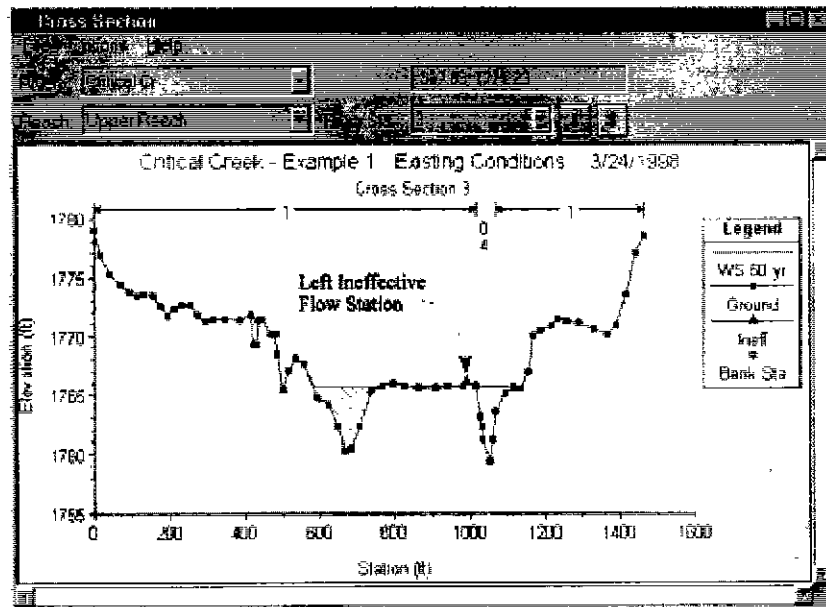


Figure 2.5 Cross section with normal ineffective flow areas

■ 하천단면의 보간

Master Cord (default: 5개, 사용자 변경 지정 가능)

Minor Cord (RAS의 자동 처리)

조도계수, 주수로 좌표, 확대/손실계수, 사수역, 제방, 등

■ 수공구조물

- 교량
- 암거
- 웨어
- 여수로
- 수문 등

2) 흐름자료

- 계산 수면형의 개수
- 유량(유량은 구간 내에서 변경가능)
- 조도계수
- 축소/확대 손실계수(현 단면과 하류 다음 단면 사이의 구간에 적용)

3) 전산해석자료

■ 흐름 영역

- 상류, 하류 혹은 혼합흐름

■ 경계조건

- 상류: 하류에 지정
- 하류: 상류에 지정
- 혼합류: 상하류에 모두 지정

■ 경계조건의 종류

- 수위(관측 수위, 등류 수심, 한계 수심)
- 수위-유량 곡선
- 에너지 경사

2.3 수리계산 수행

1) 계획(plan)구성.

계획은 기하자료와 흐름 자료의 조합으로 구성된다.

2) 선택사양 :

홍수터 잠식 분석

흐름 분포계산(교량 세굴계산에 필요)

출력조절

통수능계산방법(HEC-2 혹은 HEC-RAS 방법 선택)

평균에너지 경사 계산방법

허용오차

한계수심계산방법

입력자료 검토

Simulate - Steady Flow Analysis - Options - check data before execution

2.4 출력 검토 및 인쇄

1) 그림형식

횡단면 도시

종단면 도시

수위-유량곡선

3차원 도시

2) 표형식

횡단면 수리표

종단면 수리표

오류, 경고 및 참고 메시지표

오류(error): 프로그램의 정상적 실행이 불가능할 때 발생한다.

경고(warning): 프로그램의 정상적 실행에는 지장이 없으나 계산결과가 타당한

지에 대한 검토가 필요하다.

참고(Note): 프로그램의 실행 상태를 보여준다

3) Log 파일

Simulate - Steady Flow Analysis - Options - Set log file output level: 0-10

계산 중간 결과를 출력한다. 4 이상의 값은 log 파일을 매우 크게 만든다.

4) 출력의 분석

■ 경계조건이 불확실한 경우

경계조건이 불확실하면 상류(사류의 경우), 하류(상류의 경우) 혹은 상하류(혼합류의 경우)에 여러 개의 단면을 추가하고 경계조건에 대한 민감도를 조사한다.

3. 기타 기능

3.1 혼합흐름(mixed flow)

동일 유량에 대한 상류와 사류의 수면형을 계산

비력으로 실제 존재하는 흐름 종류 판단.

비력이 동일한 위치에서 도수 발생.

3.2 지류

상류 - 합류

상류 - 분기

사류 - 합류

사류 - 분기

혼합류 - 합류

혼합류 - 분기

각각의 경우에 대한 해법: 에너지방정식 혹은 운동량 방정식

운동량 방정식은 지류의 유입/유출 각도를 고려할 수 있으므로 사류의 경우에 적합.
분기의 경우 유량 배분은 사용자가 시산적으로 결정.

3.3 Ice cover

3.4 환형 하천(looped network)

지류간 유량 배분은 시산적으로 결정

3.5 설계

수로 정비 및 홍수터 잠식 설계

사다리꼴 수로 정비에 대한 절성토량 및 수면형 계산

홍수 재해 보험에 활용

3.6 GIS와 호환

3.7 HEC-2 입력자료와 호환

예제 2-1 : 완경사 하천

▶ 목표 : - HEC-RAS의 기본적 사용 방법

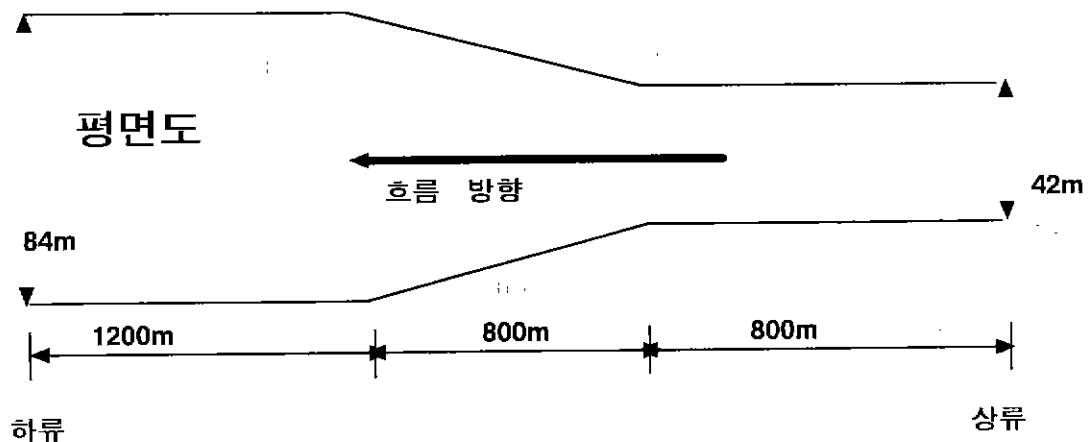
- 단면 입력 방법
- 복수 유량
- 경계 조건 입력
- 출력 검토

▶ 상황 : 다음의 하천에서 유량이 $70 m^3/s$ 와 $150 m^3/s$ 일 때 부등류 해석을 수행하시오.

1. 하천 제원

1.1 일 반

- 하천의 경사는 1:0.00025이며, 총 길이는 2800m이다.
- 상류에서 800m 떨어진 지점에서 1600m까지는 하천 폭이 42m에서 84m로 2배 선형 확장된다.

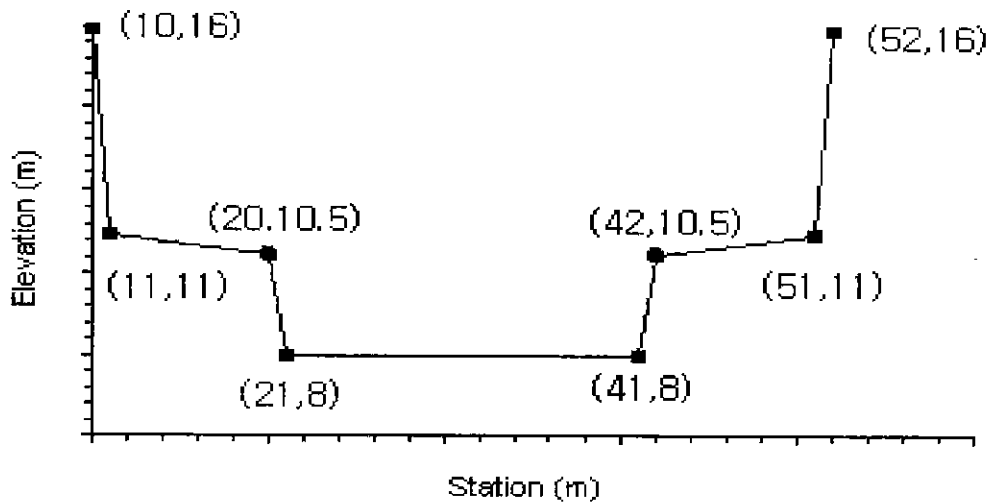


1.2 하천 단면

- 단면의 형태는 사다리꼴이다.
- 최상류 단면의 Station과 Elevation

Station(m)	10	11	20	21	41	42	51	52
Elevation(m)	16	11	10.5	8	8	10.5	11	16

- 하천의 횡단면도는 다음과 같다.



2. 흐름 관련 자료

2-1. 주수로와 좌, 우 홍수터의 n 값

Reach	좌 홍수터	주수로	우 홍수터
ONCHEN	.02	.015	.02

2-2. 확장 축소 계수

Reach	Contr.	Expan.
ONCHEN	.1	.3

3. 전산 해석 관련 자료

총 구간의 수 14개 ($\Rightarrow \Delta X = 200m \Rightarrow$ 총 단면의 수 = 15)

River	Reach	Profile	Upstream	Downstream
SUYOUNG	ONCHEN	PF#1		Normal S = .00025
SUYOUNG	ONCHEN	PF#2		Normal S = .00025

3-1. 경계 조건 (Boundary Conditions)

3-2. 계산 흐름 영역 (Computational Flow Regime) : Subcritical Flow

4. HEC-RAS 프로그램 사용 순서

4.1 Geometry Data 입력

- River Reach를 선택하여 하천 정보 입력
- Cross Section을 선택하여 단면 정보 입력
 - Option의 Add a new cross section을 선택하여 단면정보 입력
 - Cross Section X-Y Coordinates를 입력
 - 단면 보간을 이용하여 단면 입력 완결(Geometric Data editor로부터 Open menu bar 아래에서 찾을 수 있다).-측점, 표고, 구간 거리, 조도계수, 주수로 측점, 단면 축소·확대 손실 계수 입력

4.2 Steady Flow Data 입력

- Enter/Edit Number of Profiles를 선택하여 Profiles의 수 결정
- Reach Boundary Coordinates 을 선택하여 경계조건을 입력

4.3 Steady Flow Analysis

- Flow Regime을 선택하여 흐름 영역 지정
- Options중에서 Critical Depth Output Option을 선택
- Compute를 선택하여 계산

4.4 View Result

- Cross-Section
- Water Surface Profiles
- Ration Curves
- X-Y-Z Perspective Plots
- Cross Section Table
- Profile Table
- Summary Err. Warn. Notes

→ profile table

Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Grid Fields Help

HRT-RAR Planplan 02 River auszug Bereich 02a/01

Report Data

Station	Profile No.	Q Total	Water Elev.	Bank Elev.	Water Elev.	Water Elev.	Water Elev.	Water Elev.	Water Elev.	Water Elev.	Water Elev.	Water Elev.	Water Elev.	Water Elev.	Water Elev.
		(m³/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
brachen	39	70.00	8.00	9.44	8.72	9.53	0.00406	2.36	29.67	21.15					0.35
brachen	39	150.00	8.00	10.18	9.19	10.35	0.00433	3.30	45.43	21.74					0.40
brachen	39	70.00	7.95	9.35	8.67	9.44	0.00446	2.43	28.81	21.12					0.37
brachen	39	150.00	7.95	10.05	9.14	10.24	0.00544	3.41	44.00	21.59					0.42
brachen	25	70.00	7.90	9.25	8.62	9.35	0.00506	2.53	27.68	21.08					0.39
brachen	25	150.00	7.90	9.99	9.09	10.12	0.00619	3.56	42.19	21.62					0.45
brachen	24	70.00	7.85	9.12	8.57	9.24	0.00608	2.68	26.12	21.02					0.42
brachen	24	150.00	7.85	9.76	9.04	9.99	0.00745	3.77	39.76	21.53					0.49
brachen	22	70.00	7.80	8.95	8.52	9.09	0.00838	2.96	23.62	20.92					0.49
brachen	22	150.00	7.80	9.54	8.99	9.81	0.01022	4.17	35.93	21.39					0.57
brachen	20	70.00	7.75	8.85	8.35	8.94	0.00852	2.39	23.27	21.15					0.41
brachen	20	150.00	7.75	9.45	8.75	9.62	0.00816	3.28	45.77	21.77					0.45
brachen	18	70.00	7.70	8.78	8.23	8.84	0.00892	1.99	35.22	33.38					0.34
brachen	18	150.00	7.70	9.39	8.57	9.50	0.00806	2.68	56.00	34.17					0.37
brachen	15	70.00	7.65	8.72	8.12	8.77	0.00878	1.68	41.70	39.63					0.29
brachen	15	150.00	7.65	9.35	8.43	9.43	0.00880	2.25	66.75	40.58					0.31
brachen	14	70.00	7.60	8.67	8.05	8.71	0.00850	1.59	43.90	41.72					0.27
brachen	14	150.00	7.60	9.30	8.35	9.37	0.00850	2.13	70.37	42.72					0.29
brachen	12	70.00	7.55	8.62	8.00	8.66	0.00850	1.59	43.90	41.72					0.27
brachen	12	150.00	7.55	9.25	8.30	9.32	0.00850	2.13	70.37	42.72					0.29
brachen	10	70.00	7.50	8.57	7.95	8.61	0.00850	1.59	43.90	41.72					0.27
brachen	10	150.00	7.50	9.20	8.25	9.27	0.00850	2.13	70.37	42.72					0.29
brachen	8	70.00	7.45	8.52	7.90	8.56	0.00850	1.59	43.90	41.72					0.27
brachen	8	150.00	7.45	9.15	8.20	9.22	0.00850	2.13	70.36	42.72					0.29
brachen	7	70.00	7.40	8.47	7.85	8.51	0.00850	1.59	43.90	41.72					0.27
brachen	7	150.00	7.40	9.10	8.15	9.17	0.00850	2.13	70.36	42.72					0.29

Profile number for the main channel:

예제 2-2 : 혼합 흐름

▶ 목표 : - 혼합 흐름에 대한 경계 조건

- 도수
- 단면 보간
- 출력 검토

▶ 상황 : 다음의 수로에서 유량이 $200 \text{ m}^3/\text{s}$ 일 때
부등류 해석을 수행하시오.

1. 하천 제원

1.1 일 반

- 예제 2-1의 하천 상류에 길이 1000m의 급경사(경사 1:0.0025) 수로를 추가한다.
- 추가된 구간의 하천폭은 42m이다.

2. 흐름 관련 자료

- n값, 축소, 확장 계수등은 예제 2-1번과 동일하다.

3. 전산 해석 관련 자료

총 구간의 수 19개 ($\Rightarrow \Delta X = 200\text{m} \Rightarrow$ 총 단면의 수 = 20)

3-1. 경계 조건 (Boundary Conditions)

River	Reach	Profile	Upstream	Downstream
SUYOUNG	ONCHEN	PF#1	Normal S = .0025	Normal S = .00025

3-2. 계산 흐름 영역 (Computational Flow Regime) : Mixed Flow

■ profile table

Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std Tables Help

ICC 888 Fish Island River up to up Reach 8000

Reach	Reaches	Q (m³/s)	W (m)	V (m/s)	T (s)	S (m)	C (m/s)	D (m)	H (m)	W (m)	F (m)
00000	15.75	200.00	10.38	12.39	12.51	13.55	0.002501	4.78	41.81	21.61	1.10
00001	16.25	200.00	10.25	12.26	12.39	13.43	0.002501	4.78	41.81	21.61	1.10
00002	16.75	200.00	10.13	12.14	12.26	13.30	0.002501	4.78	41.81	21.61	1.10
00003	17.25	200.00	10.00	12.01	12.14	13.18	0.002502	4.78	41.81	21.61	1.10
00004	17.75	200.00	9.88	11.88	12.01	13.05	0.002502	4.78	41.80	21.61	1.10
00005	18.25	200.00	9.75	11.76	11.89	12.93	0.002503	4.79	41.80	21.61	1.10
00006	18.75	200.00	9.63	11.63	11.76	12.80	0.002504	4.79	41.80	21.61	1.10
00007	19.25	200.00	9.50	11.51	11.64	12.68	0.002505	4.79	41.79	21.61	1.10
00008	19.75	200.00	9.38	11.38	11.51	12.55	0.002506	4.79	41.79	21.61	1.10
00009	20.25	200.00	9.25	11.26	11.39	12.43	0.002507	4.79	41.78	21.61	1.10
00010	20.75	200.00	9.13	11.13	11.26	12.30	0.002508	4.79	41.77	21.61	1.10
00011	21.25	200.00	9.00	11.01	11.14	12.18	0.002510	4.79	41.76	21.61	1.10
00012	21.75	200.00	8.88	11.24	11.01	12.07	0.001490	4.05	49.43	21.89	0.88
00013	22.25	200.00	8.75	11.22	10.89	11.98	0.001294	3.86	51.76	21.97	0.80
00014	22.75	200.00	8.63	11.20	10.76	11.90	0.001113	3.69	54.33	24.03	0.75
00015	23.25	200.00	8.50	11.20	10.64	11.83	0.000950	3.52	57.51	29.08	0.70
00016	23.75	200.00	8.38	11.20	10.51	11.75	0.000809	3.35	61.37	33.52	0.65
00017	24.25	200.00	8.25	11.20	10.39	11.71	0.000687	3.18	65.95	38.12	0.60
00018	24.75	200.00	8.13	11.21	10.26	11.66	0.000580	3.01	71.21	40.03	0.56
00019	25.25	200.00	8.00	11.21	10.14	11.62	0.000490	2.85	76.67	40.08	0.52
00020	25.75	200.00	7.89	11.18	10.12	11.59	0.000503	2.88	75.73	40.08	0.52
00021	26.25	200.00	7.87	11.15	10.11	11.57	0.000515	2.90	74.95	40.07	0.53
00022	26.75	200.00	7.96	11.11	10.10	11.54	0.000529	2.92	74.09	40.06	0.54
00023	27.25	200.00	7.95	11.08	10.09	11.51	0.000547	2.96	73.03	40.05	0.54
00024	27.75	200.00	7.94	11.03	10.07	11.48	0.000567	2.99	71.67	40.04	0.55
00025	28.25	200.00	7.92	10.99	10.06	11.45	0.000588	3.03	70.76	40.03	0.56
00026	28.75	200.00	7.91	10.95	10.05	11.42	0.000614	3.07	69.43	40.01	0.57
00027	29.25	200.00	7.90	10.90	10.04	11.39	0.000643	3.12	67.97	39.99	0.59
00028	29.75	200.00	7.89	10.85	10.02	11.35	0.000676	3.16	66.44	39.99	0.60
00029	30.25	200.00	7.88	10.79	10.01	11.32	0.000714	3.22	64.80	37.09	0.61
00030	30.75	200.00	7.86	10.73	10.00	11.28	0.000760	3.28	63.04	35.27	0.63
00031	31.25	200.00	7.85	10.67	9.98	11.24	0.000811	3.35	61.30	33.38	0.65
00032	31.75	200.00	7.84	10.59	9.97	11.19	0.000868	3.44	59.05	30.93	0.68
00033	32.25	200.00	7.82	10.50	9.95	11.14	0.000927	3.55	56.91	28.30	0.71
00034	32.75	200.00	7.81	10.39	9.95	11.09	0.001122	3.70	54.18	24.61	0.76
00035	33.25	200.00	7.80	10.21	9.93	11.01	0.001369	3.95	50.68	21.93	0.83
00036	33.75	200.00	7.79	10.22	9.84	10.91	0.001611	3.69	54.22	23.42	0.77
00037	34.25	200.00	7.78	10.22	9.75	10.83	0.001919	3.46	57.80	24.70	0.72

Total Head in process is 8.00

Session III

교량

Session III 교량

- 목표
- ◆ 교량 수리학
 - ◆ 교량 계산을 위한 단면의 설정
 - ◆ 교량 단면의 유효흐름지역
 - ◆ 교량 흐름의 축소/확장 거리

1. 개요

교량이나 암거에서 발생하는 에너지 손실은 세 구간으로 나누어 계산된다.

- 교량 흐름 계산 구간
 - 교량의 직하류 구간(확장흐름)
 - 교량 구간
 - 교량 직상류 구간(수축흐름)

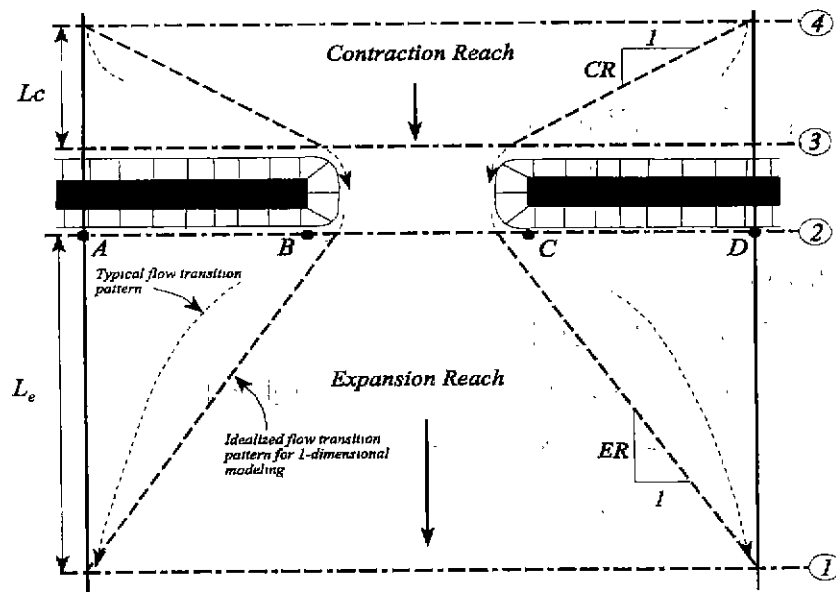


Figure 3.1 Cross Section Locations at a Bridge

- 교량 구간의 흐름
 - low flow
 - high flow (pressure flow와 weir flow)

2. 교량흐름 계산을 위한 횡단면

- 사용자는 교량흐름 계산을 위하여 4개의 횡단면을 정의해야 한다.
- HEC-RAS는 구조물 구간의 손실계산을 위하여 두 개의 횡단면을 첨가한다.
- 교량은 흐름에 영향을 미치는 경계조건의 직접적 영향을 피하기 위하여 경계로부터 멀리 위치시켜야 한다.

2.1 횡단면 1

- 흐름이 완전히 팽창된 위치에 설정한다.
- L_e 는 현장조사에 의하여 결정하는 것이 최선의 방법이다.
- 기타 기준들

$$\text{USGS} : L_e \approx \overline{BC}$$

$$\text{HEC} : L_e = 4 \left(\frac{\overline{AB} + \overline{CD}}{2} \right)$$

부록 B, Ref. Man

HEC에 의한 최근의 연구

3개의 실제 교량과 76개의 교량에 대한 2차원 수치실험 결과 분석

흐름 확장율 표 3.1 혹은 회귀공식으로 산정

외삽시 : $0.5 < ER < 4$

위 기준들 중 Ref. Man.의 부록 B의 기준이 가장 심도있는 연구 결과이다.

Table 3.1
Ranges of Expansion Ratios

		$n_{ob} / n_c = 1$	$n_{ob} / n_c = 2$	$n_{ob} / n_c = 4$
b/B = 0.10	S = 1 ft/mile	1.4 - 3.6	1.3 - 3.0	1.2 - 2.1
	5 ft/mile	1.0 - 2.5	0.8 - 2.0	0.8 - 2.0
	10 ft/mile	1.0 - 2.2	0.8 - 2.0	0.8 - 2.0
b/B = 0.25	1 ft/mile	1.6 - 3.0	1.4 - 2.5	1.2 - 2.0
	5 ft/mile	1.5 - 2.5	1.3 - 2.0	1.3 - 2.0
	10 ft/mile	1.5 - 2.0	1.3 - 2.0	1.3 - 2.0
b/B = 0.50	1 ft/mile	1.4 - 2.6	1.3 - 1.9	1.2 - 1.4
	5 ft/mile	1.3 - 2.1	1.2 - 1.6	1.0 - 1.4
	10 ft/mile	1.3 - 2.0	1.2 - 1.5	1.0 - 1.4

b: Bridge opening, B: River width

2.2 횡단면 2

- 교량의 수 m 직하류에 위치한다.
- 교량의 직하류의 유효흐름 지역을 나타내야 한다.

2.3 횡단면 3

- 교량의 수 m 직상류에 위치한다.
- 교량의 직상류의 유효흐름 지역을 나타내야 한다.
- Low flow와 pressure flow는 2번과 3번 단면에 무효흐름 지역(사수역)을 가지나 High flow는 무효흐름지역을 가지지 않는다.

2.4 횡단면 4

- 흐름이 축소되기 시작하는 지점에 위치한다.

- USGS : $L_e \approx \overline{BC}$
- HEC : $L_e = \frac{\overline{AB} + \overline{CD}}{2}$
- HEC에 의한 최근의 연구: 표 3.2 , 부록 B(표 B.3 혹은 회귀공식), Ref. Man.

Table 3.2
Ranges of Contraction Ratios (CR)

	$n_{ob} / n_c = 1$	$n_{ob} / n_c = 2$	$n_{ob} / n_c = 4$
S = 1 ft/mile	1.0 - 2.3	0.8 - 1.7	0.7 - 1.3
5 ft/mile	1.0 - 1.9	0.8 - 1.5	0.7 - 1.2
10 ft/mile	1.0 - 1.9	0.8 - 1.4	0.7 - 1.2

2.5 자동적으로 생성되는 두 단면

- 교량 통과부의 수두손실 계산을 위하여 단면 2, 3 사이에 두 개의 단면을 자동 추가
- 단면 2,3 그리고 교량 형상(상판, 교대, 교각)의 함수

3. 유효흐름 지역(effective flow area)의 정의

3.1 유효흐름 지역

- 횡좌표(station)와 표고로 정의
- 수면이 지정 표고보다 낮으면 지정 station 외부(제방쪽)는 사수역이 되고, 지정표고보다 높으면 유효흐름지역이 된다.
- 교량의 경우 normal ineffective flow areas option을 사용한다.

유효흐름지역의 종류

- ▶ normal ineffective flow areas (사수역)

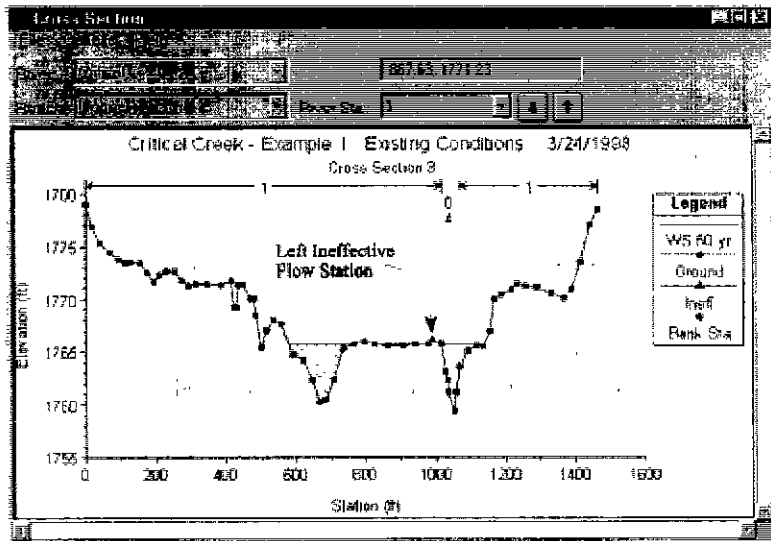


Figure 3.2 Cross section with normal ineffective flow areas

- ▶ blocked ineffective flow areas

- ▶ levees (제방)

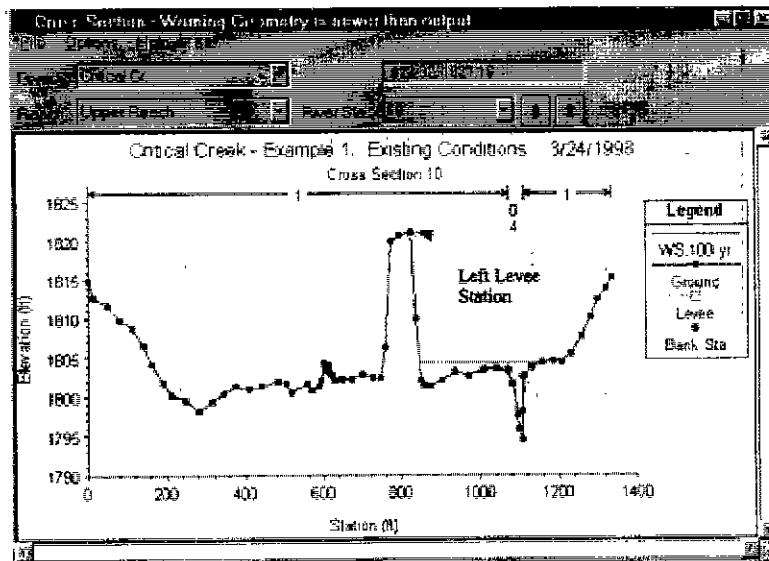


Figure 3.3 Example of the Levee Option

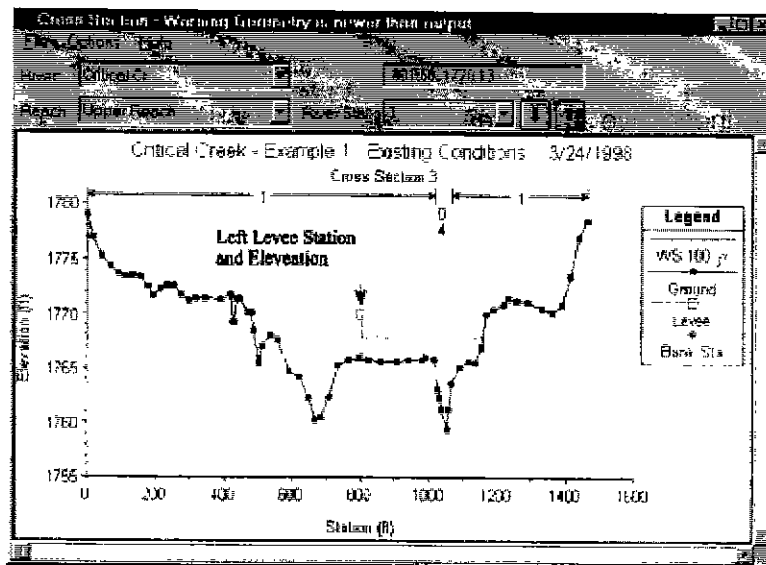


Figure 3.4 Example Levee Added to a Cross Section

► blocked obstructions

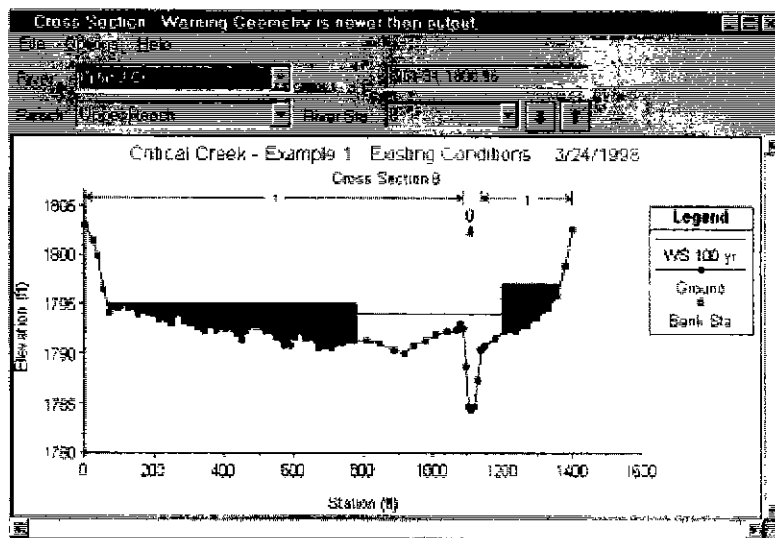


Figure 3.5 Example of Normal Blocked Obstructions

▶ multiple blocks

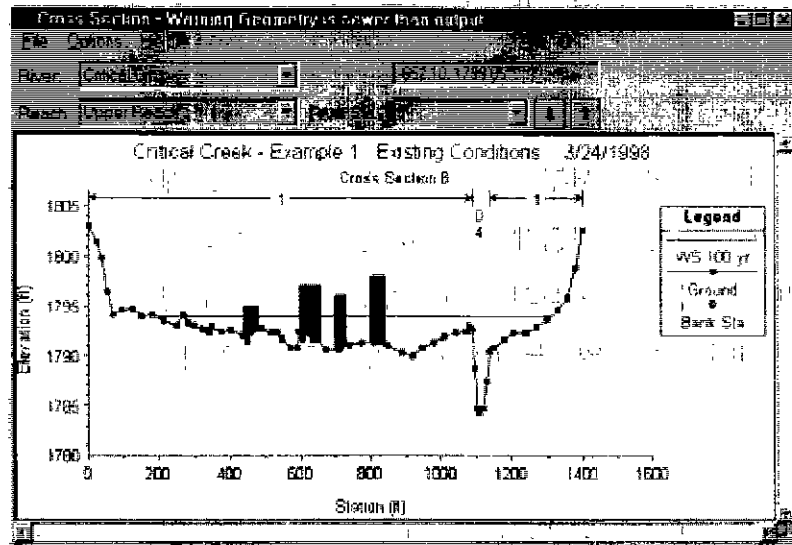


Figure 3.6 Example Cross Section With Multiple Blocked Obstructions

3.2 유효흐름 지역 정의의 어려움

- 유효 흐름 지역의 폭
- 유효 흐름 지역의 표고

3.3 유효흐름지역의 폭

- 확장 흐름과 축소 흐름에 대하여 1:1의 비로 가정한다.
- 교대의 모서리가 뾰족하지 않으면 유효흐름지역의 폭은 교대 사이의 거리보다 크다.

3.4 유횠흔름지역의 표고

- 실질적 웨어 흐름이 발생하는 표고를 나타내야 한다.

1) 단면 3

- 일단 교량 상판 저면의 최저부 지점의 표고를 사용하고 계산결과에 따라 조정한다.
- 압력 흐름과 웨어 흐름의 판정에는 에너지선을 사용한다.
- 계산결과 웨어 흐름으로 판정되었으나 수면 표고가 교량 상판의 하부보다 더 낮을 때, 수면표고와 에너지선이 일치될 때 까지 무효흐름지역의 표고를 감소시킨다.

2) 단면 2

- 교량의 하류에서 웨어흐름이 발생할 표고는 미리 알 수 없으므로 시산법이 필요하다.
- 초기 추정치는 교량 상판의 하부와 상부의 평균 표고로 가정된다.
- 사용자는 흐름의 종류와 계산 결과 사이의 일관성을 점검해야 한다.

4. 축소/확대 손실

- 축소 계수: 0.1 ~ 0.6
- 확대 계수: 0.3 ~ 0.8
- 표 3.3
- 공병단의 최근 연구: 표 3.4 혹은 식(B-6))

$$C_e = -0.09 + 0.570\left(\frac{D_{ob}}{D_c}\right) + 0.075\left(\frac{F_{c2}}{F_{c1}}\right)$$

여기서: D_{ob} = 단면 1에서 홍수터의 수리 수심 (= A_{ob}/B_{ob} , = 흐름단면/수면폭)

D_c = 단면 1에서 주수로의 수리 수심 (= A_{ch}/B_{ch})

F_{ck} = 단면 k의 주수로에서의 Froude 수

Table 3.3
Subcritical Flow Contraction and Expansion Coefficients

	Contraction	Expansion
No transition loss computed	0.0	0.0
Gradual transitions	0.1	0.3
Typical Bridge sections	0.3	0.5
Abrupt transitions	0.6	0.8

Table 3.4
Contraction Coefficient Values

Degree of Constriction	Recommended Contraction Coefficient
$0.0 < b/B < 0.25$	0.3 - 0.5
$0.25 < b/B < 0.50$	0.1 - 0.3
$0.50 < b/B < 1.0$	0.1

5. 교량 통과 구간(단면 2와 3 사이)의 수리학적 계산

5.1 흐름 분류

- Low flow: 수면이 교량 상판의 저면보다 낮은 개수로 흐름

class A: 상류

class B: 혼합흐름

class C: 하류

- High flow: 수면표고가 교량 상판의 저면과 같거나 높은 흐름
압력흐름(pressure flow)
웨어흐름(weir flow)

- 복합흐름(Combination flow): Low flow와 High flow가 동시에 존재하는 흐름

5.2 Low Flow의 계산

Flow chart 참조

1) Class A low flow

- 상류(subcritical flow)
- 에너지 손실계산을 위한 4가지 방법
- 어떤 하나 또는 모든 방법이 선택될 수 있다.

(i) 에너지 방법(표준축차법)

계산 순서: 2→BD→BU→3

(ii) 운동량보존 방법

- 구간에 작용하는 힘(마찰력, 전수압, 중력성분, 항력 등 포함)과 운동량 고려
- 세 구간에 각각 적용된다.

2→BD: 마찰력, 중력, 교각에 작용하는 전수압

$$A_{BD} \bar{Y}_{BD} + \frac{\beta_{BD} Q_{BD}^2}{gA_{BD}} = A_2 \bar{Y}_2 - A_{PBD} \bar{Y}_{PBD} + \frac{\beta_2 Q_2^2}{gA_2} + F_f - W_X$$

BD→BU: 마찰력, 중력

$$A_{BU} \bar{Y}_{BU} + \frac{\beta_{BU} Q_{BU}^2}{g A_{BU}} = A_{BD} \bar{Y}_{BD} + \frac{\beta_{BD} Q_{BD}^2}{g A_2} + F_f - W_X$$

BU→3: 마찰력, 중력, 교각에 작용하는 전수압, 항력

$$A_3 \bar{Y}_3 + \frac{\beta_3 Q_3^2}{g A_3} = A_{BU} \bar{Y}_{BU} + \frac{\beta_{BU} Q_{BU}^2}{g A_{BU}} + A_{PBU} \bar{Y}_{PBU} + \frac{1}{2} C_D \frac{A_{PBU} Q_3^2}{g A_3^2} + F_f - W_X$$

□ 마찰력과 중력은 선택적으로 사용된다.

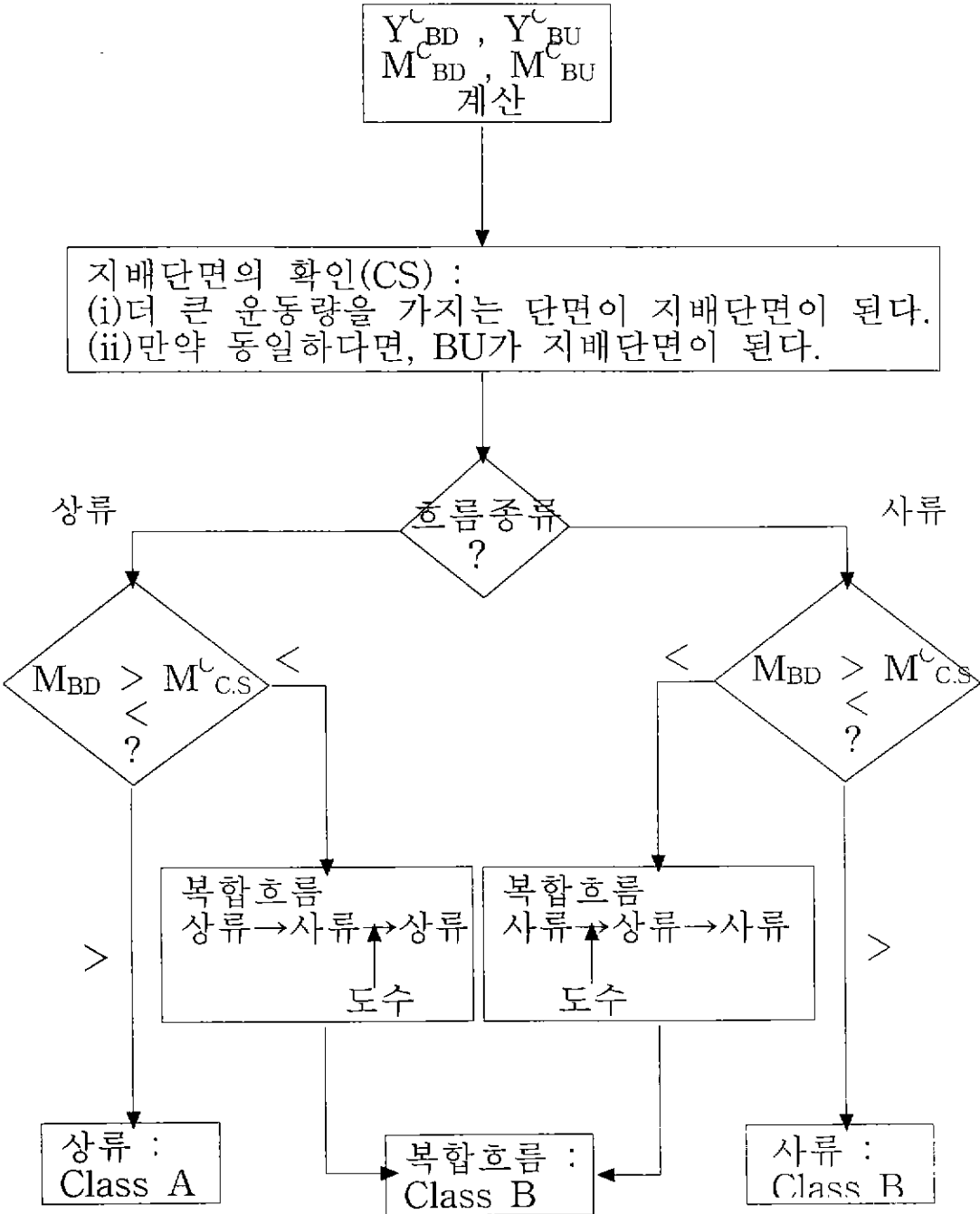
□ 항력계수 : 표 5.2, Ref. Man.

(iii) Yarnell 방법

□ 약 2,600번의 실험결과에 기초한 실험식

□ 에너지 손실의 대부분이 교각에 의해 발생하는 교량에 대해서만 사용되어야

Flow Chart



□ 교각 형상 계수(표3.5)를 요구한다.

(iv) FHWA(미 연방고속도로국) WSPRO method.

□ 세 구간에 걸쳐 에너지 방정식을 적용한다.

1 -> 2: 마찰손실 + 확장 손실

2 -> 3: 마찰손실:

3 -> 4: 마찰손실: 유효 흐름 길이를 사용(부록 D, Ref. Man.)

Table 3.5
Typical drag coefficients for various pier shapes

Pier Shape	Drag Coefficient C_D
Circular pier	1.20
Elongated piers with semi-circular ends	1.33
Elliptical piers with 2:1 length to width	0.60
Elliptical piers with 4:1 length to width	0.32
Elliptical piers with 8:1 length to width	0.29
Square nose piers	2.00
Triangular nose with 30 degree angle	1.00
Triangular nose with 60 degree angle	1.39
Triangular nose with 90 degree angle	1.60
Triangular nose with 120 degree angle	1.72

Table 3.6
Yarnell's pier coefficient, K, for various pier shapes

Pier Shape	Yarnell K Coefficient
Semi-circular nose and tail	0.90
Twin-cylinder piers with connecting diaphragm	0.95
Twin-cylinder piers without diaphragm	1.05
90 degree triangular nose and tail	1.05
Square nose and tail	1.25
Ten pile trestle bent	2.50

2) Class B flow

- 교량 수축부에서 흐름이 한계흐름을 거치는 혼합흐름 (급변부등류)
- 계산 방법: 운동량방정식을 사용한다.
 - 상류흐름에 대하여
 - 사류흐름에 대하여
- Class B flow을 위해서는 혼합흐름 모드가 사용되어야 한다.

3) Class C flow

- 사류
- 에너지방법 또는 운동량방법을 사용할 수 있다.

5.3 High Flow Computations

- 교량 상판 하현의 가장 높은 지점이 물과 접하는 흐름.
- 두 가지 해석 방법:
 - 에너지 방정식
 - 압력흐름과 웨어흐름을 위한 각각의 방정식들

1) 압력흐름계산

흐름이 하현의 가장 높은 지점과 접할 때, 오리피스 흐름이 형성된다.
HEC-RAS에서는 두 가지 오리피스 흐름이 있다.

□ Sluice 수문 형태의 흐름

$$Q = C_d A_{BU} \left[2g \left(Y_3 - \frac{Z}{2} + \frac{\alpha_3 V_3^2}{2g} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5-14)$$

C_d : 유량계수

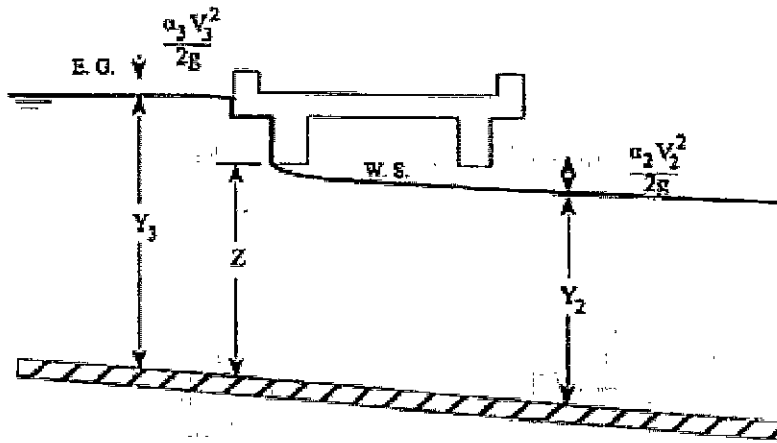


Figure 3.7 Example of a bridge under sluice gate type of pressure flow

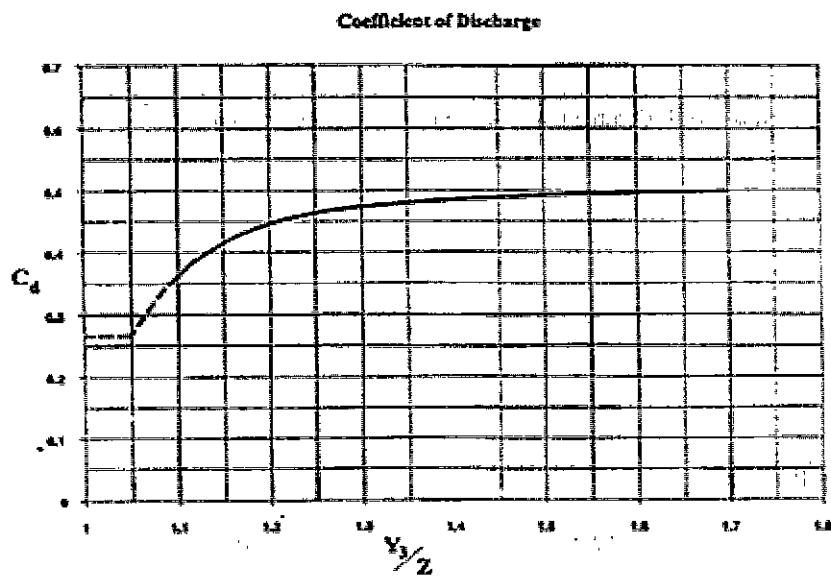


Figure 3.8 Coefficient of discharge for sluice gate type flow

□ 팍차 흐르는 오리피스

$$Q = CA\sqrt{2gH} \quad (5-15)$$

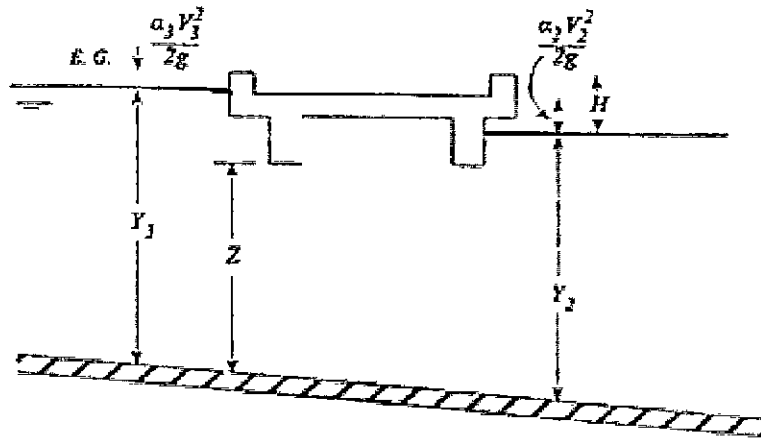


Figure 3.9 Example of a bridge under fully submerged pressure flow

2) 웨어 흐름 계산

□ 자유웨어 흐름

$$Q = CLH^{1.5} \quad (5-18)$$

- $C = 1.4 \sim 1.7$

- 하류의 수면이 높아 흐름이 침수되면 프로그램은 자동적으로 웨어 흐름의 양을 감소시킨다.

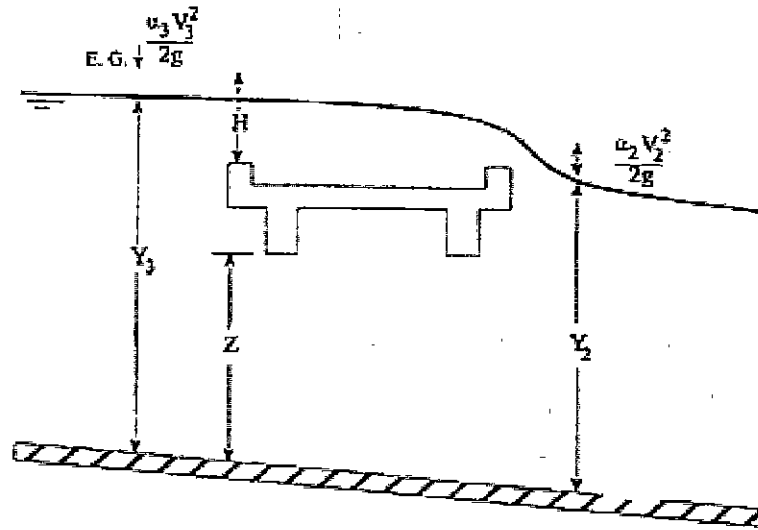


Figure 3.10 Example bridge with pressure and weir flow

□ 침수(submerged)웨어 흐름

많이 침수된 웨어흐름에 대해서는 에너지 방정식(the standard step method)이 사용된다.

-일반적인 표준축차법

-실제흐름이 관수로 흐름일지라도 개수로 흐름으로 취급하고 계산한다.

-상관, 교각, 교대는 감소된 단면적과 증가된 윤변에 의해 고려된다.

-경우에 따라 BD와 BU 단면에서 계산된 수면이 교량 상관 중간에 있을 수도 있다. 이 때 수면은 반드시 수면표고가 아니라 동수경사선을 나타낸다.

3) 복합흐름

-Low flow 또는 압력흐름이 웨어흐름과 복합되어 흐르는 흐름

-각각의 종류의 흐름은 반복적으로 계산된다.

종료기준: 횡단면 3에서의 에너지의 일치여부

-Low flow와 웨어흐름의 복합흐름은 에너지 방법과 Yarnell 방법으로만 계산된다.

6. 교량 모델링 접근 방법의 선택

6.1 Low Flow 방법

1) 개요

- 에너지 방법과 운동량방법이 물리적으로 더 적합하다. 교량에서의 기하학적 변화와 마찰 손실을 고려한다.

- 에너지 방법은 흐름 단면의 축소/확장으로 인한 부가적 손실을 고려한다.

- 운동량 방법은 교각 항력에 의한 부가적 손실을 고려한다.

- WSPRO 방법은 많은 실험 결과를 고려한 유사 에너지 방법이다.

- Yarnell 방정식은 실험식이다. Yarnell 방정식을 사용할 때, 상황이 실험의 범위에 있어야 한다.

2) 교량 해석 방법의 선택 기준

- 교각이 흐름에 미치는 영향이 작고 마찰 손실이 지배적인 경우

 - 에너지 방법

 - 운동량 방법

 - WSPRO 방법

- 교각손실과 마찰손실이 지배적인 경우

 - 운동량 방법이 가장 적합

 - 그러나 어떠한 방법도 사용 가능

- 한계수심을 통과하는 흐름인 경우

 - 운동량 방법

 - Yarnell 방법과 WSPRO방법은 단지 상류흐름을 상태일 때 적절하다.

- 사류흐름인 경우

 - 에너지 방법

운동량 방법

교각 충격과 항력 손실이 큰 경우 운동량 방법이 더욱 적합

- 교각이 에너지 손실과 수위변화의 지배적 역할을 하는 경우

운동량 방법

Yarnell 방법 (Class A low 흐름에만 적용 가능)

6.2 High Flow Methods.

에너지방법이 더욱 넓은 범위의 문제에 사용될 수 있다.

1) 교량 해석 방법의 선택 기준

- 교량 상판이 흐름에 미치는 영향이 작거나 교량입구가 압력 오리피스와 같은 거동을 하지 않을 경우 => 에너지 방법

- 상판과 제방이 흐름에 미치는 영향이 큰 경우

=> 압력흐름 방법, 웨어흐름 방법

- 교량과 제방이 범람하는 경우와 교량 상판을 월류하는 물이 하류의 물에 의해 크게 잠식되지 않을 경우 => 압력흐름 방법, 웨어흐름 방법

압력흐름과 웨어흐름 방법은 교량이 95% 침수되면 자동으로 에너지 방법으로 조정된다. 사용자는 이 값을 Bridge/Culver Data editor안의 Deck/Roadway에서 변경할 수 있다.

- 교량이 완전히 침수되는 경우와 상판을 월류하는 흐름이 웨어 흐름같이 거동하지 않을 경우 => 에너지 방법

예제 3 : 교량

- ▶ 목표 : - 교량 단면 입력 방법
- 유효 흐름 지역 정의
- 흐름상태에 대한 분석
- 출력 검토

- ▶ 상황 : 다음의 교량이 설치된 수로에서 유량이 $70 \text{ m}^3/\text{s}$, $300 \text{ m}^3/\text{s}$, $500 \text{ m}^3/\text{s}$ 일 때 부등류 해석을 수행하시오.

1. 하천 제원

1.1 일 반

- 예제 2-1의 하천 제원을 사용한다.

2. 흐름 관련 자료

- n 값, 축소, 확장 계수등은 예제 2-1번과 동일하다.

3. 전산 해석 관련 자료

3-1. 경계 조건 (Boundary Conditions)

River	Reach	Profile	Upstream	Downstream
SUYOUNG	ONCHEN	PF#1		Known W.S = 8.66
SUYOUNG	ONCHEN	PF#2		Known W.S = 11.5
SUYOUNG	ONCHEN	PF#3		Known W.S = 12

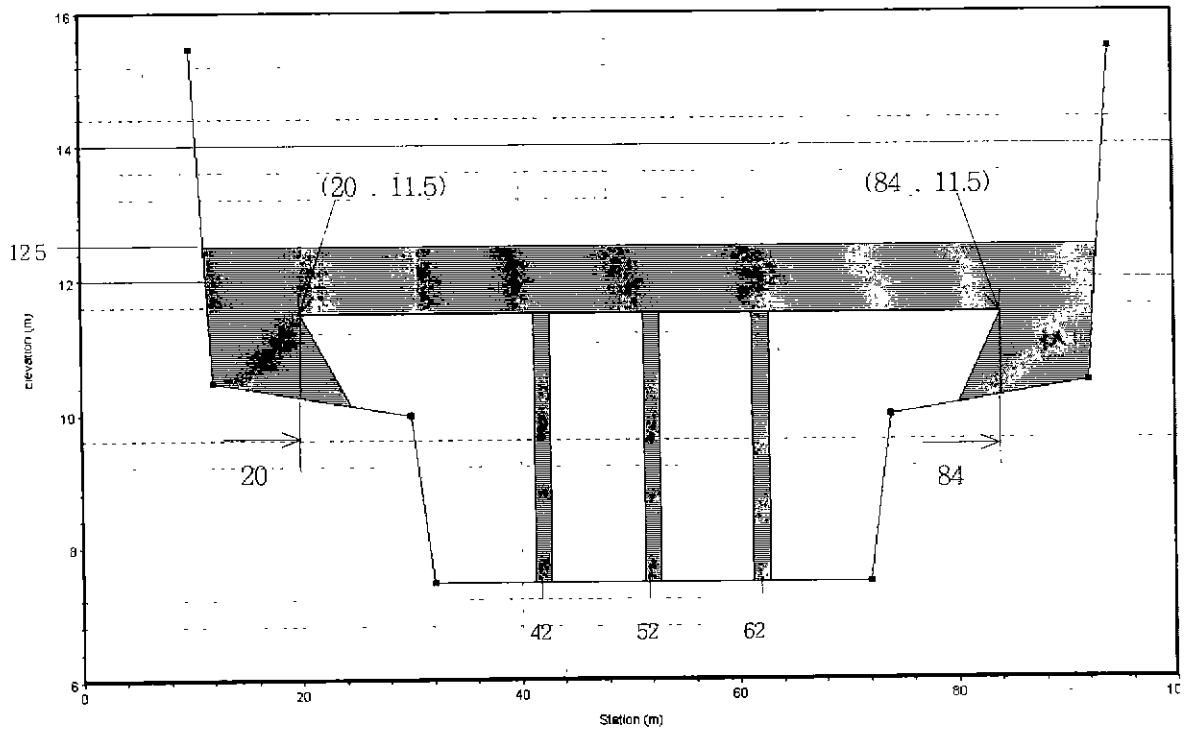
3-2. 계산 흐름 영역 (Computational Flow Regime) : Subcritical Flow

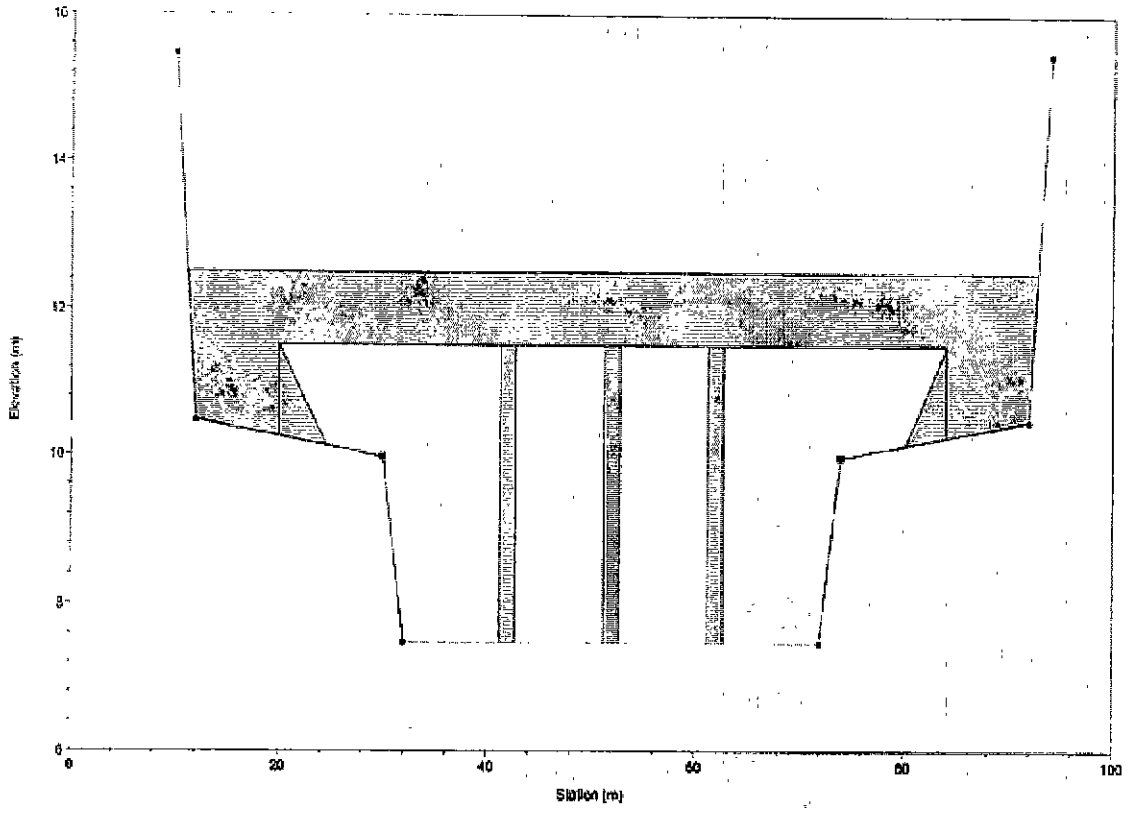
4. 교량 제원

4-1. 일 반

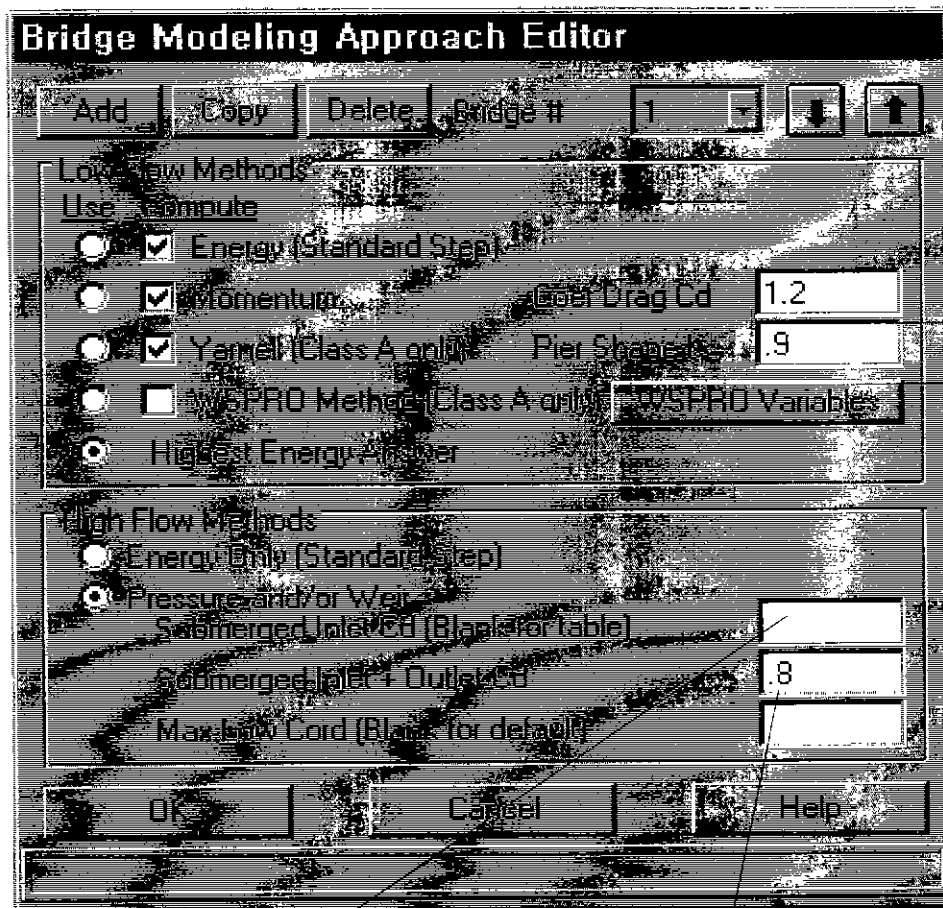
- 교량은 상류에서 2132m 떨어진 지점에 위치한다.
- 상판의 폭은 10m이다.
- 교각의 직경은 1.5m(원형)이다.

- 교량의 횡단면도는 다음과 같다.





5. 교량에서의 흐름 방법 선정



빈칸으로 남겨 두면 프로그램이 선택한다.

일반적으로 0.8을 사용한다.

에너지식에 경험요소 포함
:Ref. Man. p5-15

교량 수두손실의 대부분이 교각에 의해 발생할 때만 사용한다.
:Ref. Man. p5-14 (Table 3.6)

Momentum balanced method :Ref. Man. p5-13
piers shape에 따라 다른 수 기입 (Table 3.5)

6. HEC-RAS 적용시 고려 항목

6.1 교량 흐름 계산을 위한 추가 자료
(AB간의 거리, CD간의 거리는 12.5m이다.)

■ 횡단면 4개의 위치

□ 횡단면 1

$$\begin{aligned} \text{HEC : } L_e &= 4 \frac{(AB + CD)}{2} \\ &= 4 \frac{(12.5 + 12.5)}{2} \\ &= 50 \end{aligned}$$

□ 횡단면 2

- 교량의 수m 직하류에 위치
- 3m

□ 횡단면 3

- 교량의 수m 직상류에 위치
- 5m

□ 횡단면 4

$$\begin{aligned} \text{HEC : } L_c &= \frac{(AB + CD)}{2} \\ &= 12.5m \end{aligned}$$

■ 확장/축소 손실 계수

□ 확장 손실 계수 = 0.5

□ 축소 손실 계수 = 0.3

6.2 추가자료에 대한 평가

(유량이 $300 \text{ m}^3/\text{s}$ 인 경우에 대한 평가)

■ 횡단면의 위치

□ 확장된 구간 거리

- 홍수터의 거리가 300m 이하이므로 다음 식을 사용한다. (표 3-1)

$$ER = \frac{L_e}{L_{obs}} = 0.421 + 0.485 \left(\frac{F_{c2}}{F_{c1}} \right) + 1.80 \cdot 10^{-5} (Q)$$
$$= 1.095$$

- ± 0.26 는 신뢰도 68% 구간

$$ER : 0.835 < 1.095 < 1.355$$

$$L_e : 10.02\text{m} < 13.14\text{m} < 16.26\text{m}$$

□ 축소된 구간 거리

- 홍수터의 거리가 짧으므로 다음 식을 사용한다. (표 3.2)

$$CR = \frac{L_c}{L_{obs}} = 1.4 - 0.333 \left(\frac{F_{c2}}{F_{c1}} \right) + 1.86 \left(\frac{Q_{ob}}{Q} \right)^2 - 0.19 \left(\frac{n_{ob}}{n_c} \right)^{0.5}$$
$$= 0.865$$

- ± 0.19 는 신뢰도 68%구간

$$CR : 0.675 < 0.865 < 1.055$$

$$L_c : 8.1\text{m} < 10.38\text{m} < 12.66\text{m}$$

■ 확장/축소 손실 계수

□ 확장 손실 계수

$$C_e = -0.09 + 0.57 \left(\frac{D_{ob}}{D_c} \right) + 0.075$$
$$= 0.175$$

- ± 0.2 는 신뢰도 95%구간

$$0 < 0.175 < 0.375$$

□ 축소 손실 계수

- 표 3.4 에서 선택 = 0.1

7. 결과 비교

	확장 거리	축소 거리	확장 계수	축소 계수
계획한 값	50m	12.5m	0.5	0.3
수정한 값	13m	12.5m	0.175	0.1

8. 교량 해석을 위한 자료 입력 절차

8.1. 교량 입력

- Bridge/Culvert를 선택하여 교량 정보 입력
 - Options의 Add a new cross section을 선택 후 교량의 River Station 입력
 - Deck/Roadway를 선택하여 상판 입력
 - Pier를 선택하여 교각 제원 입력
 - Sloping Abutment를 선택하여 교대 제원 입력
 - Bridge Modelling Approach를 선택하여 흐름 해석 방법 선택

8.2 교량 흐름 계산을 위한 4개의 단면 설정

- AB, CD간의 거리 평가
- 4개의 횡단면 위치 계산
- 확장, 축소 손실 계수 입력

8.3 설정된 단면에 대한 평가

- 유량과 홍수터의 길이에 대한 확장, 축소 거리 평가
- 확장, 축소 손실 계수 평가

■ profile table

Profile Output Table - Standard Table 1

HECRAS Plan: Plan 08 River: 1 Reach: 1 1

Reach No.	Profile No.	Start Sta	Min Ch Elev	W/S Elev	Ch W/S	L/S Elev	L/S Slope	Vol (m ³)	Flow Area	Top Width	Froude #	Ch
		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m ³)	(m ²)	(m)		
1.1	5	500.00	7.55	12.58	10.01	12.76	0.000113	1.98	300.25	81.63	0.28	
1.1	5	70.00	7.50	8.95	8.17	9.02	0.000205	1.17	59.59	42.32	0.32	
1.1	5	300.00	7.50	11.70	9.26	11.81	0.000083	1.50	232.66	80.96	0.24	
1.1	5	500.00	7.50	12.56	9.97	12.73	0.000110	1.96	302.57	81.65	0.28	
1.1	4.4525	70.00	7.47	8.93	8.15	9.00	0.000203	1.17	59.81	42.32	0.31	
1.1	4.4525	300.00	7.47	11.69	9.24	11.80	0.000082	1.49	234.21	80.98	0.24	
1.1	4.4525	500.00	7.47	12.55	9.94	12.72	0.000109	1.95	303.91	81.66	0.28	
1.1	4.39	70.00	7.47	8.90	8.14	8.97	0.000214	1.19	58.85	42.29	0.32	
1.1	4.39	300.00	7.47	11.68	9.23	11.79	0.000084	1.51	225.26	80.97	0.24	
1.1	4.39	500.00	7.47	12.54	9.93	12.71	0.000110	1.96	303.08	81.65	0.28	
		Bridge										
1.1	4.29	70.00	7.46	8.85	8.14	8.93	0.000237	1.23	57.00	42.22	0.34	
1.1	4.29	300.00	7.46	11.56	9.23	11.68	0.000094	1.57	216.79	80.88	0.25	
1.1	4.29	500.00	7.46	12.10	9.93	12.33	0.000160	2.23	257.09	81.31	0.33	
1.1	4.04	70.00	7.45	8.82	8.12	8.90	0.000245	1.24	56.45	42.20	0.34	
1.1	4.04	300.00	7.45	11.55	9.21	11.66	0.000092	1.55	224.70	80.89	0.25	
1.1	4.04	500.00	7.45	12.09	9.91	12.31	0.000155	2.19	268.61	81.32	0.33	
1.1	4	70.00	7.44	8.81	8.11	8.89	0.000246	1.24	56.37	42.19	0.34	
1.1	4	300.00	7.44	11.55	9.20	11.66	0.000091	1.55	225.07	80.89	0.25	
1.1	4	500.00	7.44	12.09	9.90	12.31	0.000155	2.19	268.72	81.32	0.33	

Session IV

교량 세굴

Session IV 교량 세굴

목표
◆ 교량으로 인한 세굴 심도 및 폭의 계산
◆ 세굴의 분류
◆ 실험식

1. 모델링 일반

- 교량세굴의 평가는 교량을 포함하는 하천 구간의 수리모델의 개발 후에
- 총 세굴
 - 침식과 퇴적으로 인한 장기적 하상의 변동
 - 흐름단면 수축으로 인한 세굴
 - 교각과 교대에서 와류로 인한 국부세굴
- HEC-RAS는 단면 축소 세굴과 국부 세굴만을 계산

2. 수축 세굴

- 단면 수축으로 인하여 흐름이 가속되는 지점에서 일어난다.
- 두가지 타입 : ①live-bed 단면 수축 세굴
②청정수(clear water) 단면 수축 세굴

■ Live-bed 또는 청정수 수축 세굴의 판정 기준

$V < V_c$: 청정수 세굴

$V > V_c$: 유효하상 세굴

여기서

V : 접근 단면의 평균 유속

V_c : D_{50} 입자의 운동 시작에 필요한 임계 속도, Laursen(1963)

$$V_c = 10.95 Y_1^{1/6} D_{50}^{1/3}$$

■ Live-bed 단면 수축 세굴

Laursen(1960)

$$Y_2 = Y_1 \left(\frac{Q_2}{Q_1} \right)^{6/7} \left(\frac{W_1}{W_2} \right)^{k_1}$$

Y_2 : 세굴 후 수심

k_1 : 침강속도(fall velocity)와 마찰 속도(shear velocity)의 함수.

■ 청정수 단면 수축 세굴

$$Y_2 = \left(\frac{Q_2^2}{CD_m^{2/3} W_2^2} \right)^{3/7}$$

3. 교각에서의 국부 세굴

주요 원인:

교각 주위의 가속

말발굽와류(horseshoe vortex) 형성

3.1 The CSU 공식: 디폴트 방정식

$$Y_S = 2.0K_1K_2K_3K_4a^{0.65}Y_1^{0.35}Fr_1^{0.43}$$

- K1 : 교각 코 형상 계수 (0.9 ~ 1.1)
- K2 : 접근 흐름 각도 계수
- K3 : 하상 조건 계수 (1.1 ~ 1.3)
- K4 : 하상 arnotization 계수

- 단 $Y_S < 2.4 a$ ($Fr_1 < 0.8$ 일 때)
- $Y_S < 3.0 a$ ($Fr_1 > 0.8$ 일 때)

3.2 The Froehlich equation

$$Y_S = 0.32K(a')^{0.62}Fr_1^{0.22}D_{50}^{-0.90} + a$$

- "+a"는 안전 계수.
- a' 는 흐름 방향으로 투영된 교각의 면적
- CSU식에 적용되었던 동일한 제한 사항 적용.

4. 교대벽에서의 국부 세굴

- $\frac{L'}{Y_1} > 25$: HIRE 방정식 사용
- < 25 : Froehlich 방정식 사용
- L' : 교대의 침윤 길이

4.1 The HIRE equation

$$Y_S = 4Y_1 \frac{K_1}{0.55} K_2 Fr_1^{0.33}$$

- K_1 : 교대 형태에 대한 수정계수
- K_2 : 흐름방향에 대한 교대 각도에 대한 수정계수

4.2 The Froehlich equation

$$Y_S = 2.27K_1K_2(L')^{0.43}Ya^{0.57}Fr_1^{0.61} + Y_a$$

- $' + Y_a'$ 는 안전계수

5. 교량에서의 전체 세굴 깊이

- 장기간 하상 표고 변화 + 수축 세굴 + 국부 세굴.

- 국부 세굴의 상부 폭 :

$$\text{교각} : 2Y_s + a + 2Y_s$$

$$\text{교대} : 2Y_s + 2Y_s$$

예제 4 : 교량 세굴

- ▶ 목표 : - 교량으로 인한 세굴 심도 및 폭의 계산
- 출력 검토

- ▶ 상황 : 다음의 하천에서 유량이 $70 \text{ m}^3/\text{s}$, $300 \text{ m}^3/\text{s}$,
 $500 \text{ m}^3/\text{s}$ 일때 교량으로 인한 세굴 깊이와
폭을 예측 하시오.

1. 교량 제원

- 예제 3의 교량 제원을 사용한다.
- 흐름에 대한 교각의 각도=0°

2. 하상의 재질

- D50=0.002m, D90=0.0024m

3. HEC-RAS 사용시 고려항목

- 전체 하천의 모든 단면을 세분 한다.
주수로 : 20 개, 좌/우 홍수터 : 5 개

4. 결과

▶ PF#1인 경우

■ Hydraulic Design

Scour at Bridges River=suyoung Reach= ochan RS = 9 BR

□ Contraction Scour

	Left	Channel	Right
Ys (m):	0.13		
Vc (m/s):		0.80	
Equation:		Live-bed	

□ Pier Scour

All Piers:	Ys (m): 2.03
	Froude #: 0.35
	Equation: CSU equation

□ Combined Scour Depths

Pier Scour + Contraction Scour (m):	
Channel:	2.16

▶ PF#2인 경우

■ Hydraulic Design

Scour at Bridges River=suyoung Reach= ochan RS = 9 BR

□ Contraction Scour

Not computed

□ Pier Scour

All Piers:	Ys (m): 2.57
	Froude #: 0.24
	Equation: CSU equation

□ Abutment Scour

	Left	Right
Abutment Ys (m):	21.76	21.76
Ve=	1.75	1.75
Froude #:	0.16	0.16
Equation:	Froehlich	Froehlich

▶ PF#3인 경우

■ Hydraulic Design

Scour at Bridges River=suyoung Reach= ochan RS = 9 BR

□ Contraction Scour

	Left	Channel	Right
Ys (m):	0.33	1.82	0.33
Vc (m/s):	0.87	1.00	0.87
Equation:	Clear-bed	Live-bed	Clear-Water

□ Pier Scour

All Piers:	Ys (m):	2.96
	Froude #:	0.29
	Equation:	CSU equation

□ Abutment Scour

	Left	Right
Abutment Ys (m):	34.72	34.71
Ve=	2.70	2.70
Froude #:	0.19	0.19
Equation:	Froehlich	Froehlich

□ Combined Scour Depths

Pier Scour + Contraction Scour (m):

Channel: 4.78

Left abut + contr (m): 35.05

Right abut + contr (m): 35.04

5. 세굴심 평가를 위한 입력 순서

PF#1(Q= 70 m^3/s), PF#2(Q= 300 m^3/s), PF#3(Q= 500 m^3/s) 대한 세굴 평가 입력방법은 동일하므로 PF#1의 경우만 예를 들어본다.

5.1 Calibrate 된 교량 File을 불러 들인다.

▶ PF#1(Q= 70 m^3/s) 의 경우

1. 기존의 교량 Data File 수정

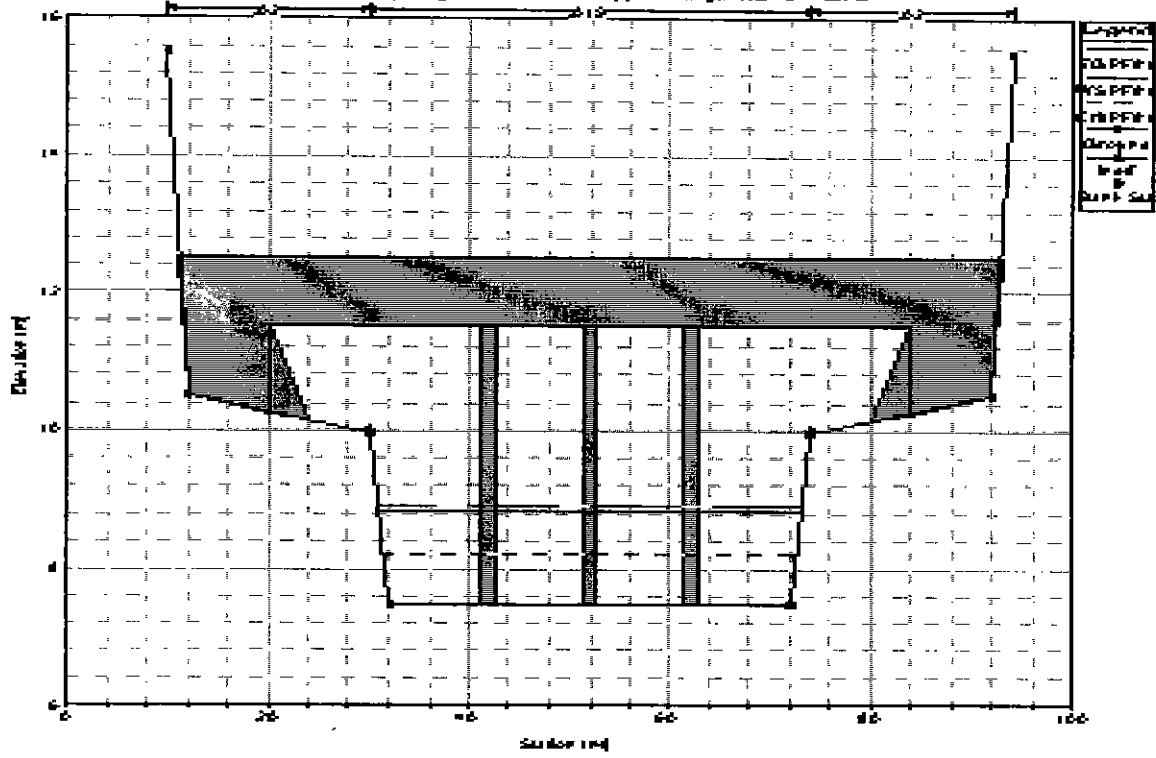
- HEC-RAS 창의 Simulate에서 **Steady Flow Analysis**를 선택
- Option의 **Flow Distribution Location**을 선택하여 하천의 모든 단면을 세분한다.
- **COMPUTE**를 선택하여 유량분포 계산.

2. HEC-RAS 창의 Simulate에서 Hydraulic Design Functions를 선택

- 단면 수축 세굴
 - D50=0.002m를 입력
 - → K1 아이콘을 선택
- 교각에서 국부세굴
 - 흐름에 대한 교각의 각도에 0도를 입력
 - D90=0.0024m 입력
- 교대벽에서의 국부 세굴
 - 모든 변수들은 HEC-RAS 출력 file로부터 자동적으로 얻어 진다.
 - 입력할 DATA가 필요 없다

3 **COMPUTE**를 선택하여 세굴심을 계산.

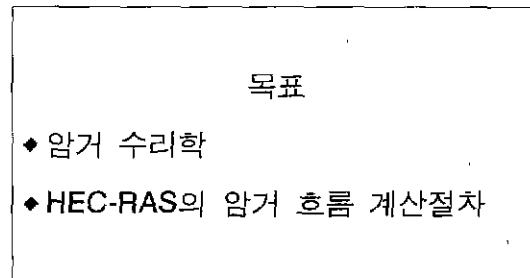
Будинковий План 01
 Реконструкція Рухомого електричного Різця БР 0



Session V

암거

Session V 암거



1. 일반

- HEC-RAS는 세 구간으로 나누어 암거의 에너지 손실을 계산한다 (교량과 동일):

흐름이 확장되는 하류

암거자체

흐름이 축소되는 상류

- HEC-RAS가 처리할 수 있는 암거 상황

단일의 여러 형태의 암거들

다수의 동일한 형태의 암거들

다수의 여러 형태의 암거들

- 암거 흐름의 종류:

유입구 제어: 유입구의 통수능 < 암거 통로/유출구의 통수능

유출구 제어: 유입구의 통수능 > 암거 통로/유출구의 통수능

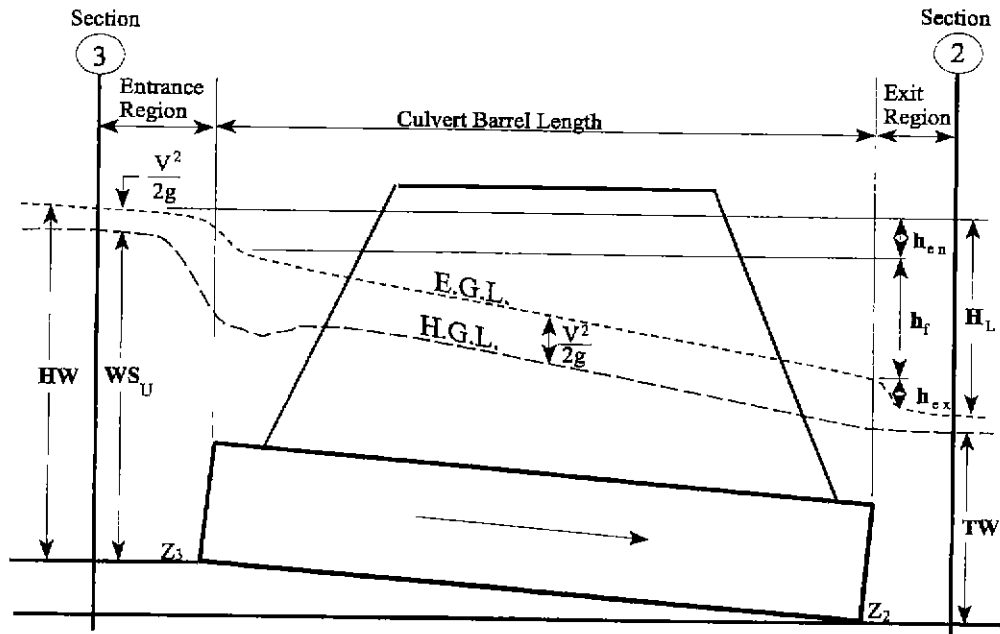


Figure 5.1 Full flowing culvert with energy and hydraulic grade lines

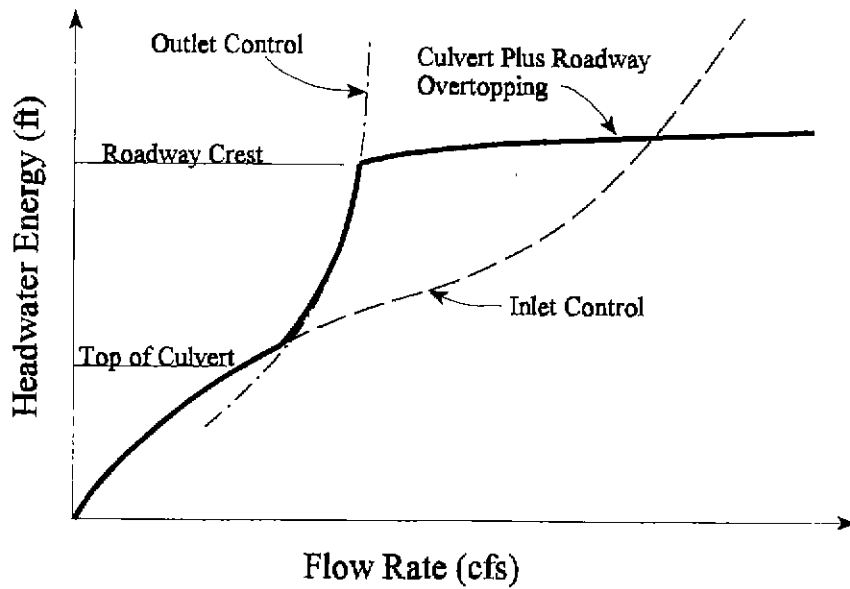


Figure 5.2 Culvert performance curve with roadway overtopping

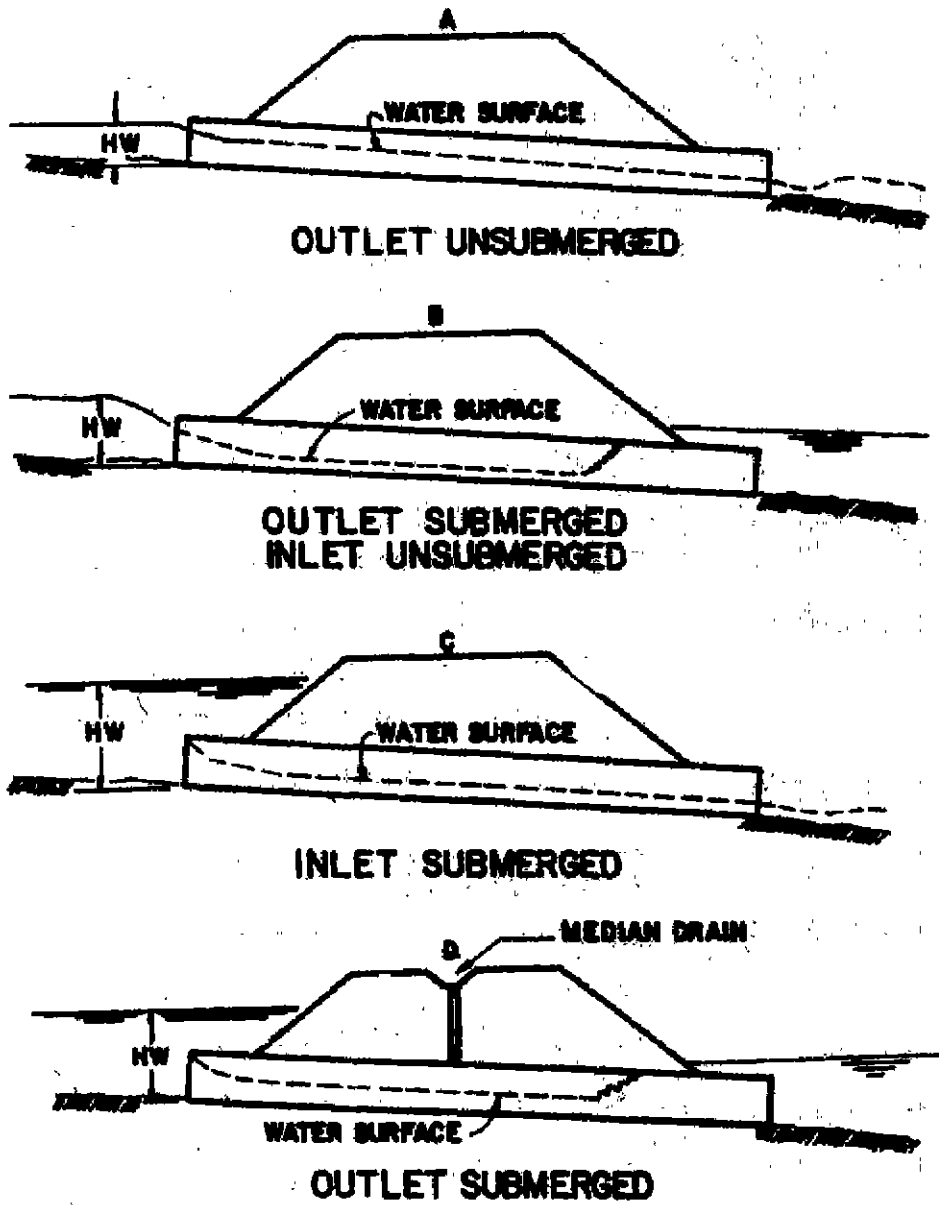


Figure 5.3 Types of inlet control. (a) Outlet unsubmerged; (b) outlet submerged, inlet unsubmerged; (c) inlet submerged; (d) outlet submerged.

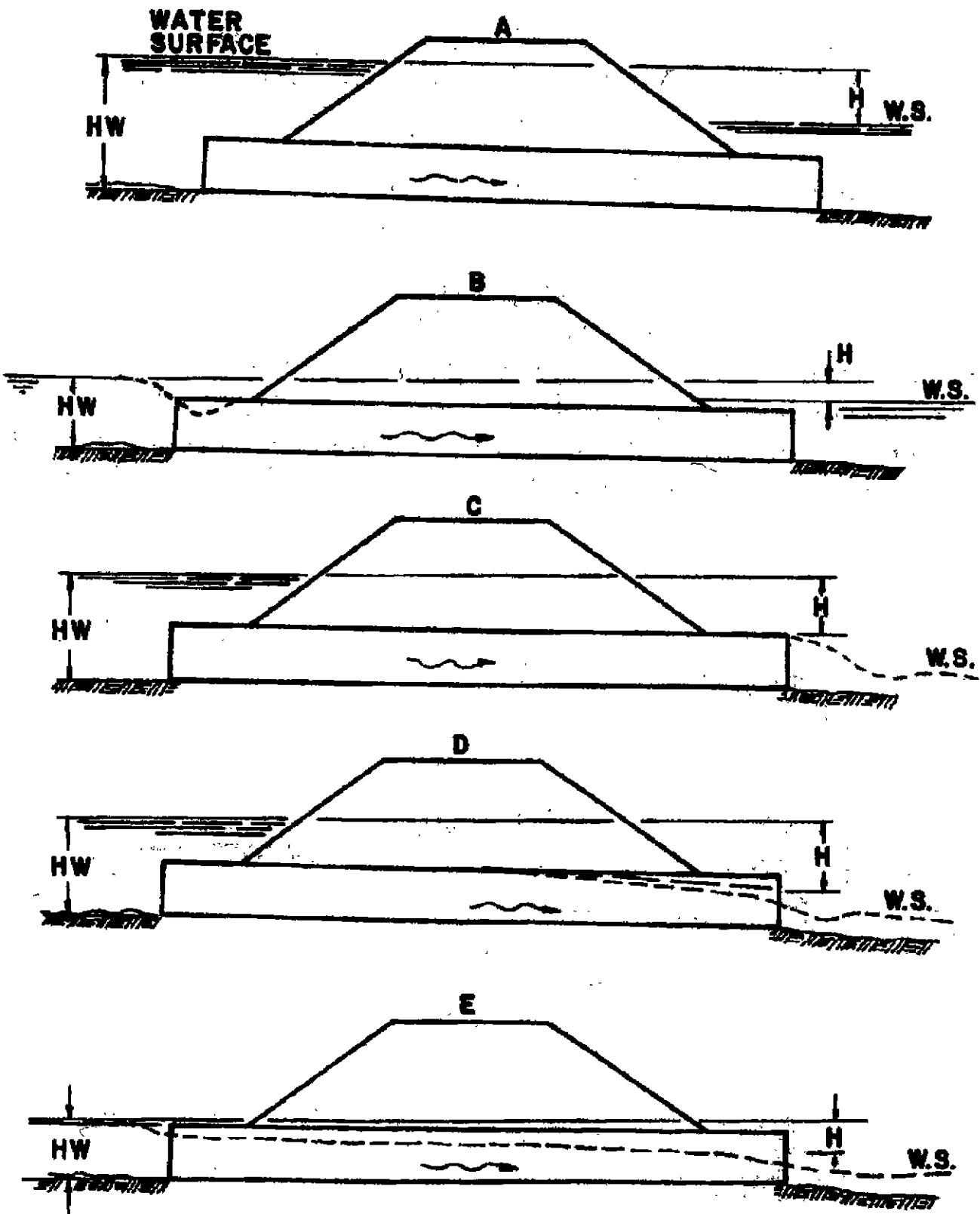


Figure 5.4 Types of outlet control.

1.1 암거의 형태

■ HEC-RAS는 다음의 8가지 형태의 암거를 다룰 수 있다.

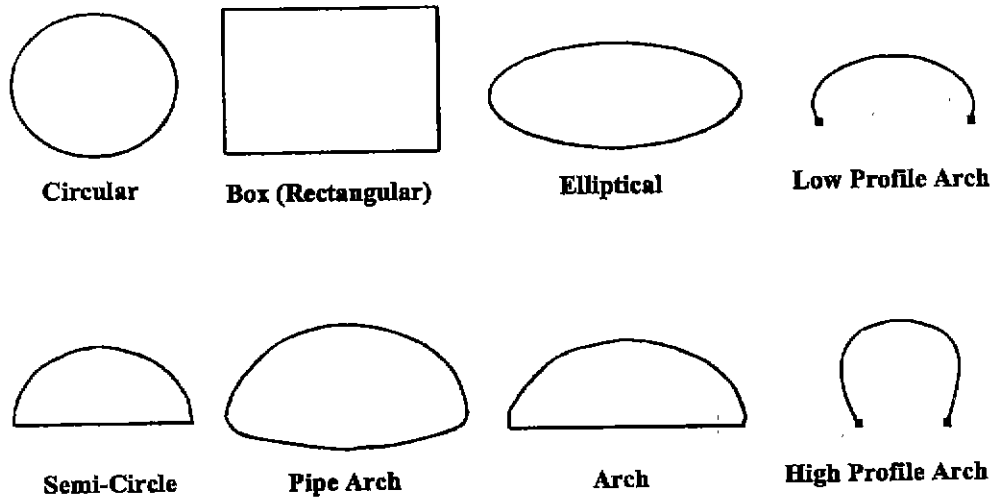


Figure 5.5 Commonly used culvert shapes

1.2 횡단면 위치

■ 교량에서의 경우와 동일

1.3 확대 축소 손실계수

Table 5.1
Subcritical Flow Contraction and Expansion Coefficients

	Contraction	Expansion
No transition loss computed	0.0	0.0
Gradual transitions	0.1	0.3
Typical Bridge sections	0.3	0.5
Abrupt transitions	0.6	0.8

1.4 HEC-RAS 암거 루틴의 적용한계

- 각각의 암거에 대하여 다음의 제약조건을 가지고 있다.

- 짧은 길이
- 일정한 형태
- 일정 유량
- 일정 경사
- 일정 조도

2. 암거 수리학

2.1 암거 흐름 종류 판정 방법

- 유출구제어와 유입구제어의 두 가지 흐름을 가정하여 상류측 에너지를 계산한다.
- 일반적으로 더 높은 상류측 에너지가 결과된 흐름이 암거 흐름을 지배한다.
- 유입구 제어 가정으로 계산된 상류측 에너지가 높은 경우 다음의 절차를 거쳐 흐름의 종류를 판정한다.

만약 암거에서 low flow가 지속된다면, 유입구 제어 흐름으로 판정된다.

만약 암거에서 도수가 발생하여 흐름이 암거를 꽉 채운다면 유출구 제어 흐름으로 판정된다.

2.2 유입구 제어 흐름의 계산

- 두 종류의 흐름

- 침수된 유입구

- 침수되지 않은 유입구

- 유입구 제어 흐름은 미 연방고속도로국의 표준방정식(실험식)으로 계산된다.

침수되지 않은 유입구 :

$$\frac{HW_i}{D} = \frac{H_c}{D} + K \left[\frac{Q}{AD^{0.5}} \right]^M - 0.5S$$

$$\frac{HW_i}{D} = K \left[\frac{Q}{AD^{0.5}} \right]^M$$

침수된 유입구 :

$$\frac{HW_i}{D} = c \left[\frac{Q}{AD^{0.5}} \right]^2 + Y - 0.5S$$

여기서,

- HW_i = Headwater energy depth above the invert of the culvert inlet, ft.
- D = Interior height of the culvert barrel, ft.
- H_c = Specific head at critical depth($d_c + V_c^2/2g$), ft.
- Q = Discharge through the culvert, cfs.
- A = Full cross sectional area of the culvert varrel, ft².
- S = Culvert barrel slope, ft/ft.
- K,M,c,Y = Equation constants, which vary depending on culvert shape and entrance conditions.

- FHWA 암거 계산 절차는 암거경사 0.02에 대하여 개발되었다.
- HEC-RAS는 유입구 제어 암거 흐름 계산시에 임의의 경사를 고려할 수 있다.
- FHWA 차트 번호와 스케일 번호(표 5.2)가 필요하다.

**Table 5.2
FHWA Chart and Scale Numbers for Culverts**

Chart Number	Scale Number	Description
1		Concrete Pipe Culvert
	1	Square edge entrance with headwall (See Figure 6.10)
	2	Groove end entrance with headwall (See Figure 6.10)
	3	Groove end entrance, pipe projecting from fill (See Figure 6.12)
2		Corrugated Metal Pipe Culvert
	1	Headwall (See Figure 6.10)
	2	Mitered to conform to slope (See Figure 6.11)
	3	Pipe projecting from fill (See Figure 6.12)
3		Concrete Pipe Culvert; Beveled Ring Entrance (See Figure 6.13)
	1(A) 2(B)	Small bevel: $b/D = 0.042$; $a/D = 0.063$; $c/D = 0.042$; $d/D = 0.083$ Large bevel: $b/D = 0.083$; $a/D = 0.125$; $c/D = 0.042$; $d/D = 0.125$
8		Box Culvert with Flared Wingwalls (See Figure 6.14)
	1	Wingwalls flared 30 to 75 degrees
	2	Wingwalls flared 90 or 15 degrees
	3	Wingwalls flared 0 degrees (sides extended straight)
9		Box Culvert with Flared Wingwalls and Inlet Top Edge Bevel (See Figure 6.15)
	1	Wingwall flared 45 degrees; inlet top edge bevel = $0.43D$
	2	Wingwall flared 18 to 33.7 degrees; inlet top edge bevel = $0.083D$
10		Box Culvert; 90-degree Headwall; Chamfered or Beveled Inlet Edges (See Figure 6.16)
	1	Inlet edges chamfered 3/4-inch
	2	Inlet edges beveled 1/2-in/ft at 45 degrees (1:1)
	3	Inlet edges beveled 1-in/ft at 33.7 degrees (1:1.5)
11		Box Culvert; Skewed Headwall; Chamfered or Beveled Inlet Edges (See Figure 6.17)
	1	Headwall skewed 45 degrees; inlet edges chamfered 3/4-inch
	2	Headwall skewed 30 degrees; inlet edges chamfered 3/4-inch
	3	Headwall skewed 15 degrees; inlet edges chamfered 3/4-inch
	4	Headwall skewed 10 to 45 degrees; inlet edges beveled
12		Box Culvert; Non-Offset Flared Wingwalls; 3/4-inch Chamfer at Top of Inlet (See Figure 6.18)
	1	Wingwalls flared 45 degrees (1:1); inlet not skewed
	2	Wingwalls flared 18.4 degrees (3:1); inlet not skewed
	3	Wingwalls flared 18.4 degrees (3:1); inlet skewed 30 degrees
13		Box Culvert; Offset Flared Wingwalls; Beveled Edge at Top of Inlet (See Figure 6.19)
	1	Wingwalls flared 45 degrees (1:1); inlet top edge bevel = $0.042D$
	2	Wingwalls flared 33.7 degrees (1.5:1); inlet top edge bevel = $0.083D$
	3	Wingwalls flared 18.4 degrees (3:1); inlet top edge bevel = $0.083D$
16-19		Corrugated Metal Box Culvert
	1	90 degree headwall
	2	Thick wall Projecting
	3	Thin wall projecting
29		Horizontal Ellipse; Concrete
	1	Square edge with headwall
	2	Grooved end with headwall
	3	Grooved end projecting
30		Vertical Ellipse; Concrete
	1	Square edge with headwall
	2	Grooved end with headwall
	3	Grooved end projecting
34		Pipe Arch; 18" Corner Radius; Corrugated Metal

**Table 5.2
FHWA Chart and Scale Numbers for Culverts**

Chart Number	Scale Number	Description
1		Concrete Pipe Culvert

Table 5.2 (Continued)
FHWA Chart and Scale Numbers for Culverts

Chart Number	Scale Number	Description
35	1	Projecting
	2	No bevels
	3	33.7 degree bevels
36	1	Projecting
	2	No bevels
	3	33.7 degree bevels
41-43	1	Arch; low-profile arch; high-profile arch; semi circle; Corrugated Metal
	2	90 degree headwall
	3	Mitred to slope Thin wall projecting
55	1	Smooth tapered inlet throat
	2	Rough tapered inlet throat
56	1	Elliptical Inlet Face
	2	Tapered inlet; Beveled edges
	3	Tapered inlet; Square edges Tapered inlet; Thin edge projecting
57	1	Rectangular
	2	Tapered inlet throat
58	1	Rectangular Concrete
	2	Side tapered; Less favorable edges Side tapered; More favorable edges
59	1	Rectangular Concrete
	2	Slope tapered; Less favorable edges Slope tapered; More favorable edges

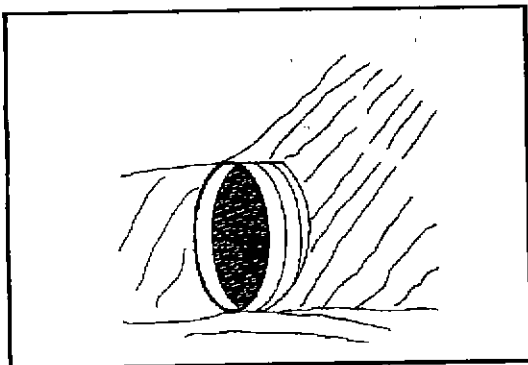


Figure 5.6
Culvert Inlet Projecting from Fill

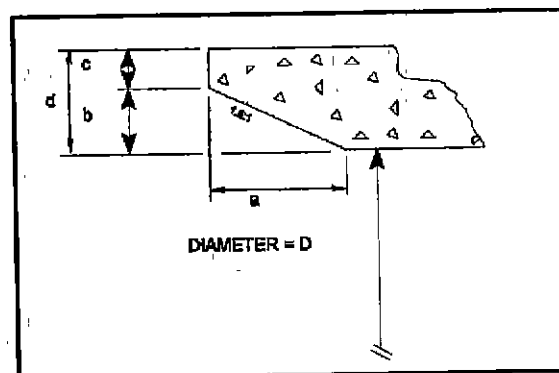
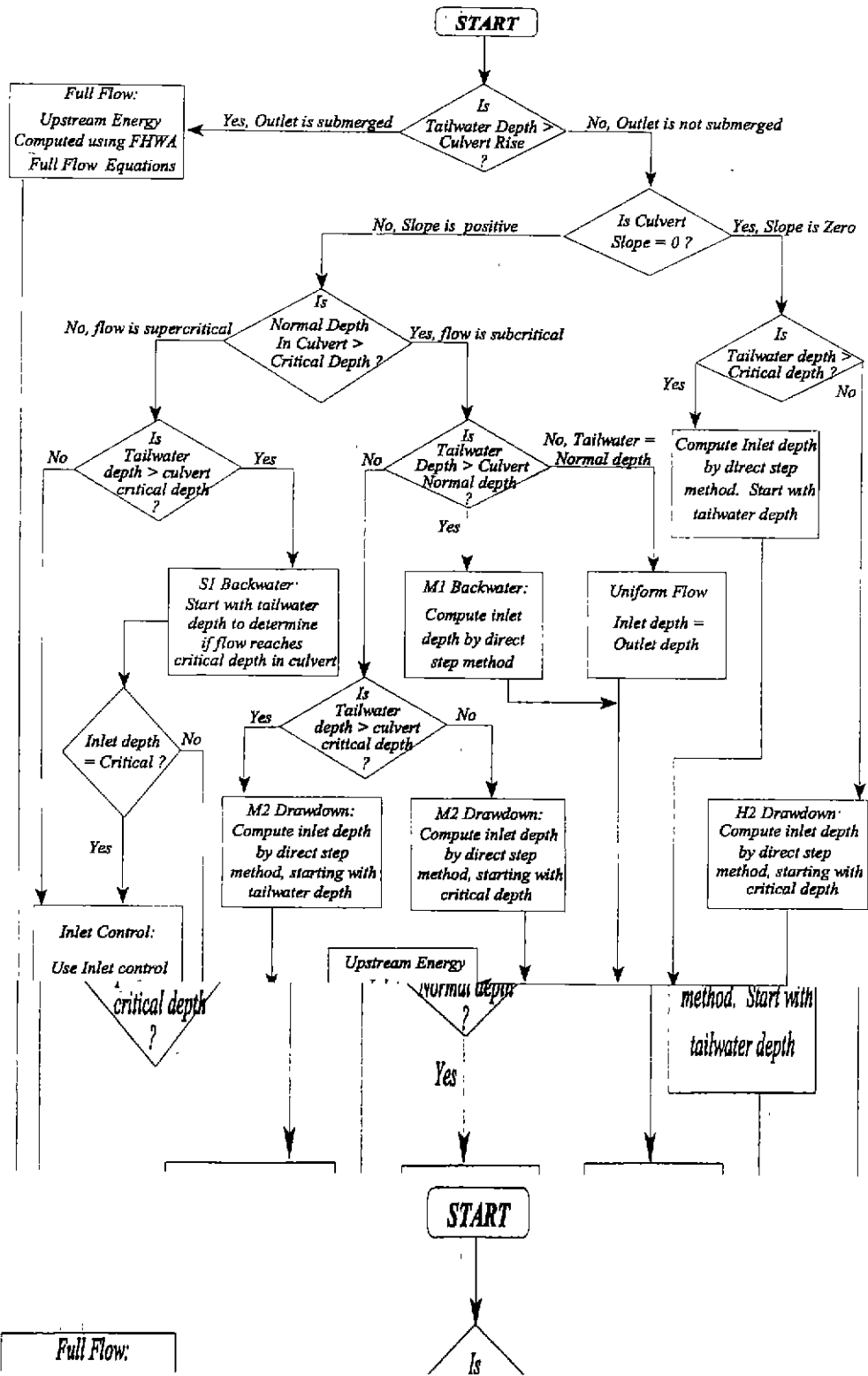


Figure 5.7
Culvert Inlet with Beveled Ring Entrance



2.3 유출구 제어 흐름의 계산

- 유출구 제어 흐름은 에너지 방정식으로 계산된다.
- 고려되는 손실:
 - 입구손실
 - 암거 마찰 손실
 - 출구 손실
- 계산 방법 판정 절차: 그림 5.8

1) 계산 방법

(i) FHWA Full Flow 방정식

$$H_L = h_{en} + h_f + h_{ex}$$

(ii) 직접축차법(Direct Step Method; 암거의 일부만 차서 흐를 때)

- 어떤 반복도 요구되지 않는다.
 - 수면이 암거의 최상부에 접해 있다면, 암거 나머지의 흐름은 완전히 파악서 흐른다고 가정된다.
 - 직접축차법의 첫 번째 단계는 출구 손실을 계산하고 암거의 하류부 끝에서의 시작 수면 높이를 정한다.
 - 하류수 수면이 암거의 한계수심보다 낮다면, 그때 암거에서의 시작 조건은 한계수심으로 가정된다.
 - 하류수 수면이 높다면, 그때 에너지 평형은 하류수 수면에서 암거안까지 행해진다.
 - 두 번째 단계는 암거 입구까지의 직접축차 계산을 완성시키는 것이다.
 - 마지막 단계는 상류측 에너지를 얻기 위해서 입구 손실을 합한다.
- #### (iii) 암거에서의 등류 수심
- Manning의 식
- #### (iv) 한계 수심
- $Fr = 1$
- #### (v) 수평 경사와 역 경사
- 어떤 등류 수심도 없다.

(vi) 웨어 흐름

-HEC-RAS는 모든 흐름이 암거를 통해 흐른다고 가정한다.

-계산된 상류측 에너지가 웨어 흐름을 발생시키는 최소 표고와 비교한다.

-상류측 에너지가 최소 웨어 흐름 표고보다 크다면, 웨어흐름과 암거흐름의 비율은 반복적으로 계산된다.

-반복법의 기준: 웨어흐름과 암거흐름이 동일한 상류측 에너지를 가질 때까지 반복한다.

(vii) 사류

3. 암거 계산에 필요한 입력자료

암거 형태와 직경, 길이

암거의 수

조도계수

입구/출구 손실 계수

미 연방고속도로국(FHWA) 차트와 스케일 번호

암거 최저부 표고

웨어흐름 계수

예제 5: 암거

- ▶ 목표 : - 암거 단면 입력 방법
 - 유효 흐름 지역 정의
 - 흐름상태에 대한 분석
 - 출력 검토

- ▶ 상황 : 다음의 암거가 설치된 수로에서 유량이 $70\text{m}^3/\text{s}$, $250\text{m}^3/\text{s}$, $290\text{m}^3/\text{s}$ 일 때 부등류 해석을 수행하시오.

1. 하천 제원

1.1 일 반

- 예제 2-1의 하천 제원을 사용한다.

2. 흐름 관련 자료

- n값, 축소, 확장 계수등은 예제 2-1번과 동일하다.

3. 전산 해석 관련 자료

3-1. 경계 조건 (Boundary Conditions)

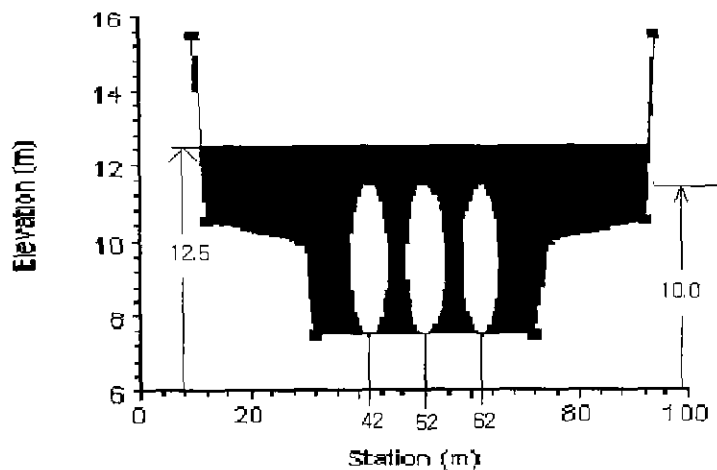
River	Reach	Profile	Upstream	Downstream
SUYOUNG	ONCHEN	PF#1		Normal Depth S = 0.00025
SUYOUNG	ONCHEN	PF#2		Normal Depth S = 0.00025
SUYOUNG	ONCHEN	PF#3		Normal Depth S = 0.00025

3-2. 계산 흐름 영역 (Computational Flow Regime) : Subcritical Flow

4. 암거 제원

4-1. 일 반

- 암거의 위치는 상류에서 2,172m 떨어진 지점에 위치한다.
- 암거의 길이는 10m이다.
- 암거의 Span=7m, Rise=4m의 타원형(Ellipse)이다.
- 암거의 경사는 0.0056이고, 조도계수는 0.04이다.
- 암거의 횡단면도는 다음과 같다.



5. 암거 해석을 위한 자료 입력 절차

5.1 HEC-RAS의 시작창에서 Geometric Data 창을 연다.

5.2 암거의 위치 지정

- **Geometric Data** → **Bridge/Culvert** → **Options**에서
Add a Bridge and/or Culvert ... 선택하여 암거 **Station** 입력

5.3 암거에 필요한 정보 입력

- **Bridge/Culvert** → **Culvert** 선택
 - 암거해석 기준(**Solution Criteria**)을 결정하고 암거의 모양 등, 필요한 정보 입력
 - **Centerline Stations**에서는 암거의 중앙 위치를 선택하여 기입한다.
- **Bridge/Culvert** → **Deck/Roadway** 창에서 필요한 정보 입력
→ **Bridge Modeling Approach** 창에서 계산 방법 결정
(예제에서는 **Energy(Standard Step)** 방법을 사용)

5.4 암거를 위한 4개 단면 설정

- **Cross Section** → **Options menu** → **ineffective Flow Areas**
(station No. 9.4와 No. 8.2)를 기입

5.5 필요한 정보저장

- **Geometric Data** → **File menu** → **Save Geometric Data**를
선택하여 앞의 모든 정보를 저장한다.

5.6 HEC-RAS 시작창에서

- **Edit** → **Steady Flow Data**를 선택하여 **Profile** 수를 결정하여
각각 기입 → **Reach Boundary Conditions** → **Normal Depth**
를 선택하여 **S=0.00025**를 기입한다.

5.7 HEC-RAS 시작창에서

- Simulate → Steady Flow Analysis → Options → Critical Depth Output Options ... → Critical Always Calculated "√" 를 표시하고 COMPUTE 단추를 누른다.

5.8 결과보기

- HEC-RAS 시작창에서 View와 Options 창을 열어 자신이 기입한 Data가 어떻게 나왔는지 분석한다.

Plan: Plan 01	River: suyoung	Reach: ochan	Riv Sta: 9	Profile: PF#3	Culvert ID: Culvert #1	Culvert
Culvert Area (m ²)		94.70				4.52
# Barrels		1				5.07
Culvert Vel (m/s)		94.70				7.45
Upstream Invert (m)		12.64				7.45
Downstream Invert (m)		12.58				0.19
Water Surface Elev. (m)		1.80				1.08
Water Depth (m)		1.96				0.52
Upstream Water Depth (m)		12.54				5.89
Downstream Water Depth (m)		12.64				11.14
Culvert Control		Outlet				92.86
Culvert Water Surface Elev. (m)		11.08				0.00
Culvert Water Depth (m)		10.62				0.14
Culvert Normal Depth (m)						0.14
Culvert Critical Depth (m)		3.00				11.10
Culvert Full Depth (m)						12.50

Errors, Warnings and Notes

Select Profile

- Simulate → Steady Flow Analysis → Options → Critical Depth Output Options ... → Critical Always Calculated "✓" 를 표시하고 COMPUTE 단추를 누른다.

5.8 결과보기

- HEC-RAS 시작창에서 View와 Options 창을 열어 자신이 기입한 Data가 어떻게 나왔는지 분석한다.

The screenshot shows the 'Culvert Output' window in HEC-RAS. The window title is 'Culvert Output'. At the top, there are fields for 'River: suyong', 'Profile: PF#3', and 'Culvert ID: Culvert #1'. Below these are 'Reach: ochan' and 'Riv Sta: 94.70'. The main data table is as follows:

Plan: Plan 01	River: suyong	Reach: ochan	Riv Sta: 94.70	Profile: PF#3	Culvert ID: Culvert #1	Culv.	
Culv. Q (m ³ /s)			94.70			Culv Vel In (m/s)	4.52
# Bands			1			Culv Vel Out (m/s)	5.07
Culv. Inlet (m)			94.70			Culv. Inlet Elev (m)	7.45
Culv. Inlet (m)			12.64			Culv. Inlet Elev (m)	7.45
Water Depth (m)			12.58			Culv. Friction Loss (m)	0.19
Water Depth (m)			1.80			Culv. Exit Loss (m)	1.06
Water Depth (m)			1.96			Culv. Exit Loss (m)	0.52
Water Depth (m)			12.54			Culv. Exit Loss (m)	5.89
Water Depth (m)			12.64			Water Surface (m)	11.14
Culvert Diameter			Outlet			Water Surface (m)	92.86
Culv. Inlet (m)			11.08			Water Submerged	0.00
Culv. Inlet (m)			10.62			Water Max Depth (m)	0.14
Culv. Inlet Depth (m)						Water Avg Depth (m)	0.14
Culv. Exit Depth (m)			3.00			Water Area (m ²)	11.10
Culv. Exit Depth (m)						Minimum Depth (m)	12.50

Below the table is a section for 'Errors, Warnings and Notes' which is currently empty. At the bottom, there is a 'Select Profile:' dropdown menu.

■ Profile table

Frame Output Table - Standing Table 1

HEC-RAS Plan View 01 River summary Ready (ok)

Reach	Reach Sta	Q (cfs)	Water Elev (ft)	Wetted Perim (ft)	Area (sq ft)	Vel (ft/s)	Depth (ft)	Friction Slope (ft/ft)	Ad. Frict. (ft/s)	Down Frict. (ft/s)	Drag (ft)	Wetted Area (sq ft)
Station 20	70.00	8.00	9.99	9.07	10.14	0.000315	1.69	41.45	21.59	0.39		
	250.00	8.00	12.26	10.47	12.54	0.000246	2.45	118.68	40.50	0.38		
	290.00	8.00	12.68	10.81	12.97	0.000227	2.51	136.93	40.67	0.38		
Station 21	70.00	7.95	9.93	9.02	10.08	0.000322	1.70	41.15	21.58	0.39		
	250.00	7.95	12.21	10.41	12.49	0.000246	2.45	118.76	40.50	0.38		
	290.00	7.95	12.64	10.75	12.93	0.000226	2.51	136.19	40.67	0.37		
Station 22	70.00	7.90	9.86	8.97	10.01	0.000333	1.72	40.71	21.57	0.40		
	250.00	7.90	12.15	10.36	12.44	0.000245	2.45	118.77	40.50	0.38		
	290.00	7.90	12.60	10.70	12.88	0.000225	2.51	136.38	40.68	0.37		
Station 23	70.00	7.85	9.79	8.91	9.94	0.000344	1.74	40.29	21.55	0.41		
	250.00	7.85	12.11	10.31	12.39	0.000246	2.45	118.81	40.50	0.38		
	290.00	7.85	12.55	10.65	12.84	0.000224	2.50	136.63	40.68	0.37		
Station 24	70.00	7.80	9.71	8.87	9.87	0.000359	1.75	39.73	21.53	0.41		
	250.00	7.80	12.05	10.26	12.34	0.000245	2.45	118.67	40.50	0.38		
	290.00	7.80	12.51	10.60	12.79	0.000223	2.50	136.88	40.68	0.37		
Station 25	70.00	7.75	9.71	8.65	9.80	0.000188	1.32	52.95	28.04	0.31		
	250.00	7.75	12.12	9.83	12.27	0.000125	1.83	159.89	52.71	0.28		
	290.00	7.75	12.56	10.94	12.72	0.000114	1.87	183.58	52.94	0.28		
Station 26	70.00	7.70	9.71	8.48	9.75	0.000112	1.05	66.78	34.57	0.24		
	250.00	7.70	12.14	9.51	12.23	0.000078	1.46	201.51	64.92	0.22		
	290.00	7.70	12.59	9.70	12.69	0.000068	1.49	230.80	65.21	0.22		
Station 27	70.00	7.65	9.70	8.35	9.74	0.000072	0.86	81.09	41.12	0.20		
	250.00	7.65	12.15	9.27	12.21	0.000049	1.20	243.79	77.14	0.18		
	290.00	7.65	12.60	9.44	12.67	0.000045	1.23	278.71	77.48	0.18		
Station 28	70.00	7.60	9.68	8.27	9.72	0.000061	0.80	87.18	43.34	0.18		
	250.00	7.60	12.14	9.16	12.20	0.000042	1.13	250.43	81.23	0.17		
	290.00	7.60	12.60	9.32	12.66	0.000038	1.16	297.27	81.60	0.17		
Station 29	70.00	7.55	9.68	8.22	9.71	0.000057	0.79	88.82	43.41	0.18		
	250.00	7.55	12.14	9.11	12.19	0.000041	1.12	263.93	81.27	0.17		
	290.00	7.55	12.60	9.28	12.65	0.000037	1.15	310.81	81.64	0.17		

Session VI

HEC-2와 HEC-RAS

Session VI HEC-2와 HEC-RAS의 차이점

목표

- ◆ HEC-2와 HEC-RAS의 공통점과 차이점
- ◆ HEC-RAS의 새로운 기능

HEC-RAS는 HEC-2의 거의 모든 기능을 포함한다.

1. HEC-RAS가 인식하지 못하는 HEC-2의 입력자료

SF : 흐름 분리(split flow)

NV: 연직방향 조도계수의 변화

J1 :홍수위로부터 조도계수의 산정

AC: Archive

C,*: 메모

FR : Free format

J4 : Storage outflow for HEC-1

HEC-2 입력자료에 위 자료가 포함되어 있으면 이들은 무시되고 나머지 자료들만이 HEC-RAS 자료로 변환된다.

2. HEC-2와 HEC-RAS의 계산 방법의 차이

2.1 총 통수능 계산

- HEC-2 : 사용자가 입력한 횡단면 좌표사이의 구간에 대한 부분 통수능(K)을 합산
문제점: 동일한 하천단면에서 입력 좌표수에 따라 통수능이 다르게 계산된다.

- HEC-RAS : 사용자 입력 횡단 좌표의 갯수에 관계없이 조도계수가 일정한 구간에 대한 부분 통수능을 합산
⇒ 그림 6.1과 6.2

- 직사각형 수로의 경우

$$\frac{K_{\infty}}{K_1} = \left(1 + \frac{2y}{B}\right)^{2/3}$$

광폭수로: $y/B \approx 0 \rightarrow K_{\infty} = K_1$

협폭수로: $y/B > 0 \rightarrow K_{\infty} > K_1$

2.2 한계수심의 계산

- HEC-2 :포물선 방법(parabolic method);허용오차 0.025y

단점: 국부 최소치들이 있는 경우 진짜 최소치를 찾을 가능성이 없다.

- HEC-RAS :포물선 방법과 secant 방법, 허용오차 0.01ft

secant 방법은 3개까지의 국부 최소치를 찾아내어 최소치를 결정한다.

3. 교량수리계산

HEC-2 :특별교량(SB)방법 과 보통교량(Normal bridge)방법

HEC-RAS :다양한 해석 방법

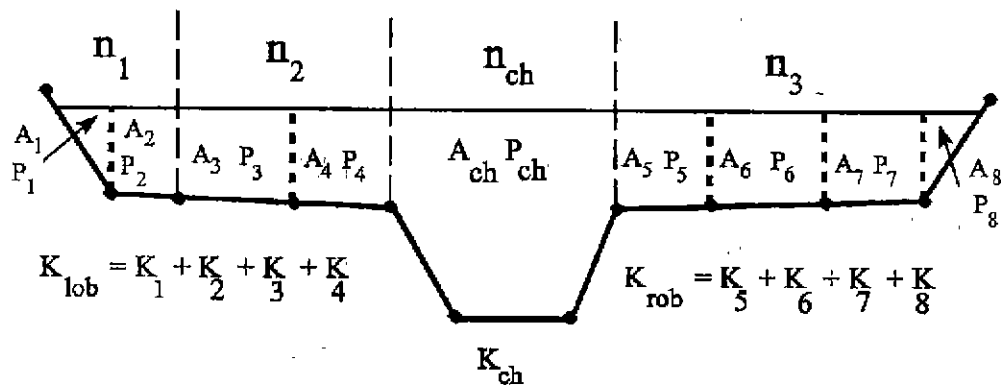


Figure 6.1 Alternative Conveyance Subdivision Method (HEC-2 style)

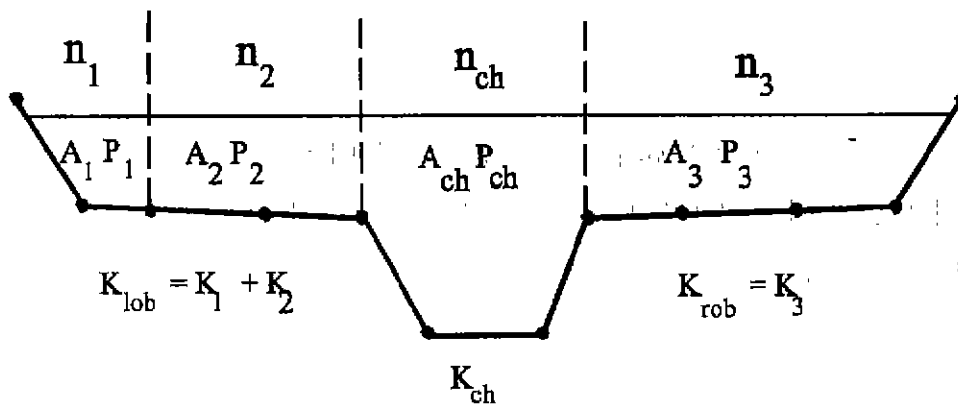


Figure 6.2 HEC-RAS Default Conveyance Subdivision

3.1 HEC-2 Special Bridge 방법

	HEC-2	HEC-RAS	비고
Low Flow의 경우 흐름 단면	사다리꼴로 가정	실제 단면 사용	
Low Flow의 경우 교각	하나의 등가 교각을 사용	실제 교각을 사용	
Pressure Flow의 경우 흐름 단면적	사용자 입력자료	HEC-RAS 자체 계산	
Pressure Flow의 경우	교량의 상하류 모두 침수의 한 가지 경우	상하류 혹은 상류만 침수의 두 가지 경우	
교량 상판의 저면	입력이 필요 없음	입력이 필요함	

3.2 HEC-2 Normal Bridge 방법

HEC-2는 low flow와 high flow의 경우 자동적으로 에너지 방법을 선택한다. HEC-RAS의 에너지 방법은 HEC-2의 Normal bridge 방법과 동등하므로 별 문제가 없다. 단지 다음에 대한 검토가 필요하다.

- HEC-RAS에서 운동량이나 Yarnell 방법을 선택하면 교각자료를 HEC-2의 BT/GR card에서 삭제하고 HEC-RAS에서 별도로 입력해야 한다.
- HEC-2 Normal bridge 방법은 6개의 단면을, HEC-RAS는 4개의 단면을 사용한다.
- HEC-2에서는 BT의 횡단좌표가 GR의 횡단좌표와 일치되어야 한다.
HEC-RAS에서는 일치되지 않아도 된다.

4. 암거수리 계산

HEC-2와 HEC-RAS 모두 미 연방고속도로국의 암거식을 사용한다. 두 프로그램사이의

차이는

	HEC-2	HEC-RAS
단면 형태	Box형 혹은 원형	총 8가지 형태
다수의 암거	동일 형태와 크기	다양한 형태와 크기

5. HEC-RAS의 새로운 기능

- 혼합흐름: 한번의 모델링으로 가능.
HEC-2에서는 2번의 모델링으로 가능
- 한 단면에서 다수의 교량과 암거의 처리 가능.
- 운동량 방법에서 마찰력과 증력성분의 고려 가능
- 단일하천, 수지상 하천망, 고리형 하천망을 처리 가능.
HEC-2는 단일하천과 3차까지의 지류만 가능.
- 합류점에서 에너지 방법이나, 운동량방법 사용가능
HEC-2는 에너지 방법만 사용가능.
- 사수역을 다루는 다양한 방법들:
 - Blocked ineffective flow area
 - Normal ineffective flow area
 - blocked obstructions
 - 제방
- 횡단면 정의 좌표의 수:
 - HEC-RAS: 500
 - HEC-2:100
- 단면보간: 더욱 융통성있는 보간 방법

6. 예제: HEC-2 입력 자료의 변환

6.1 개요

- 실습절차 : HEC-2 입력 및 출력분석 → HEC-RAS로 IMPORT → 비교분석
- 대상하천 : 부산광역시 수영강 하류 (하구~원동교 구간)
- 입력자료 : 하천횡단자료, 홍수량, 기점수위, 조도계수 등

6.2 상황설정

- 6.1의 입력자료로 HEC-2에 의한 수면곡선을 산정하고 HEC-RAS와 비교분석

6.3 HEC-2 입력자료

ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
ED	NO	NO								
T1	THE BASIC PLAN FOR NATURAL CHANNEL IN SU-YOUNG RIVER.									
T2	[Workshop Session #8, condition : present]									
T3	100 YEAR FLOOD, STARTING W.S.: EL. 0.475 M (APP. H.H.W)									
J1	-10	3	0	0	0	1	0	0	0.475	0
J2	-1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0
J3	38	39	43	23	1	24	26	25	4	8
J3	17	33	42							
J5	-10	-10								
QT	2	1410	1620							
NC	0.023	0.023	0.023	0.1	0.3					
X1	1	6	10	710	.0	.0	.0			
X3	10							10	10	
GR	3.76	.0	3.76	10	-9.00	42	-9.00	678	3.76	710
GR	3.76	720								
X1	2	25	50	446.5	400	400	400			
X3	10							10	10	
GR	3.76	.0	3.76	49.5	4.56	49.5	4.56	50.0	3.68	50.0
GR	3.68	53.7	-3.25	64.1	-4.1	93.0	-5.1	107.0	-5.6	132.0
GR	-5.9	170.0	-5.8	200.0	-6.1	221.0	-5.9	263.0	-6.2	280.0
GR	-6.1	295.0	-6.5	332.0	-6.6	360.0	-6.8	380.0	-6.6	390.0
GR	-6.74	429.3	4.72	446.5	4.72	450.5	4.72	451.0	4.66	454.5
NC	0.023	0.023	0.023	0.3	0.5					
X1	3	23	50.0	354.6	500	500	500			
X3	10							8	8	
GR	2.95	.0	2.95	49.5	4.60	49.5	4.60	50.0	1.43	50.0
GR	1.43	52.14	-1.26	56.24	-1.9	113.0	-2.7	132.0	-3.8	156.0
GR	-2.8	182.0	-2.4	216.0	-2.4	233.0	-2.7	246.0	-3.1	273.0
GR	-3.0	304.0	-2.4	322.0	-1.90	344.7	4.6	354.6	4.6	358.6
GR	4.6	359.6	2.7	359.6	2.7	370.0				
X1	4				35.0	35.0	35.0			
X3	10							4.60	4.60	
SB	0.90	1.56	1.5		281.1	9.0	1874.28	2.5	-2.9	-2.9
X1	5				20.0	20.0	20.0			
X2			1	3.60	4.60					
X3	10.0							4.60	4.60	
BT	2	50	4.60	3.60	354.6	4.60	3.60			
NC	0.023	0.023	0.023	0.1	0.3					
X1	6				10.0	10.0	10.0			
X3	10							8	8	
X1	7	22	50.0	329.2	35	35	35			
X3	10							8	8	
GR	2.6	.0	2.6	49.5	3.6	49.5	3.6	50.0	2.45	50.0
GR	2.45	52.74	-1.5	58.7	-2.5	98.0	-2.6	114.0	-2.7	147.0
GR	-2.8	166.0	-2.9	196.0	-3.1	204.0	-2.6	269.0	-2.5	292.0

GR	-1.4	320.0	2.61	325.9	2.61	329.2	4.18	329.2	4.18	330.2
GR	3.18	331.1	3.18	340.0						
X1	8	24	10.0	249	100	100	100			
X3	10							8	8	
GR	2.47	0.0	2.47	9.5	3.47	9.5	3.47	10.0	2.16	10.0
GR	2.16	12.25	-1.24	17.34	-2.0	37.0	-2.30	61.0	-2.6	88.0
GR	-3.6	105.0	-4.1	121.0	-4.1	137.0	-3.7	156.0	-3.3	182.0
GR	-2.7	197.0	-2.3	218.0	-1.96	238.28	2.52	245.0	2.52	249.0
GR	4.18	249.0	4.18	250.0	3.18	250.9	3.18	300		
X1	9	20	10.0	159.0	400	400	400			
X3	10							8	8	
GR	1.8	0	1.8	9.5	4.16	9.5	4.16	10.0	3.57	10.0
GR	3.57	12.0	-1.15	19.07	-2.9	41.0	-3.9	55.0	-3.9	73.0
GR	-4.4	86.0	-4.1	114.0	-3.8	131.0	-2.49	151.36	0.6	156.0
GR	0.6	159.0	1.8	159.0	1.8	159.3	1.1	159.3	1.1	200
NC	0.023	0.023	0.023	0.3	0.5					
X1	10	19	100	250.0	100	100	100			
X3	10							8	8	
GR	3.76	0.0	3.76	100.0	2.03	103.91	0.13	105.44	-3.4	120.0
GR	-3.1	140.0	-4.0	160.0	-4.7	172.0	-4.1	183.0	-4.4	200.0
GR	-4.7	211.0	-3.4	224.0	-3.7	241.40	0.7	248.0	0.7	249.9
GR	3.76	250.0	3.76	250.3	0.6	250.3	0.6	300.0		
X1	11				17.0	17.0	17.0			
X3	10							3.76	3.76	
SB	0.90	1.56	1.5		120	8.0	848.1	2.5	-3.7	-3.7
X1	12				44.0	44.0	44.0			
X2			1	2.76	3.76					
X3	10.0							3.76	3.76	
BT	2	100	3.76	2.76	250	3.76	2.76			
NC	0.023	0.023	0.023	0.1	0.3					
X1	13				10.0	10.0	10.0			
X3	10							8	8	
X1	14	23	100	312	9	9	9			
X3	10							8	8	
GR	2.35	0	2.35	100.0	2.1	102.0	0.8	102.0	0.8	107.0
GR	-2.6	107.0	-2.6	122.0	-2.7	134.0	-2.9	147.0	-2.7	162.0
GR	-3.1	176.0	-3.0	192.0	-2.8	200.0	-2.9	222.0	-3.4	243.0
GR	-2.9	266.0	-2.5	280.0	-2.3	292.0	-2.3	305.0	0.8	305.0
GR	0.8	310.0	3.26	312.0	3.26	350.0				
X1	15	21	100	312	80	80	80			
X3	10							8	8	
GR	2.38	0	2.38	100.0	2.0	101.5	0.8	101.86	0.8	107.0
GR	-1.9	107.0	-1.9	118.0	-2.2	133.0	-2.3	152.0	-2.7	172.0
GR	-3.2	191.0	-3.0	208.0	-2.5	232.0	-2.5	252.0	-2.2	273.0
GR	-2.0	293.0	-2.0	303.0	0.8	303.0	0.8	311.0	3.61	312.0
GR	3.61	350.0								
X1	16	23	100	310	80	80	80			
X3	10							8	8	
GR	2.39	0	2.39	100.0	2.1	101.5	0.8	101.89	0.8	106.5
GR	-2.6	106.5	-2.6	111.0	-2.8	122.0	-3.2	138.0	-2.6	151.0
GR	-2.7	171.0	-2.4	190.0	-2.2	206.0	-2.7	227.0	-2.8	243.0
GR	-2.6	258.0	-2.5	272.0	-2.9	296.0	-2.3	300.0	0.87	300.0
GR	0.87	300.7	3.82	310.0	3.82	350.0				
EJ										

ER

6.4 HEC-2 출력자료

```

1*****
= HEC-2 WATER SURFACE PROFILES          *
=                                         *
= Version 4.6.2, May 1991                *
=                                         *
= RUN DATE 10JAN00 TIME 10 22 28       *
*****
*****
= U S ARMY CORPS OF ENGINEERS          *
= HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER        *
= 609 SECOND STREET, SUITE D           *
= DAVIS, CALIFORNIA 95616-4687        *
= (916) 756-1104                       *
*****

```

```

X X XXXXXX XXXX XXXX
X X X X X X X X
X X X X X X X
XXXXXX XXXX X XXXX XXXXX
X X X X X X X X
X X X X X X X
X X XXXXXX XXXX XXXXXX

```

1 10JAN00 10:22:28 PAGE 1

THIS RUN EXECUTED 10JAN00 10 22 28

```

*****
HEC-2 WATER SURFACE PROFILES
Version 4.6.2, May 1991
*****

```

T1 THE BASIC PLAN FOR NATURAL CHANNEL IN SU-YOUNG RIVER.
T2 [Workshop Session #8, condition present]
T3 100 YEAR FLOOD, STARTING W.S. EL. 0.475 M (APP H.H.W)

J1	ICHECK	INQ	NINV	IDIR	STRT	METRIC	HVINS	Q	WSEL	FO
	-10	3	0	0	0	1	0	0	0.475	0

J2	NPROF	IPLOT	PREVS	XSECV	XSECH	FN	ALLC	IBW	CHNIM	ITRACE
	-1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0

J3 VARIABLE CODES FOR SUMMARY PRINTOUT

38	39	43	23	1	24	25	25	4	8
17	33	42							

J5 LPRINT NUMSEC *****REQUESTED SECTION NUMBERS*****
-10 -10

1 10JAN00 10:22:28 PAGE 2

THIS RUN EXECUTED 10JAN00 10 22 28

```

*****
HEC-2 WATER SURFACE PROFILES
Version 4.6.2, May 1991
*****

```

NOTE- ASTERISK (*) AT LEFT OF CROSS-SECTION NUMBER INDICATES MESSAGE IN SUMMARY OF ERRORS LIST

100 YEAR FLOOD, STARTIN

SUMMARY PRINTOUT

SECNO	XLCH	Q	XLBEL	OWSEL	RBEL	VCH	AREA	TOPWID	DEPTH	K*KNCH	K*CHSEL	ELMIN
1.000	00	1620.00	3.76	.47	3.76	.26	6251.24	663.52	9.48	23.00	00	-9.00
* 2.000	400.00	1620.00	4.56	.46	4.72	.68	2370.76	381.50	7.26	23.00	5.50	-6.80

3 000	500 00	1620 00	4 60	41	4 60	1.89	856 60	294 53	-4.21	23 00	6 00	-3 80
4 000	35 00	1620 00	4 60	43	4 60	1 89	859 06	294 56	4.23	23 00	00	-3 80
5 000	20 00	1620 00	4 60	44	4 60	1.87	864 21	294 61	4.24	23 00	00	-3 80
6 000	10 00	1620 00	4 60	44	4 60	1 87	865 53	294 62	4 24	23 00	00	-3 80
7 000	35 00	1620 00	3 60	43	4 18	2 06	785 85	266 92	3.53	23 00	20 00	-3 10
8 000	100 00	1620 00	3 47	47	4 18	2 17	747 36	227 17	4 57	23 00	-10 00	-4 10
9 000	400 00	1620 00	4 16	58	1 80	2 93	552 16	139 49	4 98	23 00	- 75	-4 40
10 000	100 00	1620 00	3 76	75	3 76	2 64	613 73	144 96	5 45	23 00	-3 00	-4 70
11 000	17 00	1620 00	3 76	76	3 76	2 63	615 35	144 97	5 46	23 00	00	-4 70
12 000	44 00	1620 00	3 76	80	3 76	2 61	621 61	145 00	5 50	23 00	00	-4 70
13 000	10 00	1620 00	3 76	81	3 76	2 60	622 39	145 01	5 51	23 00	00	-4 70
14 000	9 00	1620 00	2 35	93	3 26	2 18	744 32	208 10	4 33	23 00	144 44	-3 40
15 000	80 00	1620 00	2 38	93	3 16	2 44	664 22	209 23	4 13	23 00	2 50	-3 20
16 000	80 00	1620 00	2 39	1 02	3 82	2 28	710 56	199 35	4 22	23 00	00	-3 20

10JAN00 10:22:28

PAGE 3

SUMMARY OF ERRORS AND SPECIAL NOTES

WARNING SECNO= 2 000 PROFILE= 1 CONVEYANCE CHANGE OUTSIDE ACCEPTABLE RANGE

WARNING SECNO= 3 000 PROFILE= 1 CONVEYANCE CHANGE OUTSIDE ACCEPTABLE RANGE

6.5 HEC-RAS에 의한 변환

- HEC-2와 HEC-RAS 계산 차이점 : 통수능, 한계수심, 교량, 암거, 홍수터잠식 (Table 6.5.1)

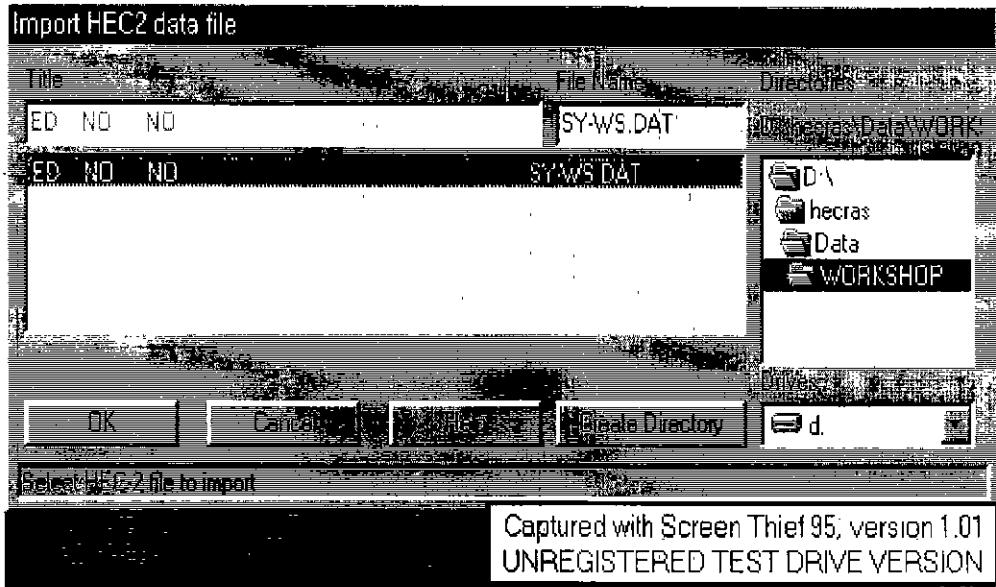
항 목	HEC-RAS	HEC-2	비 고
흐름영역 (Flow regime)	sub, supcritical, mexed flow동시수행	여러번 수행	계산방향 RAS :도수위치
bridge/culvert openings	각각 수행	누적 수행	
운동량방정식 적용 (저유량)	Class A,B,C	Class B,C (A는 Yarnell)	
지류계산	여러지류, loop	3지류	
합류점 계산	Energy or momentum method	Energy method	
비유효흐름	단면상 장애물, 제방의 설정	bank sta.	
횡단단면수	500	100	

- 적용순서

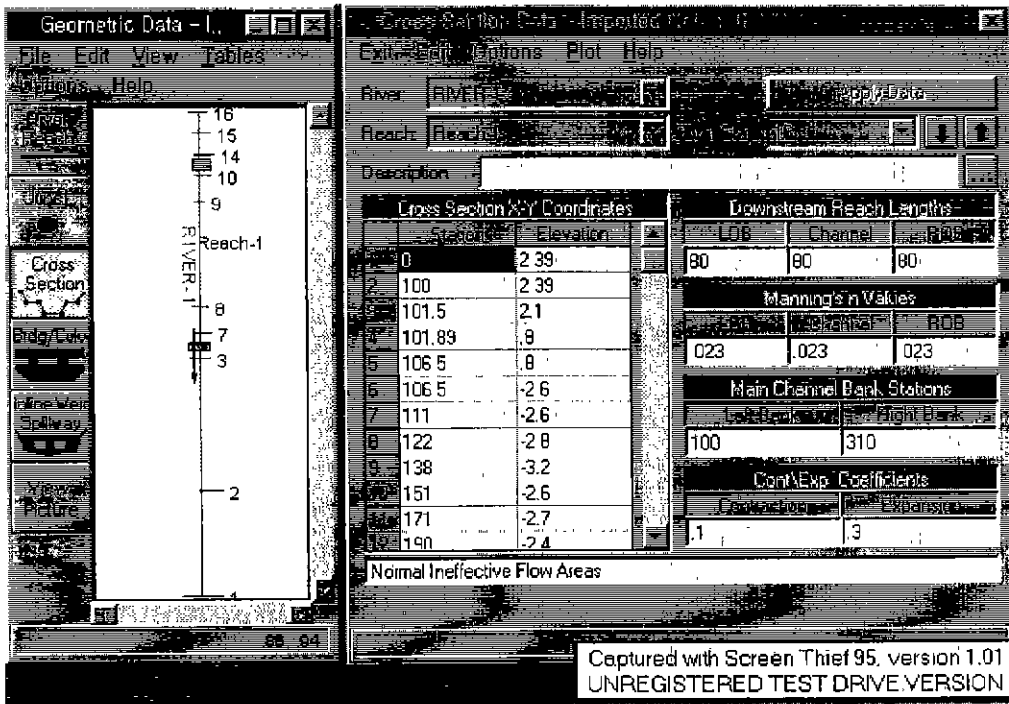
① 시작 작업 (File → New project)



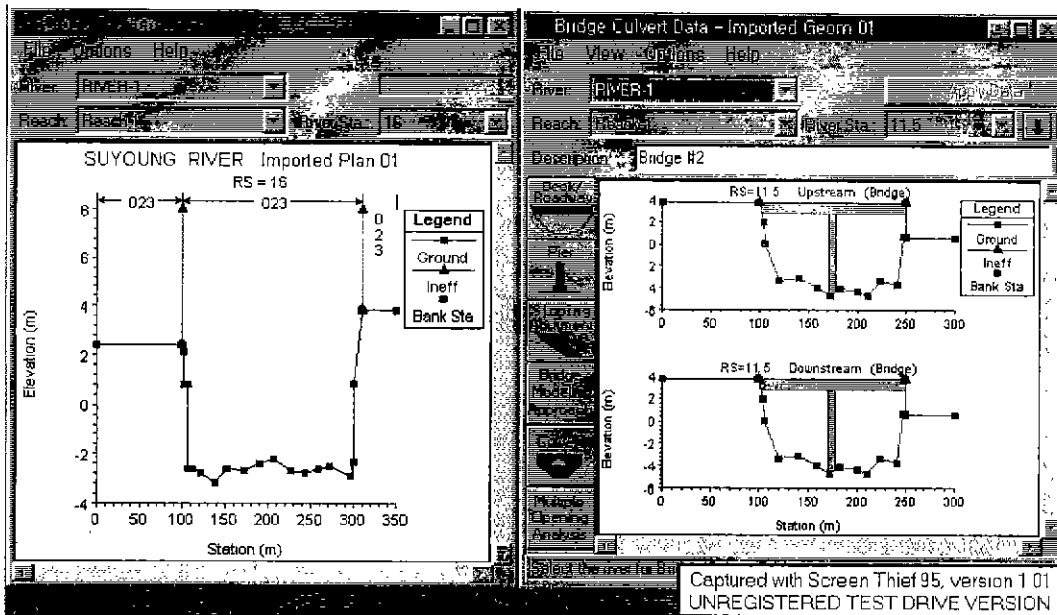
② 기존 HEC-2 자료 IMPORT (File → Import HEC-2 data)



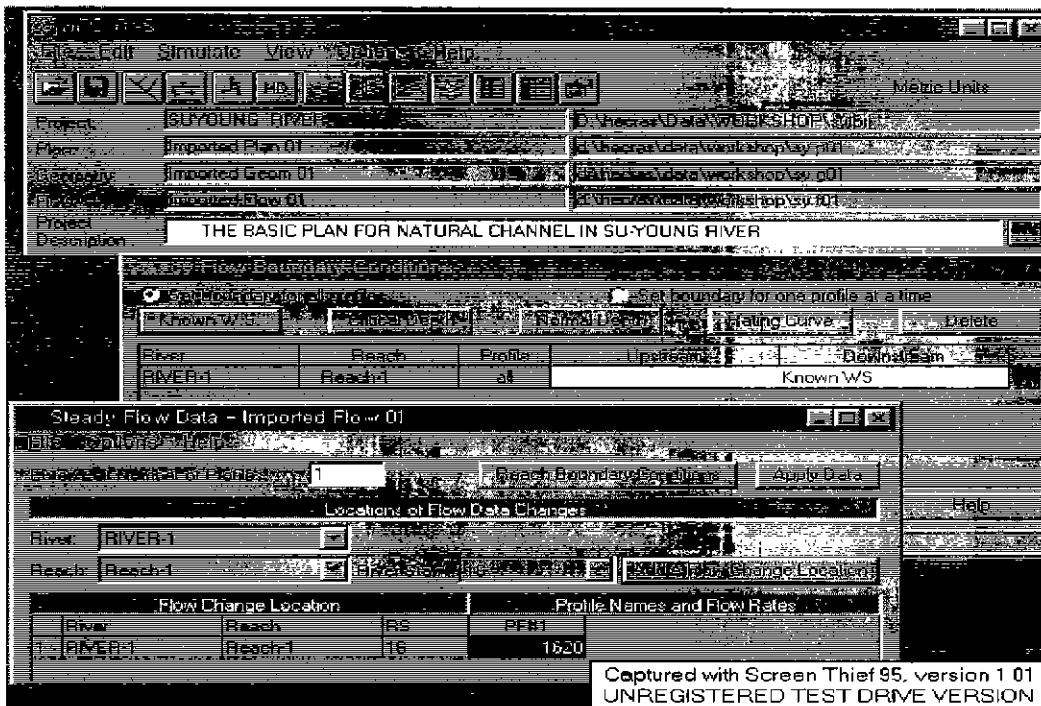
③ IMPORT된 평면 및 횡단자료 상태 (Edit → Geometric Data)



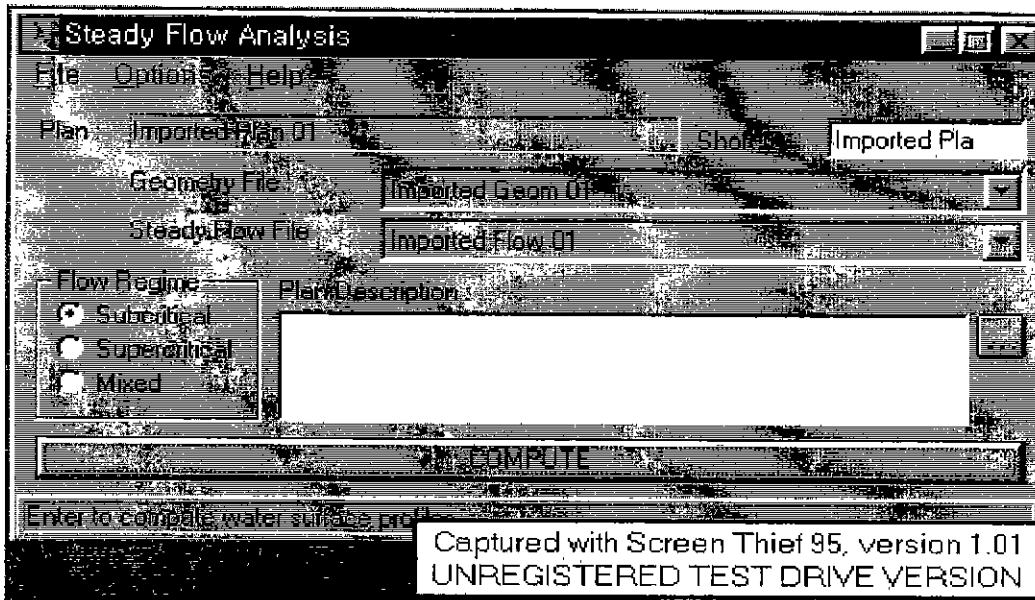
④ 횡단면 및 교량단면 상태 (cross-section→plot)



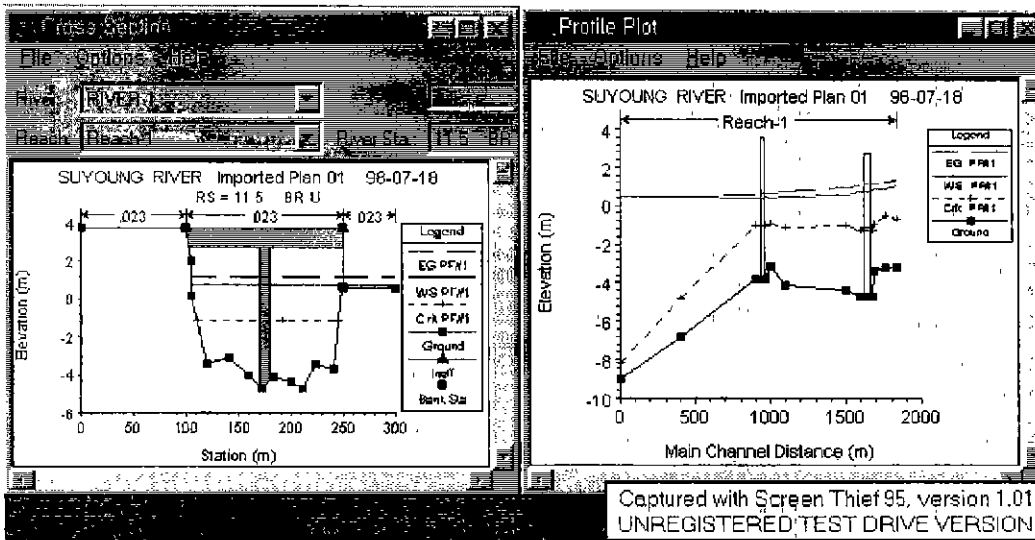
⑤ 홍수입력 및 경계조건 상태 (Edit → Steady Flow Data) (상류에 홍수입력)



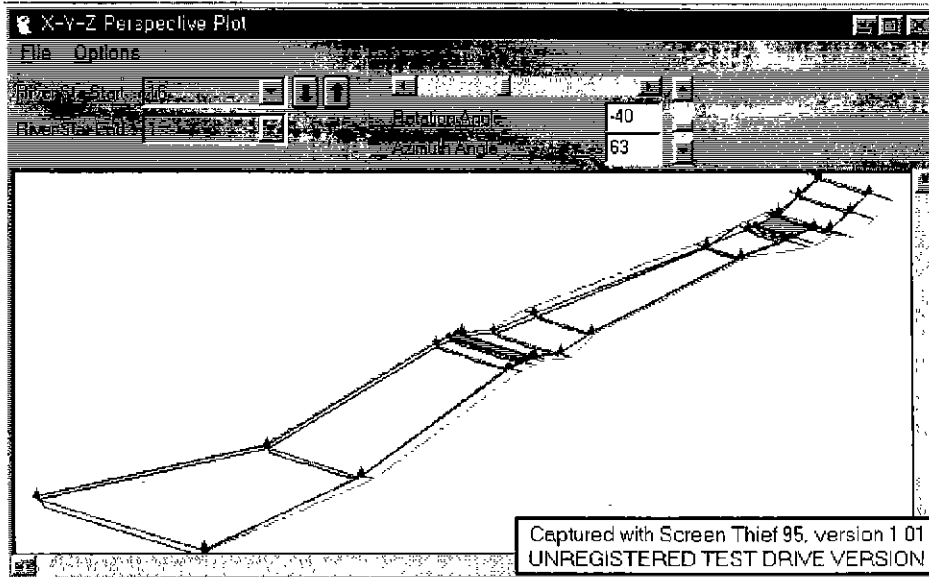
⑥ 정상류 흐름분석 실행 (Simulate → Steady Flow Analysis)



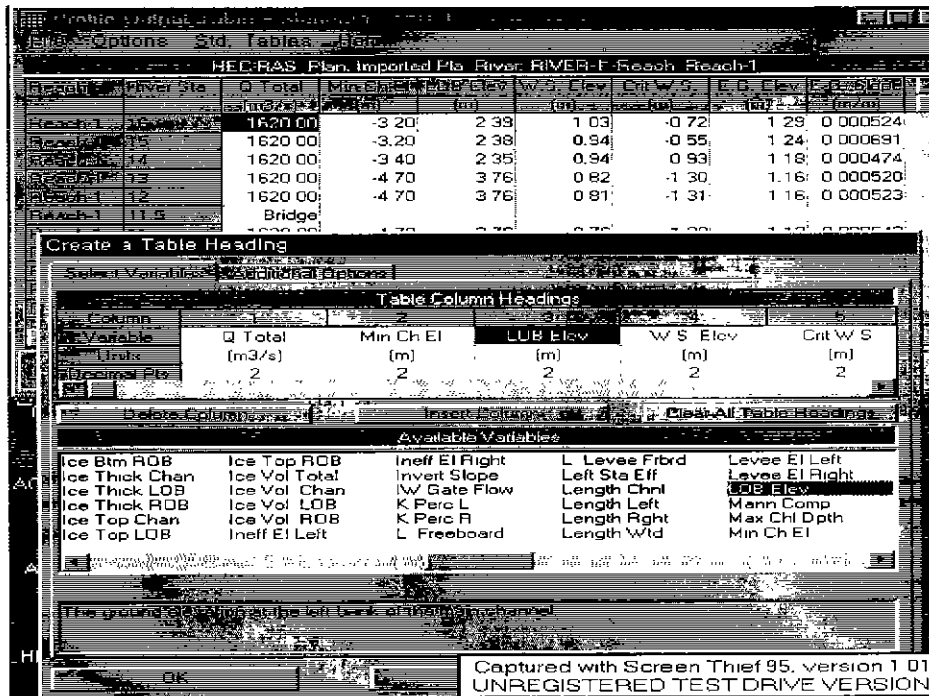
⑦ 정상류 흐름분석 실행 (View → Cross Section, Water surface profiles)



⑧ 3차원 plot (View → X-Y-Z plots)



⑨ 정상류 흐름분석 결과 (View → Profile Tables)



6.6 HEC-2와 HEC-RAS 결과의 비교

(Table 6.6.1) HEC-2와 HEC-RAS 결과의 비교

측점 (no)	거리 (m)	수위 (EL.m)			유 속 (m/sec)			통수단면적 (m ²)		
		HEC-2	HEC-RAS	차	HEC-2	HEC-RAS	차	HEC-2	HEC-RAS	차
		①	②	②-①	①	②	②-①	①	②	②-①
1	0	0.47	0.48	0.01	0.26	0.26	0	6251.2	6252.0	0.8
2	40	0.46	0.46	-	0.68	0.68	0	2370.8	2368.3	-2.5
3	50	0.41	0.41	-	1.89	1.89	0	855.0	855.1	0.0
4	35	0.43	0.43	-	1.89	1.88	-0.01	857.5	860.7	3.2
5	20	0.44	0.44	-	1.88	1.88	0	862.7	863.4	0.8
6	10	0.44	0.45	0.01	1.88	1.87	-0.01	864.0	864.9	0.9
7	35	0.43	0.44	0.01	2.06	2.06	0	786.0	786.5	0.6
8	10	0.47	0.47	-	2.17	2.17	0	747.5	746.4	-1.1
9	40	0.58	0.58	-	2.93	2.93	0	552.2	552.2	-0.1
10	10	0.75	0.75	-	2.64	2.64	0	613.8	614.3	0.5
11	17	0.76	0.76	-	2.63	2.63	0	615.4	616.0	0.6
12	44	0.80	0.81	0.01	2.61	2.60	-0.01	621.7	623.2	1.6
13	10	0.81	0.82	0.01	2.60	2.60	0	622.4	624.1	1.6
14	9	0.93	0.94	0.01	2.18	2.17	-0.01	744.4	746.4	2.0
15	80	0.93	0.94	0.01	2.44	2.43	-0.01	664.3	666.5	2.2
16	80	1.02	1.03	0.01	2.28	2.27	-0.01	710.6	712.5	1.9
평균		0.63	0.64	0.005	2.06	2.06	-0.004	1171.2	1172.0	0.816