研 究 資 料

스루스 게이트의 流量公式

Flow Equation for the Sluice Gate

李 重 基
Joong Key Lee

要 點

물이 水門(Gate)을 通하여 흐를때 其 狀態를 安全흐름 (Free Flow)과 不安全흐름 (Submerged Flow)으로 區分되는데 이는 모두 流體의 性質과 自然條件에 의해 一定斷面보다 작은 流體通水 斷面으로 축소되며 기타 우리눈에 보이지 않는 많은 형태의 變化를 갖고 있기 때문에 流出口에서 축소된 단면이 일어난다. 이를 수축계수(Coeff of Contraction)이라 부르며 이 수축계수를 計算하기란 극히 힘들기 때문에 河床 마찰력 斷面의 流速分布 壓力分布의 현상을 利用하여 公式을 유도했으며 이 理論式에다 諸水理學者의 실험에서 얻어진 보정계수를 加하여 수정하였고 特히 下流部의 水深을 計算할때 跳水前 斷面과 跳水後 斷面間에 運動量 方程式을 使用하여 計算 했으며 이 수축계 수를 使用하여 수문을 通해 흐르는 流量을 計算하고 또 水理 試驗에서 實測한 流量과의 誤差 범위를 求해본 결과 最大誤差가 6.8%로서 省略할 만큼 적기 때문에 流量計算을 爲한 公式으로 使用할 價値가 충분한고로 여기에 소개한 것이고 設計 및 水理計算時 本公式을 利用해 주길 바란다.

緖 論

一定한 나비를 가진 長方形水路에 設置된 스루스 게이트 (Sluice Gate)를 通하여 흐르는 물은 安全흐름 (Free Flow 第1圖 "a"참조 以下 편의상 安全흐름 이라 부른다)과 不安全 흐름 (Submerged Flow 潛口흐름 第1圖 "b"참조 以下 편의상 不安全 흐름 이라 부른다)으로 나눈다.

1. 安全흐름(Free Flow)

第1圖 "a"에 表示된것과 같으며 圖上에서 a는 Gate가 열린 높이이고 H_1은 上流 水深으로 流速U_1을 지닌 水深을 表示하며 H_0는 總水深으로 H_1에다 U_1에 의해 생기는 速度水頭 손실을 合한 것이다.

$$H_0=H_1+\frac{U_1^2}{2g} \cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

물이 Gate (水門 및 모서리는 날카로운 첨단으로 만들어 마찰이 없는 것으로 取扱 했음)밑으로 흐를때 自由水面이 最小斷面으로 축소되는 축소부분 (Contracta)은 大略 水門으로 부터 下流로 a의 거리만치 떼러져 일어난다고 본다 만일 수축된 흐름의 깊이를 Y_{of}라면

$$Y_{of}=Cc\cdot a \cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

여기서 Cc : 수축계수(*Coeff of Contraction*)

Henderson씨는 수축계수의 추정과 安全흐름의 形態를 研究하고저 많은 실험分析을 하여 其結果치를 正確히 計算하였고 Pager와 Behjamin 씨는 流體의 粘性의 영양을 省略할때 Cc는 다만 a/Ho의 함수임을 表示했고 이로서 第一表를 만들었다. 이 表에 表示된것과 같이 Cc의 變化가 매우적다 그래서 Henderson씨는 Cc의 값을 特別한 경우를 除外 하고는 0.61을 取했다.

그러나Woycickl. Benjamin. Shahmugam씨의 實驗에서 관찰한 Cc의 값이 0.61보다 약간 높다.

스루스 게이트의 取扱은 平平한벽 (短管 Orifice)에서 나오는 流體의 분사로 取扱한다. 그러면 流量公式은

$$q=C_{df}\cdot a\sqrt{2g\ H_1} \cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

여기서 q : 流量 (單位幅當)

C_{df} : 流量 係數

Fig 1 "a"에서 斷面①과 ②間에 손실이 없다고 假定하고 이를 Bernoulli 公式에 의해 表示하면

$$H_1+\frac{U_1^2}{2g}=Y_{of}+\frac{U_2^2}{2g} \cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

또 連續 方程式에서

$$q=H_1U_1=Y_{of}\ U_{of} \cdots\cdots\cdots\cdots 5)$$

※ 筆者; 土聯 設計部 勤務

(4)式과 (5)式을 (3)式에 代入하고 간단히 정리하면

$$q=\frac{Cc}{\sqrt{1+(a/H_1)Cc}},\ a\sqrt{2gH_1}\ \cdots\cdots\cdots(6)$$

C_{df}를 다음 (7)式과 같이 표시하면 (6)式은 (3)式과 같이 된다.

$$C_{df}=\frac{Cc}{\sqrt{1+(a/H_1)Cc}}\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(7)$$

만일 Cc과 a/H_0의 관계에서 接近流速의 영양을 無視하면 (7)式에서 Cdf는 a/H_1의 變數만을 갖는다 그러므로 *Rouse* 씨는 이 관계를 圖示한 것이 第2圖이다.

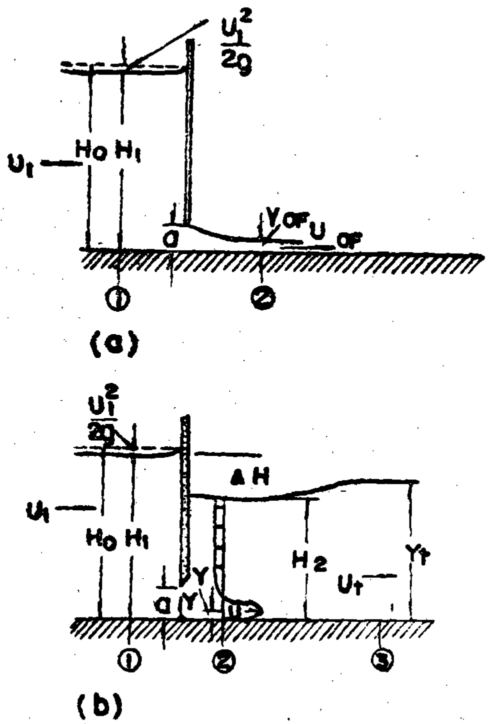

FIG.I. 스루스 게이트로 부터 흐르는 안전 흐름과 불안전 흐름의 형태

流出係數 C_{df}를 Gibson, Addison Henry 그리고 Shanmugam씨가 실험하여 求한것을 Binie과 Gibson. Addison씨가 실험수정한 결과 a/H_0의 값을 0.7로 가정한 결과 Cc=0.611의 값과 一致되였다.

C_{df}의 값이 H_1/a의 값을 11.0 까지 가정 할때 약간 높은감이 있지만 別差가 없기 때문에 이 C_{df}의 값을 0.61로 하고 이를 상수화 시켰다.

C_{df}對 H_1/a에 對한 Henry이 實驗치를 1.5~16까지 배열시켰고 Shanmugam씨는 1.5~7까지 배열시킨 시험 결과표에서 보면 兩氏의 실험치인 C_{df}의 값이 잘 一致했으며 약간의 差가 있으나 극소하므로 無視하고 C_{df}의 값을 고정시켰다.

第1表 a/H_0에 對한 Cc값

실험관측자	a/H_0의 값					
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
RAYLEIGH	0.611	—	—	—	—	—
VAISEY SOUTHWELLAND	—	—	—	—	—	0.608
PAGER	0.611	—	0.6046	0.6036	0.6043	0.6066
BENJAMIN	0.611	0.606	0.6022	0.5995	0.598	0.598

2. 不安全흐름 (Sudmergeb Flow)

이는 Fig. 1 "b"에 表示된것과 같으며 여기서 yt는 下流水深 (自由水面이 安定됐을때 即 Jump(跳水)가 일어난 다음)이고 H_2는 流出口 直下의 水深 (Jump가 일어나기 直前의 水深)으로 流量q는 yt. a H_1에 의해 調節된다.

$$b=Cc\ a\ \sqrt{2g(H_0\cdot H_2)}\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(8)$$

Cc 安全흐름의 수축계수와 같으며 수축계수의 실험식은 다음과 같다.

$$Cc=0.617+\frac{0.04a}{H_0}\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(9)$$

Woyclckl씨는 단면 2와 단면 3사이에 運動量 方程式을 유도했는데 단면 2의 運動量은 다음과 같다.

$$M_2=\frac{qrw}{g},\ \frac{q}{aCc}=\frac{q^2rw}{gaCc}\ \cdots\cdots\cdots\cdots(10)$$

r_w : 물의 單位重量

10式은 兩斷面에서 水壓分布를 水理學的으로 假定하고 河床마찰력을 省略한 式이다. 또 Henry의 不安全흐름 流量公式은

$$q=Cds\cdot a\cdot\sqrt{2gH_1}\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(11)$$

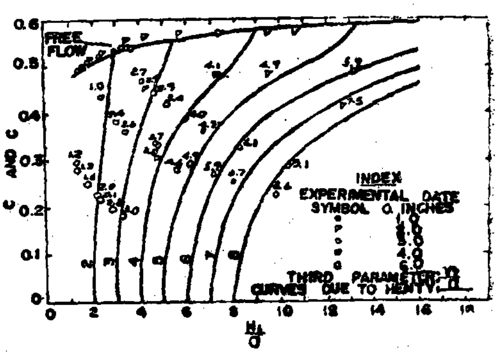

FIG. 2 HENRY 씨의 시험결과 도표

C_{ds} 不安全 흐름의 流量 계수

Henry는 C_{ds}를 H_1/a와 yt/a의 함수로 取扱하고 C_{ds}를 이 함수에 의해 實驗하여 Fig. 2에 表示했으며 이表에서 C_{ds}를 求하여 流量을 計算할수있게 하였다.

또 Shmide씨는 不安全흐름의 流量公式을 다음과

같이 表示했다.

$$q=\phi_1\ Cdf\ a\ \sqrt{2gH_1}\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(12)$$

여기서 $\phi_1=\sqrt{(H_1-H_2)/H_1}$

Schmibt와 Woycick씨는 H_1/a를 求하기위해 yt/a : ϕ_1의 관계를 간단히 정리 했으며 C_{df}의 평균치를 使用하여 求한 流量公式이 (12)式과 一致된다. 即

$$q=C_{ds}\ a\ \sqrt{2g(H_1-yt)}\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(13)$$

여기서 C_{ds}는 實驗에 의해 決定된 流量係數로서 (12)式과 같이 表示하면

$$q=\phi_2\ C_{df}\ a\ \sqrt{2g\ H_1}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(14)$$

여기서 ϕ_2는 不安全 흐름의 係數로 單獨함수인 變數이며 이값은 Graph 상에서도 單一 曲線으로 表示된다. 만일 水門으로 흐르는 流量이 一定하다면 水門

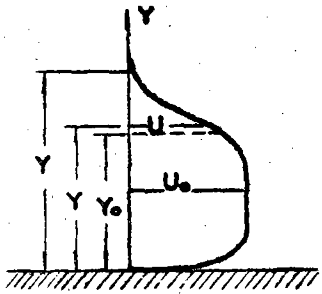

FIG.3. 不安全 흐름의 수축부분의 유속분포도

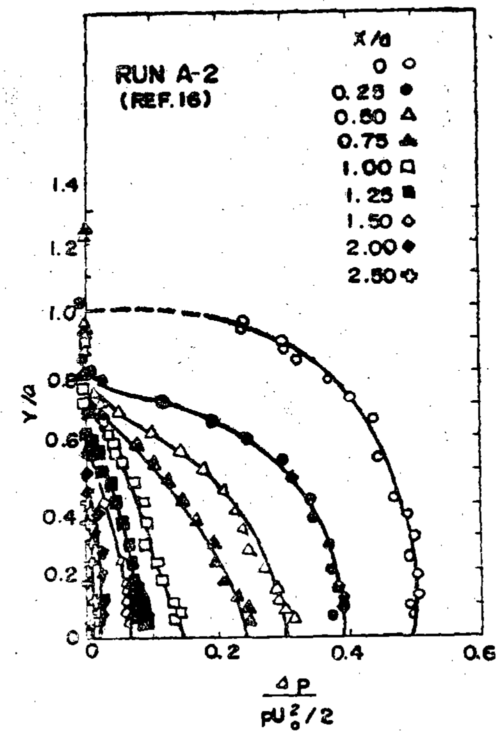

FIG.4. 不安全 흐름의 壓力 분포도

으로 부터 1.15a의 거리에서 最小水深인 y_0가 나타나는데 이 水深이 0.61a이다 (安全흐름의 경우도 同一하다) 그러므로 最小斷面 (수축부분)의 流速은

$$U_0=\sqrt{2g\ \triangle H}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(15)$$

$\triangle H=H_1-H_2$ (河床부터 自由水面까지의 水深差)

Fig. 3은 流速分布를 表示한 것인대 水門과 수축부분 사이에 壓力分布는 一般的으로 假定된 水理學的分布와 현저한 差異가 있다 만일 $\triangle P$가 임위점에서 발생한 壓力의 差라고 보면 y/a에 對한 $\triangle P=eU_0^2/2$의 變化는 Fig-과 같다.

以上에서 얻은 結果를 기초로 하여 流量을 計算하는 一般公式 (不安全 흐름에서와 꼭같이 安全흐름 에서도 적용됨)은 스루스 게이트 下流의 流量을 計算하기 위해 유도되였다. 이 유도된 공식이 다음과 같다.

一般的인 流量公式

Fig. 1 "b"에서 斷面 ①과 ②사이에서 Energy 손실이 없다고 가정하고 水理學的壓力 分布에 의해 運動量 公式으로 表示하면

$$H_1+\frac{U_1^2}{2g}=H_2+\frac{\int_0^{H_2}\text{euby}\ U^2\ ½}{\int_0^{H_2}\text{rwu}\cdot U\cdot dy}\ \cdots\cdots(16)$$

Rajaratnam씨는 不安全 흐름에서 下流의 跳水와 運動 Energy를 省略하면

$$H_1+\frac{U_1^2}{2g}=H_2+\frac{1}{2g}\ \frac{\int_0^{yf}U^3dy}{\int_0^{yf}\text{Udy}}\cdots\cdots\cdots(17)$$

yf : 孔口 밑바닥에서 天井까지 거리 (Gate가 열린 높이)

(17)式 右項의 運動 Energy 項은

$$\frac{1}{2g},\ \frac{\int_0^{yf}U^3dy}{\int_0^{yf}\text{U}\ dy}=\alpha\text{s}\ \frac{q^2}{y_0^2 2\text{g}}\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(18)$$

αs : 運動 Energy 정정 계수

y_0 : 수축 부분의 수심 0.61a

위 (17)式과 (18)式을 정리하면

$$q=\frac{1}{\sqrt{\alpha\text{s}-(y_0/H_1)^2}},\ y_0\sqrt{2g\triangle H}\ \cdots\cdots\cdots(19)$$

$$q=\frac{Cc}{\sqrt{\alpha\text{s}-Cc^2(a/H_1)^2}},\ \text{a}\sqrt{2\text{g}\ \triangle\text{H}}\ \cdots\cdots(20)$$

20式을 간단히 하면

$$q=Cd_1\ a\ \sqrt{2g\ \triangle H}\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(21)$$

여기서

$$Cd_1=\frac{Cc}{\sqrt{\alpha\text{s}-Cc^2(2a\triangle H}}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(22)$$

αs는 Rajaratnam과 Subramanya씨의 실험에서 1.08. 1.11 1.04 平均치 1.08을 求하였고 上記方法과

같이 安全 흐름에서의 流量公式도 다음과 같이 表示한다.

$$q=C_{d_2}\ a\ \sqrt{2g\ \triangle H}\ \cdots\cdots(23)$$

$$C_{d_2}=\frac{Cc}{\sqrt{\alpha s-Cc^2(a/H_1)^2}}\ \cdots\cdots(24)$$

$$\triangle H=H_1-Cca\cdots\cdots(25)$$

自然狀態의 流速分布에서 $\alpha s=1$ $Cc=0.61$로 取하면

$$C_{d_1}\quad \frac{0.61}{\sqrt{1-0,3l2(a/H_1)^2}}\ \cdots\cdots(26)$$

$$d_2=\frac{0.61}{\sqrt{1-6,372(a/H_1)^2}}\ \cdots\cdots(27)$$

(27)式과 (26)式을 同一한 계수의 값을 갖는다 그러므로

$$q=cd\ a\ \sqrt{2g\ \triangle H}\cdots\cdots(28)$$

$$cd=fn(a/H_1)\ \cdots\cdots(29)$$

$\triangle H=H_1-0.61a$ (安全 흐름에서)

$\triangle H=H_1-H_2$ (不安全 흐름에서)

로 求해야 하고 Cd는 a/H_1의 함수로 이를 변수로놓고 실험을 하여 求하면 더정확 하다 이 실험은 다음과같이 하였다.

水理 實驗

정확한 一般公式을 만들기 爲해 C_d의 계수를 실험을하여 求해야 하는대 C_d는 a/H_1의 함수로서 이를 變數로 取하여 試驗하였다. 이 水理 모형 실험은 나비 45cm 높이가 40cm 길이 49cm의 순환식인대 바닥은 매끈한 알미늄판으로 하고 兩벽은 Plexi 유리 (투명유리)로 만들고 실험용 水門은 두께가 6.3mm인 알미늄판으로 下端을 날카로운 첨단으로 하여 물이 흐를때 마찰력이 없겠금 만들었다. 물은 물탱크를 上流에 두어 공급하고 下流部 말단에는 流量과 水位를 自由로히 조절하겠금 水門을 별도로 설치 하였다. 水深 H_1 H_2는 마노 미터 (Mano Meter)로 측정하고 yt는 水門위치에서 정확히 측정했으며 流量은 콤매리칼 오리피스 미터 (Commerical Orifice Meter)로 측정 하였다.

실험은 5가지로 나누어 총 57回를 하였는대 其中 37回는 安全흐름 20回는 安全흐름에 對하여 실험 하였다. 이 실험 결과표가 第二表과 같고 Fig 2는 Henry 실험 곡선으로 安全流出이나 不安全 流出에서 잘부합되며 開水路에서도 실험한 것과 잘부합된다. 그리고 (28)式의 C_d를 (29)式으로 計算하여 圖表化 한것이 Fig. 5이다 이 圖表의 값을 使用하여 作圖한 曲線과 (26) (27)式으로 作圖한 曲線의 差가 있는대 이는 簡單한 變數를 一定 常數로 假定하여 求하였기 때문이다.

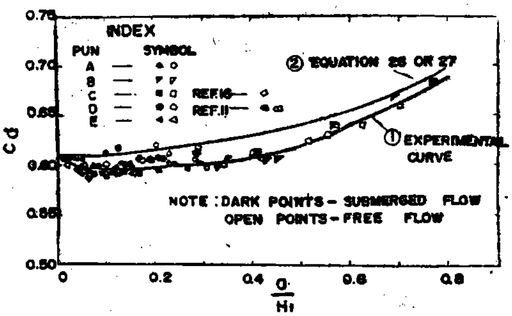

FIG. 5. a/H_1에對한 Cd의 값

第2表 試驗 結果表 No. 1

試驗番號		흐름상태의 구분	유량 q	수심 H_1	수심 H_2	수심 Yt	유량계수	a/H_1	Yt/	수축계수
	cm		10—2	cm	cm	cm				
A—1	8.13	S	2.08	37.08	26.41	28.34	0.620	0.205	3.72	0.332
2	〃	〃	2.08	47.24	36.06	37.0	0.607	0.161	4.86	0.291
3	〃	〃	2.08	55.11	43.68	44.9	0.600	0.138	5.80	0.271
4	〃	〃	2.07	61.72	50.29	51.07	0.596	0.123	6.70	0.254
5	〃	〃	2.05	75.43	64.77	25.22	0.611	0.101	8.56	0.228
6	〃	〃	2.08	36.57	25.40	27.88	0.607	0.208	3.66	0.333
7	〃	〃	2.69	63.75	44.19	46.78	0.593	0.1195	6.14	0.326
8	〃	〃	2.65	79.50	60.19	61.87	0.590	0.0960	8.12	0.287
9	〃	〃	2.67	60.70	41.27	—	0.591	0.1255	—	—
10	〃	〃	2.70	51.94	32.63	46.06	0.600	0.1465	4.73	0.363
11	〃	〃	2.70	45.72	26.16	30.35	0.595	0.1570	3.98	0.388
12	〃	〃	2.72	39.87	20.57	25.75	0.604	.1910	3.38	0.417
13	〃	〃	2.72	35.3	16.12	22.6	0.605	0.2160	2.96	0.444
14	〃	〃	2.72	31.75	12.19	18.03	0.598	0.2400	2.70	0.467
15	〃	F	2.75	24.89	4.62	—	0.598	0.306	—	0.536
16	〃	〃	2.28	18.03	4.57	—	0.605	0.422	—	0.525

A—17	〃	〃	2.60	21.35	4.62	—	0.600	0.341	—	0.534
18	〃	〃	2.89	21.92	4.62	—	0.605	0.283	—	0.541
19	〃	〃	2.97	28.44	4.62	—	0.595	0.268	—	0.541
B— 1	16.26	S	2.73	19.81	16.0	17.98	0.682	0.770	1.18	0.299
2	〃	〃	2.73	36.92	22.6	24.87	0.610	0.566	1.63	0.254
3	〃	〃	2.73	23.52	28.7	30.73	0.605	0.454	2.02	0.229
4	〃	〃	2.73	43.43	38.6	39.37	0.605	0.350	2.62	0.201
5	〃	〃	2.72	35.30	30.48	32.25	0.604	0.430	2.11	0.222
6	〃	〃	2.69	49.78	44.95	45.10	0.596	0.330	2.98	0.185
7	〃	〃	2.73	22.09	18.16	20.19	0.670	0.690	1.33	0.282
C— 1	10.16	S	2.93	30.98	18.28	23.92	0.600	0.328	2.36	0.384
2	〃	〃	2.93	24.38	12.19	18.89	0.613	04.12	1.86	0.435
3	〃	〃	2.93	34.79	22.09	26.77	0.601	0.292	2.63	0.362
4	〃	〃	2.90	48.51	35.81	38.73	0.596	0.209	3.81	0.304
5	〃	〃	2.90	57.40	44.45	46.73	0.590	0.170	4.59	0.279
6	〃	F	2.93	17.78	6.07	—	0.640	0.571	—	0.507
7	〃	〃	2.97	18.28	6.35	—	0.630	0.555	—	0.510
8	〃	〃	2.75	14.47	6.35	—	0.660	0.702	—	0.494
9	〃	〃	2.76	16.25	6.35	—	0.640	0.625	—	0.502
D— 1	5.08		2.30	65.02	33.78	38.04	0.598	0.078	7.49	0.413
2	〃	〃	2.28	79.5	46.78	52.42	0.594	0.064	10.32	0.370
3	〃	〃	2.33	49.02	17.01	24.84	0.600	0.1035	4.89	0.485
4	〃	〃	2.01	37.33	12.7	20.87	0.592	0.1360	4.11	0.478
5	〃	〃	1.48	17.78	5.33	12.31	0.612	0.2860	2.48	0.511
6	〃	〃	1.47	22.09	7.36	14.52	0.610	0.2300	2.86	0.454
7	〃	F	1.83	22.09	3.14	—	0.610	0.2300	—	0.565
8	〃	〃	2.13	29.46	3.14	—	0.605	0.1720	—	0.570
9	〃	〃	2.45	38.35	3.22	—	0.600	0.132	—	0.592
10	〃	〃	2.73	48.76	3.14	—	0.590	0.104	—	0.570
11	〃	〃	2.92	54.86	3.17	—	0.594	0.092	—	0.574
12	〃	〃	1.61	17.78	3.14	—	0.617	0.290	—	0.558
13	〃	〃	1.12	9.9	3.04	—	0.624	0.512	—	0.519
14	〃	〃	1.30	12.7	3.04	—	0.612	0.400	—	0.531
E— 1	2.54	S	0.97	33.52	10.97	15.11	0.593	0.0756	5.95	0.486
2	〃	〃	0.97	45.97	23.36	27.68	0.593	0.0552	10.09	0.426
3	〃	〃	1.06	52.57	25.90	27.73	0.595	0.0483	10.92	0.423
4	〃	〃	1.06	75.18	49.27	50.03	0.607	0.0338	19.70	0.354
5	〃	〃	1.81	106.90	30.98	96.27	0.605	0.0238	14.28	0.510
6	〃	F	1.42	47.75	1.57	—	0.606	0.0530	—	0.577
7	〃	〃	1.66	65.53	1.57	—	0.606	0.0390	—	0.597
8	〃	〃	2.05	100.58	1.57	—	0.590	0.0252	—	0.595

不安全 흐름의 運動量公式

Fig 5에서 C_d를 求해 (28)式에 代入하여 流量 (q)를 計算 하는데 우선 H_2를 求해야 한다 그러나 大部分의 경우 yt는 쉽게 求할수 있어도 H_2를 求하기란 극히 힘든다 그러기 때문에 H_2를 求하는 方法으로 運動量 方程式은 斷面 ②과 ③에서 求할수 있는데 斷②의 流速 $U_0=\sqrt{2g(H_1-H_2)}$과 수심 y_0에 의해 결정된 수축부의 수심 y_0*는 다음식으로 求한다.

$y_0{}^*=q/u_0$ ……………………………………(30)

$y_0{}^*=Cd\ a$ ……………………………………(31)

斷面 ②의 運動量은

$$M_2=\int_0^{yf} e u^2 dy \cdots\cdots (32)$$

逆流의 運動量을 省略하면

$$M_2=eg\ u_0\ \beta_2 \cdots\cdots (33)$$

β_2는 運動量 계수로서 다음式으로 求한다.

$$\beta_2=\left(\int_0^{yt} U^2 dy\right)\frac{1}{qu_0} \cdots\cdots (34)$$

斷面②의 總壓力은

$$P_2=rw\frac{H_2^2}{2}+ak\theta e\frac{U_0^2}{2} \cdots\cdots (35)$$

(35)式 第 2항은 水理學的 조건에서 이미 주어진 誤差이고 ak는 水理學的 分析으로부터 誤差가 生긴 水深을 표시 하며 θ는 실험 계수이다.

斷面③에서 運動量과 總壓力은 斷面②에서와 같이

$$Mt=eg\ U\ \ell_t \cdots\cdots (36)$$

$$Pt=rw\frac{yt^2}{2} \cdots\cdots (37)$$

$\beta t=0$로 假定하고 Fs를 斷面 ②와 ③사이의 河床摩擦力 이라면 運動量 方程式은

$$P_2-Pt-Fs=Mt-M_2 \cdots\cdots (38)$$

壓力의 구배가 없는 깊은水中 노즐(NNozzul)孔口(Fig6과 같음)과 같은 不安全흐름의 형태를 가진 水門으로 부터 生기는 摩擦力 Fs는

$$Fs=\ \varepsilon\ e\ U_0^2 Y_0^* \cdots\cdots (39)$$

ε는 $Re=U_0 y_0^*/LU$ $\lambda_{sj}=L_{sj}/y_0^*$의 함수이며 Ls는 不安全 흐름의 $Jump$ (跳水)길이이다.

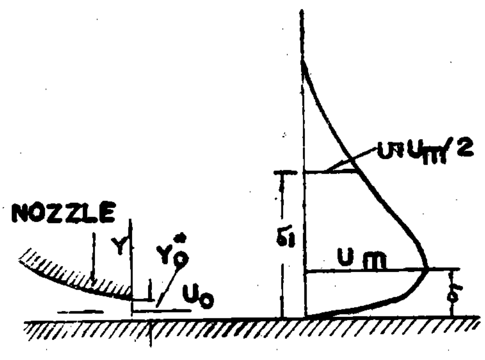

FIG. 6. 분사 [illegible] 정의

(39)式을 (38)式에 代入하여 정리하면

$$rw\frac{H_2}{2}+ak\theta e\frac{U_0^2}{2}-rw\frac{yt^2}{2}-\varepsilon e_{u_0} y_0^*$$

$$=\varepsilon\varepsilon ut-\beta_2 equ_0 \cdots\cdots (40)$$

$$rw(yt^2-H_2^2)\tfrac{1}{2}=\beta' e U_0^2 Y_0^*-\varepsilon_u t^2 yt \cdots\cdots (41)$$

$$\beta'=(\beta_2+\frac{k\theta}{2Cd}-\varepsilon) \cdots\cdots (42)$$

(41)式을 간단히 하면

$$4Y_0^{*2}(H_1-{}_2H)=\frac{Y_0^* Yt(yt^2-H_2^2)}{\beta' Yt-Y_0^*} \cdots (43)$$

萬一 $\left.\begin{array}{l} H_2/y_0^*=\phi \\ Yt/y_0^*=A \\ H_1/y_0^*=B \end{array}\right\}$ 로 표시 하면$\cdots\cdots$(44)

$$\phi^2-\frac{4(\beta' A-1)}{A}\phi+\left\{\frac{4(\beta' A-1)}{A}B-A^2\right\}=0 \cdots (45)$$

(45)式을 根의公式에 代入하여 ϕ를 求할수 있다.

$$\phi=\frac{2(\beta' A-1)}{A}+\left\{\frac{4(\beta' A-1)^2}{A}+A-\frac{4(\beta' A-1)}{A}B\right\}^{1/2} \cdots\cdots (46)$$

46)式에서 A, B는 알수있고 β'를 假定하면 (44)式에서 H_2를 求할 수 있다.

Rajaratnam과 Subramanya씨는 실험에서 $\beta'=\beta_2$를 1.08, 1.16. 1.16 (平均치 1.09)를 求했다. $K\fallingdotseq0.8$ $\theta=0.06$ 과 Cd의 平均치인 1.08을 使用하면 $k\theta/2Cd=0.04$ 이고 $Re=10^6$을 取하고 λ_{sj}의 값을 16~160까지 變化시켜서 $\varepsilon=0.03\sim0.09$의 값을 求하였다. 萬一 $\beta=1.09$를 取하면 $\beta_2+k\theta/2Cd=1.13$ 이고 $\varepsilon=0.08$의 값을 取하면

$\beta_2+k\theta/2Cd-\varepsilon=1.05$ 이다. 그리고 $\beta'=1.0$을 取하면 46式은

$$\phi=\frac{2(A-1)}{A}+\left\{\frac{4(A-1)^2}{A^2}+A^2-\frac{4(A-1)}{2}B\right\}^{1/2} \cdots\cdots (47)$$

(47)式을 使用하여 $Cd \cdot\cdot a/H_1$의 실험곡 선과 流量 q는 알고 있는 값 $H_1 a$ Yt에 의해 計算할수 있다.

計算한 流量 q와 實測된 流量 q_c과의 誤差 %(百分率)은 第3表와 같으며 이에서 보는바와 같이 最大誤差가 6.8% 이므로 여기에 유도된 公式(流量)은 정확한 式이다 安全흐름 에서도 不安全 흐름 에서와 같이 FIG4와 公式 (47)을 使用하면 정확한 값을 얻는다.

第3表 計算公式의 誤差限界

實驗番號	流量 q (實測된流量)	流 量 q_c 計算된유량	$\frac{q_c-q}{q}\times100$ (誤差率)
	m^3/sec	m^3/sec	%
A— 1	2.08	2.09	0.65
A— 2	2.08	2.22	6.80
A— 3	2.08	2.17	4.63
A— 4	2.06	2.17	5.35
A— 5	2.04	2.06	0.97
A— 6	2.08	2.16	4.08
A— 7	2.68	2.75	2.32
A— 8	2.65	2.76	5.32
A— 9	2.67	—	—
A—10	2.70	2.77	2.72
A—11	2.70	2.83	4.72
A—1	2.71	2.72	0.42
A—13	2.71	2.78	2.60

A—14	2.71	2.75	1.56
B— 1	2.73	2.75	1.04
B— 2	2.73	2.83	4.66
B— 3	2.73	2.83	3.53
B— 4	2.73	2.88	5.70
B— 5	2.72	2.88	6.00
B— 6	2.68	2.74	2.10
B— 7	2.73	2.7∠	1.80
C— 1	29.2	1.88	—1.35
C— 2	2.92	2.80	—3.19
C— 3	2.92	2.95	0.96
C— 4	2.90	3.02	3.36
C— 5	2.90	2.99	2.42
D— 1	2.29	2.32	1.11
D— 2	2.27	2.30	1.24
D— 3	2.32	2.39	2.68
D— 4	2.00	2.04	1.70
D— 5	1.48	1.43	—3.25
D— 6	1.16	1.42	—3.09
E— 1	0.96	0.98	2.34
E— 2	0.96	0.97	1.47
E— 3	1.05	1.07	1.87
E— 4	1.05	1.08	2.94
E— 5	1.81	1.83	1.56

河床 摩擦力

Fig. 1 "b"에서 L_{sj}는 斷面 ②가 ③사이의 거리이다 그러므로

(1) L_{sj}는 roa와 Rajaratnam씨의 不安全호름 Jump 公式에서 計算할수 있다.

$$\frac{L_{sj}}{y_0}=4.9s-6.1 \cdots\cdots (48)$$

$$Y_2=\frac{1}{2}Y_0^*\left(\sqrt{1+8\frac{u_0^2}{g}y_0^*}-1\right) \cdots\cdots (49)$$

$$S=\frac{(Yt-Y_0)}{Y_0} \cdots\cdots (50)$$

(49)式은

$$\frac{y_2}{y_0^*}=\frac{1}{2}(\sqrt{16B-15}-1) \cdots\cdots (51)$$

여기서 $B=H_1/y_0^*$이다.

2. 不安全흐름은 壓力구배가 없는 벽면에서 *Jet*式으로 흐르는 것과 같은경우로 取扱한다 (벽면에 潜孔 *Orifice*과 같은 경우) 이 *Orifice*가 극히 작을 경우는 上記한 여러公式이 약간의 誤差가 있지만 여기서는 모든 조건을 충분히 졌을 경우로 봐서 計算한다.

Fig 6은 數種으로 나누어 實驗한 분사 (*Walljet*)에서 서로 비슷한 流速을 모아 分布시킨 曲線이다.

여기서 *Um* : *Nozzle*부터 力거리 上임위 지접의 最大流速.

τ_1 : 縱軸의 축척.

δ : 마찰力 때문에 流速이 0인 수막층.

萬一 τ_0가 計算하는 點의 마찰력 이라면 *Sigalla*씨의 公式을 使用하여

$$\tau_0=Cf\ C\frac{Um^2}{2} \cdots\cdots (52)$$

$$Cf=\frac{0.0565}{\left(\frac{Um\delta}{N}\right)^{1/4}} \cdots\cdots (53)$$

$$\delta=0.16\delta_1$$

δ와 Um/U_0 δ_1/y_0^* 와의 變數를 使用하여 求하면

$$\tau_0=C_1 f(\lambda)\ e\ U_0^2 \cdots\cdots (54)$$

여기서 $C_1=\frac{0.336}{Re^{1/4}}$ $\cdots\cdots$ (55)

$$f(\lambda)=\frac{1}{\lambda(0.276\lambda^{-1/2}+0.036\lambda^{1/2})\ (\quad)^{1/4}} \cdots (56)$$

$$\lambda=x/y_0^*$$

斷面 ②와 ③사이의 總마찰력 *Fs*는

$$Fs=\int_0^{Lsj}C_1 f(\lambda)\ eu_0^2 dx \cdots\cdots (57)$$

$$Fs=C_1 eu_0^2 y_0^*\int_0^{\lambda si}f(\lambda)d\lambda \cdots\cdots (58)$$

$$C_1\int_0^{\lambda sj}f(\lambda)d\lambda=\frac{Fs}{eu_0^2 Y_0^*}$$

$$\varepsilon=Fs/:u\ _0^2 y_0^*=C_1\int_0^{\lambda si}f(\lambda)d\lambda \cdots\cdots (59)$$

59式에서 $Re=10^5$를 使用하여 計算한 것이 Fig 7이다. ε는 $x/y_0^*=16$일때 0.03이고 $x/y_0^*=160$일때 $\varepsilon=0.09$이다.

이로봐서 u/y_0^*가 10倍로 증가 했으나 ε는 3倍 밖에 증가치 않는다 그러므로 ε는 거의 상수로 봐도 별差異가 없다.

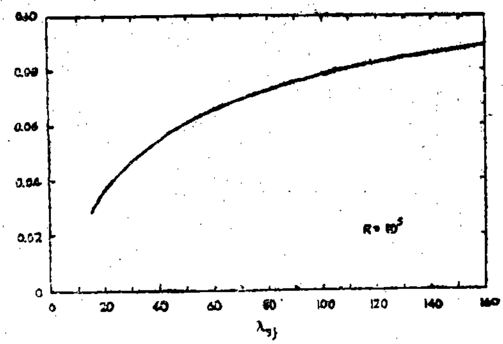

FIG. 7. λ_{sj} 에 따른 ε 값

計算要領

스루스 게이트의 計算순서는 다음방법에 의한다.

(1) 흐름의 상태를 安全흐름인가 不安全흐름인가를 구분할것.

安全흐름에서 斷面②의 流速 $U_0=\sqrt{2g)H_1-0.61a)}$를 가진 수심 $Y_0{}^*$를 결정할것 (29)式에서 $Y_0{}^*=Cda$를 求하고 $Y_0{}^*$와 U_0를 使用하여 跳水高(*Hydraulic Jump*) y_2는 49式에서 計算할수 있다. 그리고

$$\frac{y_0}{y_0{}^*}=\frac{1}{2}\left[\left\{1-16(H_1-0.61a)\cdot\frac{1}{y_0{}^*}\right\}^{1/2}-1\right] \cdots\cdots(60)$$

(51)式에서

$$\frac{y_2}{y_0{}^*}=\frac{1}{2}\left\{(16\frac{H}{y_0{}^*}-15)^{1/2}-1\right\} \cdots\cdots(61)$$

(61)式으로 그린 圖表가 *Fig* 8 이다.

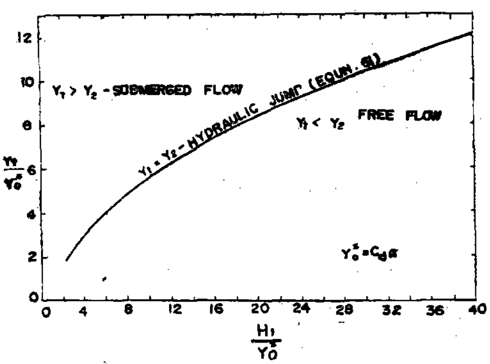

FIG.8 흐름 형태의 구분

安全흐름에서

(2) H_1a를 알고 28式에 依해 流量 q를 計算한다.

(3) q와 H_1을 알고 u를 計算한다. 式28을 정리하면

$$q=Cd\ a\sqrt{2g(H_1-0.61a)} \cdots\cdots(62)$$

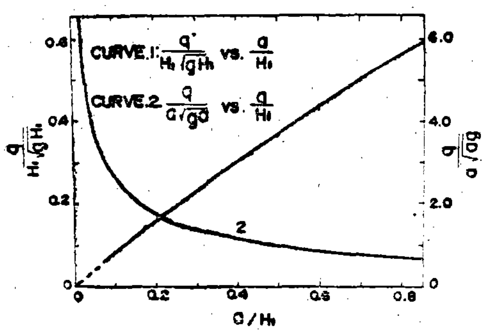

FIG.9. a/H 에 對한 $\frac{q}{H_1\sqrt{gH_1}}$ 곡선

$$\frac{q}{H_1\sqrt{gH_1}}=Cd(a/H_1)\sqrt{2(1-0.61a/H_1)} \cdots(63)$$

$$\frac{q}{H_1\sqrt{gH_1}}=f(a/H_1) \cdots\cdots(64)$$

$f(a/H_1)$은 변수 a/H_1에 따라 변하며 이를 圖表한것이 Fig 9 이다.

(4) a와 q를 알고 H_1을 計算한다.

(62) 式을 정리하면

$$\frac{q}{a\sqrt{ga}}=Cd\sqrt{2(H_1/a-0.61)} \cdots\cdots(65)$$

$$\frac{q}{a\sqrt{ga}}=f_2(a/H_1) \cdots\cdots(66)$$

a/H_1에 對한 變數 $f(q/H_1)$을 圖示한 것이 Fig 9 이다.

不安全 흐름에서

(5) a_1H_1Yt를 알고 q를 計算한다. 公式 (48)式을 利用하여 前記(2)의 方法에 의한다.

(6) H_1 yt q를 알고 a를 計算한다.

(7) yt q a를 알고 H_1을 計算한다.

(8) q a_1 H_1를 알고 yt를 計算한다. (公式45)

參考 文獻

(1) 安守漢氏 水理學 Orifice 編

(2) 永井莊七郎 水理學 6.9.15章

(3) RANALD 'V' GILES
FLUID MECHANICS ANID H YDRA URICS
CHAPTER 9. CHAPTER 10.

(4) IR J TH THJSSE
DISCHARGE AND UNIFORME FLOW
DELFT TECHNOLDGICAL UNIVERSITY

(5) ROBIN R. C.
DISCHARGE OF SUDMERGED FOR SLUICE GATE

(6) ANWAR H. O.
APPLICATION OF THE PRINCIPLE OF EX TREMUM TO SUBMERGED DISCHARGE

(7) NAIB S. K. A
FLOW POTTERNS IN A SUBMERGED LIQU ID JET DIFFUSING UNDER GRAVITY

記號 說明

$A=yt/y_0^*$

a : 스루스 게이트가 열린높이

$B=H_1/y_0^*$

Cc : 수축계수

Cd, Cdf : 安全흐름의 流量係數

Cd_1Cd_2 Cd_3 : 不安全흐름의 流量係數

Cd : 共同으로 使用되는 流量係數

Cf : 摩擦力 係數

C_1 : 마찰력상수

F_s : 河床 總摩擦계수

f_1f_2 : 함수

g : 重力加速度

H_0 : 上流部의 總水深 $(H_1+\frac{U^2}{2g})$

H_1 : 上流部 水深

H_2 : *Gate* 직하 *Jump* 前수심

k : 比例 상수

Lsj : 不安全 흐름의 跳水長

Mt : 斷面 3의 總運動量

M_2 : 斷面 2의 總運動量

Pt : 斷面 3의 總壓力

P_2 : 斷面 2의 總壓力

q_c : 實測한 流量

q : 計算한 유량

Re : Reynold Number$=u_0y_0^*/\nu$

S : 不安全 흐름 계수$=\frac{(yt-y_2)}{y_2}$

U_0 : 一定한 水深에서의 最大流速

$u_1u_fu_t$: 平均 流速

Um : 임위점의 最大流速

x : 橫軸

y : 河床으로부터 임위점의 수심

yf : yf=a

yt : $yt=y_2$ (水位가 安定된 곳의 수심)

y_0t : 安全흐름의 수축부분 수심

y_0 : 不安全흐름의 수축부분의 수심

y_0^* : 수축된 흐름의 수심$=q/U_0$

y_2 : 下流의 Iump 高$=yt$

$\alpha s \alpha f$: 運動 Energy의 정정 계수

β_2 : 운동량 계수

β' : 계수

rw : 물의 單位重量

$\triangle H=H_1-H_2$

$\triangle P$: 壓力差

q : 河床粒子의 粗度로因해 生기는 마찰력 때문에 유속이 0인 수막의 두뢰

y_1 : y軸의 축척

τ .. 마찰력계수

θ : 실험계수

$\lambda=x/y_0^*$

$\lambda sJ=LsJ/y_0^*$

ν : 粘性 계수

e : 밀도

τ_0 : 河床의 마찰력

$\phi=H_2/y_0^*$

$\psi_1=(H_1-H_2)H_1$

ψ_2 : 변수