

Cover Story

집중호우에 의한 도시부 도로 피해 원인 및 대책



이 용 수
한국건설기술연구원
연구위원
yslee@kict.re.kr



정 재 형
한국건설기술연구원
연구위원
jjhcivil@kict.re.kr

1. 서 론

우리나라 국토의 70%가 산지이고, 경사가 급하며 임상도 만족스럽지 못한 상태로 수원함양기능과 토양보전기능이 약하며 집중호우시 큰 홍수가 발생할 가능성이 많다. 또한, 연중강우량의 2/3가 여름철에 집중되는 기상학적 특징을 가지고 있다. 이러한 기후, 지형, 지질 등과 같은 수문·기상학적 요인과 지형학적 요인과는 달리 우리나라의 사회·경제적인 발전과 변화로 인한 또 다른 재해도 무시할 수 없다.

1960년대 이후 우리나라는 고도의 경제성장 및 인구증가에 따른 도시화와 공업화로 인하여 도시 근교의 구릉이나 계곡이 개발되고 전답이 매립되어 택지 또는 상공업지역이 되는 등 도시화가 급진전되었다. 최근에 들어 미개수 하천 주변 저지대에 주택, 공장이 집중되고, 무질서하게 산지가 개발되는 등 인위적인 현상에 의한 집중호우의 피해가 점차 대형화되고 있다.

도시화된 유역은 농촌지역이나 임야지역과 같은 자연녹지에 비교하면 인구가 조밀하고 주택, 상가 또는 공공시설물이 밀집되어 있으며, 배수시설이 잘 정비되어 있을 뿐만 아니라 도로가 포장되어 있는 지역이 많다. 즉, 도시화는 인구의 증가와 불투수 표면으로 생활용수 및 공업용수를 비롯한 각종 소비수량을 증대시킴과 아울러 기후의 변화, 불투수성 지역의 증대, 표면 조도계수의 감소, 자연의

수분 함유 능력의 감소 등과 같은 수문현상의 변화를 초래한다. 이러한 현상에 의해 호우시 유출량과 유출속도를 증가시켜 피해를 가속화시킨다.

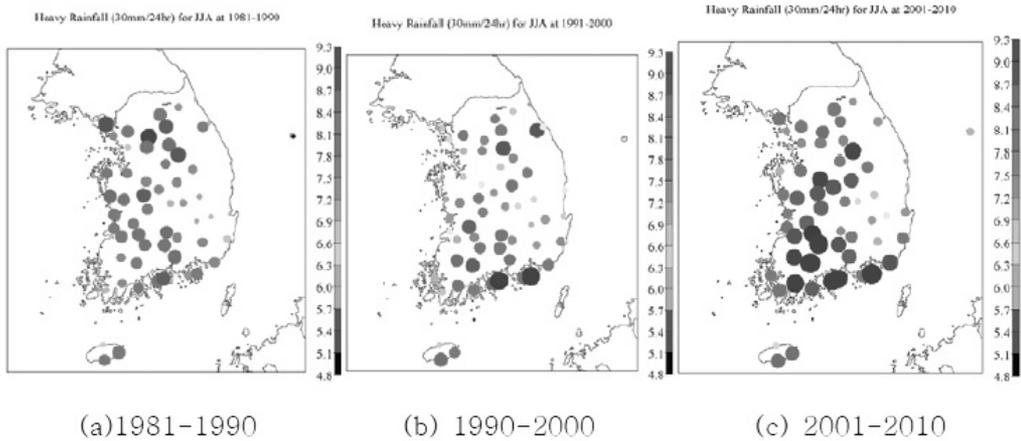
본고는 최근 집중호우에 의해 발생한 도로의 피해 원인 및 대책 그리고 도로배수시설의 기준 강화에 대하여 기술하였다.

2. 도로 피해현황 및 원인분석

2.1 기상현황

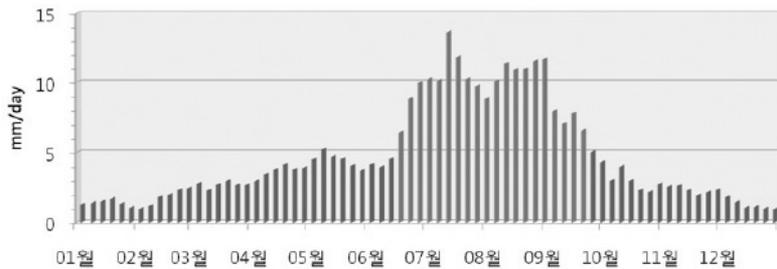
기상청에 의하면, 최근 10년 동안 호우 및 집중호우 빈도가 증가하고, 80mm 이상의 강수가 7월과 8월에 60% 이상 집중된다고 한다. 특히 최근 들어 태풍시기 뿐만 아니라 장마기간에도 이상 집중호우로 인한 재해의 빈도가 높아지고 있다. 집중호우로 인한 재해는 <그림 1>과 같이 전체 기상재해 발생 빈도에서 약 30%를 차지하며, 장마 기간인 7월에 집중되는 경향을 보인다. 장마는 여름철 우리나라에 오랜 기간 많은 비를 내리는 주요 강수 현상으로 동아시아 몬순시스템의 일부이다. 일반적으로 5일 평균 6mm/day 이상 비가 내릴 때 우리나라 장마를 포함하는 동아시아 몬순의 시작으로 정의한다(Wang and LinHo 2001). 6월 말경부터 7월 말경까지의 약 한달 간의 장마 기간 동안 내리는 강수는 400~650mm로 연 총 강수량의 약 30%를 차지하며, <그림 2>에서 보듯이 우리나라

기획특집



〈그림 1〉 1981~2010년 동안 우리나라 여름철 (6-8월)에 평균적으로 발생한 호우의 빈도, (30mm/day 이상)

기후평균 강수 시계열(1981-2010)



〈그림 2〉 기후평균(1981-2010) 및 5일 평균 한반도 평균 강수율(mm/day) 시계열 (60개 관측소 평균)

연강수량의 50-60% 이상이 장마를 포함하는 여름철에 집중되어 있다.

한반도의 장마는 해양성 온대기단인 북태평양 고기압과 해양성 한대기단인 오호츠크해 고기압의 대치에 의한 온도와 습도차이에 의해 대체로 형성되며, 1차 우기 (장마)의 시작은 북태평양 고기압 세력의 북쪽방향 확장이, 2차 우기 (가을장마)의 시작은 오호츠크해 고기압 세력의 남쪽방향 확장이 주요한 요소로 작용한다.

1990년대 중반(1994~1996) 이후로 장마의 종료 시점 및 2차 우기의 시종 시점이 빨라지는 경향이 있다(서경환 등, 2011). 이에 따라 전통적으로 장마

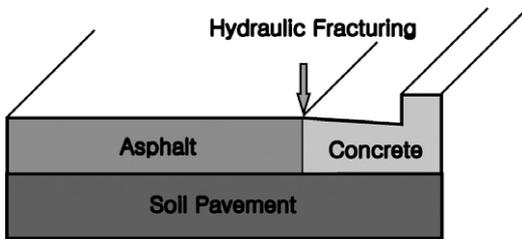
와 2차 우기 사이에 존재했던 상대적인 건조기가 짧아지고, 두 강수 시기의 세기가 비슷해지는 경향을 보인다. 한편, 서울의 측우기 관측 자료를 분석한 결과, 한반도의 장마 강수의 최고 시점은 200년 전에 비해 약 20일 정도 늦어진 것으로 분석되었다.

2.2 도로 피해

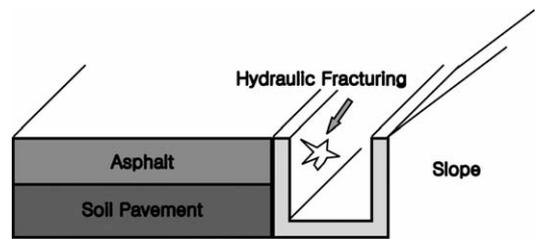
도로 침수 또는 유실은 주로 하천 범람과 계곡부를 가로지르는 도로에서 집중호우로 인한 기록적인 강우량으로 인한 유실이 주요 원인이라고 볼 수



〈그림 3〉 도로붕괴 현장조사사진



(a) L형측구



(b) U형측구

그림 4 침식·세굴로 인한 도로파손의 원인

있다. 집중호우시 발생하는 침식·세굴로 인한 도로붕괴는 하천 만곡부에 위치하는 도로가 상류로부터의 유수가 수충부에 부딪혀 성토비탈면, 석축 및 옹벽 밑부분을 세굴시켜 도로를 파괴시키는 것이다. 하지만 하천변이 아닌 일반 도로에서도 침식 및 세굴로 인한 도로 파손이 발생한다. 〈그림 3〉은 2011년 8월 10일 전북 남원시 지방도 000로, 하루동안 약 400mm의 집중호우로 인해 도로가 파손된 현장이다. 하천변이 아닌 일반국도에서 도로가 파손되는 원인은 댐체에서 사용하는 개념인 수압할렬(Hydraulic Fracturing)이라고 볼 수 있다. 댐에서 수압할렬의 개념은 1960년대 이후부터 이해되기 시작하여 최근까지 그 발생사례가 많이 발표되고 있으며 이는 간단히 말해 댐체내에 아칭에 의한 응력전이로 인해 상대적으로 작은 응력이

작용하는 부분에 보다 큰 수압이 작용함으로써 댐체내 수평크랙이 발생하는 현상이라 할 수 있다. 이러한 수압할렬은 침하 및 집중된 누수의 발생원이 되며 댐체의 인장파괴를 유도한다.

하천변이 아닌 일반국도에서 침식 및 세굴로 인한 도로파손은 크게 2가지로 분류할 수 있다. 〈그림 4〉에서 보듯이 첫 번째는 L형 측구 형태의 도로이다. 도로 노면은 대부분 아스팔트로 되어 있고, 측구는 콘크리트 형태로 포장 처리되어 있다. 아스팔트 노면은 차량의 통행으로 인해 측구에 비해 쉽게 노후화되고, 이에 따른 부등 침하가 발생할 수 있다.

따라서 콘크리트 노면과 아스팔트의 노면 사이에 틈이 발생되고, 이 틈에 의해 수압할렬이 발생되었다고 판단된다. 이에 따른 아스팔트 하부 흙

기획특집



집중호우시 대치역 도로침수



대치역 침수 이후



집중호우시 사당역 도로침수



사당역 침수 이후

〈그림 5〉 2011년 도심지 도로 침수

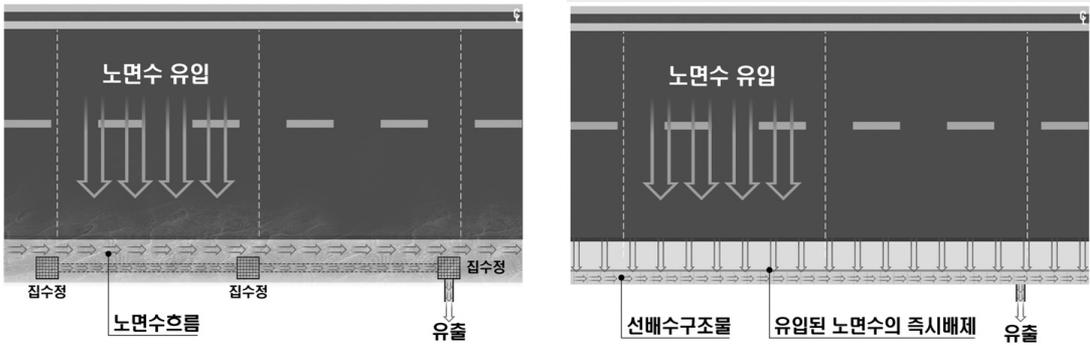
포장 면이 세굴되어 아스팔트가 주저앉거나, 물에 의해 아스팔트가 들리는 현상이 일어난다고 판단된다. 두 번째로 U형 측구형태의 도로이다. 사면에서 굴러 떨어진 돌에 의해 U형 측구의 내부가 파손되면서 수압할렬이 발생될 수 있다. 도로의 파손 형태는 L형 측구 도로와 비슷하다.

최근 서울 도시부 도로의 침수로 대규모 교통 혼란이 발생하였다. 도심지내 도로침수는 1) 하수도 시설의 우수배제능력 부족, 2) 도로내 설치된 빗물받이의 원활한 집수용량의 부족, 3) 배수펌프장까지 우수 흐름 연계성 부족, 4) 기존 하수관거 선형 불량 및 하수관 통수능력 부족 등으로 인한 우수 흐름 장애 및 하수 지체로 인한 도로 노면수 배수 불량이다.

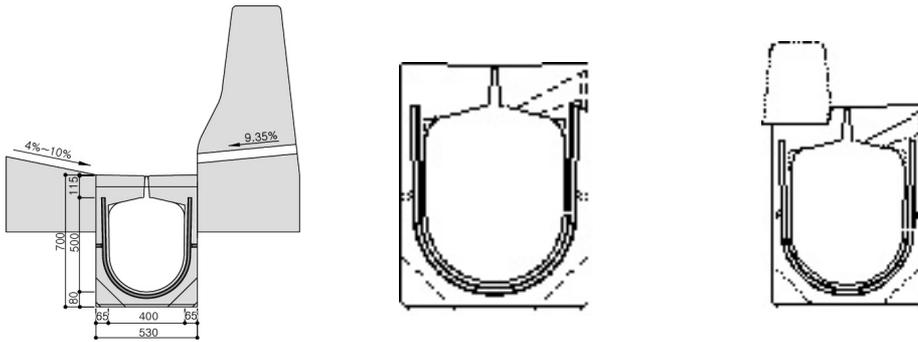
또한, 저지대 하수관거 통수단면 부족에 배수위 상승으로 인한 도로 침수, 저지대 교차로의 우수 집수시설 부족 및 도로 종횡배수 경사도 불량으로 인한 노면수 배제 지체, 하수 악취 이유로 고부관 등 빗물받이 덮개 설치 또는 계곡수 유입부 하수관 입구부의 낙엽, 쓰레기 등 이물질로 인한 폐쇄로 우수의 도로 유출, 급경사 지역 도로의 우수 집수 시설 불량에 따른 노면수가 저지대로 집중이다.

3. 도로배수시설 개선

노면배수시설의 점검은 배수구조물의 배수능 확보, 토사 및 이물질에 퇴적으로 인한 통수능 부족 등에 유의하며 주기적인 점검을 실시하며, 기존의



〈그림 6〉 점배수에서 선배수 개념



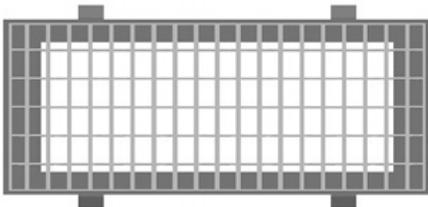
〈그림 7〉 측구부의 선배수시설



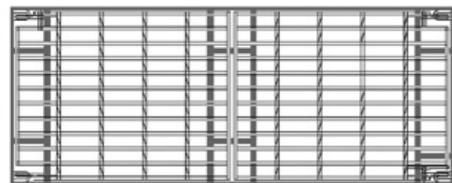
토사 막힘에 의한 우수받이



우수 효율이 좋은 우수받이



토사받이가 있는 우수받이



토사받이가 없는 우수받이

〈그림 8〉 우수받이 개선

기획특집

〈표 1〉 집중호우에 의한 도심지 도로배수 침수 원인 및 대책

도시부 도로 침수 원인	도시부 도로 침수 대책
<ul style="list-style-type: none"> - 기록적 폭우 - 하수관거 설계빈도 및 규모 작음 - 도심지 우수의 하수관거 연계 처리 미흡 	<ul style="list-style-type: none"> - 하수관거 설계빈도 및 규모 확대 - 우수가 집중되는 집수정 설계빈도 강화 - 배수계통을 고려한 도심지 하수관거 연계 처리(하수관 확대, 대형배수암거) - 도심지 교차로 점배수 시설에서 선배수 시설의 무화 - 토사유입 방지 대책

점배수에서 선배수 또는 복합배수시설을 설치하여 우수의 흐름을 원활히 한다.

또한 도시부의 우수받이의 개선으로, 현재 내부 약취방지 빗물받이로 토사 및 각종 오물 및 생활쓰레기 등의 틈새 축적으로 배수 유입량 감소하고 국지성 호우 및 장마철 긴급상황 발생시 구조물에서 그레이팅의 분리가 안되어 배수기능 상실, 지지분한 외관으로 쾌적한 환경을 저해하고 있다. 따라서, 토사(오물) 유입시 원활히 유출되어 그레이팅 커버와 받침틀 청결 및 배수면적, 배수능력 증가를 위하여 그레이팅의 Bearing Bar의 방향이 유속과 동일방향으로 배수기능 증진하도록 한다.

4. 결론

일반적으로 집중호우 및 태풍에 의한 도로 피해는 주로 도로의 지형적인 조건, 기상학적인 조건, 사회적 조건 등의 직·간접적인 원인에 의해 발생

한 것이다. 도심지는 하수관거 설계빈도 및 규모 확대, 배수계통을 고려한 도심지 하수관거 연계 처리, 도심지 교차로 점배수 시설에서 선배수 시설 및 우수받이 개선 등이 필요하다

최근들어 우리나라 이상기후로 인해 여름철 집중호우량이 설계빈도를 초과하고, 강우량이 증가하는 추세이다. 이는 도로설계 및 시공시 하천의 형상 및 지형적 특성을 고려하여 관거 크기를 조정하고, 배수시설의 체계화를 확립하여야 한다.

참고문헌

1. 기상청(2011), 장마백서 2011.
2. 국토해양부(2003), 도로배수시설 설계 및 유지관리 지침
3. 국토해양부(2007), 산악지 도로설계 매뉴얼
4. 국토해양부(2011), 도로설계편람-토공 및 배수-