

# 배수갑문 접근배수로 유입흐름의 에너지 감세량 추정

## Energy Dissipation of Inflow in the Upstream Channel of Sluice Gate of Tidal Barrier Dam

조진훈\*, 박상현\*  
Jo, Jin-hoon, Park, Sang-hyun

### Abstract

Energy dissipation of inflow in the upstream channel of sluice gate in Sihwa tidal barrier dam was estimated by hydraulic model study for the preliminary step to examine the erodibility of channel. The sluice gates is operated not only during the ebb tide but also during the rising tide, so that the water quality in the lake is controlled. Due to the frequent operation of sluice gates the rocky bottom of upstream channel was partially scoured. Recently the bottom of upstream channel was reinforced with under water concrete to prevent the bottom from scouring.

Field investigation was performed for the model calibration and the highest measured velocity was 11.0m/s at the upstream apron of gate.

Before the reinforcement of bottom, maximum energy dissipation was 40.5kW/m, and the average value for all gates was 27.5kW/m. After the reinforcement of bottom, the energy dissipation was lessen in 30~40% than before.

It was foreseen that the apron layer might be extended and reinforced enough to mitigate the rapid inflow in the upstream channel of sluice gate where several scour holes in the weathered rock foundation was seen.

### 1. 서론

시화지구 방조제의 배수갑문은 담수호내의 수질관리를 위하여 낙조시뿐만 아니라 창조시에도 해수를 유입시키고 있다. 배수갑문을 통과하는 유량은 막대하며 내외수위차에 따라 매우 강한 유속이 발생한다.

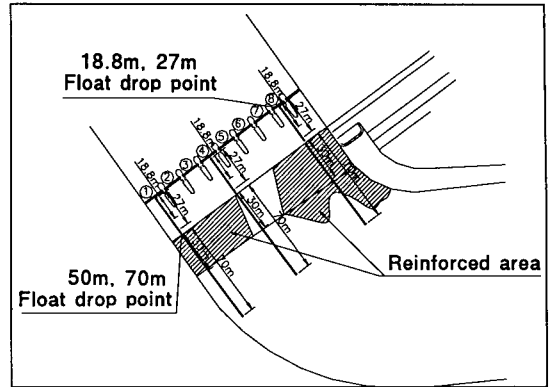
방조제의 최종 물막이시에 발생하는 유속은 대개 8.0m/s를 초과하지 않는 것으로 인식되고 있으나 국부적으로 보다 큰 유속의 발생 가능성을 배제할 수 없다. 방조제 완공후 배수갑문은 최종 물막이의 경우보다 개방폭이 좁으며 해측 조위가 높은 경우 오리피스 형태가 되기도 하므로 빠른 유속이 발생된다.

\* 농어촌진흥공사 농어촌연구원

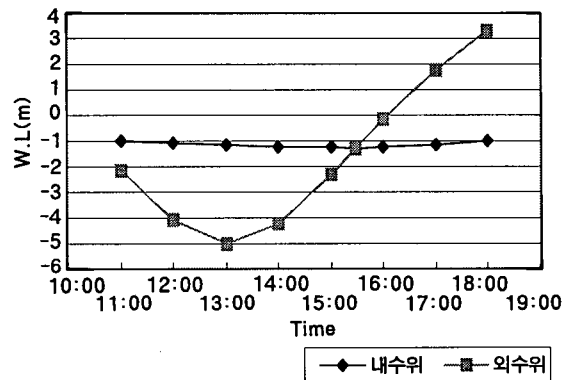
키워드: 배수갑문, 유입흐름, 에너지 감세, 수리모형실험, 침식력

이와 같은 조건하에서 유입흐름은 매우 큰 에너지를 수반하며 취부배수로를 통과하면서 에너지의 일부를 소산시키게 된다. 이 과정에서 구조물의 일부분 또는 바닥부가 에너지 감쇄에 필요한 저항력을 보유하지 못한 경우 손상 또는 침식이 될 수 있다. 에너지의 감쇄정도는 문비의 개폐 상태, 에이프런 및 바닥보강구간의 길이, 바닥지형 등에 따라 달라지게 된다.

본 연구는 시화호 배수갑문의 경우에 대하여 유입흐름의 에너지 감쇄량을 추정하기 위하여 시행하였다. 최근에 배수갑문 내측 에이프런의 하류단에 침식현상이 발견되어 에이프런 전 구간에 약 30m 폭의 범위에 대하여 수중콘크리트로 에이프런과 동일한 높이로 바닥보강을 하였다<Fig. 1>. 현장조사를 통하여 배수갑문 입구의 접근수로부분에 대하여 유입흐름의 유속을 실측하였으며, 이를 검정자료로 이용하여 수리모형실험을 실시하여 여러 경우에 대하여 유속의 평면적 분포를 추정하였으며 수리모형상에서 수위와 수심을 측정하여 에너지의 감쇄정도를 추정하였다.



<Fig. 1> Velocity measuring position and reinforced area



<Fig. 2> Water level changes on both sides of lake and sea during the velocity measurement

## II. 배수갑문 유입유속의 측정

### 1. 측정조건

창조시 배수갑문을 통과하여 담수호로 유입되는 흐름은 막대한 유량이 매우 빠른 유속을 가지게 되며 내외수위차가 증가할수록 엄청난 난류형태를 이루게 되어 정확한 유속측정은 어렵다. 빠른 유속과 안전상의 위험성 등으로 인하여 유속계를 이용한 계측은 거의 불가능한 상황이므로 간단한 형태의 부자를 이용하여 표면유속을 측정하였다. 측정구간은 국부적인 유속을 파악하기 위하여 문비인접구간, 에이프런 및 바닥보강구간, 그리고 보강부 이후 구간으로 구분하였다<Fig. 1>, <Fig. 2>는 유

속측정시 배수갑문 내외측 수위변화를 나타낸다. 측정당시 배수갑문은 총 8련 중 6련이 개방된 상태이었다.

### 2. 측정결과

#### 가. 에이프런 구간

<Table 1>은 에이프런 구간(27m)에서 유속을 측정한 결과로서 내외수위차가 증가할수록 유속이 증가하였으며 개방구간의 중간부분인 4번 문비 부근에서 유속이 가장 빠르게 나타났다. 측정구간의 말단부에서 발생하는 와류의

<Table 1> Measured velocities on the apron area(27m)

No.	Time	W.L. of Lake(m)	W.L. of Sea(m)	W.L. Difference (m)	Gate No.	T1(s)	T2(s)	T(s)	Velocity (m/s)
1	15:33	-1.283	-1.200	0.083	4	9.06	8.91	8.985	3.005
2	15:42	-1.268	-0.800	0.468	4	6.54	6.62	6.58	4.103
3	16:20	-1.200	0.900	2.100	4	4.74	4.71	4.725	5.714
4	16:22	-1.200	0.900	2.100	1	5.38	5.22	5.3	5.094
5	16:25	-1.190	1.000	2.190	8	4.37	4.24	4.305	6.272
6	16:45	-1.170	1.350	2.520	4	2.66	2.57	2.615	10.325

<Table 2> Measured velocities on the upstream area of apron(18.8m)

No.	Time	W.L. of Lake(m)	W.L. of Sea(m)	W.L. Difference (m)	Gate No.	T1(s)	T2(s)	T(s)	Velocity (m/s)
1	17:41	-1.070	2.700	3.770	4	1.81	1.89	1.85	10.162
2	17:42	-1.070	2.700	3.770	1	1.74	2.01	1.88	10.027
3	17:50	-1.030	3.100	4.130	4	1.46	1.77	1.62	11.641
4	17:56	-1.020	3.200	4.220	1	1.86	2.05	1.96	9.616

영향을 제거하기 위하여 측정구간을 18.8m로 축소하여 측정을 실시하였으며 그 결과는 <Table 2>와 같다. 측정결과 최대 유속은 11.6m/s로 나타났으며 이 때 내외수위차는 4.13m 이었다. 그러나 측정여건을 고려할 때 실제 최대유속은 12.0m/s 이상 될 수 있다.

나. 바닥보강 구간

<Table 3>은 바닥보강 구간(30.0m)에서의 유속측정 결과를 나타낸다. 이 구간에서 유속은 대체로 에이프런 구간(27m)보다 약 80~85% 정도로 작아진다. 이 구간에서도 16시 30분 이후에는 하류단의 와류로 인하여 유속이 감소하였다.

Ⅲ. 수리모형실험

1. 모형의 구성

본 모형실험은 농어촌진흥공사 수리시험장에서 실행되었다. 모형의 축척은 실험시설의 공간과 유량규모 등을 고려하여 1/50으로 하였다. 이 정도의 축척은 모형의 크기가 과소하지 않으며 현장의 수리현상을 재현하는 데 적절할 것으로 판단된다. 모형은 시멘트 모르터를 이용하여 고정상으로 제작하였으며, 배수갑문과 에이프런 부분은 콘크리트 부분이므로 마찰을 줄이기 위하여 아크릴로 제작하였다. 바닥보강 부분은 수중콘크리트 부분이나 수중시

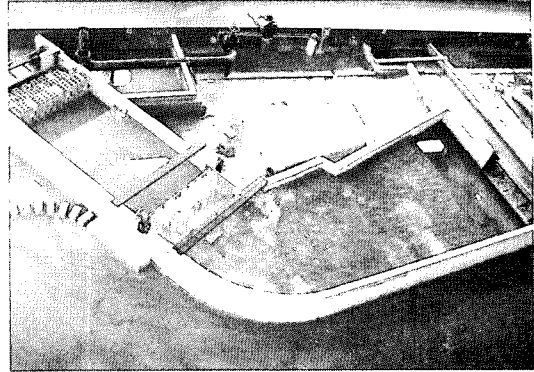
<Table 3> Measured velocities on the reinforced area(30.0m)

No.	Time	W.L. of Lake(m)	W.L. of Sea(m)	W.L. Difference (m)	Gate No.	T1(s)	T2(s)	T(s)	Velocity (m/s)
1	15:50	-1.260	-0.080	1.180	4	8.7	8.74	8.72	3.440
2	16:30	-1.230	0.800	2.030	4	6.38	6.16	6.27	4.785
3	16:47	-1.150	1.500	2.650	4	7.02	6.92	6.97	4.304

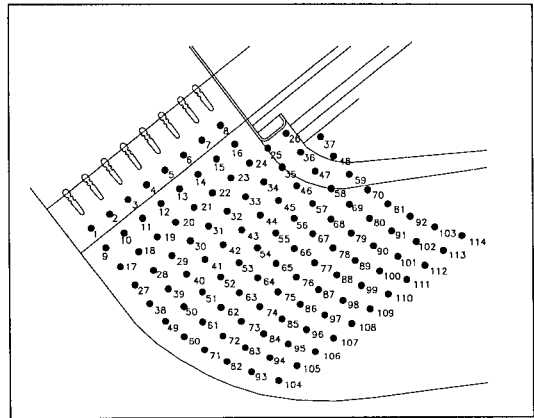
공의 여건상 마찰상태를 고려하여 시멘트 모르타르로 제작하였다. <Fig. 3>과 <Fig. 4>는 각각 모형의 평면도와 위에서 본 전경이며 <Fig. 5>는 유속과 수위의 측정위치를 나타낸다. 모형유속은 수심평균 유속으로서 바닥에서 수심의 60%에 해당하는 위치에서 측정하였다.

2. 실험조건

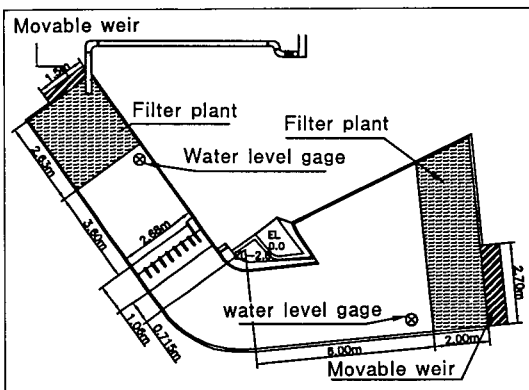
바닥보강 전후의 조건에 대하여 실험을 실시하여 바닥보강의 효과를 분석하였다. 담수호 내수위는 관리수위인 EL. -1.0m로 고정하였으며 외조위가 EL. 2.0m, 및 EL. 4.0m 경우로 구분하여 실험하였다. 문비의 작동조건은 실제적으로 문비의 일부가 정기적으로 보수됨을 고려하여 전체 8련중 6련만 작동하는 조건을 위주로 실험을 실시하였으며 7, 8련이 폐쇄된 경우와 1, 2련이 폐쇄된 경우로 구분하였다. <Table 4>는 실험조건에 따른 실험의 구분을 나타낸다.



<Fig. 4> Plan view of model



<Fig. 5> Measuring positions of velocity and water level



<Fig. 3> Plan of scale model

3. 실험결과

가. 바닥 보강 전(조건 A)

이 경우는 <Fig. 1>에 표시한 보강부분이 없는 경우로서 보강이전의 침식상태를 고정

상 모형에서 시멘트 모르타르로 재현한 상태에서 실험을 시행하였다.

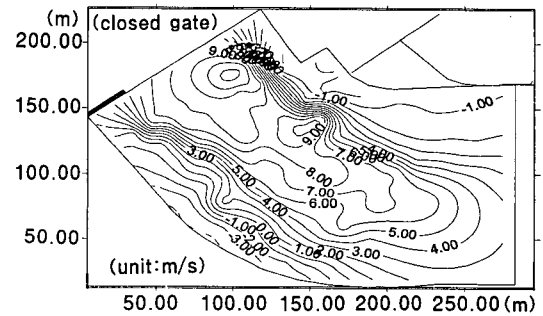
1) 유속의 평면적 분포

Case A-3-a는 문비 7, 8번을 폐쇄한 경우로서 내외 수위차가 5.0m인 경우이다. 이 경우 최대 유속은 2, 3번 문비 앞에서 발생하며 13.0m/s를 초과한다<Fig. 6>. 빠른 흐름은 에이프런 말단에서 40m 정도를 에너지 감쇄가 거의 없이 진행한 후 급격한 와류를 발생하며 에너지의 감쇄가 급속히 이루어진다. 그림에서 횡방향으로 등유속선의 간격이 좁게 나타난 부분이 이러한 상황을 설명한다. 이에 따라 이 부분에서 침식작용이 발생할 가능성이 있다.

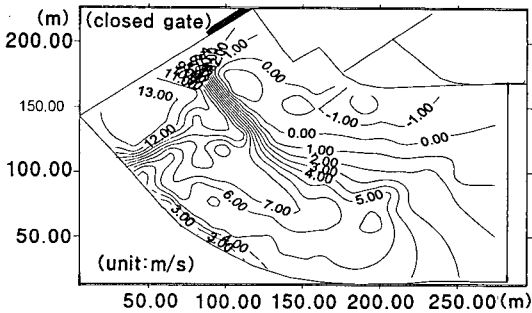
〈Table 4〉 Modelling cases and conditions

Reinforcement	W.L. of Sea(m)	W.L. of Lake(m)	Gate Opening	Case Numbers
Before (Condition A)	2.0 (Condition 2)	-1.0	Gate 7 and 8 Closed	Case A-2-a
			Gate 1 and 2 Closed	Case A-2-c
	4.0 (Condition 3)	-1.0	Gate 7 and 8 Closed	Case A-3-a
			Gate 1 and 2 Closed	Case A-3-c
After (Condition B)	2.0 (Condition 2)	-1.0	Gate 7 and 8 Closed	Case B-2-a
			Gate 1 and 2 Closed	Case B-2-c
	4.0 (Condition 3)	-1.0	Gate 7 and 8 Closed	Case B-3-a
			Gate 1 and 2 Closed	Case B-3-c

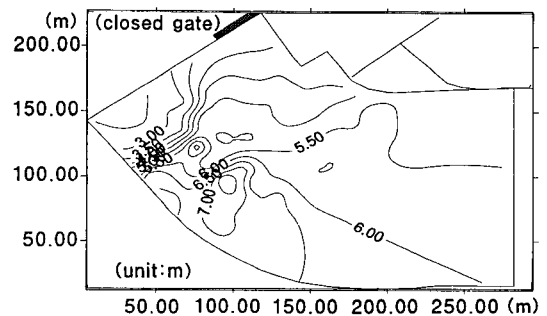
Case A-3-c는 문비 1, 2번을 폐쇄한 경우로서 최대 유속은 7번 문비앞에서 발생하며 그 값은 11.0m/s를 초과하며 이는 문비 7, 8번을 폐쇄한 경우보다 작은 값이다<Fig. 7>. 이는 1, 2번 문비를 폐쇄하는 경우 육지쪽 제방을 따라 1, 2번 문비로 유입하는 강한 흐름을 차단함으로써 나타난 결과이다.



〈Fig. 7〉 Velocity distribution (Case A-3-c)



〈Fig. 6〉 Velocity distribution (Case A-3-a)



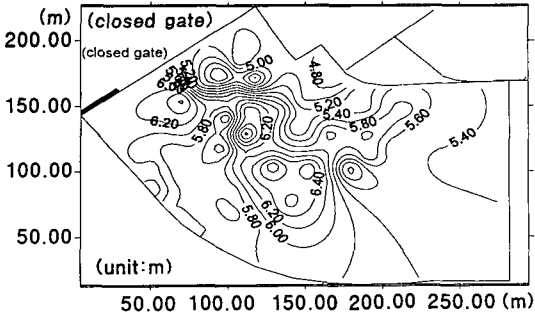
〈Fig. 8〉 Water level distribution (Case A-3-a)

2) 수위분포

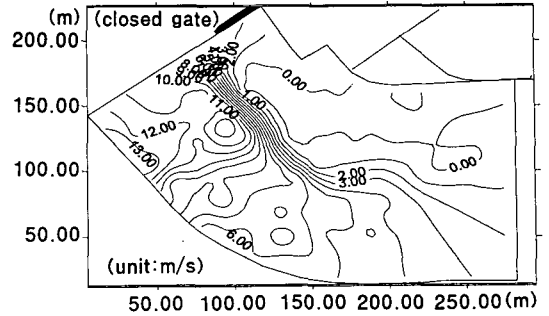
Case A-3-a의 경우<Fig. 8>, 에이프런상의 수위는 2.4m로 균일한 상태로 유입되나 약 40m 하류로 진행후 도수로 인하여 급격한 수위상승이 나타나게 되어 최대 7.4 m까지 상승하였다. 이는 유속의 평면분포에서 유속의 급격한 감소가 발생되는 위치와 같다. 이에 따라

유입흐름은 도수로 인하여 최대 5.0m 정도의 수위상승이 가능함을 나타낸다.

Case A-3-c의 경우<Fig. 9>, 에이프런상의 수위는 5.2m 정도로 유입되며 최대 6.4m까지 수위가 상승하였다. Case A-3-a와 비교하



〈Fig. 9〉 Water level distribution (Case A-3-c)



〈Fig. 10〉 Velocity distribution (Case B-3-a)

면 에이프런상의 수위가 크게 증가하였으며 이는 1번과 2번 문비를 폐쇄하여 유향이 바뀌므로써 유입유속이 줄고 이에 따라 수위가 상승한 것으로 풀이된다.

나. 바닥 보강 후(조건 B)

이 경우는 <Fig. 1>에 표시한 보강부분을 시공도면을 기준으로 고정상모형에서 재현한 상태에서 실험을 시행하였다.

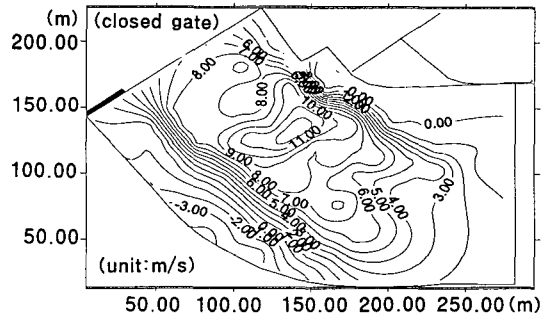
1) 유속의 평면적 분포

Case B-3-a의 경우<Fig. 10>, Case A-3-a와 비교하면 보강 후 에이프런 부분에서 최대 유속이 2.0m/s 정도 감소하였다. 보강구간에서 유속의 평면적 분포가 비교적 균일하다. 이 구간에서 에너지의 감세는 작으며 넓은 구간에 걸쳐서 에너지의 감세가 발생하였다. 따라서 보강 후 흐름의 에너지가 어느 한곳으로 집중하는 것을 방지하게 되어 바닥 침식을 완화시키는 조건을 제공하는 것을 알 수 있다.

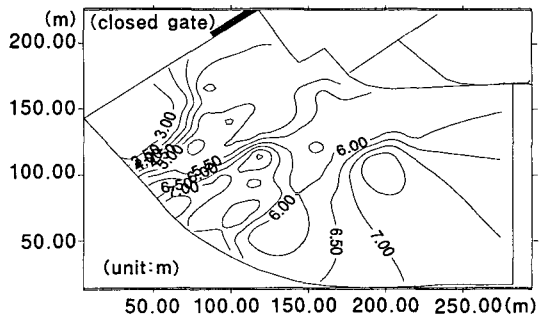
Case B-3-c의 경우<Fig. 11>, Case A-3-c와 비교하면 에이프런상에서 최대 유속이 11.0m/s에서 8.0m/s로 3.0m/s나 크게 감소하였다. 보강부 하류구간에서 수면경사가 크며 최대 12.0m/s의 유속이 발생된다.

2) 수위 분포

Case B-3-a의 경우<Fig. 12>, 에이프런위



〈Fig. 11〉 Velocity distribution (Case B-3-c)

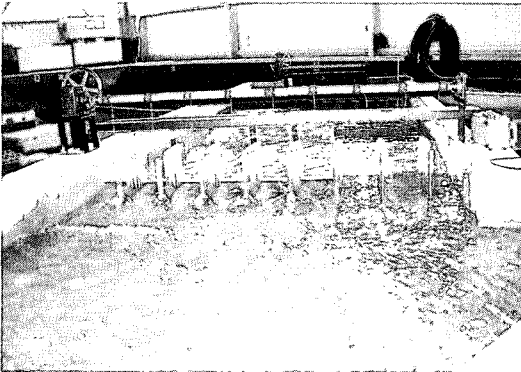


〈Fig. 12〉 Water level distribution (Case B-3-a)

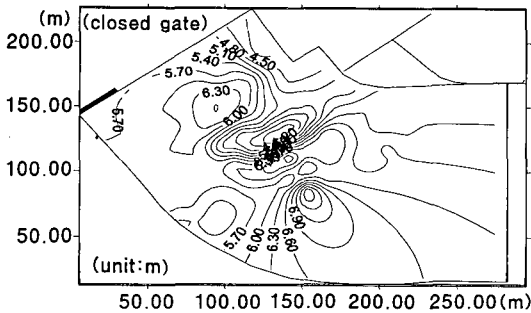
의 수위는 2.7m로 균일한 상태로 유입되며 보강구간에서도 그 변화량은 크지 않다. 보강구간이 끝난 구역에서 도수로 인하여 급격한 수위상승이 나타났으나 최대 7.1m로서 Case A-3-a의 경우보다 작으며 넓은 구간에 걸쳐

서 에너지가 분산되었다. <Fig. 13>은 모형에서의 도수 발생 상황을 보여준다.

Case B-3-c의 경우<Fig. 14> 에이프런위의 수위는 4.2~5.6m 정도로 유입되며 보강구간내에서 부분적으로 최대 6.4m까지 수위가 상승하였다. Case A-3-a에 비하여 보다 넓은 구간에 걸쳐서 에너지가 분산되었다.



<Fig. 13> Hydraulic jump in model (Case B-3-a)



<Fig. 14> Water level distribution (Case B-3-c)

#### IV. 에너지 감세량 추정

##### 1. 흐름의 에너지 계산

모형내의 각 지점을 통과하는 흐름의 전수두는 각 지점의 위치수두, 압력수두 및 유속수두의 합으로 표현된다. 위치수두는 에이프런 표고를 기준으로하여 그 차를 고려하였

고, 압력수두는 모형에서 측정된 수위로부터 수심을 계산하여 구하였으며, 유속수두는 모형에서 측정된 수심평균유속을 이용하여 구하였다.

어느 구간을 통과하는 흐름의 손실수두가  $\Delta H$ , 단위유량이  $q$ 이면 단위폭당 에너지 감세량은 다음 식으로 표현된다.

$$P = \gamma q \Delta H \dots \dots \dots (1)$$

여기서  $\gamma$ =물의 단위중량이다. 개수로에서 에너지 감세율은 에너지선의 기울기와 같으므로 식(1)을 에너지경사로 표현하면 다음과 같다.

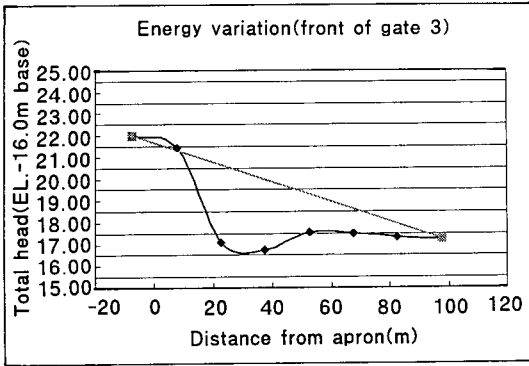
$$P = \gamma q s_f L \dots \dots \dots (2)$$

식(1) 또는 식(2)에서 계산되는 에너지는  $\text{kgf} \cdot \text{m/s}$ 의 단위를 가지며  $1 \text{kgf} \cdot \text{m/s} = 9.8 \text{W}$ 의 관계를 이용하여 단위를 변환할 수 있다.

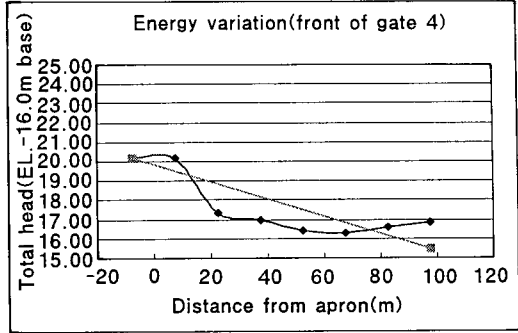
##### 2. 바닥보강 전의 에너지 변화

바닥보강전의 경우인 Case A-3-a와 A-3-c에 대하여 내측 각 문비의 전면에서 직선방향으로 흐름의 에너지(전수두) 변화를 나타내었다. <Fig. 15>의 (a)와 (b)는 Case A-3-a에서 문비 3번과 4번에 대한 결과이며, <Fig. 16>의 (a)와 (b)는 Case A-3-c에서 문비 4번과 5번에 대한 결과이다.

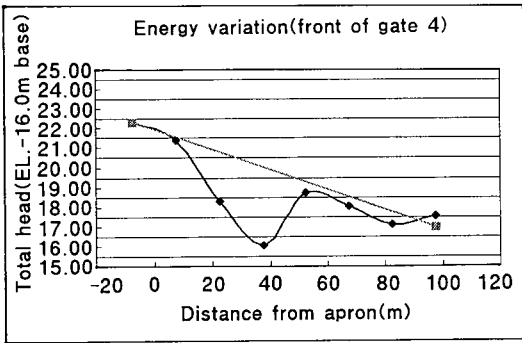
그림에서 곡선은 모형실험에서 측정된 유속과 수위 및 수심을 이용하여 에너지의 변화를 계산한 것이다. 상류측의 에너지는 하류측의 에너지보다 크므로 에너지선이 다시 상승할 수 없으나 모형실험에서는 측정시 발생하는 오차들로 인하여 이러한 경우가 나타난다. 이러한 비정상적인 에너지 변화를 제거하기 위



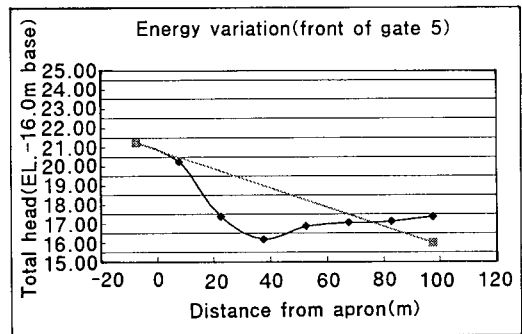
(a)



(a)



(b)



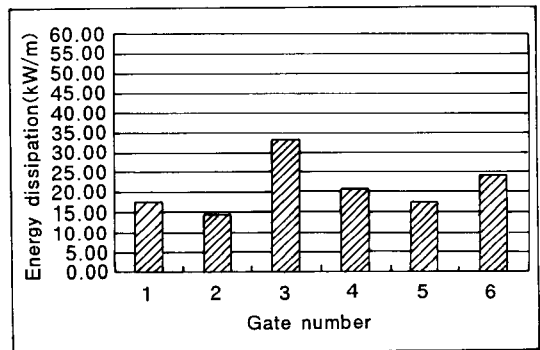
(b)

<Fig. 16> Energy variation(Case A-3-c)

<Fig. 15> Energy variation(Case A-3-a)

하여 각 에너지선의 변화추이를 대표할 수 있는 평균 감세율을 추정하였다. 각 그림에서 직선은 각 경우에 대한 평균 에너지 변화율을 나타낸다.

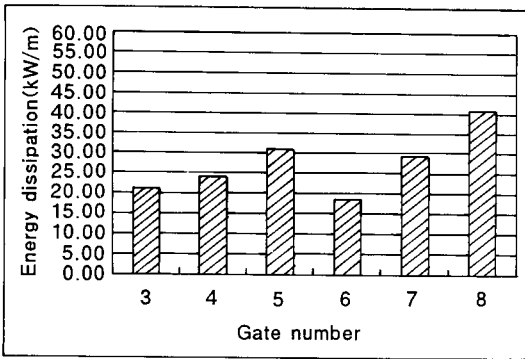
<Fig. 17>과 <Fig. 18>은 각각 <Fig. 15>와 <Fig. 16>에서 얻어진 평균 에너지 감세율을 거리 1.0m당 평균 에너지 감세량(kW)으로 나타낸 것이다. Case A-3-a의 경우에는 3번 문비 전면에서 최대의 에너지 감세(34 kW/m)가 발생하며 전체 문비의 평균값은 21.4 kW/m이다. Case A-3-c의 경우에는 8번 문비 전면에서 최대의 에너지 감세(40.5 kW/m)가 발생하였으며 전체 문비의 평균은 27.5 kW/m로서 Case A-3-a의 경우보다 약 30% 가량



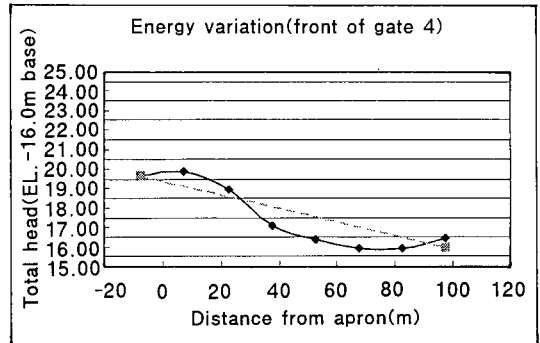
<Fig. 17> Average energy dissipation (Case A-3-a)

에너지가 더 크게 감세되었다. 이는 문비1번과 2번이 폐쇄되는 경우 주흐름의 방향이 바뀌며 이에 따라 유황이 불량하여짐으로써 더욱 큰 와류가 발생하기 때문으로 풀이된다.

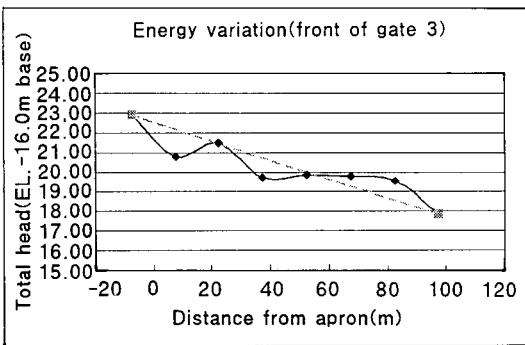




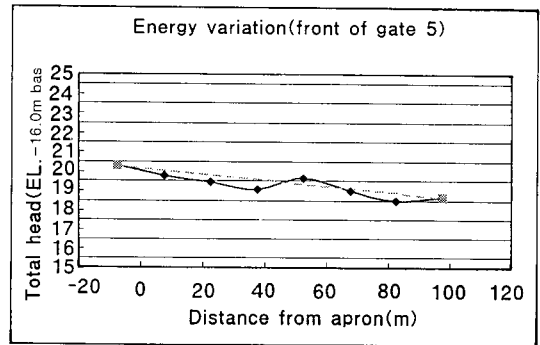
<Fig. 18> Average energy dissipation (Case A-3-c)



(a)

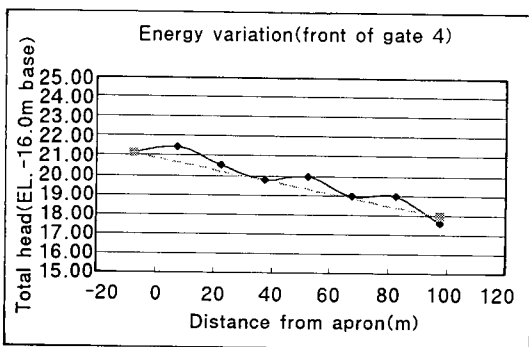


(a)



(b)

<Fig. 20> Energy variation (Case B-3-c)



(b)

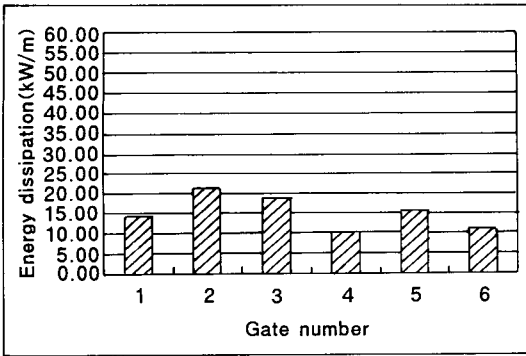
<Fig. 19> Energy variation (Case B-3-a)

### 3. 바닥보강 후 에너지 변화

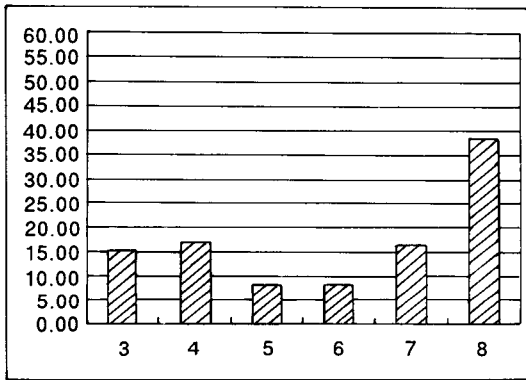
바닥보강 후의 경우인 Case B-3-a와 B-3-c에 대하여 내측 각 문비의 전면에서 직선방향

으로 흐름의 에너지(전수두) 변화를 분석한 결과는 다음과 같다. <Fig. 19>의 (a)와 (b)는 Case B-3-a에서 문비 3번과 4번에 대한 결과이며, <Fig. 20>의 (a)와 (b)는 Case B-3-c에서 문비 4번과 5번에 대한 결과이다.

<Fig. 21>과 <Fig. 22>는 각각 <Fig. 19>와 <Fig. 20>에서 얻어진 평균 에너지 감세율을 거리 1.0m당 평균 에너지 감세(kW)로 나타낸 것이다. Case B-3-a의 경우에는 2번 문비 전면에서 최대의 에너지 감세(21kW/m)가 발생하며 전체 문비의 평균은 15.2 kW/m이다. Case B-3-c의 경우에는 8번 문비 전면에서 최대의 에너지 감세(38 kW/m)가 발생하였으며 전체 문비의 평균은 17.3kW/m이다. 보강 전(Case A-3-a)의 경우와 비교하면 Case



(Fig. 21) Average energy dissipation (Case B-3-a)



(Fig. 22) Average energy dissipation (Case B-3-c)

B-3-a와 Case B-3-c의 경우에 보강 전보다 에너지 감세가 30~40% 정도 더 작게 나타났다. 이는 보강전에는 유입 흐름이 에이프런 이후 바닥지형이 매우 울퉁불퉁한 구간에서 급격하게 에너지를 감세시켰으나, 보강 이후에는 바닥 마찰력이 작아져 에너지가 보다 넓은 구간에서 상대적으로 서서히 감세됨을 의미한다. 이에 따라 에너지 감세시에 발생하는 침식력도 작아졌을 것으로 판단된다.

V. 결론

본 연구는 시화호 배수갑문의 경우에 대하

여 유입흐름의 에너지 감세량을 추정하기 위하여 시행하였다. 현장유속을 실측하였고 이를 검정자료로 이용하여 수리모형실험을 실시하여 여러 경우에 대하여 유속의 평면적 분포를 추정하였으며, 바닥보강 이전과 이후에 대하여 수리모형실험을 통하여 수위와 수심을 측정하여 에너지의 감세정도를 추정하였다.

수리모형 실험결과 바닥보강 전 최대 유속은 13.0m/s를 초과한다. 이러한 흐름은 에이프런 말단에서 40m 구간까지 에너지 감세가 거의 없이 진행한 후 급격한 와류를 발생하며 에너지의 감세가 급속히 이루어진다. 이에 따라 이 부분에서 매우 강한 침식작용이 발생할 것으로 추정된다. 문비의 개방조건에 따라 최대유속과 에너지 감세 형태가 달라진다. 문비 1, 2번을 폐쇄한 경우, 최대 유속과 에너지 감세는 문비 7, 8련을 폐쇄한 경우보다 작은 11.0m/s로 나타났다.

모형실험에서 얻은 수위 및 유속을 고려하여 에너지 감세를 추정한 결과, 바닥보강 전, 전체 문비 전면의 평균 에너지 감세율은 27.5kW/m 이었으며, 최대 에너지 감세율은 40.5kW/m 이고, 바닥보강 후에는 평균에너지 감세율이 17.3kW/m 이었다. 따라서 보강 후 에너지 감세가 30~40% 정도 더 작게 나타났다.

이는 보강전에는 유입 흐름이 에이프런 이후 바닥지형이 매우 울퉁불퉁한 구간에서 급격하게 에너지를 감세시켰으나, 보강 이후에는 바닥 마찰력이 작아져 에너지가 보다 넓은 구간에서 상대적으로 서서히 감세됨을 의미한다. 이에 따라 에너지 감세시에 발생하는 침식력도 작아졌을 것으로 판단된다. 그러나 바닥보강 후에도 문비의 개방조건에 따라 에이프런 상에서 11.0m/s 이상의 유속이 발생될 수 있으므로 이를 완화하기 위하여 내외수위차에 따라 배수갑문 가동 조건을 제한하는 것도 고려할 수 있다.



1. Annandale, G. W. and Kirsten, H.A.D., 1994. On the Erodibility of Rock and Other Earth Materials, Proc. Hydraulic Engineering '94, ASCE, Buffalo, New York, August, pp.68~72.
2. Annandale, G. W., 1995. Erodibility, Journal of Hydraulic Research, Vol. 33, No. 4, pp.471~494.
3. Fiorotto, V. and A. Rinaldo, 1992. Turbulent Pressure Fluctuations under Hydraulic Jumps: Journal of Hydraulic Research, Vol. 30(4), pp.499~520.
4. Moore, J. S., 1991. The Characterization of Rock for Hydraulic Erodibility: Soil Conservation Service, USDA, Technical Release 78, Washington, D.C., pp.84.
5. Peterka, A. J., 1983, Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators: U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Engineering Monograph 25, 7th Printing, Denver, CO, May.