

도로의 경사와 빗물받이 간격을 고려한 노면 수리모형실험

이종태*, 윤세의*, 임동환**, 신승용**

1. 서론

도로안전을 유지하기 위해 필요한 노면의 배수능력은 계획도로의 종류, 규격, 교통량 및 주변환경들을 충분히 고려함과 아울러 배수목적, 배수시설의 입지조건, 계획강우를 초과할 경우 주변 및 상·하류지역에 미치는 영향, 경제성 등을 고려하여 배수시설의 적정 규모를 결정한다. 도시화와 산업화에 따른 배수구역의 유출 환경의 변화와 최근의 기상이변으로 우리나라의 곳곳에서는 국지적인 집중호우 및 태풍 등으로 인한 대규모 홍수피해가 빈발하고 있다. 특히, 침수피해는 주로 하천연안이나 유출량이 집중되는 저지대와 하수관거 불량 지역에서 상습적으로 발생하고 있다. 또한, 도로변에 설치되어 있는 빗물받이 등과 같은 일차적 하수도시설에서 빗물이 원활하게 배수되지 못함으로 인하여 정체된 노면수가 인근 주거지로 유입됨으로써 침수피해를 가중시키는 한 요인이 되는 경우도 많다. 우수받이의 차집능력에 대한 국내의 연구 내용은 미흡한 상태이다. 우수받이 설치 간격은 건설교통부의 하수도 기본계획 지침 및 설계기준에서는 20m정도에 1개 이하의 비율로, 환경부의 하수도 설계기준에서는 대략 20~30m정도로 도로폭 및 경사 등을 고려하여 적당한 간격으로, 토지공사의 단지계획실무편람에서는 30m이내로, 단지조성공사 설계 및 적산기준에는 물이 고이기 쉬운 장소나 각각 낮은 지점에 20~30m으로 제시하였다. 이렇듯 국내의 우수받이 규모 및 설치 간격에 대한 기준은 도로의 폭원별, 경사도별, 종류별 각각에 대한 설치 규정이 미흡한 상태이다. Russam(1969), Whiffin, Young(1973)등은 유입부 간격에 도로의 폭을 곱한 면적에 떨어진 모든 강우는 유입부로 유입된다는 가정하에 합리식 및 Manning의 평균 유속공식을 사용하여 유입부 간격의 계산식을 제시하였다. 또한 Burgi(1977), Pugh(1980), FHWA(1977)등은 석살대 유입부(grate inlet)의 차집효율을 수리학적 실험을 통하여 결정하였다. Wong(1994)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 제시하였다. Nicklow(2001), HEC 22(2001)등은 측구내의 흐름을 분석하여 유입부의 전방 유입량 및 측방 유입량의 값을 유속 및 유입부 길이에 관한 식으로 차집유량 계산식을 제시하였다.

본 연구에서는 빗물받이의 규모와 설치간격의 적정성을 유출해석 모형 및 수리모형실험을 통하여 분석함으로써 빗물받이 시설의 적정 설계기준을 위한 이론적 근거와 기초실험 자료를 제시하였다.

2. 노면실험장치 및 실험방법

2.1 노면실험장치

노면에서 우수의 이동경로를 파악하기 위하여 그림 1과 같은 인공강우장치가 부착된 실험 설비를 제작하였다. 이는 Froude 상사법칙을 이용한 1/5의 축소 모형이다. 실험장치의 제원은 길이 15m, 폭 3m, 높이 3m의 조립식 앵글로 인공강우장치의 틀을 제작하여 내경 25mm의 PVC관에 30cm 간격으로 Sprinkler를 설치하여 인공강우장치를 설치하였다. 도로 모형의 제원은 길이 10m, 폭 2.4m의 앵글로 제작하였고, 실험장소와 실험기간이 실외와 여름이라는 제한사항을 고려하여 열과 작업성 및 강도가 강한 PVC관을 선택하여 설치하였다. 길이 방향으로 1.2m마다 보강대를 만들어 PVC관의 휨을 최대한 방지하였으며 아스팔트의 조도계수를 상사법칙에 따라 계산된 조도로 맞추기 위해 체가름으로 채집한 모래를 PVC관에 부착시켰다. 도로면의 횡단경사, 종단경사를 조절하기 위해 도로면 하부 모형틀에 유압잭(Jack)을 설치하여 경사를 조절하였다. 또한 유압잭의 경사조절은 한계가 있으므로 이를 보완하기 위해 지지대에 경사조절 스프링 장치를 만들어 여러 경사를 제현할 수 있도록 제작하였다. 유입부 모형은 상사법칙을 적용하여 가로 10cm, 세로

* 경기대학교 토목·환경공학부 교수

** 경기대학교 대학원 토목공학과 석사과정

8cm의 모형을 만들었고, 차집유량은 39×39×30cm의 아크릴 통으로 측정하였고, 월류량은 47.5×47.5×100cm의 아크릴 통으로 측정하였다. 관측자의 안전을 고려하여 모형틀의 외곽에 보강대를 설치하여 C-Clamp로 고정시켰다. 인공강우 장치와 도로모형의 평면도는 그림 3과 같고, 완성된 실험장치의 전경은 그림 4와 같다.

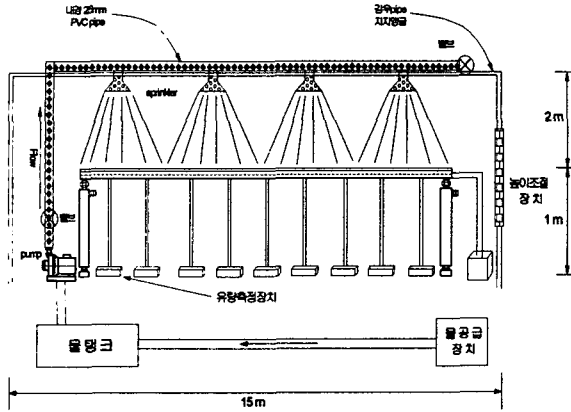


그림 1 인공강우 장치 종단면도

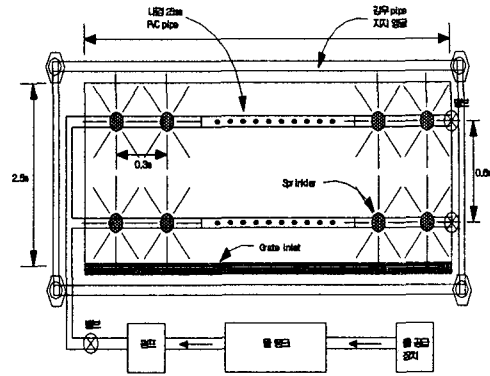


그림 2 인공강우 장치 평면도

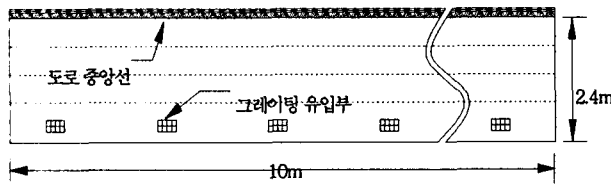


그림 3 도로 노면모형의 평면도

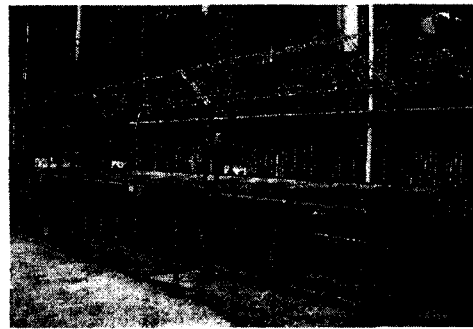


그림 4 완성된 수리모형전경

2.2 실험방법

펌프를 가동하여 물을 살수기로 이동시켜서 인공 강우를 생성하였으며, 약 5분후가 되면 살수기를 통하여 분사되는 물이 노면에서 정상류가 된다. 모든 실험은 정상류에 도달한 후에 실시하였다. 살수기의 개수를 증감시킴으로써 강우강도를 조정할 수 있었다.

표 1의 노면 실험의 조건 및 실험 횟수를 보면 강우강도는 차집량과 월류량을 더한 유량을 합리식으로 ($Q = 0.2778 \cdot C \cdot I \cdot A$) 역산하여 결정하였고, 종경사는 0, 2, 4, 6의 총 4 case의 조건이고, 횡경사는 우리나라 도로의 표준 경사인 2%이며, 빗물받이 간격은 10, 20, 30m 간격으로 하였다. 도로폭은 편도 2차선인 6m와 편도 4차선인 12m의 경우에 대해 각각 실험을 하였다. 2차선 실험에서는 4차선 도로폭을 축소시키기 위하여 앵글과 비닐을 이용하여 횡방향 흐름을 차단시키고 실험을 실시하였다. 또한 노면에 흐르는 빗물의 흐름각을 측정하기 위해 가로, 세로 각각 20cm인 정사각형 모양의 격자를 만들어 흐름각을 측정하였다. 빗물받이 간격에 따른 효율 계산은 총 유출량에 대한 차집총량의 비로 나타내었으며 이를 식으로 나타내면 다음 식으로 정의하였다.

$$\text{차집효율}(\gamma) = \frac{Q_i}{Q_m} \quad (1)$$

여기서, Q_i 는 차집유량이고, Q_m 는 총 유출량이다.

도로의 종경사 4, 횡경사 1, 빗물받이 간격 3, 강우강도 2 및 도로폭 2 경우에 대하여 총 48회의 실험을 실시하였고, 원형과 모형의 Froude 상사성은 표 2와 같다.

표 1 노면실험조건 및 실험횟수

항 목	규 모
종경사 (%)	0, 2, 4, 6
횡경사 (%)	2
빗물받이 간격 (m)	10, 20, 30
강우 강도 (mm/hr)	180, 200
도로폭 (m)	6, 12
실험횟수 (회)	48

표 2 원형과 모형의 상사

구 분	원 형	모 형
도로 길이 (m)	50	10
도로 폭 (m)	6, 12	1.2, 2.4
종경사 (%)	0, 2, 5, 7	0, 2, 5, 7
횡경사 (%)	2	2
강우강도 (mm/hr)	180, 200	81, 89
총 유량 (l/s)	28.96, 31.86	0.518, 0.570
빗물받이 간격(m)	20	4
빗물받이 유입부 규격(cm)	40×50	8×10

3. 실측치와 계산치 비교

모형의 계산치는 SWMM을 사용하였으며 이에 관한 상세한 내용은 상습침수 해소를 위한 하수도시설기준 재검토 (서울특별시, 2002. 12)에 수록되었다. 표 3에 선택된 도로폭, 길이, 경사에 대하여 실험도로의 침투유량과 본 연구의 실측치와 비교하였다. 표 3에서 도로길이 10m, 폭이 6m, 종경사 0%의 경우에 SWMM의 모형에 의한 침투유량의 계산치는 3.7 l/s이고 실측치 유량은 3.5 l/s가 되며, 또한 폭이 12m, 종경사 0%의 경우에 SWMM의 모형에 의한 침투유량의 계산치는 6.6 l/s이고 실측치 유량은 6.2 l/s가 되었다. 노면의 도로길이가 10m일 때 실측치 유량이 3.5~6.2 l/s이며 계산치 유량은 3.7~6.6 l/s의 범위에 있음을 알 수 있었으며 비교적, 실측치와 계산치는 잘 일치하고 있었다.

표 3 계산치와 실측치 유량의 비교

길이(m)	폭(m)	횡경사(%)	종경사(%)	계산치(l/s)	실측치(l/s)
10	6	2	0	3.7	3.5
	12	2	0	6.6	6.2
20	6	2	4	7.0	6.7
	12	2	0	13.3	13.7
30	6	2	2	10.8	7.1
	12	2	0	19.9	15.5

4. 비교 및 고찰

도로의 폭이 2차선(6m)이고 강우강도가 180mm/hr일 때 빗물받이 간격에 따른 차집효율을 그림 5에 나타내었다. 그림 5으로부터 도로의 종방향 경사가 증가할수록, 빗물받이 간격이 클수록 빗물받이의 차집효율이 감소되고 있다. 빗물받이 규모가 40×50cm, 간격이 10m, 도로의 종경사 2%, 2차선 도로에서 180mm/hr의 강우강도에 의한 유출량은 약 90%가 차집되고 있으며 종경사가 4%인 경우에는 차집효율이 70% 미만임을 알 수 있다. 본 실험에서는 차집효율을 10m와 20m의 간격인 경우에는 각각의 빗물받이의 평균 효율을 사용하였으며, 측구의 횡경사는 2%로 고정하였다. 그러나 측구의 횡경사가 차집효율에 크게 영향을 미치고 있음을 감안하면 측구 횡경사를 증가시키면 차집효율은 증가될 것으로 판단된다.

그림 6은 2차선 도로에서 강우강도 200mm/hr일 때 종경사별, 빗물받이 간격별 차집효율을 나타낸 것이다. 그림 5와 그림 6을 비교하면 강우강도가 증가할 수록 유량이 증가하기 때문에 차집효율이 감소되고 있음을 알 수 있었다. 즉, 강우강도가 180mm/hr에서 200mm/hr로 증가함에 따라 차집효율은 감소하고 있었다.

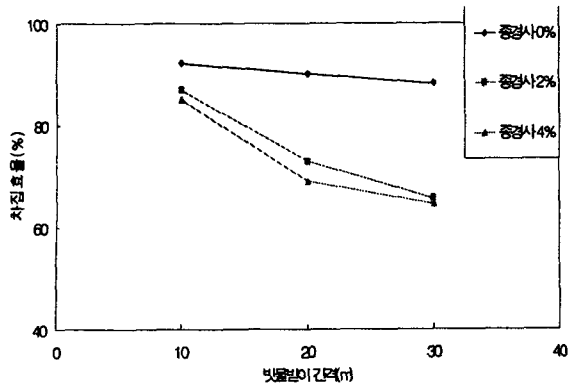


그림 5 강우강도 180mm/hr, 2차선의 차집효율

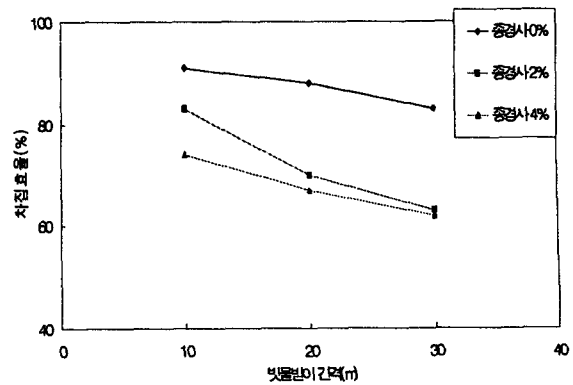


그림 6 강우강도 200mm/hr, 2차선 차집효율

5. 결론

노면의 유출특성을 분석하기 위하여 Froude 상사법칙을 이용한 1/5로 축소된 노면 수리모형 실험을 실시하였으며, 실험조건은 빗물받이 간격은 10, 20, 30m, 도로의 폭은 6, 12m, 강우강도는 180, 200mm/hr, 도로의 종경사는 0, 2, 4, 6%, 횡경사는 2%, 빗물받이의 외부 유입부 규격은 40×50cm 이다. 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) SWMM에 의한 유량의 계산치와 실측치는 비교적 잘 일치하고 있었으며, 이 결과는 우수받이 간격의 결정에 기초자료가 될 수 있다고 판단된다.
- 2) 종경사, 우수받이 간격 및 강우강도가 증가할 수록 차집효율은 감소하였다.
- 3) 2차선 도로에 40×50cm 규모의 빗물받이를 10m 간격으로 설치하면 종경사 4% 이하에서는 80% 이상의 유량을 빗물받이를 통하여 차집할 수 있다고 판단된다. 그러나 본 실험에서는 측구의 횡경사를 도로의 횡경사와 같이 2%로 고정하여 실험한 결과이므로 차집효율이 측구의 횡경사의 증가에 따라 크게 증가하는 결과가 측구 실험에서 밝혀진 사실을 고려할 때 측구의 횡경사를 증가시키면 차집효율이 높아질 것으로 생각된다. 앞으로 실측치에 관한 추가적인 분석이 요구된다.

6. 참고문헌

1. 건설교통부(2001), 도로설계편람 (II)
2. 류택희, (2002) 우수받이 차집능력에 관한 실험적 연구, 경기대학교 석사학위논문
3. 서울특별시(2002), 상습침수 해소를 위한 하수도시설기준 재검토
4. 한국수자원학회(1996), 제4회 SWMM 수공학 워크샵
5. 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
6. Huber, W. C. at el(1988), *Storm Water Management Model Ver 4, User's Manual*, EPA
7. Larry W. Mays(2001), *Stormwater Collection Systems Design Handbook*, McGraw-Hill
8. Uyumaz, A. (1994), "Highway storm drainage with kerb-opening inlets", *Science of the Total Environment*, vol. 146, pp. 471-478
9. Wong, T. S. W. (1994), "Kinematic wave method for determination of road drainage inlet spacing", *Advances in Water Resources*, vol. 17, pp. 329-336
10. 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