

世界各國의 用水路 設計 實例

Design Practices of Irrigation Canals in the World

金 周 昶*
Ju Chang Kim

이것은 International Commission of Irrigation & Drainage (I.C.I.D) 發行 "Design practices of Irrigation canal in the world" 에서 抄譯한 것이며 各種 記號는 ICID의 標準 技術記號를 使用한 것임.

I. 序 言

灌溉事業에 있어서 水路組織의 合理的인 設計 및 施工은 대단히 重要하다. 事業費 全體에 대한 영향도 크며 設計가 잘못되면 水路의 浸蝕, 沈澱 등이 생기고 雜草가 많이 자라고 심한 삼투 손실을 일으킨다. 水源工이 잘되어 있어도 水路組織이 不合理하면 效果인 灌溉가 어렵고 유지 관리비가 많이 들게 된다.

合理的인 水路設計는 地形, 土質, 물의 淸濁, 유지관리關係등을 고려하여 國家마다 또는 地方마다 달라져야 하며 이러한 地域의 特性을 무시한 設計는 유지관리면에서 큰 불편을 갖어오든가 不必要한 낭비를 갖어온다.

우리나라는 水路設計에 있어 美國의 基準을 주로 사용하고 있으며 國內의 각 地域의 特性을 충분히 고려하지 못하는 경우가 있어 水路設計에 대한 研究가 필요하다고 생각된다.

水路의 合理的인 設計를 위해서는 참고서적도 중요하지만 그 地域에서 成功한 以前의 水路設計例를 참고하는 것이 더욱 重要하다. 그러므로 既設 水路에 對한 調查研究는 대단히 좋은 設計資料를 제공하게 될 것이며 世界 여러 나라의 水路設計를 알아보는 것도 有益하다고 생각되어 다음에 여러 나라의 水路設計에 對해 記述한다.

* 農業改良公社 農工試驗所

II. 名國의 水路設計例

1. 호 주

가. Victoria 州

Victoria 州의 灌溉用水路는 大部分이 흙수로나 삼투손실이 크고 스라이딩이 잘 생기는 小規模水路는 라이닝되어 있으며 매닝(Manning)公式을 使用한다.

(1) 粗度係數 n

흙수로: 前에는 0.022~0.025 를 使用했으나 지금은 雜草發生을 고려해서 0.0275 를 使用한다.

라이닝수로: 0.015

(2) 옆비탈 (SS)

$Q=1.70 \text{ m}^3/\text{sec}$ 에 대해 1:2 以上 完만하게

Q 가 $1.70 \text{ m}^3/\text{sec}$ 보다 크면 1:2.5 以上

(3) 기울기 s

1/2,000~1/200,000(平野地帶인)

(4) 最大許容流速(흙수로), $V_{(perm)max}$

最大 0.61 m/sec 이며 보통 0.3~0.46 m/sec 를 使用한다.

(5) 수로의 밑나비와 水深의 比 B/y

보통 2~5 이다.

(6) 여유고 (FB)

흙수로의 最小 여유고는 0.38 m 이며 施工中에는 沈下에 대해 10%, 表面이 썩겨서 낮아지는데 대해 10%의 여유를 본다. 流量別 最小許容餘裕高는 다음과 같다.

流量(m ³ /sec)	0	0.85	2.83	8.5	28.3
	~0.85	~2.83	~8.50	~28.32	이상
흙수로 여유고 (m)	0.38	0.46	0.61	0.76	0.91
라이닝수로 "	0.23	0.23	0.30	0.38	0.38
"					

(7) 독마루 나비 $B_{(cbk) top}$

$Q < 0.85 \text{ m}^3/\text{sec}$ 에서 最小 1.22~1.83 m

$Q > 0.85 \text{ m}^3/\text{sec}$ 에서 最小 2.44 m

수로의 施工機械에 따라 變하고 독안의 飽和線의 기울기(phreatic grade)가 1:5가 되도록 정한다.

(8) 設計順序

주어진 기울기와 유량으로 n 값을 使用하여 斷面의 밑나비와 水深을 決定한다.

나. New South Wales 州

土地가 대단위 平地로 1/2,500 以下の 土地기울기이며 土質은 細粒質로 粒徑 0.5 mm 以下の 모래, 실트, 실트질粘土로 構成되어 있다. 수로에는 流砂의 이동이 별로 없고 대부분이 흙수로이며 매닝公式를 使用한다.

(1) 粗度係數 n

보통흙수로: 0.030

大形 흙수로(70.09m³/sec): 0.035(유지관리시의 여유를 본 것임) 및 排水路.

라이닝수로: 0.014

배수로: $n=0.025$ 로서 침식이 생기지 않는 流速에 대해 檢討한다.

(2) 옆비탈(SS)

흙수로에서 1:2. 라이닝수로에서 1:1.5를 보통 使用한다.

(3) 기울기 S

用水路는 自然地盤의 기울기와 最小所要水深을, 排水路는 最大許容水位를 고려하여 定한다.

(4) 最大許容流速 $V_{(perm) max}$

구분	小水路 (0.71m ³ /sec)	大水路 (71m ³ /sec) 水深 2.44m 以上	排水路	라이닝수로
最大許容流速 (m/sec)	0.52	0.76	0.40	2.44

(5) 수로의 밑나비와 水深의 比 B/Y

半圓形斷面에 가깝도록 定한다. 大水路에서는 施工機械에 따라 變경되며 1.83m/0.91m~30.48m/3.05로 2~10이 된다. 라이닝수로에서는 1에 가깝게 決定한다.

(6) 餘裕高 (FB)

구분	흙수로 (0~70.79m ³ /sec)	라이닝수로 (0.71~14.16m ³ /sec)
여유고(m)	0.38~0.91	0.10~0.30

(7) 독마루 나비 $B_{(cbk) top}$

흙쌓기로 만든 수로: 0.71m³/sec~70.79m³/sec의 流量에 對해 0.91m~3.05m.

차량이 通行하는 경우: 3.66m.

흙갓기로 만든 수로(主로 排水路): 한쪽은 1.83m

다른 쪽은 4.57m로 넓게 하여 후에 準설한 흙을 버릴 수 있게 한다.

(8) 독의 바깥비탈(SS)

독의 飽和線 기울기가 1:4.25가 되도록 비탈 기울기를 정한다.

(9) 만곡수로의 곡률반경 $R_{(curve)}$

흙수로에서는 양쪽 비탈끝 사이의 1/2 거리를 최소곡률반경으로 한다.

(10) 設計順序

매닝公式를 使用하여 만든 기울기別 流量表를 水路의 斷面決定에 利用한다.

다. Queensland 州

매닝公式를 使用하며 설계도표를 利用할 수 있다.

(1) 粗度係數 n

구분	흙수로 1.42 m ³ /sec 以下	흙수로 1.70~2.83m ³ /sec	흙수로 3.96m ³ /sec 以上
n	0.04	0.035	0.03

구분	콘크리트 라이닝수로	眞空타설물탈 라이닝
n	0.015	0.018

흙수로의 n 값이 큰 것은 雜草發生을 고려한 때문이다.

(2) 옆비탈(SS)

흙수로 1:2.0 라이닝수로 1:1.5

(3) 기울기 S

地盤기울기와 土工을 고려하여 결정한다.

(4) 最大許容流速 $V_{(perm) max}$

흙수로: 0.61m/sec

라이닝수로: 2.44m/sec 보통 라이닝수로에서는 限界流速以下로 하기 위해 水深을 限界水深의 1.15배로 한다.

(5) 수로의 밑나비와 水深의 比 B/Y

구분	小水路 (수심 1.52m 以下)	中水路 (水深 1.52~ 3.05m)	大水路 (水深 3.05m 以上)
흙수로	2~4	4~6	6~8
라이닝수로	1.5~2	2~3	3~4

(6) 餘裕高 (FB)

흙수로=0.30+수심의 15~20%(최소 0.38 m, 최대 1.22 m)

라이닝수로=수심의 20~25%(최소 0.15 m, 최대 0.61 m)

(7) 독마루 나비 $B_{(cbk) top}$

小水路에서는 보통 3.66m이며 通行 및 유지관리에 利用한다. 흙갓기부분에 berm을 만드는 경우는 4.88m로 하여 通路로 使用한다.

(8) 독의 飽和線의 기울기 $S_{(chbk)}$

비교적 투수성이 작은 토양 1:4

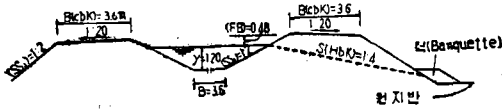
모래가 많은 토양 1:8

토질을 고려하여 결정한다.

(9) 곡선수로의 曲率半徑 $R_{(curve)}$

흙 수로: 水深의 20배, 最小值 15.24 m

라이닝수로: 水深의 10배, 最小值 15.24 m



水路의 斷面例

1. 불가리아

가. 개요

불가리아에서는 大部分의 수로가 라이닝되어 있다. 라이닝을 하면 삼투손실과 粗度係數가 작아지고 許容流速이 커지며 따라서 수로의 斷面을 最小로 할 수 있는 利點이 있다.

灌溉水路는 小水路·中水路·大水路로 나눈다.

小水路: 水深 0.6 m 以下 流量 1.0 m³/sec 以下.

中水路: 水深 0.6~1.2 m 流量 1~3.0 m³/sec

大水路: 水深 1.2 m 以上 流量 3.0 m³/sec 以上

水路가 設置되는 地盤의 土質은 다음 세 가지로 分類한다.

(1) 水分이 증가해도 變形되지 않는 흙: 사질토, 礫質土

(2) 水分이 증가하면 부풀어 오르는 흙: 粘土

(3) 水分이 증가하면 붕괴되는 흙: 黃土(Loess)

使用公式는 Chezy 式이며 Chezy 式의 C 값은 다음과 같이 Pavlovski 式으로 求한다.

$$V=C\sqrt{R_{(HD)}S} \dots\dots\dots chezy 式$$

$$C=\frac{1}{N}R_{(HD)}^{(y)}$$

$$(y)=2.5\sqrt{N}-0.13-0.75\sqrt{R}(\sqrt{N}-0.1)$$

pavlovski 式

나. 設計條件

(1) 粗度係數 n

n=0.025 大水路

n=0.030 小水路

n=0.035 雜草 및 水草가 많이 나는 경우

n=0.014 라이닝수로

(2) 열비탈 (SS)

보통 흙 수로에서는 1:1.5를 사용하고 1:1.0인 경우도 있다. 라이닝 수로에서는 1:1.5, 1:1.25 가 보통이나 小水路에서는 1:1.0로 할 경우도 있음.

(3) 기울기 S

가장 經濟的으로 되도록 水路의 最大 最小 許容流速을 고려하여 결정한다.

(4) 許容流速

最大流速은 침식이 생기지 않을 정도로 하되 0.8 m/sec 以上の 流速은 不可하다.

最小流速은 침전이 생기지 않고 겨울에 얼지 않을 정도(겨울에 물을 보내는 경우)로 0.3~0.5 m/sec 이다. 라이닝 수로의 最小流速은 0.5 m/sec 이다.

(5) 수로의 밑나비와 水深

最小 밑나비는 人力作業일 때 0.3 m 기계작업에서 1 m 정도이다.

B/Y는 水路가 有利斷面이 되도록 한다. 有利斷面은 다음 式으로 구한다.

$$B/Y=2[\sqrt{1+(SS)}-(SS)]$$

단, (SS)는 비탈기울기

(SS)=1.5일 때 B/y=0.606이다.

(6) 餘裕高 (FB)

구분	小水路	中水路	大水路
흙 수로	0.25(m)	0.40(m)	0.60(m)
라이닝수로	0.25 "	0.30 "	0.40 "

(7) 독마루 나비 $B_{(cbk)top}$

人力으로 만든 小水路에서는 0.4 m 以上 大水路에서는 1 m 以上으로 한다.

다. 라이닝

콘크리트 라이닝이 大部分이며 프리캐스트와 現場打設이 있다.

프리캐스트 관의 크기는 다음과 같다.

구분	길이(m)	나비(m)	두께(m)	비고
中形	1.0	0.3~1.0	0.036	P. S 콘크리트
大形	3.0	0.5~2.0	0.04	
"	4.0	0.5~2.0		

現場打設일 때

(1) 小水路

라이닝 두께 8 cm 이고 이음매는 4 m 간격으로 하여 모르타르 메운다.

여유고 25 cm 층 黃土(Loess)에서는 25 cm 砂質土에서는 10 cm 만 라이닝한다.

(2) 中水路

구분	라이닝 두께	여유고	이음매	기초처리
사질토	10cm	30cm 중 15cm	4m마다	-
점질토	10	"	"	8 cm 두께 모래 깔음
황토	10	30cm	"	이음매 밑에 콘크리트빔을 받침

(3) 大水路

구분	라이닝 두께	여유고라이닝	이음매	비고
사길토	12cm	40cm중 20cm	4m 마다	
점질토	12cm	40cm 20cm	"	8cm 두께 모래 깔음.
황토	8cm	40cm	"	라이닝 8cm 위에 메탈라스를 깔고 3cm 두께로 두번 몰르타르를 친다.
황토 (약한곳)	2층 10+8cm	"	"	층사이에 비류멘을 넣음.
황토 (심히 약한곳)	2층 8+6cm	"	"	층사이에 비류멘을 넣음. 윗 층은 $\phi 5mm$ 철선으로 보강.

지하수 排水가 필요한 곳에서는 15cm 두께의 모래 자갈을 깔고 $\phi 15cm$ 관을 낮은 곳에 묻어 排水한다.

라이닝에 쓰는 콘크리트 強度는 $150 kg/cm^2$, 凍結抵抗은 50 사이클, 水密性은 2氣壓이어야 한다.

라. 設計順序

計算은 試算에 依한다. 수로의 밑나비, 수심, 옆비탈, 기울기를 가정하고 斷面積, 動水半徑, 流速, 流量을 計算하여 設計流量과 같아질 때까지 試算을 반복한다.

3. 캐나다

캐나다 西部地域에서 粘質土에 만든 畝水路의 設計例를 記述하며 全水路의 90%가 이 범위에 든다. 매닝 또는 컷터公式을 사용한다.

(1) 粗度係數 n

$$n=0.025(\text{모든 水路에 적용})$$

(2) 옆비탈 (SS)

좋은 土質이면 1:2.0

연한 土質이면 1:3.0

지금은 유지관리의 편의를 위하여, 비탈기울기를 느리게 하는 경향이 있다.

(3) 最大許容流速

침식이 생기지 않고 水草나 雜草가 생기지 않도록 빠른 流速을 사용한다. Kennedy 式을 修正하여 사용한다.

$$V=cy^{0.4}+1.0(\text{ft/s})=0.49cy^{0.4}+0.3(\text{m/s})$$

y: 水深 (ft 또는 m)

여기서 C=0.5 연약토

C=0.6 실트

C=0.7 고운 모래 흙

C=0.8 보통 흙

C=0.9 찰진흙(重粘土)

(4) 水路 밑나비와 水深의 比, B/y

小水路에서는 2, 大水路에서는 8

(5) 餘裕高 (FB)

여유고는 $0.12 \times \text{수심(m)}$ 으로 하되 最小 0.3m,

最大 0.9m 以內로 한다.

(6) 득마루 나비 $B_{(cbk) \text{ top}}$

最小 득마루 나비는 $0.18 \times \text{수심(m)}$ 으로 하되 最小 0.9 最大 3.6m 以內로 한다.

(7) 曲線水路의 曲率半徑 $R_{(curve)}$

最小 曲率半徑은 水路 밑나비의 10倍로 하며 曲線部에 들쭉기 등을 하여 보호하는 경우는 더 작게 할 수도 있다.

(8) 設計順序

水深을 가정하고 이에 따라 밑나비와 斷面을 定한다. 修正된 Kennedy 式으로 流速을 求하면 매닝 式에서 V, N, $R_{(H)}$ 을 알고 있어 기울기가 계산된다. 이렇게 計算된 기울기가 自然地盤의 기울기와 맞을 때까지 試算을 반복하여 알맞는 기울기, 水深, 밑나비를 求한다.

4. 콜롬비아

美國 基準에 準하고 있으며 매닝公式을 사용한다

(1) 粗度係數 n

$$n=0.027(\text{흙수로})$$

(2) 옆비탈 (SS)

보통 1:1.5이다.

(3) 수로 밑나비와 水深의 比 B/Y

美國 基準에 따라 0.9m³/sec 정도의 小水路에서 2:1 283m³/sec 정도의 大水路에서 8:1

(4) 득마루 나비 $B_{(cbk) \text{ top}}$

3m 以上으로 하여 道路로 利用한다.

(5) 其他

美國 基準에 따른다.

(6) 設計順序

(가) ① 許容범위內에 있는 流速을 가정하고 n 과 기울기를 定하여 매닝式으로 등수반경($R_{(H)}$)을 計算한다. ② 주어진 유량과 유속으로 斷面積을 計算한다. ③ 단면적과 등수반경을 사용하여 윤변을 計算한다. ④ 비탈기울기를 定하면 윤변에서 水深과 밑나비가 計算된다. ⑤ 이렇게 決定된 斷面을 掃流力에 대해 검토한다.

(나) ① 가정한 유속과 주어진 유량으로 단면적을 계산한다. ② 밀나비와 수심을 가정한다. ③ 밀나비, 수심, 비탈, 기울기로 윤변과 動水半徑을 계산한다. ④ 매닝공식을 이용하여 기울기를 계산한다. ⑤ 斷面의 掃流力에 대해 검토한다.

5. 체코스로바키아

체코에서는 여러 가지 流速公式를 사용한다.

가. 流速公式

(1) Martinec 公式(체코인)

$$v = (17.7 \log \frac{R_{(H)}}{D_{(bm)}} + 13.6) \sqrt{R_{(H)} S}$$

여기서 $D_{(bm)} = D_{s0}$ 수로 바닥이 모래일 때

$D_{(bm)} = R_{(H)}/25$ " 모래 물질일 때

公式의 有效범위는

$$0.15 \text{ m} \leq R_{(H)} \leq 2.25 \text{ m} \text{ (動水半徑)}$$

$$0.00004 \leq S \leq 0.0039 \text{ (기울기)}$$

$$0.4 \text{ cm} \leq D_{(bm)} \leq 25 \text{ cm} \text{ (河床物質의 粒徑)}$$

$$0.85 \text{ m}^3/\text{sec} \leq Q \leq 9.25 \text{ m}^3/\text{sec} \text{ (유량)}$$

(2) Fratic 公式(체코인)

$$N = 0.035 \bar{\theta}_{mon} y^{0.75} s^{0.22}$$

N: 粗度係數 y: 水深(m)

$\bar{\theta}_{mon}$ 月平均氣溫 s: 기울기

水路에 雜草가 자라는 곳에 適用한다.

(3) 流砂移動이 있는 곳에서는

$$v = \sqrt{\frac{8g}{f}} \sqrt{ys}$$

$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.54 \log R_{(H)}/D_{(bm)} + 1.73$: 細粒의 流砂移動이 있는 河川

$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2.27 \log \frac{y}{D_{(bm)}} + 1.68$: 流砂移動이 없는 小規模 水路

(4) Chezy 公式

$$v = C \sqrt{R_{(H)} S}$$

$$C = \frac{R_{(H)}^{1/6}}{N} \text{ : 매닝 공식}$$

$$C = \frac{R_{(H)}^{(y)}}{N} \text{ : Pavlovski 공식}$$

$$(y) = 2.5 \sqrt{N} - 0.13 - 0.75 \sqrt{R_{(H)}} (\sqrt{N} - 0.1)$$

나. 許容流速

(1) 非粘性 흙의 平均流速의 最大許容值(m/sec)

粒徑 (mm)	水 深 (m)				
	0.3	0.6	1.0	1.5	2.0
0.005	0.12	0.14	0.15	0.16	0.17
0.05	0.15	0.18	0.20	0.22	0.23

0.25	0.25	0.27	0.30	0.35	0.35
1.00	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65
2.5	0.52	0.60	0.65	0.70	0.75
5.0	0.65	0.70	0.80	0.90	0.95
10	0.8	0.9	1.0	1.1	1.15
15	0.94	1.18	1.20	1.30	1.40
25	1.10	1.25	1.40	1.55	1.60
40	1.45	1.60	1.80	2.00	2.10
75	1.90	2.20	2.40	2.60	2.80
100	2.20	2.40	2.70	3.00	3.10
150	2.60	3.00	3.30	3.60	3.80
200	3.10	3.50	3.90	4.30	4.50

(2) 粘性 흙의 平均流速의 最大許容值(m/sec)

토 양	空隙과 土粒子의 容積比	水 深 (m)			
		0.3	0.6	1.0	1.5 ~ 2.0
50% 以下의 모래를 含有한 砂質 粘土	2~1.2	0.35	0.40	0.45	0.50
	1.2~0.6	0.70	0.80	0.90	1.00
	0.6~0.3	1.05	1.20	1.30	0.45
실트질 粘土	0.3~0.2	1.45	1.65	1.80	2.00
	2~1.2	0.32	0.35	0.40	0.45
	1.2~0.6	0.67	0.75	0.85	0.95
粘 土	0.6~0.3	1.00	1.15	1.25	1.35
	0.3~0.2	13.5	1.55	1.70	1.90
	2~1.2	0.25	0.30	0.32	0.35
Structureless clay	1.2~0.6	0.65	0.70	0.80	0.90
	0.6~0.3	0.95	1.10	1.20	1.30
	0.3~0.2	1.30	1.55	1.65	1.80
Structureless clay	2~1.2	0.25	0.30	0.32	0.35
	1.2~0.6	0.55	0.62	0.70	0.75
	0.6~0.3	0.85	0.95	1.05	1.15
	0.3~0.2	1.10	1.25	1.35	1.50

다. 曲線水路의 最小曲率半徑

소련의 Pechkurov 式을 사용하여 계산한다.

$$R_{(curve), min} = 0.23 \sqrt[3]{B \left(\frac{v^2}{D_{(bm)} + C} \right)^2 - B}$$

$$R_{(curve), min} = 100 R_{(H)}^{1.8} \text{ (Pechkurov 的 簡單式)}$$

여기에서 B=수로의 밀나비(m)

V=平均유속

$D_{(bm)}$ =河床物質의 크기(m)

$R_{(H)}$ =動水半徑(m)

C=흙의 粘性에 따른 係數 (모래, 자갈은 0)

小水路에서는 10B를 最小曲率半徑으로 한다.