

# 도로 노면수 흐름의 수리학적 분석

심재현, 정재학

## 1. 서론

도로의 배수시설은 측구, 도수로, 집수정, 배수관 및 배수암거와 그 부속물 등으로 구성된다. 이러한 배수시설은 도로 노면을 따라 흐르는 유출수가 도로면의 마찰저항력을 감소시켜 사고의 위험성을 증가시키기 때문에 신속한 배수를 통한 노면의 안전성 확보를 목적으로 설치하고 있다. 또한, 포장, 옹벽 등 도로시설물의 기능을 유지토록 하고 표면수 침투 및 지하수 유입 등으로 인해 지반 지지력이 약하게 되는 요인을 사전에 제거하기 위한 기능을 가지고 설치하게 된다.

그러나 우리나라 도로시설기준 등 관련 기준에는 도로 배수시설의 형상과 제원에 따른 수리학적 배수특성에 대한 고려가 부족한 것으로 조사결과 나타났다.

따라서 본 연구에서는 이러한 배수시설 중 노면배수시설중의 하나인 측구와 우수유입구에서의 수리학적 특성에 대하여 살펴보기로 한다. 이렇게 수리학적 특성을 분석함으로써 최적의 수리학적 능력을 가지는 설계가 가능하며 이를통해, 측구나 우수유입구의 수와 크기를 적정하게 결정하여 경제적인 동시에 효과적인 우수배제시설이 될 수 있을 것이다. 또한, 이러한 수리학적 특성을 기준으로 만들어진 UDINLET이라는 모형을 통한 예시를 통해 쉽게 접근하는 방안을 강구하기로 한다.

## 2. 도로의 배수시설

우리나라의 도로에서의 배수시설은 크게 표면배수와 지하배수 그리고 횡단배수로 나누어 진다 [그림 1]. 그 중 표면배수는 다시 노면배수, 비탈면 배수와 측도 및 도로인접지 배수로 나누어진다.

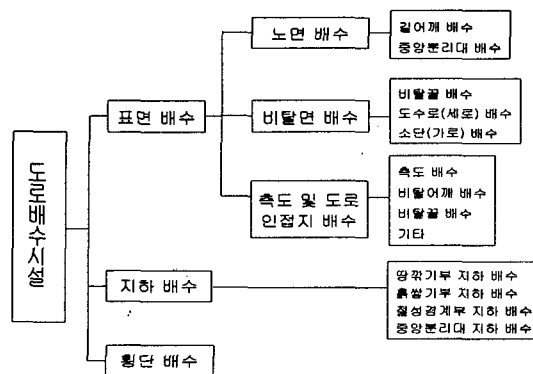


그림 1. 도로 배수시설의 명칭

\* 행정자치부 국립방재연구소 연구관

\*\* 행정자치부 국립방재연구소 위촉연구원

그 중 노면배수시설은 강우시 교통안전을 도모하기 위해 노면 및 비탈면에 내린 빗물을 원활히 배수하기 위한 길어깨 및 중앙분리대 등의 표면 배수시설을 의미한다. 본 연구에서는 이러한 시설 중에서 노면배수시설에 대한 수리학적 거동을 중심으로 검토하였다.

### 3. 도로에서의 흐름의 특성

도로는 측구와 연석에 의해 경계면이 형성되는데, 이러한 연석과 측구는 우수를 배제시키기 위해 우수집수시스템으로 흐름을 인도하는 역할을 수행하며 이는 연석과 측구에서의 수심에 따라 우수유입구를 효과적으로 운영하는데 중요하다.

#### 3.1 유입구 설계시 영향을 미치는 인자

우수유입구 설계시 수리학적으로 영향을 미치는 인자는 도로위를 흐르는 물의 폭(Spread ; 노면수폭) 또는 도로의 가장자리에서 측정되는 측구 흐름의 상단폭이며 노면수폭이 증가됨에 따라 사고의 위험도가 증가하게 된다. 노면수폭에 영향을 미치는 요소들은 다음과 같다.

- 1) 설계유출량의 빈도와 대응하는 강우강도
- 2) 배수표면의 물리학적 특성(크기, 포장경사 또는 측방향 경사, 측단면 경사, 배수길이, 조도)
- 3) 유입구의 물리학적 특성 (유입구 모양, 크기, 통수능, 효율성)
- 4) 배수표면에 따른 유입구의 위치 또는 간격

즉 우수유입구는 [그림. 2]에서 보는바와 같이 도로를 따라 안전한 수준의 노면수폭을 가지고 위치하도록 설계되어야 한다.

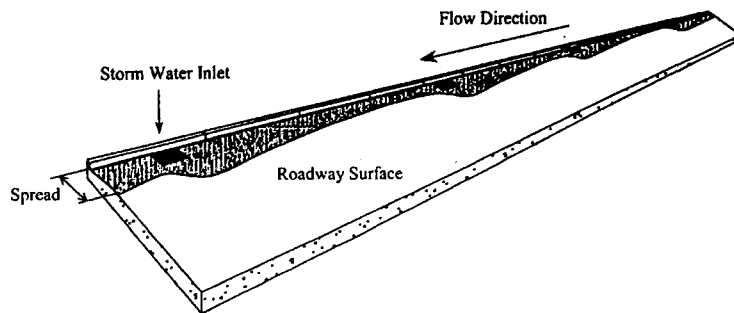


그림 2. 도로위의 노면수폭과 우수유입구

#### 3.2 우수유입구 흐름의 수리학적 특성

도로에 내린 강우는 측구를 따라 우수유입구로 흘러 들어가게 되는데, 일반적으로 측구의 횡방향 단면의 형태는 균일, 복합 또는 포물선의 형태를 가진다.

Izzard(1946)는 측구에서의 흐름은 단면폭의 증가에 대한 적분 Manning의 식에 의해 유도될 수 있음을 이용해 균일단면에서 다음과 같은 식을 유도하였다.

가정 : 연석 표면에 의한 저항은 무시할 수 있다(균일 단면경사가 10% 미만일 때)

$$Q = \frac{K_c}{n} S_x^{5/3} S_L^{1/2} T^{8/3} \quad (\text{식. 1})$$

여기서  $Q$  = 측구에 흐르는 유량 (  $m^3/s$  )

$K_c$  = 경험 상수 : 0.376 (0.56 in English Unit)

$n$  = 조도계수

$S_x$  = 측구 단면경사 (m/m),  $S_L$  = 횡방향 경사 (m/m)

$T$  = 포장위의 수면 폭 또는 흐름의 상단 수면폭 (m)

식. 1은 수리반경이 얇은 수심과 측구단면, 특히 폭이 수심의 40배를 초과할 때에는 부적합하기 때문에 수정 계수를 포함한다.

표 1. 측구에서의 Manning의 조도계수 (FHWA, 1977)

측구 또는 포장형태	조도계수, n
콘크리트 측구, 흙손으로 마무리	0.012
아스팔트 포장 : Smooth	0.013
Rough	0.016
콘크리트 측구 - 아스팔트 포장 : Smooth	0.013
Rough	0.015
콘크리트 포장 : Float Finish	0.014
Broom Finish	0.016
작은 경사를 가진 측구 (유사가 퇴적되어 있는 경우)는 조도계수 n 값 이상 증가한다	0.02

이러한 측구에서의 흐름은 우수유입구에서 효과적으로 차집할 수 있어야 한다. 다음의 식은 어떤 흐름이 유입구에 차집되지 않는 비차집유량(bypass or carryover flow)  $Q_b$ 에 관한 식이다. 여기서  $Q_i$ 는 유입구에 의해 차집되는 측구 유량이다.

$$Q_b = Q - Q_i \quad (\text{식. 2})$$

또한, 유입구의 차집효율  $E$  는 다음과 같이 나타낸다.

$$E = \frac{Q_i}{Q} \quad (\text{식. 3})$$

모든 유입구의 차집능은 측구유량이 증가함에 따라 증가하지만 차집효율은 일반적으로 감소한다. 이러한 차집효율은 우수유입구의 설계시 중요한 인자가 된다.

### 3.3 우수유입구의 종류와 특성

우수유입구는 일반적으로 유입구의 형상에 따라 쇠살대 유입구(Grate Inlets), 연석유입구(curb-opening inlets), 조합유입구(Combination Inlets), 홈형유입구(Slotted Drain inlets)으로 구분할 수 있다. 다음의 그림과 표는 각 유입구의 형상과 특성을 나타내고 있다.

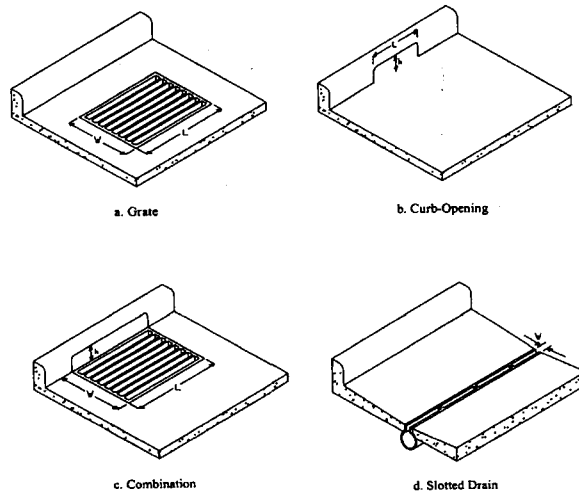


그림 3. 일반적인 우수유입구의 형상

표 2. 우수유입구의 특성

유입구 종류	적용장소	장 점	단점
쇠살대 유입구	다양한 도로경사에 효과적으로 적용	우수 흐름방향의 직접경로에 설치 폐인지역에 효과적	부유쓰레기나 잡물에 막히기 쉬움
연석 유입구	3% 미만의 도로경사에 사용	쓰레기나 잡물에 의한 막힘 현상이 거의 없다 차량, 자전거 또는 보행자에 의한 영향이 적다	쇠살대에 비해 수리학적으로 비효율적임 도로경사가 클수록 차집능력 저하
조합 유입구	폐인지역이나 만성적으로 잡물의 영향이 많은곳에 설치	연석유입구에 비해 수리학적 으로 효율적이며 쓰레기나 잡물의 영향이 적다	쇠살대 유입구가 단독으로 설치된 것보다 효율이나 차집능력이 크게 다르지 않다
홈형 유입구	면상류 흐름을 차집하는데 유용함	교통이나 보행자의 영향을 받지 않음	유사되적이나 부유물에 의한 막힘현상이 발생할 가능성이 높음

### 4. 유입구의 설치를 위한 모형의 모의

유입구의 수리학적 효율성을 좌우하는 요소는 도로 종단경사, 횡단경사와 유입구 부근의 기하학적 특성이다. 종단 및 횡단경사가 이미 결정된 상태라면 결국 유입구 형상이 수리학적 효율성을 좌우하게 된다. 일반적으로 도로의 배수는 도로설계시 종단 및 횡단경사 결정에 고려사항은 아니다. 그러나 배수시설 설계시 가장 중요한 매개변수인 노면수폭의 산정에 있어 도로에서의 침투유량과 도로의 기하학적 형상은 많은 영향을 미친다.

따라서, 본 연구에서는 도로에서의 수리학적 이론과 우수유입구의 형상에 따른 실험결과를 토대로 만들어진 UDINLET 이라는 프로그램을 통해 노면수폭에 영향을 미치는 매개변수들을 살펴보았다.

상기의 프로그램은 1990년 덴버의 콜로라도 대학에서 개발된 프로그램으로 도로상의 수리학적 분석과 우수유입구의 설계에 사용되는 프로그램이며, 비교적 간단한 프로그램으로 향후 우리나라의 우수유입구에서의 실험결과를 토대로 우리나라 실정에 맞는 프로그램을 개발할 필요가 있다.

본 연구에서는 길이 150m, 폭 20m의 임의의 도로구간을 설정하였다. 조도계수는 0.016, 도로의 강우강도는 건교부에서 제공하는 서울지역 IDF곡선을 이용하였다. 현재 우리나라는 축구의 경우 5년 빈도, 노면 및 비탈면 배수시설의 경우 3년빈도의 강우강도를 사용하고 있다.

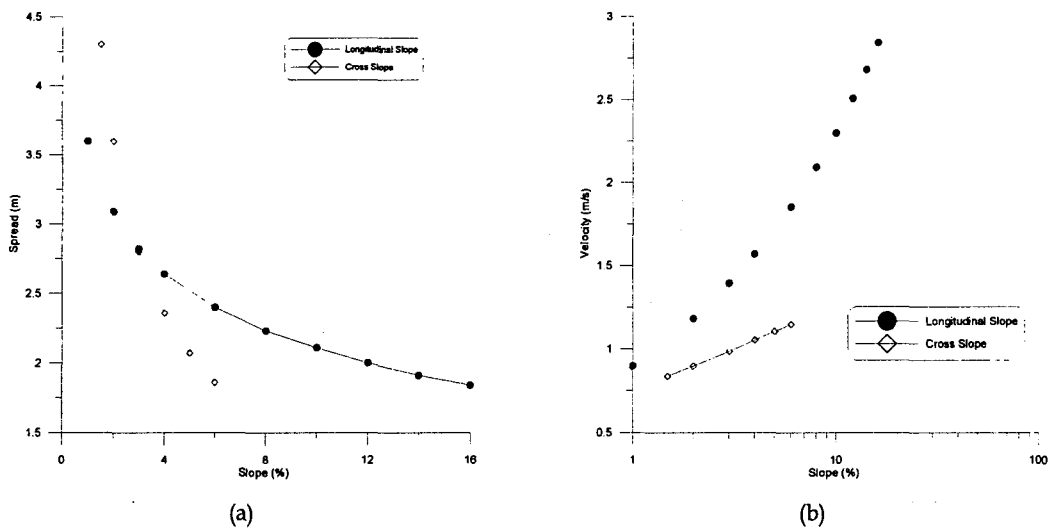


그림 4. 도로경사에 따른 노면수폭(a) 및 유속(b)

상기의 그림은 5년빈도 강우강도에 대한 도로의 설계침투유량이  $0.1256\text{m}^3/\text{s}$  일 경우 도로의 종방향 경사와 횡방향 경사도에 따른 노면수폭과 유속의 변화양상을 살펴보았다.

노면수폭의 경우 도로의 횡방향 경사도 증가율에 따른 노면수폭 증가율이 종방향 경사보다 크게 나오는 것을 살펴볼 수 있었으며, 유속의 경우는 종방향 경사의 증가가 더 큰 영향을 미침을 볼 수 있는데, 이는 도로의 기하학적 형상이 노면수폭에 큰 영향을 미치는 것을 보여준다.

또한, 아래의 [그림 5, 6]은 쇄살대유입구와 연석유입구가 동일한 차집효율을 가질 때 종방향 경사와 축구유량의 증가에 따른 변화양상을 도시하였다.

[그림 5]의 경우 도로의 경사도가 클수록 연석유입구의 효율이 급격하게 줄어드는 것을 볼 수 있었다. 특히 쇄살대 유입구의 경우 종방향 경사가 증가할수록 노면수폭이 줄어들기 때문에 유입구 효율이 증가되는 양상을 보이는데 이는 경사가 있는 도로에서는 쇄살대 유입구가 더 효율적임을 알 수 있다. 그러나 쓰레기나 잡물의 영향이 많은 곳에서는 유입구 막힘현상으로 연석유입구보다 효율적이지 못한 경우도 있으며, 경사도가 더 커질 경우 유속이 증가하게 되어 더 좀 효율적인 다른 형태의 우수유입구가 필요하다.

또한, 쇄살대 유입구와 조합유입구의 경우 유입구의 효율(차집효율)이 비슷한 양상을 나타내는데, 이는 조합된 연석유입구 부분의 효율이 현저히 낮아 쇄살대 유입구 부분으로 대부분 유입되는 것을 의미하며, 이는 설치되는 지역에 따른 인자를 고려하게 되면 다른 양상을 나타낼 것으로 사료된다.

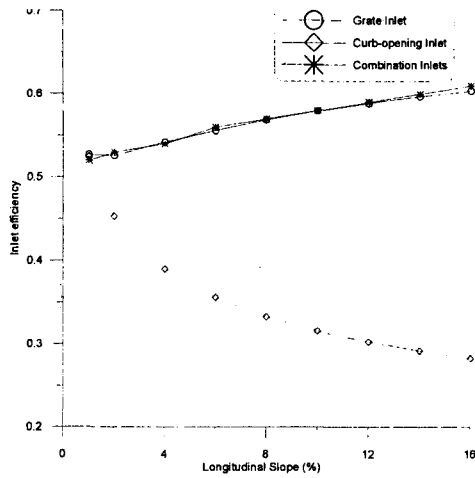


그림 5. 횡방향 경사도 증가에 따른 우수유입구별 효율

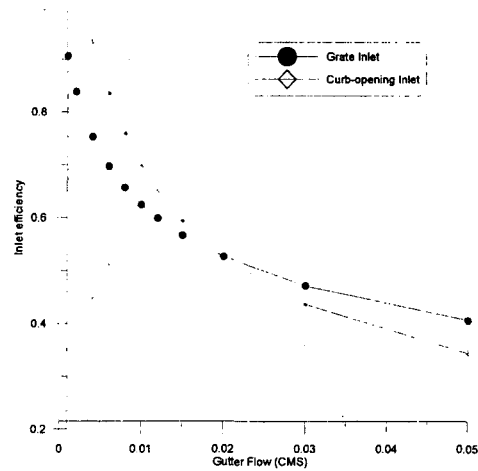


그림 6. 측구유량 증가에 따른 우수유입구별 효율

[그림 6]의 경우 측구유량의 증가함에 따라 모든 유입구의 효율이 떨어지는 것을 볼 수 있는데 특히 연석유입구의 경우는 유입구 효율의 저감율이 눈에 띄게 줄어드는 것을 볼 수 있었다.

## 5. 결론

현재 우리나라는 노면수폭과 우수유입구에 대한 특별한 기준이 제시되지 아니하고 있다. 일반적으로 우수유입구의 설계는 시행착오 보간법에 의한 복잡한 작업이 요구되는데, 이를 통해 우수유입구는 허용 노면수폭 또는 연석의 상단을 초과하는 곳마다 설치해야 한다. 그러나 아직까지 허용 노면수폭에 대한 기준이 제시되지 않았고 우수유입구 간격은 구체적으로 언급되어 있지 않은 바 효율적인 도로노면수 처리가 힘들다고 여겨진다.

우수유입구의 크기와 간격을 결정하는데 있어 중요한 매개변수인 노면수폭의 크기 및 도로의 지형학적 변화에 따른 변화양상을 살펴보고 또한 우수유입구 형상별 우수처리 능력을 살펴보았다.

이를 통해 향후 상황에 따른 뛰어난 차집능력과 쓰레기 및 잡물의 처리가 가능한 우수유입구의 형상에 대한 제원의 마련을 통해 우리나라 상황에 맞는 프로그램의 개발로 도로 노면수로부터 안전한 도로의 운행과 우수유입구의 과다 또는 과소설치를 조정하여 합리적인 설치가 가능하다.

또한 이렇게 마련된 효율적인 우수유입구의 설치를 통해 차집된 우수를 집수관 또는 집수정에 우수유출저감시설을 설치함으로써 치수방재분야에도 상당한 영향을 미칠 수 있다.

## 6. 참고문헌

건설교통부(2001). "도로설계편람(Ⅱ)", 제4편.

한국도로공사(1998). "도로설계요령(수정판)", p277-358.

Brown, S. A., S. M. Stein, and J. C. Warner(1996). "Urban Drainage Design Manual", Hydraulic Research Record No. 22, FHWA-SA-96-078, Federal Highway Administration

J.C.Y.Guo (1997). "Street Hydraulics and Inlet Sizing", Water Resources Publications

Larry W. Mays (2001). "Stormwater Collection Systems Design Handbook", McGraw-Hill