

水壓이 構造物에 미치는 영향

Ice Pressure Acting on the Hydraulic Structure

—土橋池를 中心으로—

—On the Tokyo Reservoir—

尹 瑄 炳* · 許 燦*
Sun Byung Yun, Chan Hur

I. 緒 論

우리 나라의 漢水以北 寒冷地의 콘크리트 構造物 또는 水門은 比較的 큰 水壓을 받는 때가 많으므로 原則的으로 水壓을 設計에 反映하여야 하나 現在까지 水壓을 考慮한 設計 事例은 거히 全無한 實情이다. 中央農組 鐵原地區의 蒙利面積 1,836ha를 爲한 水源工인 土橋池의 被害原因을 調査檢討한 結果 水壓에 依해 파괴된 것으로 判明되어 이에 對한 力學的 分析過程과 事後對策을 例示하여 向後 設計에

反映시키고져 한다.

江原道 鐵原郡에 位置한 土橋池는 1966年 調査 設計되어 1973年에 完工된 地區로서 (그림 1. 참조) 1974年에 물넘이의 一部가 파괴되어 이에 對한 原因을 調査한 바 施工조인트의 施工不良, 設計斷面보다 不足한 斷面으로 施工되어 파괴된 것으로 判斷되어 (그림 2. 참조) 構造物의 파괴된 部分을 1974年 7月~1975年 5月 21日에 補修를 完了하였으나 1976年 1月 25日 總延長 90m中 70m 區間이 다시 파괴된 것을 發見하였다.

本地區는 民統線 北方에 位置하여 있기 때문에 現地 條件上 維持 管理가 困難함은 勿論 파괴 當時의 狀況과 正確한 파괴 日字를 알 수 없으나 76年 1月 19日~1月 23日 사이에 發生한 것으로 判斷되며 이 때 最低氣溫은 -21°C 였고 얼음 두께가 36cm인 것 以外엔 風向, 風速 等은 正確히 알 수 없었다.

事故 內容은 물넘이 길이 90m中 測點 No.0~No.0+20(20m) 區間은 被害가 없었으며 測點 No. 0+20~No.0+90(70m) 區間은 물넘이 堰體가 側水路 方向으로 0.03m 變位되었으며 側水路 바닥 一部에

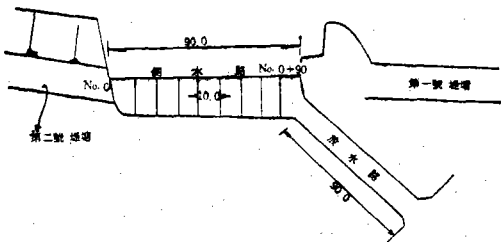


그림 1. 餘水吐附近平面



그림 2. 1974年 파괴전경

* 農業振興公社 調査設計部



3-1 堰體가 0.03m 變位된 상태

3-2 Overturning에 의한 파괴로 물이 분출되고 있는 상태

그림 3. 1976년 파괴

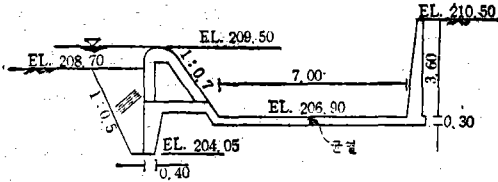


그림 4. 堰體 및 側水路斷面(No.0+30)

균열이 생기었다. (그림 3 그림 7 참조)

한편 堰體 水拔工과 균열部分이 서로 通하여 相當한 量의 물이 噴出되고 있어 現在 임시조치로 全面을 비닐로 막고 수발공을 閉鎖하여 漏水를 막고 있다.

I. 概要

가. 調査內容

(1) 콘크리트 비파괴시험(Test Hammer)은 물넘이 測點 No.0+20, +30, +90 地點과 側水路 바닥 No.0+35, +42, +90地點에서 各各 實施하였음.

(2) 壓縮強度用 試料은 測點 No. 0+30 地點인 바닥과 堰體 교차부에서 各各 採取하였음.

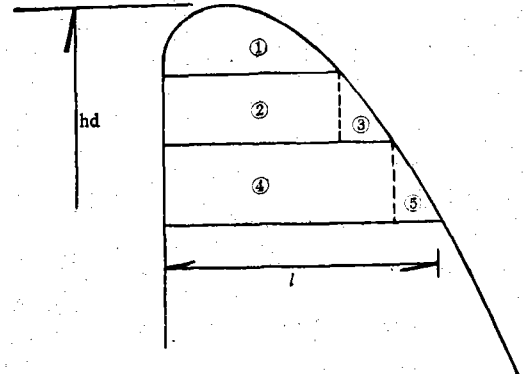
(3) 콘크리트 構造는 容積配合 1:2:4 및 1:3:6으로 施工되었으며 물넘이 堰體의 콘크리트를 친 날짜는 1974年 7月 18日~10月 9日에, 側水路 바닥은 1975年 5月 21日에 콘크리트를 쳤음.

나. 試驗結果

(1) 施工中 콘크리트 品質管理 試驗結果를 檢討한 바 設計 壓縮強度는 平均 180 kg/cm²의 값을 擇하였음.

(2) 콘크리트 壓縮強度 試驗 採取試料室內試驗 壓縮強度는 平均 211kg/cm²의 값을 나타냄

(3) 콘크리트 비파괴 시험 180~220kg/cm²를 나타냄



hd: crest 上端에서 求하려는 斷面 바닥까지의 높이

l: 求하려는 斷面에서의 바닥너비

그림 5. 堰體 斷面 및 斷面座標

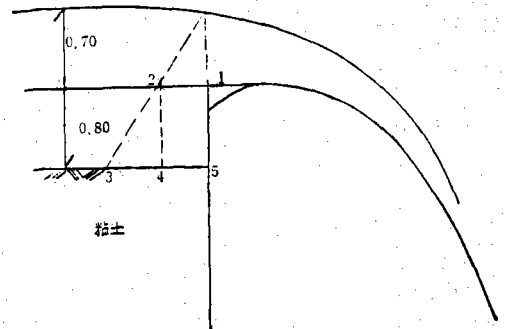


그림 6. 永壓을 받지 않는때의 堰體斷面

III. 물넘이의 構造 設計

가. 安定度 計算에 필요한 公式

(1) 滑動에 對한 安全度 計算

$$\tan\theta = f = \frac{\sum p}{\sum w} < 0.65$$

$\sum w$: 揚壓力을 包含한 總垂直力(표 1. 참조)

水壓이 構造物에 미치는 영향

Σp : 水壓, 土壓, 또는 水壓의 總水平力

(그림 6. 참조)

(2) 揚壓力 計算

$U = 1/2 w \cdot \mu \cdot l \cdot h$

u : 揚壓力

w : 물의 單位重量

μ : 揚壓力係數(本地區 0.5)

d : 댐바닥나비

h : 水深

(3) 剪斷力에 對한 安全度 計算

$n < \frac{f \Sigma w + \tau l}{\Sigma p}$

n : 剪斷摩擦安全係數=5

f : 內部摩擦係數=0.75

τ : 剪斷低抗強度=200t/m²

l : 댐바닥나비

(4) 轉倒에 對한 計算

$z = \frac{\Sigma py + \Sigma w \cdot x}{\Sigma w}$

표 1. 堰體重量 및 모멘트 計算

hd	區分	치 수	重量	累 計	팔길이	moment	moment 累 計
0.089	1	1/2 × 0.089 × 0.54 × 2.3	0.055	0.055	0.27	0.015	0.015
0.20	2	0.54 × 0.111 × 2.3	0.137		0.27	0.037	
	3	1/2 × 0.18 × 0.111 × 2.3	0.023	0.215	0.60	0.014	0.066
0.50	4	0.72 × 0.3 × 2.3	0.496		0.36	0.078	
	5	1/2 × 0.34 × 0.3 × 2.3	0.117	0.828	0.83	0.097	0.341
1.00	6	1.06 × 0.5 × 2.3	1.219		0.53	0.646	
	7	1/2 × 0.37 × 0.5 × 2.3	0.213	2260	1.18	0.251	1.238
1.50	8	1.43 × 0.5 × 2.3	1.644		0.715	1.175	
	9	1/2 × 0.3 × 0.5 × 2.3	0.172	4.076	1.53	0.264	2.677
2.00	10	1.73 × 0.5 × 2.3	1.989		0.865	1.721	
	11	1/2 × 0.25 × 0.5 × 2.3	0.143	6.208	1.81	0.260	4.658
2.50	12	1.98 × 0.5 × 2.3	2.277		0.99	2.254	
	13	1/2 × 0.22 × 0.5 × 2.3	0.126	8.611	2.05	0.259	7.171
3.00	14	2.20 × 0.5 × 2.3	2.53		1.10	2.783	
	15	1/2 × 0.21 × 0.5 × 2.3	0.120	11.261	2.27	0.274	10.228
4.00	16	2.41 × 1.0 × 2.3	5.543		1.205	0.679	
	17	1/2 × 0.41 × 1.0 × 2.3	0.471	17.275	2.54	1.197	18.104

- 備考: 1. moment 中心은 垂直面으로 한다.
 2. ③, ④, ⑤, 등은 三角形으로 간주함.
 3. 콘크리트 單位重量은 2.3t/m³로 함.

z : moment中心에서 合力까지의 距離

나. 資料

어름의 物理的 性質은 破碎力(crushing strength),

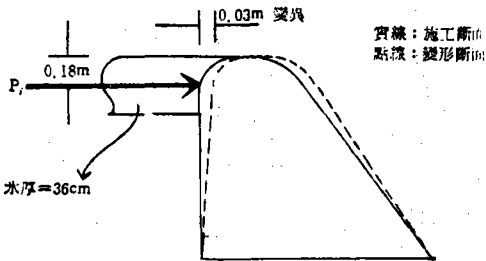


그림 7. 水壓에 依한 斷面變位

p : 水平力

y : moment中心에서의 垂直距離

w : 揚壓力을 包含한 總垂直力

x : moment中心에서의 水平距離

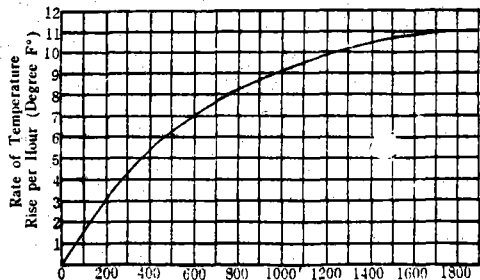


그림 8. 溫度上昇率에 따른 水壓

彈性係數(modulus of elasticity), 塑性流(plastic flow)의 영향등이나 이는 不充分하거나 概略的인 資料인 때가 많다.

한편 工作物에 作用하는 永壓은 얼음의 두께와 溫度上昇率 水表面의 變動, 貯水池 沿岸의 狀態, 氷上 流面의 비탈면, 風力等に 左右되므로 이들 資料를

調査해야 한다.

鐵原地方의 時間別 溫度 記錄值가 없으므로 春川 地方의 日平均 溫度上昇時間을 適用키로 한다. 또 鐵原地方의 最低, 最高氣溫은 23日에서 24日에 걸쳐 나타난 記錄值(軍情報處)인 -20°C , -3°C 를 適用 하였다. (表2. 참조)

表 2. 春川測候所 自己溫度 記錄值(補正值)

時間 日字	5	6	7	8	9	10	11	12
19	-12.5	-12.2	-12.45	-14.02	-13.1	-9.14	-5.53	-6.4
20	-17.66	-18.5	-18.67	-18.64	-15.6	-13.27	-10.83	-9.2
21	-17.1	-18.0	-18.43	-17.96	-16.9	-14.17	-11.94	-9.2
22	-10.06	-10.7	-11.13	-11.76	-10.8	-7.37	-6.34	-6.9
23	-16.9	-17.1	-17.23	-17.46	-16.3	-12.47	-10.44	-8.7

時間 日字	13	14	15	16	17	18	19	20
19	-5.6	-5.5	-5.6	-6.43	-7.86	-9.4	-10.3	-10.8
20	-8.67	-7.94	-7.5	-7.76	-8.52	-9.2	-9.7	-10.5
21	-7.9	-5.7	-5.3	-4.06	-5.82	-7.0	-7.76	-8.02
22	-6.33	-6.16	-6.8	-6.93	-7.86	-8.8	-9.33	-9.96
23	-7.34	-5.48	-4.5	-4.13	-4.46	-5.6	-6.43	-7.76

1. 溫度上昇時間

日字	溫度上昇時間	備 考
19	6	日平均溫度上昇時間 = $38/5 = 7.6\text{hr.}$
20	8	
21	9	
22	7	
23	8	
計	38	

2. 平均溫度上昇率

最低氣溫 $F = 9/5 \times (-20) + 32 = -4^{\circ}\text{F}$

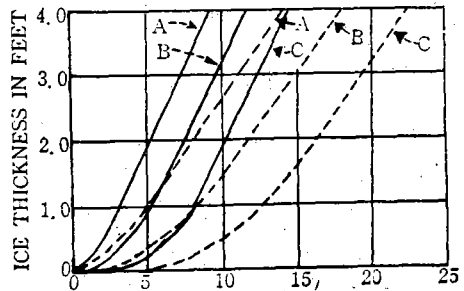
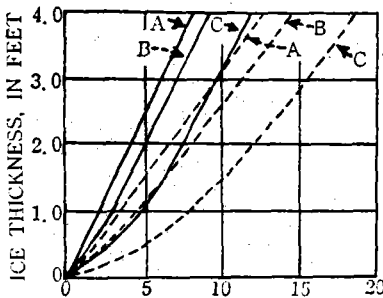
最高氣溫 $F = 9/5 \times (-3) + 32 = 26.6^{\circ}\text{F}$

平均溫度上昇率

$$= \frac{+26.6 - (-4)}{7.6} = 4.026\text{F/hr}$$

다. 各 문헌에 따른 氷壓 比較計算

(1) Ernest Brown & George C. Clark (그림 8)



THRUST, IN KIPS PER LINEAR FOOT

Explanation
 —No Lateral Restraint
 ...Complete Lateral Restraint ($\mu=0.365$)

(a) Solar Energy Neglected (b) Solar Energy considered

그림 9. Ice thrust in relation to ice thickness, air-temperature rise, and restraint

참조)

- (가) 溫度上昇率: 4°F (표 2 참조)
- (나) 溫度上昇持續時間: 7.6hr (표 2 참조)
- (다) 여름두께: 36cm

上記와 같은 條件일 때의 水壓은 3.45t/m 일

(2) Rose (그림 9 참조)

"Solar energy neglected"의 A曲線에 依하면 水壓은 3.78t/m일.

(3) 水豊년 記錄

水豊년에 最高 15ton/m²가 作用했다는 記錄을 本地區에 適用하면 5.4t/m가 됨.

(4) 結論

上記 式에 依據 水壓이 3.5t/m가 作用한 것으로 간주한다.

라. 既 設計 斷面에 對한 安定度 檢討

(1) 水壓 不考慮時 (그림 6 참조)

표 3. 水壓을 고려치 않았을때의 安定度

hd	tanθ	n	x _r	2/3l
0.5	0.931	447	0.652	0.706
1.0	1.252	315	0.853	0.953
1.5	0.343	286	0.952	1.153
2.0	0.330	213	1.069	1.32
2.5	0.355	155	1.196	1.46
3.0	0.393	116	1.349	1.60
4.0	0.468	73	1.637	1.83

(但 hd, l은 그림 5, 表4. 參照)

tanθ의 結果는 hd=0.5, hd=1.0은 許容摩擦係數 0.65를 초과한다. 그러나 n值가 보여주는 바와 같이 最少剪斷 摩擦 安全係數 5를 훨씬 초과하므로 堰頂에서 滑動에 對한 위험은 없다. 한편 合力의 作

표 4. 堰體斷面 座標

hd	l
0.039	0.54
0.20	0.72
0.50	1.60
1.00	1.43
1.50	1.73
2.00	1.93
2.50	2.20
3.00	2.41
4.00	2.82

用點이 middle third 內에 들어오므로 轉倒에 對한 危險이 없다.

(2) 水壓 考慮時 (그림 7 참조)

水壓은 水厚의 中央에 集中하여 作用하는 것으로 假定하였다. 但 Design of Small Dams은 水壓의 大部分은 鉛直表面에서 일어나고 물과 닿는 部分의 壓力은 零이라고 記術하고 있다.

표 5. 水壓을 고려하였을 때의 安定度

hd	tanθ	n	x _r	2/3l
0.5	7.79	53	2.85	0.706
1.0	2.55	65	2.51	0.953
1.5	1.33	73	2.25	1.153
2.0	0.947	74	2.19	1.32
2.5	0.739	70	2.53	1.46
3.0	0.719	63	2.27	1.60
4.0	0.677	50	2.43	1.88

上記 表에서 보는 바와 같이 n值가 最少許容值, 5보다는 훨씬 크므로 剪斷力에는 充分히 抵抗한다. 그러나 合力의 作用點이 hd=2.5m 까지는 堰體 바 닥나비를 지나 作用하므로 轉倒를 면할 수 없다. 또 hd=3.0m, 4.0m 까지도 middle third를 벗어나므로 콘크리트에 引張力이 일어나게 된다.

다. 事後對策

(1) 設計水壓의 資料 分析

(가) 時間當 溫度上昇率 및 上昇時間

本地區는 農業用水必要水量基準(페이지 20)의 Thissen Network에 依해 서울測候所에 該當하나 鐵原地方의 溫度가 春川測候所과 類似하므로 春川測候所의 自己溫度計 記錄值 1966년부터 1975年 까지의 10個年 값을 檢査하여 處理하였다.

(나) 여름두께

어름두께의 決定은 滿水面의 넓이, 水深, 溫度變化, 貯水池 沿岸의 狀態 等에 따라 달라지므로 正確한 여름두께를 求하는 것은 極히 困難하다.

그러므로 本地區에서는 既히 알고 있는 溫度別 여름두께 資料란으로서 處理하되 이들을 plot하여 直線 變化하는 것으로 간주하고 設計 여름두께는 200年頻度時의 最低 溫度일 때로 決定하였다.

(2) 設計水壓

各 公式에 따른 諸 條件은 다음과 같다.

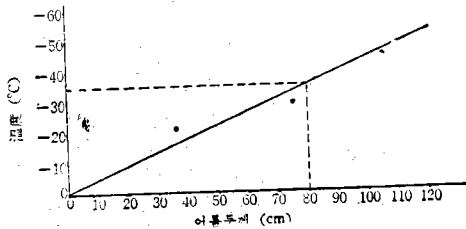
어름두께 : 0.80m (그림 10 참조)

溫度上昇率: 8.61°F(컴퓨터 處理結果 附表 參考)

區 分	1	2	3	4
水壓(t/m)	9.84	12.1	10.76	12.0

但,

1. Rose (Solar energy neglected) 그림 9 참조
2. Rose (Solar energy considered) 그림 9 참조
3. Ernest Brown & George C. Clark 그림 8 참조



溫 度	어름두께	비 고
-21°C	35cm	本地區
-29°C	75cm	철원군동봉면 대위리 학저수지
-45°C	105cm	CHURCHILL HILL

그림 10. 溫度別 어름두께

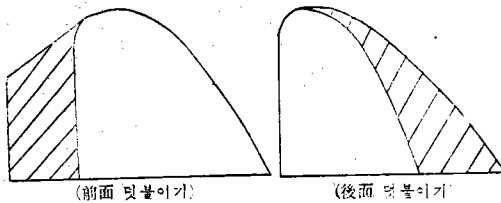


그림 11. 補強 方法

둘째 堰體 前面에 콘크리트 덧붙이기를 實施하여 土 部幅을 늘려 合力의 作用點이 middle third 以內의 들도록 하는 方法이며 (그림 11 참조)

참 고 문 헌

1. Design of Small Dams: A water Resources Technical Publication
2. 農業土木Hand Book(日本農業土木學會編)
3. Engeneering for Dams:(Creager,gestin,Hinds)

4. 水壙담 記錄

上記 4가지 式을 檢討한 結果 設計水壓은 餘裕를 보아 $p_1=12\text{ton/m}$ 로 決定하였다.

(3) 設計方法

水壓이 作用할 때의 堰體 設計方法은 크게 세가지로 區分된다.

첫째, 물넘이 斷面에 鐵筋을 補強하여 水壓에 對 응케 하는 方法이며 本地區에서의 鐵筋量은 다음과 같다.

hd(m)	As (cm ²)	hd(cm)	As (cm ²)
0.5	1.86	1.0	7.69
1.5	10.04	2.0	12.17
2.5	14.15	3.0	16.10
4.0	21.67		

셋째 堰體 後面에 콘크리트 덧붙이기를 實施하는 方法이다. (그림 11참조)

上記와 같은 方法中에서 가장 經濟的인 方法으로 設計함이 타당한 것으로 思慮된다.

VI. 結 論

가. 本土橋池 堰體는 水壓을 考慮하지 않았을 때는 力學的으로 安定하였고 施工狀態도 比較的 良好하였으나

나. 水壓을 考慮한 堰體에 對한 力學計算은 不安定하였으므로

다. 漢水 以北 地方은 물넘이 및 水門 設計時 水壓을 考慮하여야겠으며

라. 여러가지 與件下에서의 어름두께, 溫度上昇率 等を 調査하여 앞으로의 設計는 水壓을 考慮하도록 하여야겠다.

Joel D. Justin, Julian Hinds)

4. 農地改良事業計劃設計基準(Fill Dam編)
5. " (두수공편)