

## 하상장애물에 의한 흐름특성 변화에 관한 실험연구

### Experimental Study on the Variation of Flow Characteristics by Obstacles in Stream

이 재 철\*, 이 회 영\*\*,  
Lee, Jae-chul, Lee, Hee-young

#### Abstract

In this paper, the variation of flow characteristics by obstacles in urban streams is studied with laboratory experiments. Experiments to measure the depths and velocities affected by rectangular shape obstacles which are general in the field were performed using a straight rectangular flume in the National Construction Laboratory with discharge  $Q = 200\text{m}^3/\text{s}$ ,  $350\text{m}^3/\text{s}$ ,  $500\text{m}^3/\text{s}$  and bed slope  $S = 1/500$ ,  $1/750$ ,  $1/1,000$  respectively. Experiments were performed for obstacles of single, twin and multiple piers which has the conveyance ratio of 0.17 equally.

Based on the experiments some conclusions were made. The multiple piers which has 5 columns in the direction of perpendicular to the flow give least backwater effect compared with the single and twin piers which has the same conveyance ratio. The bed slope is more sensitive to the backwater effect than the flow rate. The backwater effect was found to increase with the number of rows in the multiple piers even though it is affected by the interval between piers. And the backwater effect increases with the increase of Froude number regardless of the shape of obstacles.

#### I. 서론

인구의 집중으로 고밀화 추세에 놓인 각 도시는 토지이용의 고도화 측면에서 도시의 소하천을 복개하여 부족한 도로 및 주차공간을 확보하고 있으나<sup>2)3)4)5)</sup> 도시하천에 건설하는 도로의 교각이나 소하천 복개시 설치하는 콘크리트 기둥과 같은 하상장애물은 하천의 유수

소통에 많은 장애를 일으키고 있다<sup>6)9)12)</sup>.

이러한 유수장애는 도시 홍수 유발의 커다란 요인으로 작용하고 있어 많은 학자들에 의하여 큰 관심의 대상이 되어왔다. 본 연구에서도 이러한 관심의 대상 중 하나인 유수 방향으로 연속하여 설치되어 있는 하상장애물에 의한 배수영향을 실내실험을 통하여 검토하였다.

\* 충남도립 청양대학

\*\* 농어촌환경기술연구소

키워드 : 하상장애물, 배수영향, 교각, 군장애물

II. 수리모형실험

1. 상사법칙

자유수면을 갖는 하천흐름은 중력이 지배적이므로 다음과 같은 Froude 상사법칙을 적용할 수 있다.

$$F_r = \frac{V_r}{\sqrt{g_r y_r}} = 1 \dots\dots\dots (1)$$

여기서, 첨자 r은 수리적 인자들의 원형과 모형의 비를 나타내며,  $F_r$ 는 Froude수,  $V$ 는 유속,  $g$ 는 중력 가속도이고,  $y$ 는 수위를 나타낸다. 본 연구에서는 수평 및 연직방향이 동일한 축척을 갖고 있어  $x_r = y_r = L_r$  이고 일반적으로 중력 가속도비  $g_r = 1$ 이므로, 식 (1)은 다음과 같이 표현된다.

$$V_r = y_r^{1/2} = L_r^{1/2} \dots\dots\dots (2)$$

여기서,  $L_r =$  길이의 축척비를 나타낸다.

자연하천의 흐름에 Manning 공식을 상사식으로 표현하면 다음과 같다.

$$V_r = \frac{1}{n_r} R_r^{2/3} S_r^{1/2} \dots\dots\dots (3)$$

식 (3)에 식 (2)를 대입하고 정리하면

$$n_r = y_r^{2/3} x_r^{-1/2} = L_r^{1/6} \dots\dots\dots (4)$$

따라서,

$$Q_r = A_r V_r = x_r y_r^{3/2} = L_r^{5/2} \dots\dots\dots (5)$$

$$S_r = y_r/x_r = L_r^0 = 1 \dots\dots\dots (6)$$

여기서,  $n_r$ ,  $Q_r$ , 및  $S_r$ 은 각각 유량축척비, 하상경사 축척비 및 조도계수 축척비를 나타낸다.

2. 모형수로 및 장애물 모형

모형의 크기 및 형상을 결정하기 위하여 서울시의 도시하천 복개구간을 조사한 결과는 <Table 1>과 같다.<sup>2)3)4)5)</sup>

원형하천의 평균 복개폭은 33m이나 본 연구에서는 30m로 하였으며, 하상경사는 평균 1/534이나 도시하천의 하류부의 경사가 1/100 ~ 1/1,500으로 변하고 있어, 1/500, 1/750 및 1/1,000의 3가지 경우로 구분하여 결정하였다. 하천의 유량은 <Table 1>에서 보는 바와 같이 설계빈도 50년에 평균 285m<sup>3</sup>/s이나, 범위로 볼 때는 대개 200m<sup>3</sup>/s~500m<sup>3</sup>/s를 나타내고 있어, 200m<sup>3</sup>/s, 350m<sup>3</sup>/s 및 500m<sup>3</sup>/s의 세 가지 경

<Table 1> Characteristics of urban streams covered with box culverts in Seoul

Sites	Length (m)	Width (m)	Bed slope	Runoff coefficient	Design flood (cms)	Frequency (years)
Parking Lot on Sadang-river	998	23-33	1/450	0.67	210	50
Parking Lot in front of Seogyee-station	216	36-47	1/300	0.69	360	50
Parking Lot on Jeongreung-river	320	26	1/800	0.66	250	50
Parking-Lot on Guro composite -station	230	38	1/587	0.68	320	50
Average	441	33	1/534	0.67	285	-

우를 선택하였다.

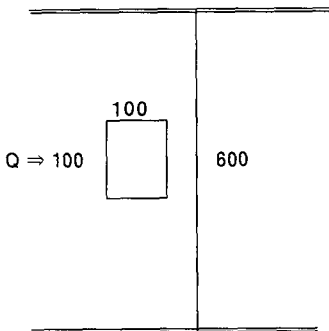
원형하천의 규모 및 수리적 특성을 고려하여 실험실내 길이 20m, 폭 60cm의 개수로를 모형수로로 결정하였으며, 원형과 모형의 축척비는 다음과 같다. 이때 왜곡도는 1로 하였다.

$$y_r = x_r = L_r = L_m/L_p = 1/50 \dots\dots\dots (7)$$

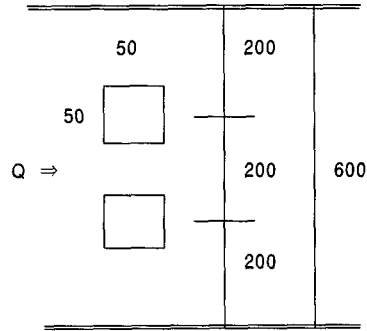
하천복개 구간의 조도는 이미 복개되어 토사 등의 영향이 나타나는 구간의 범위내인 0.019로 가정하여 Froude 모형법칙을 적용하면 0.010으로 되어 바닥이 철판이고 양측벽이 유리로 구성되어 있는 모형수로의 조도계수인 0.009~0.013 범위내에 들므로 실험조도계수로 사용하는데 무리가 없는 것으로 판단되었다.

단면축소비  $\alpha$ 를 하천폭(B)에 대한 하상장애물 전체폭( $\Sigma t$ )의 비인  $\frac{\Sigma t}{B}$ 로 정의할 때 도시하천에서 조사된 장애물의 단면축소비는 형상에 따라 0.08~0.13의 범위를 갖고 있다. 그러나, 본 실험에서는 장애물에 의한 흐름특성 변화를 보다 가시화하기 위하여 단면축소비를 조사된 범위보다 큰 0.17로 일정하다고 가정하였다. 장애물의 형상은 정사각형으로 <Fig. 1>과 같이 단일사각기둥, 쌍사각기둥(2×1), 단일사각기둥열(5×1), 2열사각기둥군(5×2) 및 3열사각기둥군(5×3)의 형태로 구분하여 실험하였다. 장애물 모형의 재질은 목재로 하였으며, 콘크리트 기둥의 조도계수를 감안하여 목재면에 페인트칠을 하였다.

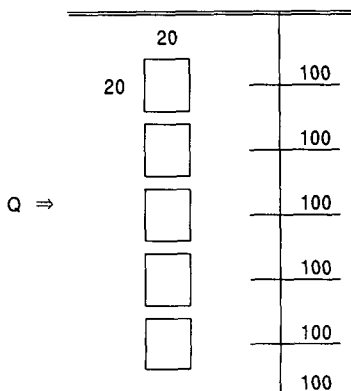
모형수로 구간 20m에서 상류부 4m와 하류



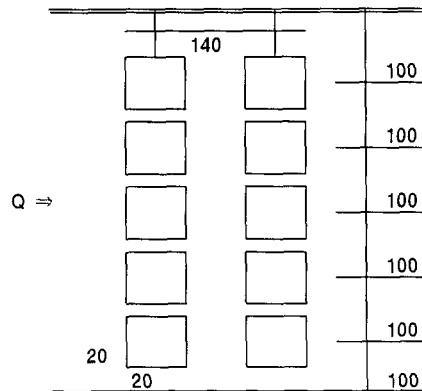
<Fig. 1(a)> Single pier model(Unit : mm)



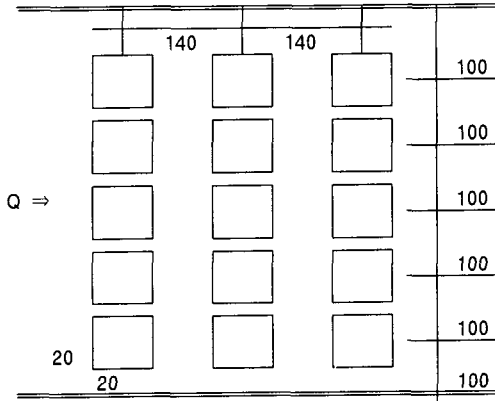
<Fig. 1(b)> Twin piers model(2×1)(Unit : mm)



<Fig. 1(c)> Single row model(5×1)(Unit : mm)

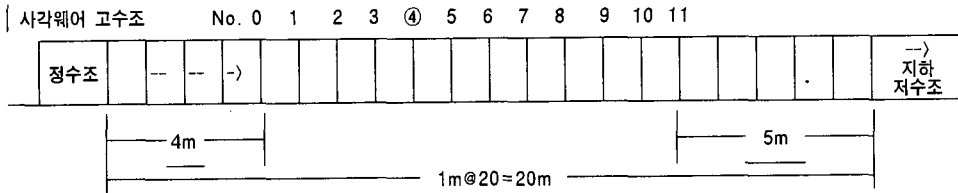


<Fig. 1(d)> Twin rows model(5×2)(Unit : mm)



<Fig. 1(e)> Triple rows model(5×3)(Unit : mm)

부 5m를 제외한 11m를 1m 간격으로 등분하여 <Fig. 2>와 같이 상류부로부터 No. 0, No. 1,.....,No. 11로 지점번호를 부여하였다. 모형장애물은 <Fig. 3>과 같이 No. 4를 기준으로 배치하고, 상, 하 1m씩 2m 거리에 흐름방향으로 7cm, 흐름에 직각방향으로 5cm의 간격으로 측정점을 수로바닥에 표시하여(그림에 \*로 표시) 수위 및 유속을 측정하였다. 각 측정점별 수심은 수로의 저면과 수면과의 차로 하고, 유속은 1점법으로 4회 측정값의 평균을 사용하였다.



<Fig. 2> Plan of the model channel

No. 3			No. 4					No. 5			
*			*	*	*	*			*		*
*			*	*	*	*			*		*
*	---->		*	*	*	*		---->	*		*
*			*	*	*	*			*		*
*			*	*	*	*			*		*
*			*	*	*	*			*		*
#0			#7		#14		#21		#25		
0cm			49cm		98cm		147cm		175cm		

<Fig. 3> Points of gaging

<Table 2> Hydraulic characteristics of the prototype and the model

Items		Prototype(m)	Model(cm)	Remarks
Channel width		30	60	
Channel length		1000	2000	
Shapes of obstacle	Single pier	5 × 5	10 × 10	1개 2개 5×1열
	Twin piers	2.5 × 2.5	5.0 × 5.0	
	Row of columns	1 × 1	2.0 × 2.0	
Interval between obstacles	Single pier	b:10	b:20	5×1열 5×2열 5×3열
	Twin piers	b: 5	b:10	
	Row of columns	a:7, b:5	a:14, b:10	
	"	a:7, b:5	a:14, b:10	
Design water depth		6.5	13	
Design flow rate		200, 350, 500 m <sup>3</sup> /s	11.3, 19.8, 28.3 l/s	
Bed slope		1/500, 1/750, 1/1000	1/500, 1/750, 1/1000	
Manning's n		0.019	0.010	

<Table 3> Comparison of similarity

Items	Scale in model	Computed scale	Prototype	Model
Area(A <sub>r</sub> )	$L_r^2$	1:2,500	-	-
Velocity(V <sub>r</sub> )	$L_r^{1/2}$	1:7.071	-	-
Discharge(Q <sub>r</sub> )	$L_r^{5/2}$	1:17677	200m <sup>3</sup> /s 350m <sup>3</sup> /s 500m <sup>3</sup> /s	11.3 ℓ/s 19.8 ℓ/s 28.3 ℓ/s
Bed slope(S <sub>r</sub> )	$L_r^0$	1:1	1/500 1/750 1/1,000	1/500 1/750 1/1,000
Manning's n (n <sub>r</sub> )	$L_r^{1/6}$	1:1.919	0.019	0.010

모형축척 1/50을 고려한 원형과 모형의 제 수리량 및 상사성을 비교하여 나타내면 <Table 2> 및 <Table 3>과 같다.

Ⅲ. 결과 분석 및 고찰

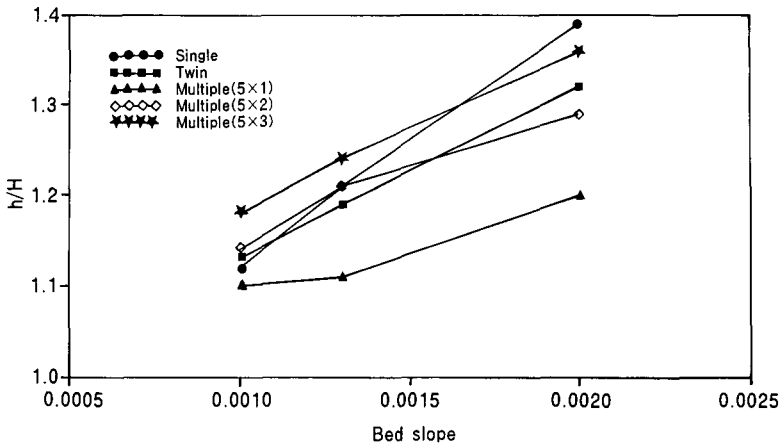
동일 단면축소비 0.17을 갖고 있는 단일사각기둥, 쌍사각기둥, 단일사각기둥열(5×1) 및 사각기둥군(5×2, 5×3) 장애물에 의한 배수영향에 대한 실험결과를 축점 #7에서 하상장애물 설치 후의 수위 h와 하상장애물 설치전의 수위 H와의 비인 수위상승비 h/H로 나타내면 <Table 4>와 같고, 하상경사 및 유량에 따른 수위상승비는 <Fig. 4> 및 <Fig. 5>와 같다.

<Table 4>에서 보는 바와 같이 단일사각기둥 장애물의 경우 1.09~1.39배의 수위상승을 보이고 있어, 동일 단면축소비를 갖는 장애물 중 가장 수위상승이 크게 나타나고 있다. 쌍사각기둥 장애물은 1.09~1.32배의 수위상승을 나타내고, 단일 사각기둥열은 1.06~1.24배의 수위상승을, 2열 사각기둥군은 1.09~1.29배의 수위상승을 그리고 3열 사각기둥

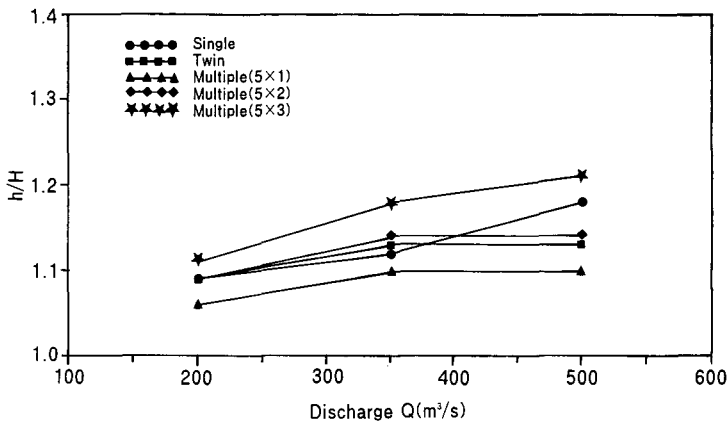
<Table 4> Rate of water depth increase at station #7 for the shape of obstacles (Conveyance ratio=0.17)

Bed slope	1/500			1/750			1/1,000			
	Flow rate(m <sup>3</sup> /s)	200	350	500	200	350	500	200	350	500
Items										
F <sub>0</sub>	0.78	0.80	0.81	0.63	0.65	0.66	0.56	0.57	0.58	
Single pier	1.36	1.39	1.39	1.18	1.21	1.22	1.09	1.12	1.18	
Twin piers	1.12	1.32	1.31	1.17	1.19	1.22	1.09	1.13	1.13	
Single row(5x1)	1.20	1.20	1.24	1.10	1.11	1.12	1.06	1.10	1.10	
Multiple columns(5x2)	1.27	1.29	1.29	1.16	1.21	1.19	1.09	1.14	1.14	
Multiple columns(5x3)	1.31	1.36	1.31	1.21	1.24	1.25	1.19	1.18	1.21	

\* h: with obstacle(s), H: without obstacle(s)



(Fig. 4) Rate of water depth increase according to bed slope variation (Q=350m<sup>3</sup>/s)



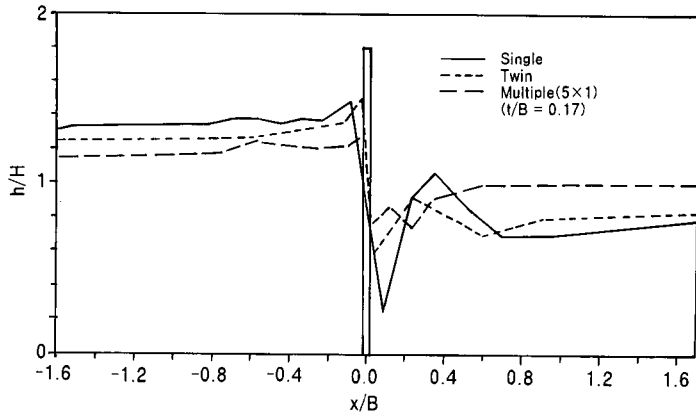
(Fig. 5) Rate of water depth increase according to flow rate variations (S=1/500)

군은 1.19~1.36 배의 수위상승을 나타내고 있다.

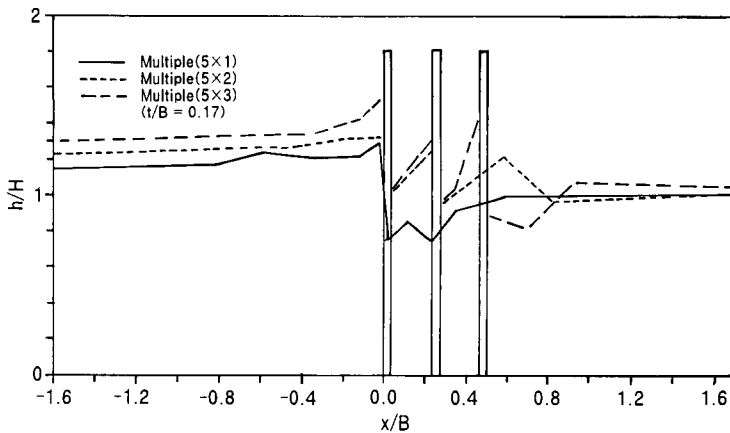
<Fig. 4>에서 보는 바와 같이 하상경사가 급해질수록 수위상승 영향이 10~25% 정도로 크게 나타나고 있는 반면, <Fig. 5>와 같이 유량이 커질수록 수위상승도 증가하나 그 영향은 0~8% 정도로 미미한 것으로 나타났다.

동일한 단면축소비를 갖는 경우 장애물의 횡방향 설치 개수에 따른 수위상승은 <Fig. 6>과 같다. 유량 350m<sup>3</sup>/s, 하상경사 1/500인

경우 10cm의 폭을 갖는 단일 사각기둥 장애물은 평균적으로 장애물 설치전 수위보다 1.24배가 상승되고, 폭 5cm의 사각기둥을 횡방향으로 2개 설치한 쌍사각기둥 장애물은 1.20배, 그리고 2cm의 사각기둥 5개를 횡방향으로 설치한 사각기둥열은 1.15배의 수위상승 영향을 나타내고 있다. 이는 동일 단면축소비를 갖는 경우 횡방향의 기둥 설치수가 많을 때 수위상승이 적어 수리학적으로 양호한 것으로 판단되었다.



〈Fig. 6〉 Variations of rate of water depth increase according to the number of columns ( $Q=350\text{m}^3/\text{s}$ ,  $S=1/500$ , Conveyance ratio=0.17)

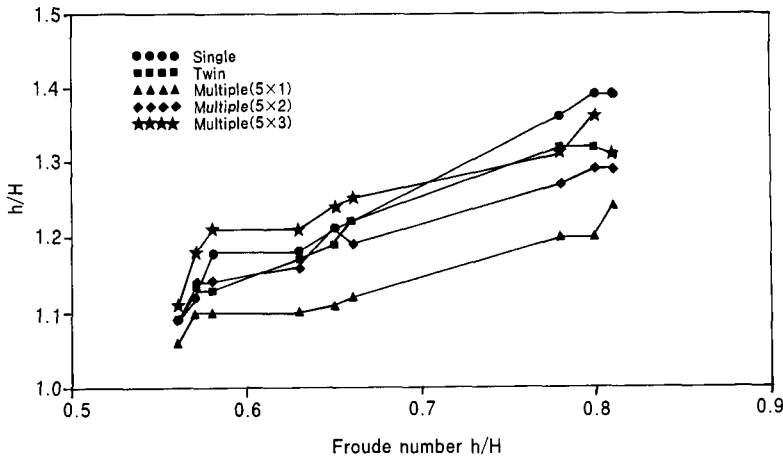


〈Fig. 7〉 Variations of rate of water depth increase according to the numbers of row columns ( $Q=350\text{m}^3/\text{s}$ ,  $S=1/500$ , Conveyance ratio=0.17)

사각기둥열 장애물을 수로의 종방향으로 1열, 2열, 3열을 배치하여 각각 실험한 결과 나타난 균장애물에 의한 수위상승 영향은 <Fig. 7>과 같다. 종방향의 장애물 설치에 따른 수위상승 영향은 종방향의 장애물 설치 간격에 따라 차이가 있었으나 원형기둥을 종 방향으로 설치하여 실험한 결과에 의하면 설치간격과 기둥직경의 비의 영향은 미미한 것으로 보고되었다<sup>10)</sup>. 본 실험에서는 일반적으로 많이 사용되고 있는 기둥간 14cm(원형에

서 7m) 간격인 경우에 대하여 실험하였으며, 그 결과는 2열, 3열로 설치한 장애물이 상류측으로 영향을 많이 미치고 있다. 평균적으로 1열 설치시는 장애물 설치전 수위보다 1.14배, 2열 설치시는 1.20배, 그리고 3열 설치시는 1.25배의 상승영향을 나타내고 있어 하천의 종방향으로 설치되는 균장애물의 경우 수위상승에 대한 세심한 고려가 있어야 할 것으로 판단되었다.

장애물 설치에 따른 수위상승에 영향을



(Fig. 8) Relations of Froude number and rate of water depth increase

주는 중요한 인자로 Froude수, 설치간격, Reynolds수가 있으나 이 중 Froude수가 가장 중요한 인자인 것으로 발표되었다<sup>10)</sup>. 따라서 본 실험의 결과를 Froude수와 수위상승비의 관계로 나타내면 <Fig. 8>과 같다. 여기서 Froude수는 장애물 설치전의, 흐름에 대한 Froude수이다. 전반적으로 수위상승은 장애물의 형상에 관계없이 Froude수가 증가하면 동일하게 증가하는 경향을 나타내고 있으며, Froude수가 0.56에서 0.81의 범위로 증가할 때 수위상승비는 1.06~1.39의 범위로 증가하는 것으로 나타나고 있다.

**IV. 결론**

도시하천내에 건설하는 교량의 교각 및 하천 복개시 설치하는 콘크리트 기둥이 하천의 흐름에 미치는 영향을 분석하기 위하여 고정상의 직선수로에서 수리모형실험을 실시하였다. 본 실험에서는 특히 콘크리트 기둥이 흐름 방향으로 2열, 3열로 배치되어 있는 군장애물의 배수영향에 대하여 고찰하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 동일한 단면 축소비를 갖는 경우 쌍사각

기둥이나 사각 기둥열과 같이 횡방향의 기둥 설치수가 많을 때 단일 사각기둥 장애물보다 배수영향이 적게 나타나 수리학적으로 유리한 것으로 판단되었으며, 단면 축소비가 0.17인 경우 장애물이 설치됨에 따라 수위가 6~39% 증가하는 것으로 나타났다.

2. 하상장애물이 배수에 미치는 영향은 하상 경사의 변화가 유량의 변화보다 민감한 것으로 나타났다.

3. 동일한 단면 축소비를 갖는 경우 장애물의 기둥설치간격에 따라 차이가 있으나, 하천의 종방향으로 기둥수가 증가되면 배수영향이 증가하는 것으로 나타났다.

4. 하상장애물에 의한 수위상승은 장애물의 형상에 관계없이 Froude수가 0.56~0.81의 범위에서 증가할 때 수위상승비는 1.06~1.39의 범위로 증가하는 것으로 나타났다.

**참고문헌**

1. 김주성, 1990. 하천관거의 수리학적 특성에 관한 실험 연구, 석사학위논문, 성균관대학교.
2. 노원구, 1991. 석계역앞 주차장 조성 기본계획 및 실시설계 보고서.



3. 서울특별시, 1988. 사당천 유역 저지대 침수방지 실시설계 보고서.
4. 서울특별시, 1991. 구로공단역 환승주차장 시설공사 종합보고서.
5. (주)미도파, 1992. 정릉천 하천복개 주차장 실시설계 종합보고서.
6. 新井 正 외, 1988. 都市の水文環境, 共立出版(株), pp.37~73.
7. Jansen, P.P. et al, 1979. Principles of river engineering, Pitman, pp.449~457.
8. Laursen, E.M.(1971), Bridge backwater in wide valleys, J. of Hydraulic Div. ASCE 96, pp.1019~1038.
9. Novak, P. et al., 1990. Hydraulic structures, Unwin Hyman, pp.323~329.
10. Rai, S.P., 1986. Hydraulic performance of multiple bridge piers, IAHR, pp.265~281.
11. U.S. Army Corps of Engineers, 1988. Hydraulic Design Criteria.
12. Yarnell, D.L., 1934. Bridge piers as channel obstructions, Technical Bulletin No.442. US Dept. of Agriculture.