

## 도로 빗물받이의 차집능력 분석

### An analysis of interception capability of storm water grate inlet in road

이 종 태\* / 윤 세 의\* / 김 갑 수\*\* / 김 영 란\*\* / 류 택 희\*\*\*

Lee, Jong Tae / Yoon, Sei Eui / Kim, Kap Soo / Kim, Young Ran / Ryu, Taek Hee

#### Abstract

The interception capabilities of storm water grate inlet were analyzed in this paper. The hydraulic model for gutter flow was used to estimate the interception capability. With the consideration of width and length of road, gutter discharges were ranged of 4~15 l/sec . The transverse slopes of gutter were selected 4, 7 and 10%. The longitudinal slopes were 0, 2, 5 and 7%. The four sizes of storm water grate inlet were used in this experiments (30×40cm, 40×50cm, 40×100cm, 40×150cm). The total number of experimental cases were 240. As the transverse slopes of gutter increased, the interception capability also increased. As the flow width in gutter and the discharge were lower, the interception efficiencies increased and the longitudinal slopes of road increased, the interception efficiencies decreased. The empirical formula with the factors of total inflow discharge, the longitudinal slope and the transverse slope of gutter were derived. These equations could be used to estimate the intercepting discharge of grate inlet. The reasonable construction space of grate inlet for the road widths, the longitudinal slopes, the transverse slopes and the grate inlet sizes were suggested.

**Keywords** : grate inlet, gutter flow, interception capability, hydraulic model experiment

#### 요 지

본 연구에서는 도로의 측구 부분을 수리모형으로 제작하여 빗물받이의 차집능력을 검토하였다. 측구의 유량은 도로의 차선(2~4차선) 및 빗물받이 간격(10~30m)을 고려하여 4~15 l/sec 의 유량을 사용하였고, 도로의 종방향 경사는 0, 2, 5, 7%를 선택하였으며, 측구의 횡경사는 4, 7, 10%를 사용하였다. 유입부의 규모는 30×40cm, 40×50cm, 40×100cm, 40×150cm의 4종류를 사용하였으며, 총 실험 횟수는 240회이다. 측구의 횡경사가 클수록 전체적인 빗물받이의 차집유량은 증가하였다. 차집효율은 흐름폭과 유량이 작을 수록 증가하였고, 종방향 경사가 급할 수록 감소함을 알 수 있었다. 실험의 결과로부터 유입부 규모에 따른 차집유량을 계산할 수 있는 경험식을 제시하였다. 도로의 차선별, 종경사별, 측구의 횡경사별, 유입부 규모별로 적정 빗물받이 간격을 제시할 수 있어서 도로

\* 경기대학교 토목·환경공학부 토목공학전공 교수

Prof., Division of Civil and Environmental Engrg., Kyonggi Univ., Suwon, Kyonggi 442-760, Korea  
(E-mail : jtlee@kuic.kyonggi.ac.kr)

\*\* 서울시정개발연구원 도시환경연구부 선임연구위원, 연구위원

Senior Research Fellow, Dept. of Urban Environment, Seoul Development Institute, Seoul 137-071, Korea

\*\*\* 남원건설엔지니어링 수자원부 사원

Engineer, Nam Won Keon Seol Engineering Co., Anyang, Kyonggi, 431-060, Korea

의 빗물받이 설계에 기초자료를 제공하였다.

**핵심용어** : 빗물받이, 측구 흐름, 차집능력, 수리모형실험

## 1. 서 론

도로변에 설치되어 있는 빗물받이 등과 같은 하수도 시설에서 빗물이 원활하게 배수되지 않아 노면수가 정체되어 교통을 마비시키고, 또한 인근 주택가로 우수가 유입됨으로서 가옥 등에 침수피해를 가중시키고 있다. 빗물받이의 차집능력을 실험을 통해 관찰하고, 이를 바탕으로 도로 조건에 따른 빗물받이 설치 간격, 적정 크기 및 관리 방안을 마련하여 상습 침수지역의 우수 배제 능력을 향상시켜 도시 홍수피해의 경감대책이 필요하다. 홍수피해 방지 및 도로안전을 유지하기 위해 필요한 배수능력은 계획도로의 종류, 규모, 교통량 및 연도상황 등을 충분히 고려하여 선정함과 아울러 개개의 배수시설에 대해서도 배수목적, 배수시설의 입지 조건, 계획유량을 초과할 때 주변지역에 미치는 영향의 정도, 경제성을 고려하여 배수시설 규모를 결정해야 한다. 이런 배수시설의 규모를 결정함에 있어 대부분이 산지인 국내의 지형을 감안하면 외국에서 제시된 일반적인 우수배제 방식을 그대로 사용하기 어려운 실정이다. 외국의 경우 빗물받이의 형상, 크기, 위치, 간격, 등에 대한 배수능력을 실험을 통해 연구·적용함으로써 도시배수에 관한 연구를 꾸준히 해왔다. 반면 국내에서는 빗물받이 위치 및 간격에 대한 기준이 포괄적으로 설정되어 있어 도로의 폭원이나 경사의 변화에 따른 고려가 없는 실정이다. 따라서 도로의 폭원, 종단경사 및 횡단경사 등의 변화에 따라 빗물받이의 적정 위치와 간격을 실험을 통하여 검토함으로써 합리적인 설치방안을 제시하여 도시 하수관거의 우수배제 능력을 향상시켜서 홍수피해를 경감시켜야 한다.

본 연구에서는 측구에 설치되어 있는 빗물받이의 차집효율을 분석하기 위하여 빗물받이 규모, 측구의 유량, 측구 종경사 및 횡경사 등을 변화시키면서 실험을 실시하고 우수배제 능력의 규모를 분석하였다.

빗물받이의 차집능력에 대한 국내의 연구 내용은 미흡한 상태이다. 현재 국내의 빗물받이 종류는 내부치수 30×40cm, 30×80cm의 차도측 1, 2호 빗물받이와 내부치수 50×60cm인 보도측 빗물받이 등이 있다. 이러한 빗물받이 설치 간격은 건설교통부(2001)의 도로설계편람에서는 20m정도에 1개 이하의 비율로, 환경부

(1998)의 하수도 시설기준에서는 대략 20~30m정도로 도로폭 및 경사 등을 고려하여 적당한 간격으로, 토지개발공사(1999)의 단지계획실무편람에서는 30m 이내로, 단지조성공사 설계 및 적산기준에는 물이 고이기 쉬운 장소나 가각부 낮은 지점에 20~30m로 제시하였다. 이렇듯 국내의 빗물받이 규모 및 설치 간격에 대한 기준은 도로의 폭원별, 경사도별, 종류별 각각에 대한 설치 규정이 미흡한 상태이다.

외국의 경우 빗물받이의 차집능력에 대한 이론적, 실험적 연구를 다양하게 실시하였다. John Hopkins University(1956)에서는 유입부 전단부를 위아로 가정하여 유입부 간격 계산식을 제시하였고, Russam(1969), Whiffin등(1973)은 유입부 간격에 도로의 폭을 곱한 면적에 떨어진 모든 강우는 유입부로 유입된다는 가정에 합리식 및 Manning의 평균 유속공식을 사용하여 유입부 간격의 계산식을 제시하였다. 또한 Burgi등(1977), Pugh(1980), Uyumaz(1994), Rollin(1994), FHWA(1984) 등은 쇠살대 유입부(grate inlet)의 차집효율을 수리학적 실험을 통하여 결정하였으며, Bauer (1964) 등은 curb-opening inlet에 관한 실험 및 연구를 하였다. Chen등(1993) 및 Wong(1994, 1997)은 측구의 유량, 노면 종경사, 측구 횡경사와 지역상수에 의해 차집유량에 관한 식을 제시하였고, Brown(1996)은 유입부의 종류, 규모, 형태 등을 변화시키면서 유입부의 차집효율에 관하여 실험을 통해 계산식 및 차집효율이 최대가 되는 유입부 형태를 제시하고, 측구내의 흐름을 분석하여 유입부의 전방 유입량 및 측방 유입량의 값을 유속 및 유입부 길이에 관한 식으로 차집유량 계산식을 제시하였다.

## 2. 빗물받이 차집능력

빗물받이의 차집능력은 측구의 종·횡경사, 조도, 유량 및 유입부의 형태에 따라 변화되며 이들이 차집효율을 결정하는 요소들이다(Larry, 2001). 그림 1은 노면으로 흐르는 흐름의 모식도와 노면의 횡단면도를 나타낸 것이다. 측구에 흐르는 유량( $Q_m$ )은 빗물받이로 유입되는 유량( $Q_i$ )와 빗물받이를 월류하는 유량( $Q_b$ )의 합이다.

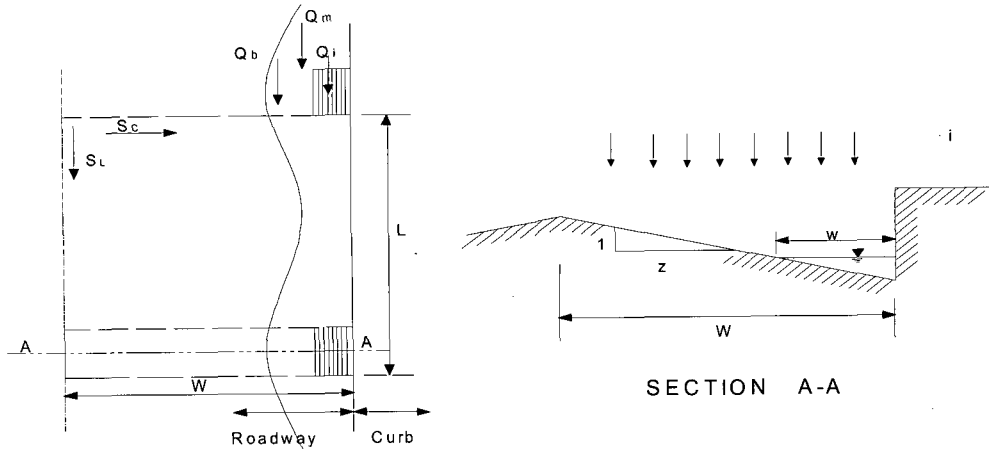


그림 1. 도로 모식도 및 횡단면도

일정한 흐름폭에서 Manning의 식을 이용하여 측구에 흐르는 총 유량은 식 (1)로 계산되고, 빗물받이에 유입되지 않는 통과유량은 식 (2)로 표시된다. 따라서 측방 유입을 고려하지 않고 수리학적으로 계산한 빗물받이의 차집효율은 식 (3)과 같다.(Walesh,1989) (Smart,1992)

$$Q_m = \frac{315S_L^{1/2}w^{8/3}}{nz[(z^2+1)^{1/2}+1]^{2/3}} \quad (1)$$

$$Q_b = \frac{315S_L^{1/2}(w-T)^{8/3}}{nz[(z^2+1)^{1/2}+1]^{2/3}} \quad (2)$$

$$E = \frac{Q_i}{Q_m} = \frac{Q_m - Q_b}{Q_m} = 1 - (1 - \frac{T}{w})^{8/3} \quad (3)$$

여기서,  $Q_m$ 은 측구에 흐르는 유량 (l/sec),  $Q_b$ 는 빗물받이로 유입되지 않고 통과하는 유량 (l/sec),  $Q_i$ 는 빗물받이로 유입되는 유량 (l/sec),  $S_L$ 은 도로의 종방향 경사,  $n$ 은 Manning의 조도계수 값이고,  $z$ 는 측구의 횡방향 경사 요소이고,  $w$ 는 측구에 흐르는 유량의 흐름폭(m),  $T$ 는 빗물받이(쇠살대 유입부)의 흐름폭(m)이며, 쇠살대 단면을 포함한 총 폭이다. 식 (3)에서 빗물받이의 차집효율은 흐름폭에 대한 빗물받이 유입부의 폭에 비례한다.

경험적 방법은 실험을 통해 얻은 많은 결과자료를 가지고 빗물받이의 차집능력을 결정하는 방법이다. 이 방법은 실험조건에 유사한 경우에 적용하는 통계적인 방법이므로 실험범위에 벗어나는 경우 경험식을 적용할 때 주의가 필요하다. Wong(1994)은 빗물받이에 유입되는

차집유량은 측구의 유량, 도로의 종경사, 측구의 횡경사 및 지역 상수에 비례한다는 가정하에 식 (4)의 형태를 제시하였다.

$$Q_i = K_1 Q_m^{K_2} S_C^{K_3} S_L^{K_4} \quad (4)$$

여기서,  $Q_i$ 는 빗물받이로 차집되는 유입량 (l/sec),  $Q_m$ 은 측구로 흐르는 유량 (l/sec),  $S_C$ 는 측구의 횡경사,  $S_L$ 은 도로의 종경사이고,  $K_1, K_2, K_3, K_4$ 는 지역 상수이다.

### 3. 실험장치 및 방법

#### 3.1 실험수로

본 연구를 위해 폭 1.2m, 길이 7m의 조립식 앵글로 경기대학교 토목공학과 수리실험실에 실험수로를 제작하였다. 앵글 틀 위에 처짐과 휨이 적은 아크릴판을 깔고, 아스팔트의 조도(약 0.016)와 유사한 아스팔트 싱글(asphalt shingle)을 사용하여 도로 노면을 제작하였다. 도로의 연석부 높이는 10cm로 하였으며, 조도는 측구보다 매끄러운 재질을 선택하였다. 본 연구에 사용된 빗물받이 유입부 크기는 30×40cm, 40×50cm, 40×100cm 및 40×150cm를 선택하였다. 빗물받이의 위치는 흐름의 정류 상태를 고려하여 실험수로 상류로부터 6m 떨어진 지점에 설치하였다. 그림 2는 실험장치의 모형도이고, 실험 수로의 전경은 그림 3과 같다.

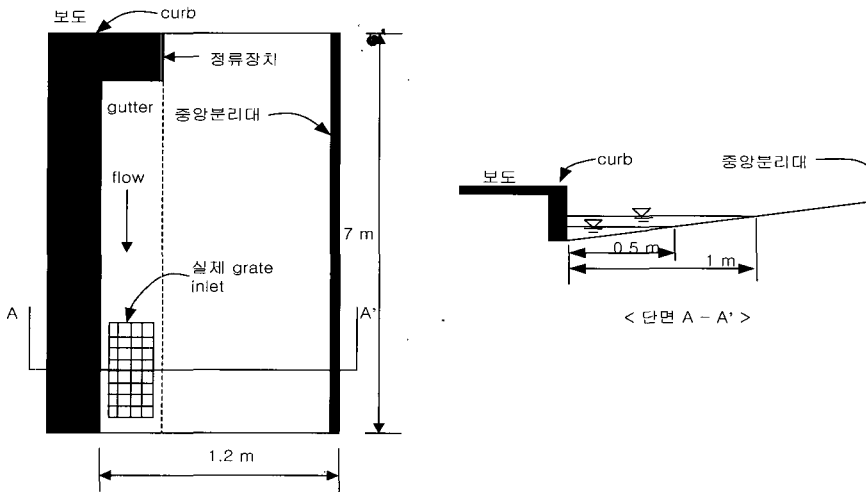


그림 2. 실험장치 모형도

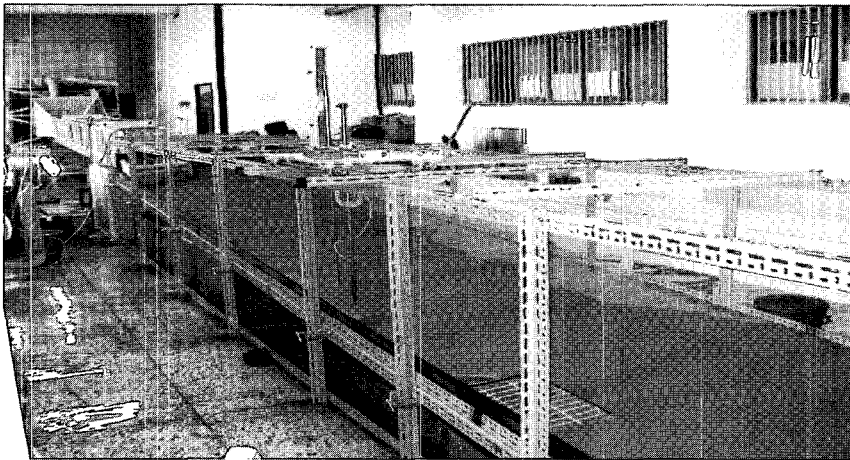


그림 3. 실험수로 전경

표 1. 측구 실험 조건

항목	규모
우수받이 크기(cm)	30×40
	40×50
	40×100
	40×150
유량 ( l/sec )	4 ~ 15
종경사 (%)	0 2 5 7
횡경사 (%)	4 7 10

### 3.2 실험방법 및 조건

수로의 유량공급은 수리실험실에 설치된 5.5kw 펌프를 이용하여 저수조의 물을 고수조로 양정하고, 고수조에서 일정한 수위가 유지되어 일정한 유량을 실험장치에 공급하였다. 또한 실험 후 유량은 저수로로 통해 저수조로 다시 차집되어 고수조로 물을 원활히 공급할 수 있게 하였다. 정류장치는 실험수로 유입부 및 고수조의 유출부에 각각 설치하여 수로내 흐름이 정류가 되도록 하였다. 도로의 경사는 수준측량기와 함척을 이용하여 경사를 조절하였고, 조임쇠(C-Clamp)를 이용하여 실험수로를 고정하였다.

실험 유량은 도로의 폭 (편도 2차선에서 편도 4차선), 설계빈도, 우수받이의 간격 등을 고려한 4~15

//sec로 결정하였다(서울특별시, 2002). 빗물받이 규격 4 종류, 유량 5 개, 측구중경사 4 및 측구횡경사 3가지의 경우를 포함하여 총 240회의 실험을 실시하였다. 이를 정리하면 표 1과 같다.

### 3.3 수리량 측정

실험 수로의 수리량인 유속, 수심, 흐름폭을 측정하기 위하여 그림 4와 같이 횡방향으로 움직일 수 있는 장치를 마련하였다. 유속은 1차원 디지털 유속계(Mini Water)를 이용하여 최심부 유속을 측정하였고, 수심은 포인트 게이지(point gage)를 이용하여 측정하였다. 본 장치는 빗물받이로 유입되는 유입유량의 영향을 고려하여 유입부 1m 상단에 설치하였다. 도로의 중경사 및

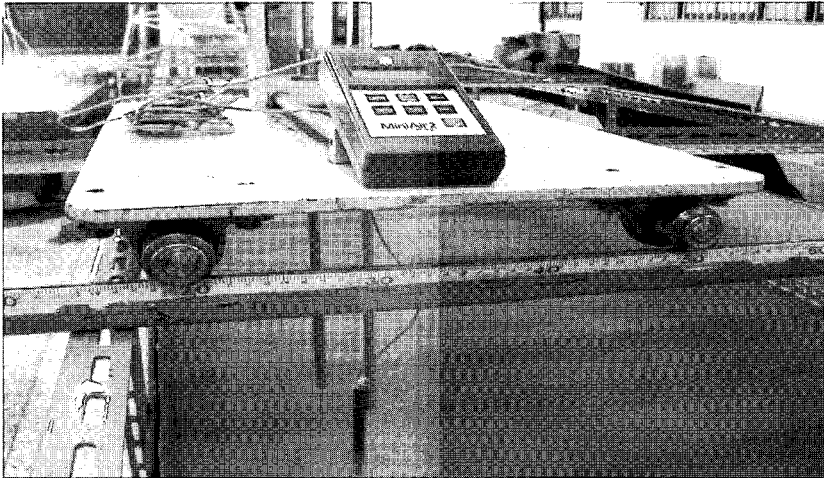


그림 4. 수리량 측정 장치

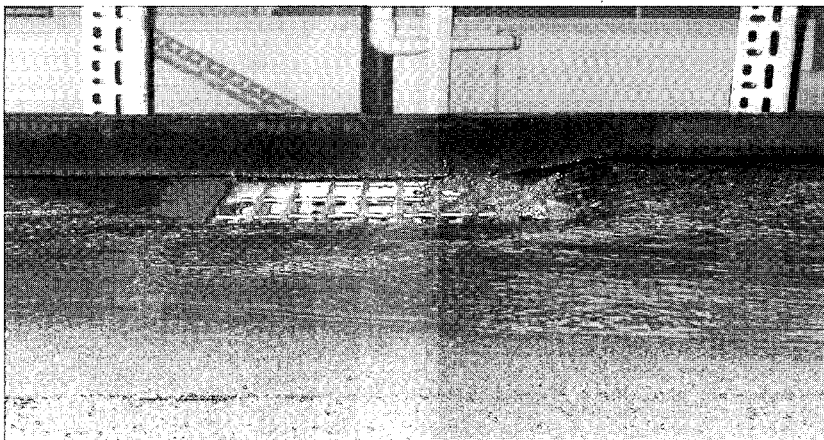


그림 5. 유입부의 흐름

횡경사가 변화하면 노면이 상·하로 움직이게 된다. 이때 유속계의 측정부도 노면의 움직임에 따라 상·하로 움직일 수 있게 제작하였다. 측구내 흐름폭은 측정장치를 횡방향으로 움직이면서 측정하였다. 실험장치내 흐름폭은 최대 1.2m까지 측정할 수 있다. 빗물받이의 차집효율을 측정하기 위하여 실험수로에 최소 30×40cm에서 최대 40×150cm의 빗물받이 유입부를 설치하였다. 실험수로에 설치한 빗물받이의 차집량 및 통과유량을 측정하기 위하여 차집유량은 300×50×40cm(용량 600 l)의 수조로, 통과유량은 150×100×25cm(용량 375 l)의 수조 및 39×39×30cm(용량 45 l)의 수조를 빗물받이 및 실험수로 하단에 설치하여 차집유량 및 통과유량을 측정하였다.

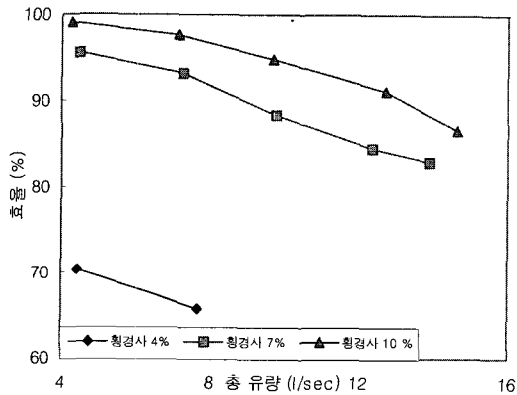
#### 4. 실험결과 및 분석

##### 4.1 유입부 규모별 실험결과 분석

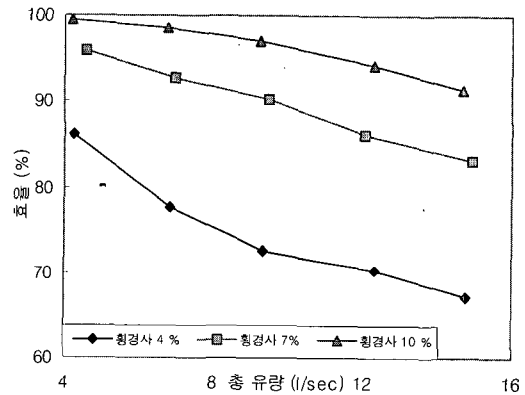
###### 4.1.1 유입부 외부규격 30×40cm

그림 5는 종경사 2%, 횡경사 4%, 유량 6.8 l/sec 일 때의 유입부로 물이 유입되는 장면이고, 흐름은 우에서 좌로 진행되며 유입부 상류구간에 물이 도약함으로 유입량이 감소되는 현상을 관찰할 수 있었다. 그림 6은 유입부 크기 30×40 cm, 종경사 0, 2, 5, 7 %일 때 횡경사를 4, 7, 10 %로 변화시키고, 유량을 4~15 l/sec로 변화시키면서 차집효율을 계산한 결과이다.

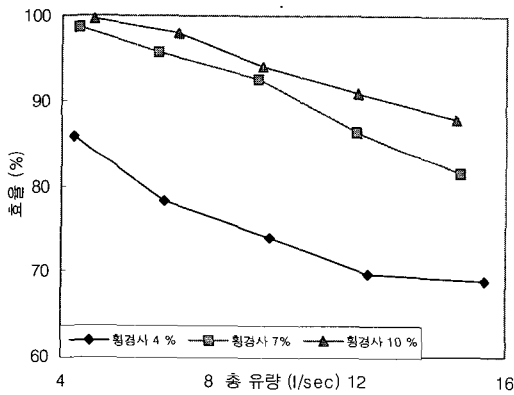
그림 6로부터 측구의 횡경사의 증가에 따라 차집효율이 크게 증가되고 있으며, 유량이 증가할 수록 차집효율이 감소하고 있었다. 유량이 4 l/sec 이고 횡경사가 4%일 때 차집효율은 86%, 같은 유량에 대해 횡경사가



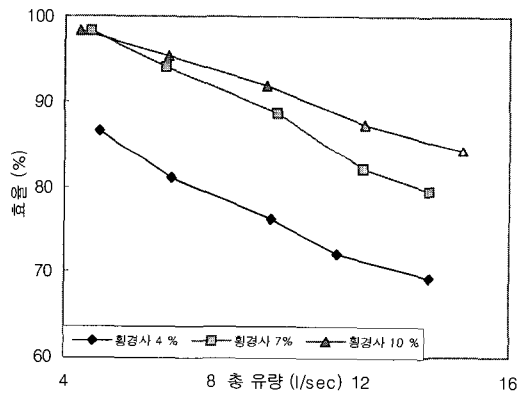
(a) 종경사 0 %



(b) 종경사 2 %



(c) 종경사 5 %



(d) 종경사 7 %

그림 6. 측구의 종·횡경사에 따른 차집효율의 변화

표 2. 측구 종·횡경사, 차선별, 간격별, 차집효율(유입부 30×40cm)

(단위 : %)

종경사 (%)	횡경사 (%)	산정방법 구분	설치간격 30×40cm														
			10m			15m			20m			25m			30m		
			2차선	3차선	4차선	2차선	3차선	4차선	2차선	3차선	4차선	2차선	3차선	4차선	2차선	3차선	4차선
0	4	실험	71.2	69.3	67.2	69.0	65.5	-	66.0	-	-	-	-	-	-	-	-
		계산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7	실험	96.0	94.8	93.6	94.8	92.0	88.0	93.0	87.2	83.5	89.2	83.8	80.5	86.3	81.0	-
		계산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10	실험	99.2	98.8	98.0	98.5	96.8	94.5	97.4	93.8	90.0	95.2	90.5	82.5	93.0	84.2	-
		계산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	4	실험	88.0	83.3	79.0	82.3	76.5	72.4	77.0	72.0	69.6	73.2	69.8	65.3	71.5	66.5	-
		계산	87.5	83.1	80.3	82.4	78.2	75.5	78.9	74.9	72.3	76.2	72.4	69.8	74.2	70.4	67.9
	7	실험	97.0	95.2	93.3	95.0	92.1	90.0	92.5	89.2	85.2	90.7	85.5	82.0	88.0	82.8	-
		계산	100.0	95.2	92.0	94.4	89.6	86.5	90.3	85.8	82.8	87.3	82.9	80.0	85.0	80.7	77.8
	10	실험	99.8	99.1	98.6	99.0	98.0	96.8	98.3	96.2	93.5	97.1	93.8	90.0	95.6	91.0	-
		계산	100.0	100.0	100.0	100.0	97.7	94.3	98.5	93.6	90.3	95.3	90.4	87.2	92.7	88.0	84.9
5	4	실험	88.5	84.3	80.5	83.5	77.6	75.0	78.2	74.0	70.0	75.7	70.2	69.1	72.7	69.2	-
		계산	87.8	83.3	80.4	82.6	78.4	75.7	79.1	75.1	72.4	76.3	72.6	70.0	74.3	70.6	68.1
	7	실험	100.0	98.1	96.5	97.9	95.1	93.0	95.5	92.0	86.0	93.5	86.3	81.0	90.0	82.0	-
		계산	100.0	95.5	92.0	94.6	89.8	86.7	90.6	86.0	82.9	87.4	83.1	80.2	85.3	80.9	78.1
	10	실험	100.0	99.5	98.9	99.4	98.2	94.8	98.4	94.0	90.7	95.6	91.0	87.2	93.0	88.0	-
		계산	100.0	100.0	100.0	100.0	97.9	94.5	98.8	93.8	90.4	95.3	91.8	87.5	92.8	88.2	85.1
7	4	실험	91.5	87.9	83.9	86.5	80.8	77.2	81.7	76.5	71.6	78.0	71.8	68.2	75.2	69.2	-
		계산	88.0	83.7	80.6	82.6	78.6	75.8	79.1	75.3	72.6	76.4	72.7	70.2	74.4	70.7	68.3
	7	실험	100.0	98.6	95.8	97.6	93.6	90.1	94.3	89.0	83.0	91.0	83.1	78.1	87.9	79.2	-
		계산	100.0	95.9	92.4	94.7	90.0	86.8	90.6	86.2	83.2	87.3	83.3	80.4	85.3	81.0	78.2
	10	실험	99.8	98.3	96.5	97.6	95.1	92.8	95.6	91.8	87.9	93.2	88.0	84.4	91.0	85.2	-
		계산	100.0	100.0	100.0	100.0	98.1	94.7	98.8	94.0	90.7	95.8	90.8	87.7	93.0	88.4	85.3
10	4	실험	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		계산	88.2	83.8	80.8	82.7	78.7	76.0	79.3	75.3	72.8	76.7	72.9	70.4	74.6	70.9	68.4
	7	실험	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		계산	100.0	96.0	92.6	94.8	90.2	87.0	90.8	86.3	83.4	87.8	83.5	80.6	85.5	81.2	78.4
	10	실험	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		계산	100.0	100.0	100.0	100.0	98.4	94.9	99.0	94.1	91.0	95.8	91.1	87.9	93.2	88.6	85.5

10%일 때에는 약 100 %의 차집효율을 나타냄으로써 횡경사에 따라 차집효율이 급격히 변화되는 결과로부터 흐름폭이 차집효율에 미치는 영향이 매우 큰 것을 알 수 있다.

표 2는 30×40cm 유입부의 차선별, 측구경사별, 빗물받이 간격별 종경사에 대한 차집효율 및 적정성 여부를 나타내었다. 표 2에서와 같이 빗물받이 간격이 10m 이고 측구의 횡경사가 7%이상되면 2차선~4차선까지 90% 이상의 차집효율을 나타내고 있다. 즉, 도로의 횡경사 2%, 빗물받이 유입부 크기가 30×40cm, 배치간격이 10m, 측구의 횡경사가 5% 이상 되면 종경사가 7% 이상인 4차선 도로에서까지 차집효율이 90~100%에 해당된다. 여기서 계산치는 SWMM에 의한 결과이

며 이에 관한 자세한 내용은 서울특별시(2002)의 “상습 침수 해소를 위한 하수도시설기준 재검토”에 수록되어 있다.

도로의 빗물받이 간격과 도로의 차선이 주어지면 측구에 흐르는 유량을 계산할 수 있고 이 유량에 대한 빗물받이의 차집효율을 식 (4)를 이용하여 예측할 수 있으므로 식 (4)에서의 각종 계수를 제시한 경험식을 완성한다면 이를 이용하여 노면 배수에 필요한 빗물받이의 적정 간격을 계산할 수 있다. 30×40 cm 실험에서 관측한 실험 결과치로부터 식 (4)와 유사한 형태의 경험식을 식 (5)와 같이 유도하였다.

$$Q_i = 2.265 Q_m^{0.849} S_x^{0.243} S_L^{-0.00642} \quad (5)$$

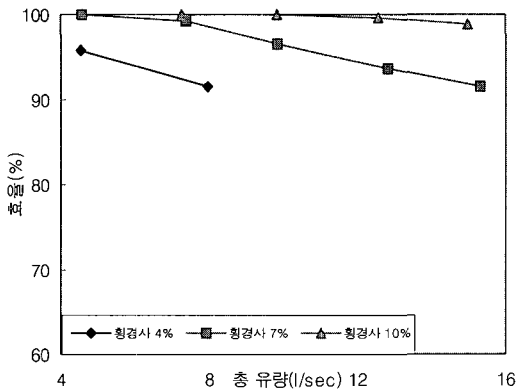
이상의 실험결과로부터 빗물받이 유입부의 크기가 30×40cm인 경우 배치간격이 10m일 때 2~4차선 도로에서 측구 횡경사가 7%이상, 배치간격이 15m일 때 4차선 도로에서 측구 횡경사가 10%이면 차집효율은 90% 이상이다. 그러나 배치간격이 25m 이상이 되면 측구의 횡경사가 10% 정도 일때도 90% 이상의 차집효율을 기대하기 어렵다. 따라서 30×40cm의 빗물받이인 경우에 2차선의 도로에서는 25m 이내, 3차선의 경우에는 15m 이내, 4차선의 경우에는 10m 정도가 합리적인 배치간격으로 판단된다.

#### 4.1.2 유입부 외부규격 40×50cm

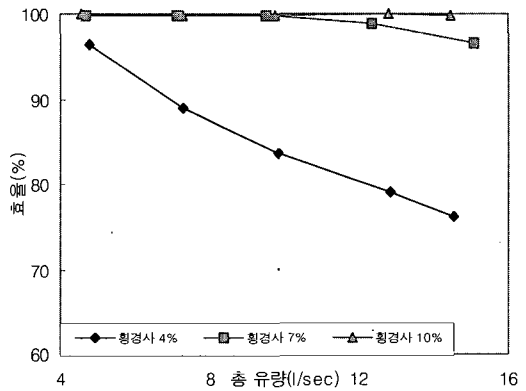
그림 7은 유입부 크기 40×50cm, 종경사 0, 2, 7, 5%일 때 횡경사를 4, 7, 10%로 변화시키고, 유량을 4~15 l/sec로 변화시키면서 차집효율을 측정 한 결과

이다. 그림 7로부터 유입부의 크기가 증가함에 따라 차집효율이 크게 증가되고 있으며, 30×40cm 유입부에서와 마찬가지로 유량이 증가할 수록 차집효율이 감소하고 있었다.

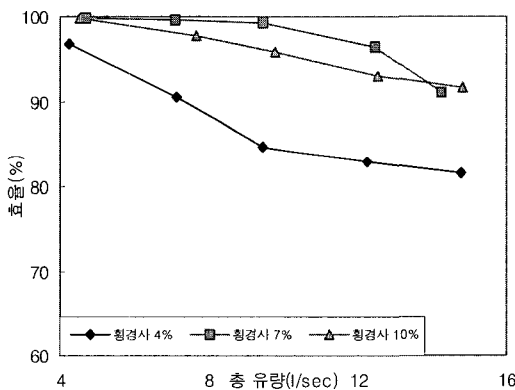
또한, 유량이 15 l/sec 이고 종경사 2%, 횡경사 4% 일 때 차집효율은 77%, 같은 유량에 대해 횡경사가 10%일 때 거의 100%의 차집효율을 나타냄으로써 횡경사의 영향이 매우 큼을 보여주고 있다. 그러나 그림 7의 (c), (d)에서 횡경사가 7%일 경우가 횡경사 10%보다 차집효율이 높은 특별한 경우를 볼 수 있었다. 이는 횡경사가 7%일 경우보다 10%일 때 수면폭이 빗물받이 전면부의 길이(40cm)보다 작아지면서 유속이 증가하여 격자망으로 튀는 물의 양이 증가하여 차집효율이 일반적인 경우와 반대의 결과가 발생된다. 그러나 유량



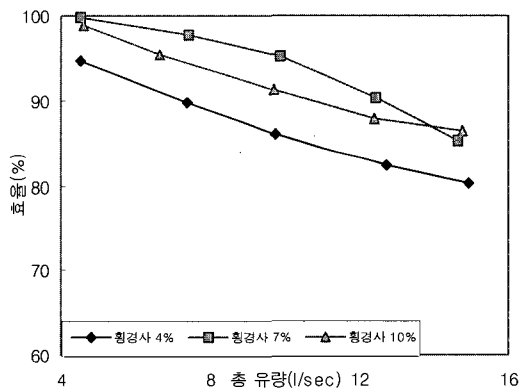
(a) 종경사 0 %



(b) 종경사 2 %



(c) 종경사 5 %



(d) 종경사 7 %

그림 7. 측구의 종·횡경사에 따른 차집효율의 변화



표 3. 측구 종·횡경사, 차선별, 간격별, 차집효율(유입부 40×50cm)

(단위 : %)

종경사 (%)	횡경사 (%)	산정방법 구분	설치간격 40×50cm															
			10m			15m			20m			25m			30m			
			2차선	3차선	4차선	2차선	3차선	4차선	2차선	3차선	4차선	2차선	3차선	4차선	2차선	3차선	4차선	
0	4	실험	96.9	95.0	93.2	94.6	91.7	-	92.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		계산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7	실험	100.0	99.8	99.5	99.7	99.0	97.5	99.2	95.9	93.0	97.2	93.5	90.6	95.3	91.2	-	-
		계산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10	실험	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.8	99.2	100.0	99.4	98.2	99.7	98.6	-	-
		계산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	4	실험	99.8	95.4	91.3	94.3	88.2	84.2	89.0	83.2	79.0	85.3	79.2	73.3	82.2	75.0	-	-
		계산	97.7	94.3	92.1	93.7	90.6	88.4	91.1	88.0	85.9	89.0	86.0	83.9	87.4	84.4	82.4	-
	7	실험	100.0	99.9	100.0	99.8	100.0	99.8	100.0	99.6	98.5	99.9	98.5	95.5	99.3	96.2	-	-
		계산	100.0	100.0	98.8	100.0	97.1	94.8	97.6	94.3	92.1	95.4	92.2	90.0	93.7	90.5	88.3	-
	10	실험	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.4	100.0	99.8	-	-
		계산	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.1	100.0	98.6	96.3	99.7	96.3	94.1	97.9	94.6	92.3	-
5	4	실험	98.0	95.4	92.8	95.0	90.5	85.6	91.2	84.7	83.0	87.0	83.0	81.2	84.1	81.6	-	-
		계산	95.8	92.5	90.3	91.9	88.8	86.7	89.3	86.2	84.2	87.2	84.3	82.3	85.6	82.8	80.8	-
	7	실험	99.9	99.8	99.7	99.8	99.5	99.2	99.6	99.0	96.8	99.3	97.0	88.0	98.3	90.4	-	-
		계산	100.0	99.1	96.8	98.5	95.1	92.9	95.7	92.4	90.2	93.5	90.4	88.2	91.8	88.7	86.6	-
	10	실험	100.0	99.5	98.9	99.5	98.0	96.5	98.3	96.0	93.3	97.0	93.3	91.5	95.1	91.9	-	-
		계산	100.0	100.0	100.0	100.0	99.4	97.1	100.0	96.6	94.3	97.7	94.4	92.2	95.9	92.7	90.6	-
7	4	실험	96.5	94.8	92.3	93.9	90.5	87.3	91.0	86.8	83.5	88.0	83.7	80.4	85.9	81.1	-	-
		계산	95.2	92.0	89.7	91.2	88.2	86.1	88.6	85.7	83.7	86.6	83.7	81.8	85.1	82.2	80.3	-
	7	실험	100.0	99.6	98.9	99.5	98.0	96.2	98.3	95.7	91.5	96.8	91.9	85.0	95.0	86.9	-	-
		계산	100.0	98.6	96.2	97.8	94.5	92.3	94.9	91.9	89.7	92.8	89.7	87.6	91.2	88.1	86.1	-
	10	실험	100.0	99.0	97.8	98.4	95.1	92.3	95.5	91.6	88.5	93.0	89.0	86.8	91.0	87.0	-	-
		계산	100.0	100.0	100.0	100.0	98.8	96.4	99.2	96.0	93.7	97.0	93.8	91.6	95.3	92.1	90.0	-
10	4	실험	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		계산	94.5	91.3	89.2	90.5	87.6	85.5	88.0	85.0	83.1	86.0	83.2	81.2	84.5	81.7	79.7	
	7	실험	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		계산	100.0	97.9	95.6	97.0	93.9	91.7	94.3	91.1	89.1	92.2	89.2	87.1	90.6	87.5	85.5	
	10	실험	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		계산	100.0	100.0	100.0	100.0	98.1	95.8	98.6	95.3	93.1	96.4	93.2	91.0	94.7	91.5	89.3	

이 15 l/sec 이하가 되면 횡경사 10%일 경우가 7% 일 때 보다 차집량이 증가하고 있다.

표 3은 40×50cm 유입부의 차선별, 측구 경사별, 빗물받이 간격별 종경사에 대한 차집효율을 나타내었다. 40×50cm의 유입부 차집효율의 특징은 30×40cm 유입부의 차집효율과는 다른 경향을 보인다. 즉, 30×40cm 유입부는 측구 횡경사가 클수록 차집효율도 증가했는데 40×50cm 유입부에서는 횡경사 10%와 7%의 차집효율이 크게 차이가 나지 않았다. 40×50cm 유입부의 실측값을 가지고 회귀분석을 한 결과는 식 (6)과 같다.

$$Q_i = 1.486 Q_m^{0.899} S_x^{0.124} S_L^{-0.0278} \quad (6)$$

유입부 30×40cm 일 경우가 동일하게 차집유량은 횡경사에 비례하고 종경사에 반비례하고 있으나 상수가 감소하고 있다. 이상의 검토결과로부터 40×50cm 유입부의 빗물받이의 배치간격이 20m이내이며 측구 횡경사가 7%정도 일 때 2~4차선 도로에서 차집효율이 90% 이상이 되며, 배치간격이 30m일 때는 4차선 이상의 도로에는 차집효율이 90% 이하 됨을 알 수 있다. 따라서 40×50cm의 빗물받이는 2차선 도로에서는 30m, 3차선 도로에서는 20m, 4차선 도로에서는 15m 정도가 적합하다고 판단된다.

### 4.1.3 유입부 외부규격 40×100cm

교차로 구간이나 노면의 폭이 없을 경우 서울시의 많은 지역에서는 40×50cm를 2개 병렬 설치한 경우가 본 연구의 조사에서 흔히 발견되었으므로 이 경우에 대해서 실험을 실시하였다.

그림 8은 유입부 크기 40×100cm, 종경사 0, 2, 5, 7%일 때 횡경사를 4, 7, 10%로 변화시키고, 유량을 4~15 l/sec로 각각 변화시키면서 차집효율을 측정된 결과이다.

그림 8 (a)~(d)의 결과와 그림 6 및 그림 7로부터 유입부의 크기가 증가함에 따라 차집효율이 크게 증가되고 있으며, 특히 40×50cm 유입부에서와 비교하여 보면 유입부 길이가 증가됨으로써 월류 양이 없고, 측방 유입량이 증가하여 횡경사가 7% 이상인 조건에서는 차집효율이 거의 100%이었다. 그림 8 (a)에서와 같이

종방향 경사가 0%이고 횡방향 경사가 7%이상 된다면 15 l/sec의 유량도 모두 배수됨을 알 수 있다. 위의 결과를 이용하여 종방향 경사가 0%에 가까운 도로의 배수 문제 해결에 참고자료가 될 것이다. 유량 14.8 l/sec이고, 종경사 5%, 횡경사 10%일 때 격자망 위로 튀어 오르는 물의 길이는 약 60~70cm로 관측되었다.

표 4는 40×100cm 유입부의 차선별, 측구경사별, 빗물받이 간격별 종경사에 대한 차집효율을 나타내었다. 표 4에서와 같이 빗물받이 간격이 10m, 20m, 30m일 때 측구의 횡경사가 7% 이상 되면 2~4차선까지 100%의 차집효율을 나타내었다. 횡경사가 4%일 때에도 약 90% 이상의 차집효율을 보였다. 빗물받이 규격 40×100 cm에서의 유입부 실험값과 회귀분석한 비교한 결과식은 식(7)과 같다.

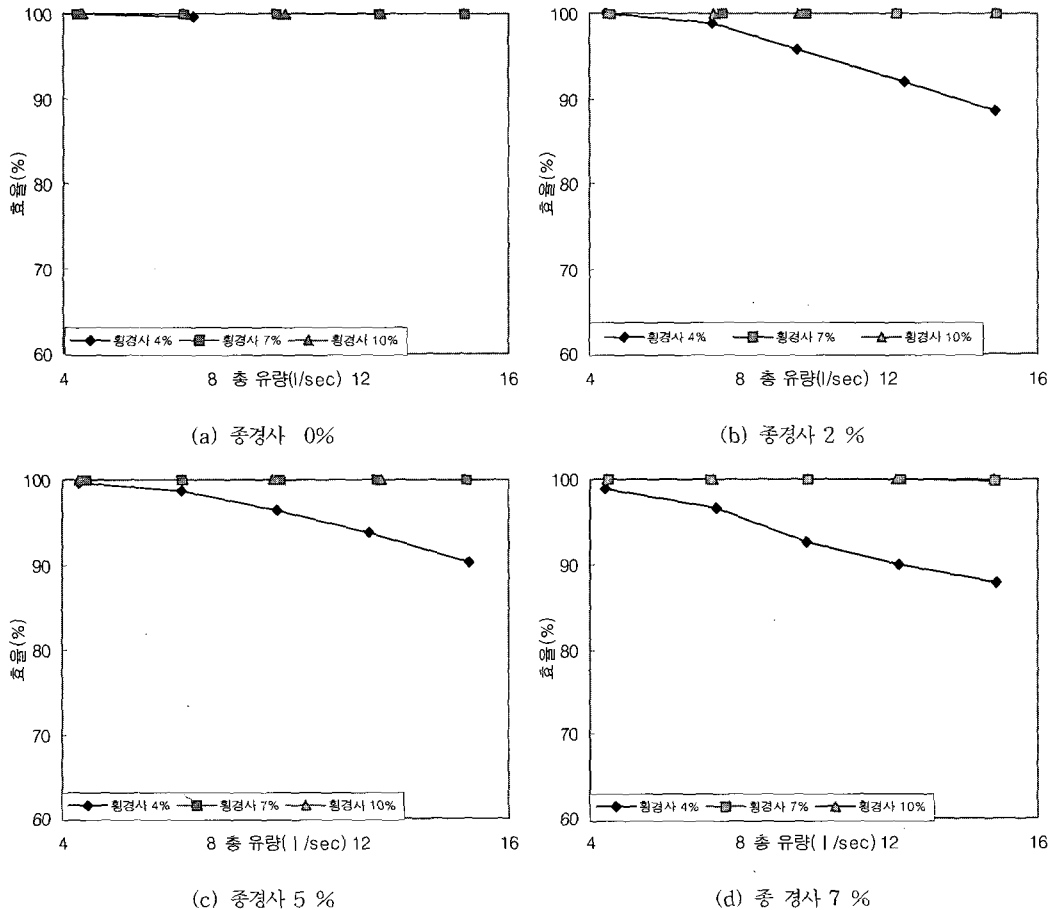


그림 8. 측구의 종·횡경사에 따른 차집효율의 변화

표 4. 측구 중·횡경사, 차선별, 간격별, 차집효율(유입부 40×100cm)

(단위 :%)

중경사 (%)	횡경사 (%)	산경방법 구분	설치간격 40×100cm														
			10m			15m			20m			25m			30m		
			2차선	3차선	4차선	2차선	3차선	4차선	2차선	3차선	4차선	2차선	3차선	4차선	2차선	3차선	4차선
0	4	실험	100.0	99.9	99.7	99.9	99.5	99.3	99.5	-	-	-	-	-	-	-	-
		계산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7	실험	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	-
		계산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10	실험	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	-
		계산	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	4	실험	100.0	99.8	99.0	99.5	98.5	95.7	98.8	95.2	91.3	96.5	91.4	86.8	94.0	88.1	-
		계산	98.1	97.0	96.3	96.8	95.7	95.0	95.9	94.9	94.2	95.2	94.2	93.5	94.7	93.6	92.9
	7	실험	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	-
		계산	100.0	100.0	99.8	100.0	99.3	98.5	99.4	98.4	97.6	98.7	97.6	96.9	98.2	97.1	96.3
	10	실험	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	-
		계산	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.9	100.0	99.9	99.2	100.0	99.4	98.6
5	4	실험	99.8	99.5	99.0	99.6	98.9	97.1	99.0	96.7	94.0	97.4	94.1	90.0	95.8	91.0	-
		계산	97.9	96.8	96.1	96.6	95.6	94.9	95.8	94.7	94.0	95.0	94.0	93.3	94.5	93.5	92.8
	7	실험	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	-
		계산	100.0	100.0	99.6	100.0	99.1	98.4	99.3	98.2	97.4	98.5	97.5	96.8	98.0	96.9	96.2
	10	실험	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	-
		계산	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.7	100.0	99.7	99.0	100.0	99.2	98.5
7	4	실험	99.5	98.8	97.7	98.5	96.9	94.0	97.1	93.3	90.3	94.9	90.5	87.8	92.4	88.5	-
		계산	97.9	96.8	96.1	96.6	95.6	94.8	95.7	94.7	94.0	95.0	94.0	93.3	94.5	93.5	92.8
	7	실험	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	-
		계산	100.0	100.0	99.6	100.0	99.1	98.3	99.2	98.2	97.4	98.5	97.5	96.7	98.0	96.9	96.2
	10	실험	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	-
		계산	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.7	100.0	99.7	99.0	100.0	99.2	98.4
10	4	실험	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		계산	97.9	96.8	96.1	96.5	95.5	94.8	95.7	94.6	94.0	95.0	94.0	93.3	94.4	93.4	92.7
	7	실험	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		계산	100.0	100.0	99.6	100.0	99.0	98.3	99.2	98.1	97.4	98.5	97.4	96.7	97.9	96.9	96.1
	10	실험	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		계산	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.7	100.0	99.7	99.0	100.0	99.1	98.4

$$Q_i = 1.24 Q_m^{0.968} S_x^{0.0646} S_L^{-0.00363} \quad (7)$$

표 4에서와 같이 계산값 보다 실측값들의 차집효율이 높은 것을 볼 수 있으며, 계산값과 실측값의 차이 값은 측방 유입량의 값이라고 생각된다. 따라서, 빗물받이 유입부의 규모가 40×100cm 정도이고 2~4차선 도로에서 측구의 횡경사가 4% 이상이면 차집효율이 90% 이상이므로 배치간격은 30m 정도가 적절한 것으로 나타났다.

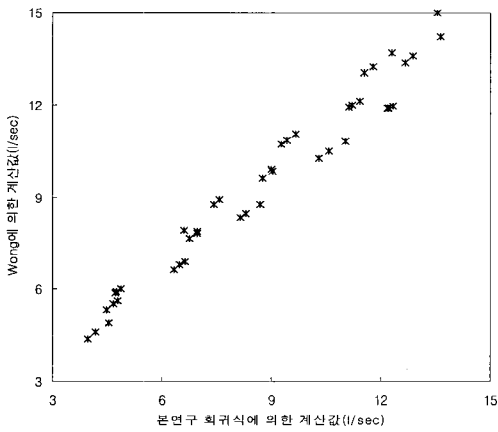
#### 4.1.4 유입부 외부규격 40×150cm

도로의 폭이 넓은 교차로 지역의 많은 곳에서는 40×50cm를 3개 병렬 연결한 경우가 여러지역에서 조사되었으며 이 경우에 대한 실험을 실시하였다. 유입부의 규격이 40×150cm가 되면 유입부의 유입량이 거의 100%가 되므로 40×100cm 유입부에서 월류한 조건에 대해서만 실험하였다. 즉 횡경사 4%에 대해 중경사 2, 5, 7%의 3경우에 대해 실험을 하였다. 40×150cm 규모의 빗물받이를 설치할 경우 1개당 15 l/sec의 유량을 충분히 감당할 수 있는 것으로 나타났다.

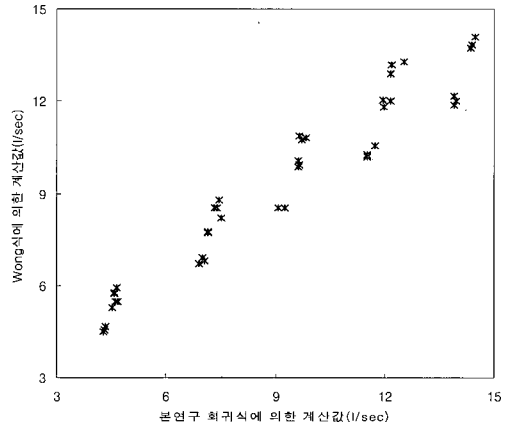
빗물받이 유입부의 크기가 40×150cm인 경우에는 횡경사가 4%이하이며 중경사가 7%이상 되어도 4차선

표 5. Wong 실험과 본 연구의 실험조건

조건	본 연구	Wong 실험
유입부 크기(cm)	30×40 40×50 40×100 40×150	47.5×95
모형 길이(m)	7.3	6
모형 폭(m)	1.2	1.6
도로면 재질	아스팔트 싱글	콘크리트
종경사(%)	0~7	1~10
횡경사(%)	4~10	1.7~4.2
유량(l/s)	4~15	3~15



(a) 40×50cm



(b) 40×100cm

그림 9. 회귀식(본연구)과 Wong식의 비교

표 6. 평지(종경사 < 2%)일 때 우수받이 크기별, 도로 차선별 우수받이 간격

도로차선 (편도)	유입부 규모(cm)	간격 (m)		
		측구횡경사 4%	측구횡경사 7%	측구 횡경사 10%
2	30×40	*	20	30
3		*	15	25
4		*	10	20
2	40×50	20	30	30
3		15	30	30
4		10	25	30
2	40×100	30	30	30
3		30	30	30
4		30	30	30
2	40×150	30	30	30
3		30	30	30
4		30	30	30

<주> \*는 부적정/노면의 횡경사가 2%일 때의 값임.

표 7. 종경사 2%일 때 우수받이 크기별, 도로 차선별 적정 우수받이 간격

도로차선 (편도)	유입부 규모(cm)	간격 (m)		
		측구 횡경사 4%	측구횡경사 7%	측구 횡경사 10%
2	30×40	*	20	30
3		*	15	25
4		*	10	20
2	40×50	20	30	30
3		15	30	30
4		10	25	30
2	40×100	30	30	30
3		30	30	30
4		30	30	30
2	40×150	30	30	30
3		30	30	30
4		30	30	30

<주> \*는 부적정/노면의 횡경사가 2%일 때의 값임.

표 8. 종경사 5%일 때 우수받이 크기별, 도로 차선별 적정 우수받이 간격

도로차선 (편도)	유입부 규모(cm)	간격 (m)		
		측구 횡경사 4%	측구횡경사 7%	측구 횡경사 10%
2	30×40	*	20	30
3		*	15	25
4		*	10	20
2	40×50	20	30	30
3		10	30	30
4		10	20	25
2	40×100	30	30	30
3		25	30	30
4		20	30	30
2	40×150	30	30	30
3		30	30	30
4		30	30	30

<주> \*는 부적정/노면의 횡경사가 2%일 때의 값임.

## 5. 비교 및 고찰

도로에 차집효율이 95%이상으로 실측되었다. 즉, 실험 결과에 의하여 40×150cm인 유입부는 4차선 도로에서 30m 간격으로 배치하여도 차집효율은 거의 100%에 해당한다.

### 5.1 Wong의 실험결과 비교

Wong의 실험에 사용된 모형의 제원과 본 연구의 실험조건을 표2에 표시하였으며 Wong이 발표한 경험식은 식 (8)과 같다.

$$Q_i = 3 Q_m^{0.80} S_x^{0.26} S_L^{-0.02} \quad (8)$$

표 9. 종경사 7%일 때 우수받이 크기별, 도로 차선별 적정 우수받이 간격

도로차선 (편도)	유입부 규모(cm)	간격 (m)		
		측구 횡경사 4%	측구횡경사 7%	측구 횡경사 10%
2	30×40	*	20	30
3		*	15	20
4		*	10	15
2	40×50	15	30	30
3		10	20	20
4		*	15	15
2	40×100	30	30	30
3		25	30	30
4		20	30	30
2	40×150	30	30	30
3		30	30	30
4		30	30	30

<주> \*는 부적정/노면의 횡경사가 2%일 때의 값임.

표 11. 종경사 10%일 때 우수받이 크기별, 도로 차선별 적정 우수받이 간격

도로차선 (편도)	유입부 규모(cm)	간격 (m)		
		측구 횡경사 4%	측구횡경사 7%	측구 횡경사 10%
2	30×40	*	20	30
3		*	15	20
4		*	*	15
2	40×50	15	25	30
3		10	20	20
4		*	15	15
2	40×100	30	30	30
3		25	30	30
4		20	30	30
2	40×150	30	30	30
3		30	30	30
4		30	30	30

<주> \*는 부적정/노면의 횡경사가 2%일 때의 값임.

그림 9의 (a), (b)는 각각 빗물받이 유입부의 규모가 40×50cm 및 40×100cm인 경우에 본 연구의 결과식과 Wong의 식의 결과를 비교한 것이다. 즉, 동일한 유량, 종경사, 횡경사에 대한 차집유량을 비교한 것이며 이들의 값은 본 연구에서 실측조건에 대하여 비교하였다. 실험조건이 다르기 때문에 정확하게 비교할 수는 없지만 그 경향은 비교적 일치하고 있음을 알 수 있다.

## 5.2 빗물받이의 규모와 적정 설치간격

본 연구에서의 실험 및 이론적인 연구 검토를 통하여 서울시 침수배수구역의 적정한 빗물 받이 설치간격은 표 6~10에 제시한 도로 종경사별 설치간격과 기존의 하수도시설기준에서 제시한 20~30m를 고려하여 설정할 수 있다고 판단된다.

## 6. 결 론

빗물받이 차집능력을 분석하기 위하여 도로의 종경사, 측구의 횡경사, 빗물받이의 규모, 실험 유량을 변화시키면서 총 240회의 실험을 하였으며, 실험결과를 분석하여 빗물받이 규모 및 도로 규모별 차집효율을 계산하였다. 또한 차집효율 결과치를 분석하여 차집능력이 최대가 되는 빗물받이 형태, 규모, 간격등을 제시하여 도로설계에 기초자료를 제공할 수 있었다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 도로의 차선별, 종경사별 측구의 횡경사별, 유입부 규모별로 적정 빗물받이 규격 및 간격을 표 6~10과 같이 제시하였다.
- (2) 도로의 종경사, 측구의 횡경사 및 측구 총유량으로부터 차집유량을 예측할 수 있는 경험식을 제시하였으며, 이 식은 빗물받이의 적정 간격 계산에 유용하게 사용할 수 있다고 판단된다.
- (3) 우수가 한곳으로 집중되고 침수피해가 예상되어 신속한 배제가 요구되는 지역에서는 노면의 차집률을 향상하여(95~100%) 설치간격을 계산하거나, 빗물받이를 연속적으로 설치하여 배수를 원활히 할 수 있다.

## 감사의 글

본 연구는 서울특별시 시정개발연구원의 "상습침수 해소를 위한 하수도시설기준 재검토" 연구내용의 일부로서 당국의 지원에 감사 드립니다.

## 참 고 문 헌

- 건설교통부 (2001). 도로설계편람(II). 서울특별시 (2002). 상습침수 해소를 위한 하수도시설 기준 재검토. 토지개발공사 (1999). 단지설계법. 환경부 (1998). 하수도 시설기준.
- Bauer, W. J and D. C. Woo. (1964). "Hydraulic design of depressed curb-open inlets", *Highway Research Record*, No. 58 Highway Research Board, Washington, D.C.
- Brown, S. A., S. M. Stein and J. C. Warner. (1996). *Urban Drainage Design Manual*(HEC 22).
- Burgi, P. H. and D. E. Gober. (1977). *Bicycle-safe grate inlets study, Vol. 1 - Hydraulic and safety characteristics of selected grate inlets on continuous grades*, Report No. FHWA-RD-7724, Federal Highway Administration.
- Chen, C. N. and Wong, T. S. W. (1993). "Critical rainfall duration for maximum discharge from overland plane", *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 119, No. 9, pp. 1040-1045.
- FHWA (1984). *Drainage of Highway Pavements*(HEC 12).
- John Hopkins University. (1956). *The design of storm water inlets*, Dept. Sanitary Engineering and Water Resources, Baltimore.
- Larry, W. May. (2001). *Stormwater collection systems design handbook*, McGraw-Hill.
- Larry, W. May. (2001). *Water Resources Engineering*, John Wiley & Sons, Inc.
- Pugh, C. A. (1980). *Bicycle-safe grate inlets study, Vol. 4 - Hydraulic characteristics of slotted drain inlets*, Report No. FHWA-RD-79-106, Federal Highway Administration.
- Rollin, H. H. (1994). "Improvements in curb-opening and grate inlet efficiency", *Transportation Research Record*, No. 1471, pp. 24-30.
- Russam, K. (1969). *The hydraulic efficiency and spacing of BS road gulleys*, RRL report LR 27, Road Research Laboratory, Ministry of Transport, Crowthorne, Berkshire UK.
- Smart, P. and Herbertson, J. G. (1992). *Drainage Design*, Blackie and Son Ltd.
- Uyumaz, A. (1994). "Highway storm drainage with kerb-opening inlets", *Science of the Total Environment*, Vol. 146, pp. 471-478.
- Walesh, S. G. (1989). *Urban Surface Water Management*, Wiley-Interscience.
- Whiffin, A. C and Young, C. P (1973). *Drainage of level or nearly level roads*, Laboratory Report No. 602. Crowthorne, Berkshire: Transport and Road Research Laboratory.
- Wong, T. S. W. (1994). "Kinematic wave method for determination of road drainage inlet spacing", *Advances in water resources*, Vol. 17, pp. 329-336.
- Wong, T. S. W. (1997). "Effect of maximum flood width on road drainage inlet spacing", *Water*

*Science and Technology*, Vol. 36, No. 8, pp.  
241-246.

(논문번호:03-13/접수:2003.02.11/심사완료:2003.05.15)