

도로배수 취약구간의 개선방안에 대한 연구

A study of Improvement on the Road Drainage Poor Site

이 만 석 Lee, Man Seok
 김 흥 래 Kim, Heung Rae
 이 경 하 Lee, Kyung Ha
 강 민 수 Kang, Min Soo
 송 민 태 Song, Min Tae

정회원 · (주)평화엔지니어링 기술연구원 책임연구원 (E-mail : msasa@korea.com)
 정회원 · (주)평화엔지니어링 기술연구원 부사장 (E-mail : hrkpro@hanmail.net)
 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원 (E-mail : khlee@ex.co.kr)
 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 선임연구원 (E-mail : minsu92@ex.co.kr)
 (주)평화엔지니어링 기술연구원 선임연구원 (E-mail : diazsong@hanmail.net)

ABSTRACT

This research aims to investigate the cause of the occurrence of a weak road drainage section scientifically and specifically through a site survey for a poorly drained section occurring due to rainfalls during road operation. This paper deeply reviewed the existing research results and current situation data on the poorly drained sections accumulated in Korea Expressway Corporation in order to investigate the cause of the occurrence of a weak road drainage section, and deeply verified and analyzed the weak sections for the road surface drainage facilities and the other road drainage facilities by visiting the expressway controlled by the 6 local headquarters and 33 branches of Korea Expressway Corporation. As a result of site surveys for the weak road drainage sections, i) in a road surface section, occurrence of ponding in the road shoulder pavement due to slope changes, bad collection of water in the collecting well at a median strip, shortage of road shoulder dike height, and inferior construction, etc. was analyzed to be the main cause of the occurrence of poorly drained sections, and ii) in a road neighborhood section, the occurrence of pavement height difference in a main road and shoulder section due to inferior ditches on a slope and the bad drainage at the inlet and outlet of a culvert due to soil deposits, debris, etc. were analyzed to be the main cause of the occurrence of weak sections. Proposed as a plan to improve the poorly drainage section of road were i) calculation of capacity through material changes at the ditch, enhancement of vertical sections and hydraulic analysis in terms of construction and other aspects, ii) derivation of a combined slope considering a slope and a vertical linearity and maintenance of proper distance between drainage structures in a vertical concave section in terms of geometrical structure, and iii) calculation of the drainage facility installation interval using a minutely rainfall intensity formula and a non-uniform flow analysis technique in terms of hydraulics and hydrologics and prompt removal of rainfalls from the road surface according to a linear drainage method.

KEYWORDS

poorly drainage section, combined slope, vertical concave section, minutely rainfall intensity formula, linear drainage method

요지

본 연구는 도로 운영시 강우로 인하여 발생하는 배수 취약구간에 대하여 현장 조사를 통하여 도로 배수 취약구간의 발생 원인을 과학적이고 구체적으로 규명하는데 목적이 있다. 도로 배수 취약구간의 발생 원인을 규명하기 위하여 배수취약구간에 대한 기존 연구 결과 및 현황 자료를 검토하였으며, 도로 노면 배수시설과 도로 인접지 배수시설에 대한 취약구간을 조사 및 분석한 결과, 시공 및 기타의 원인으로 발생한 배수 취약구간이 45.7%, 도로의 기하구조가 원인이 된 배수 취약구간은 32.3%, 도로의 수리·수문의 원인은 22.0%로 분석되었으며, 분석된 원인 별 개선 방안으로서 i) 시공 및 기타 부분에서는 토사축구의 재료 변경, 단면의 크기 상향 및 수리학적 근거를 바탕으로 한 용량의 산정을, ii) 도로의 기하구조 측면에서는 편경사 및 종단선형을 고려한 합성경사의 도출 및 범위 산정과 종단 오목부 구간의 배수구조물 적정 간격의 제시를, iii) 도로의 수리·수문 측면에서는 1분단위 강우강도식의 사용과 노면 강우의 부등류 흐름 해석 기법의 적용과 선형 배수방식에 따른 도로 노면 강우의 신속배제를 개선 방안으로 제안하였다.

핵심용어

배수 취약구간, 합성경사, 종단 오목부, 1분단위 강우강도식, 선형 배수방식

1. 서론

도로 노면에 유하하는 강수량은 신속 배제를 통하여 강우가 원인이 되어 발생 가능한 각종 피해와 사고를 사전에 방지하는 것이 중요하다. 최근 전 세계적으로 기후 변화가 극심한 가운데, 특히 국내에서는 국지성 호우가 빈번하게 발생하여 도로 배수시설물의 파손과 이로 인한 교통사고 등의 피해가 증가하고 있으며, 강우로 인한 도로 노면의 배수 취약구간과 관련된 데이터베이스 구축 현황이 부족하다. 또한, 도로 노면의 배수시설 취약구간 발생 방지를 위한 설계기준은 마련되어 있으나, 매년 취약구간이 계속 발생하여 도로 노면과 배수시설물의 파손은 계속되고 있다.

본 연구는 계속되는 도로 노면배수 시설의 피해를 방지하기 위하여 현장 조사를 통한 도로 노면배수 취약구간 현황을 파악하여 원인을 분석하고, 도로 노면배수 취약구간이 발생하는 원인별 개선 방안을 수립하는 것을 목적으로 한다.

1.1. 연구 범위

도로 배수 취약구간 개선 방안 수립을 위한 연구 범위로서 첫째 도로 배수 취약구간의 현황 파악, 둘째 도로 배수 취약구간의 원인 분석, 셋째 도로 배수 취약구간의 개선 방안 제시를 설정하였고, 도로 배수 취약구간 현황 파악을 위해서는 전국 주요도로 도로배수 취약구간의 현장조사와 상시 배수불량구역의 특성조사를, 도로배수 취약구간의 원인분석을 위해서는 도로의 기하구조 측면의 편경사 및 종단경사 변화구간, 종단곡선 오목부 배수불량 구간, 교량 및 터널과 같은 구조물 접속구간의 배수 불량 구역 그리고, 인터체인지(I.C)의 진·출입로 구간의 배수불량 구역에 대하여 원인을 분석하였으며, 수리·수문 측면에서는 각종 수리계산 정수의 검토, 집수거·도로로·집수정 위치와 간격의 적정성에 대하여 중점적으로 원인 분석을 실시하였다. 마지막으로 분석된 원인별 도로 배수 취약구간의 개선방안 제시를 위해서, 국내·외 설계기준 조사, 종단경사 및 최대 한계연장 조정, 횡단경사 및 편경사 조정 등의 개선방안을 제시하였다.

1.2. 연구 수행 방법

본 연구는 기존의 도로 노면배수 취약구간의 자료와 전국 주요도로 도로배수 취약구간의 현장 조사(site investigation)를 통하여 이루어졌다.

도로 기하구조 측면의 취약구간 발생원인 분석은 i)도로 곡선 구간의 편경사 변화를 고려한 적정 종단경사 및 편경사의 검토와, ii)종단곡선 오목부 상습 불량구간 해소와 iii)도로 노선 내 교량부와 터널부 접속구간과 인터체인지(I.C) 진·출입로 불량구간의 배수시설 기준을 활용하였으며, 도로의 수리·수문 측면의 취약구간 발생원인 분석은 i)현재 도로

노면배수의 수리 계산 방법 중 개선 항목의 설정, ii)도로 노면배수 시설의 설치 간격의 적정성 검토, iii)도로 노면배수 취약구간의 부등류 흐름해석 방법의 적용과 iv)1분 단위 강우강도를 적용한 설계홍수량 산정 방법을 적용하였으며, 도로 노면배수 취약구간의 개선 방안은 발생 원인별 분석된 결과에 대하여 도로 기하구조와 도로의 수리·수문 측면으로 나누어 제시하였다.

1.3. 연구 동향

도로 노면의 강우 흐름에 대하여 UDINLET이라는 전산모형을 이용하여 도로 노면의 수리 분석 및 측구 유입구의 제원을 결정하였고(C.Y. Guo, 1997), 도로 배수시스템에 대한 수리학적 산정 이론들 - 선형 부등류를 소통시키는 유출구(Outlet)의 간격 결정 방법과 선형 배수계의 배수용량 결정 방법을 제시하였다(M. Naqvi, 2003).

강우시 도로 배수시설물의 피해를 극복하기 위해서 현재 도로 배수시설 설계의 문제점을 파악하고 수리·수문 측면에서의 개선 방안을 제시하였으며(이만석 등, 2007), 국내 도로 배수구역과 같은 소규모 구역에 적합한 1분단위의 강우강도 매개변수를 전국 182개 수문관측지점에 대하여 도출하였다(박창열 등, 2007). 도심지 도로 배수시설 중 우수받이 시설물의 수리계산 방법(이종태 등, 2003), 측구 및 우수받이의 허용유입률 제시(이영대 등, 2004), 빗물받이 유입부 설치간격, 노면 수리분석 및 유입구 제원 결정 모형 등을 개발하였고(유동훈 등, 2005, 2006), 등류 및 부등류 흐름 해석 이론을 바탕으로 한 도로 노면 강우의 흐름 해석 전산 모형을 개발하였다(구혜진 등, 2008).

한편, 다차선 고속도로 상의 빗길 고속주행 안전성 유지와 용량 증대를 위해 기존 4차선 고속국도에 배수시설 설계기준 적용시 설계 현황과 문제점을 분석하여 중분대와 L형 측구 집수정을 중심으로 한 개선 대안을 제시하였으며(김홍상, 1996), 고속국도 위험구간을 중심으로 한 횡단경사 구간길이 적정성 분석을 실시하여 배수를 위한 횡단경사 변화구간 조정(축소)길이를 제시하였다(최병남, 2009). 강우시 고속국도 물고임 현상에 영향을 미치는 원인을 fish-bone 방법과 구조방정식 모형 방법을 이용한 분석을 통하여, 소성변형과 단차가 물고임 현상의 주된 원인임을 밝혔다(권재석, 2009). 이와 같이 도로배수 취약구간에 대한 연구동향은 국내·외 공통적으로 연구 초기 단계인 것으로 파악된다.

2. 도로배수 취약구간 현장 조사

2.1. 현장조사 방법 및 세부내용

도로배수 취약구간에 대하여 도로폭원 및 곡선부 확폭 상

대조사, 배수구조물 적정 배치 및 유지관리 확인, 선형 및 도로개량 필요지점 조사, 배수 및 포장시설의 상태 및 현황 등을 표 1과 같이 158개 지점에서 다각적으로 현장에서 조사하였다. 도로배수 취약구간은 노면배수와 기타 도로배수로 분류하였다.

표 1. 배수 취약구간 주요조사 내용

구 분	주요 조사 내용	
기하 구조	평 면 선 형	평면곡선반경, 평면곡선길이
	횡단/편경사	편경사 적정 여부
	중 단 선 형	중단선형 적정 여부, 중단경사 적정여부, 중단곡선 길이
배수 시설	진·출입시설	진·출입시설 적정 여부, 가감속차로, Ramp 편경사
	설 치 위 치	배수구조물의 설치위치 적정성 검토
	설 치 간 격	노면배수시설의 설치간격 검토
포 장	유 지 관 리	현장을 통한 유지관리 여부 검토
	노 면 포 장	포장상태 여부 조사(포장 재료별)
구조물	교량·터널	교량 및 터널 접속구간 배수불량 검토
	인터체인지	I,C 접속구간의 급변 경사(중, 횡단) 검토

2.2. 현장조사 결과

현장조사 구간을 발생 원인별로 구분한 결과(표 2 참조) 시공 및 기타로 인한 배수 취약구간이 46%로 가장 많이 분포하였으며, 기하구조가 원인이 된 취약구간은 32%, 수리·수문이 원인이 된 취약구간은 22%로 분석되었으며(그림 1 참조), 시공 및 기타 측면에서 발생한 주요 원인은 토사측구 불량이가장 큰 비중인 52%를 차지하였고, 길어깨 포장 불량 및 포장 단차 발생, 유지관리상태 불량 등의 요인도 다수 존재하였다. 도로 기하구조 측면에서의 배수 취약구간 발생 원인은 곡선부 편경사 변화구간의 노면수 흐름 정체가 53%를 차지하였고, 중단 오목부 상승 정체, 교량 뒤채움부 및 연약지반의 처짐으로 인한 노면 물고임 발생 순서였으며, 수리·수문 측면에서의 배수 취약구간 발생 원인은 도로의 중앙분리대 집수정 설치간격의 부족이 49%로 가장 큰 비중을 차지하였다.

표 2. 도로배수 취약구간 발생 세부원인

구 분	세부 원인	구 분	세부 원인
기하 구조	편경사 변화구간(-2~2%)	시공 및 기타	길어깨 포장 불량
	길어깨 구배 불량		토사측구 불량
	중단 오목 저점부 배수불량		연약지반 처짐 발생
	중단 선형 불량(0.3%이하)		교면 배수구 유지관리 불량
수리·수문	중분대 집수정 설치간격 부족		포장 단차 발생
	성토부 도수로 간격 과다		교량 접속부 뒤채움 처짐 발생
	절토부 집수정 설치간격 부족	다이크 높이 부족	

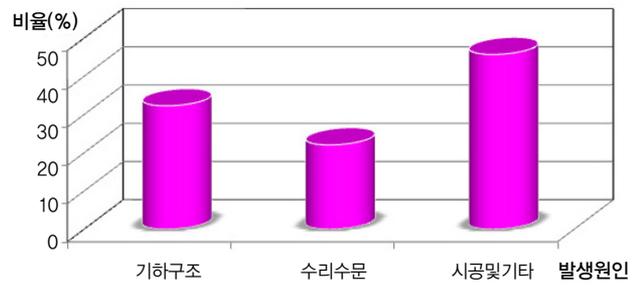


그림 1. 취약구간 발생 원인별 비율

3. 도로배수 취약구간 발생원인 분석

3.1. 시공 및 기타

현장조사 결과 시공 및 기타로 분류된 세부 원인은 표 2와 같이 길어깨 포장, 토사측구 불량, 연약지반 처짐, 교면 배수구 유지관리, 포장 단차, 교량 접속부 뒤채움, 다이크 높이 부족 등이 있으며, 이 중 토사측구 불량이 52%를 차지하여(그림 2 참조) 주된 원인으로 분석되었다. 현재 설치되어 있는 토사측구의 주요 문제점은 i)일반적으로 토사측구는 도로 선형을 따라 비탈 끝에 연속으로 설치하게 됨으로 측구 수로의 연장이 길게 형성되고, ii)노면에 내린 강우가 쌓기부도 수로를 통해 불규칙적으로 토사측구 수로에 유입되어 유량이 증가하고, iii)토사측구의 단면 크기가 작아 집중 호우시 잦은 파손으로 인해 배수불량의 주된 원인이 되고 있다.

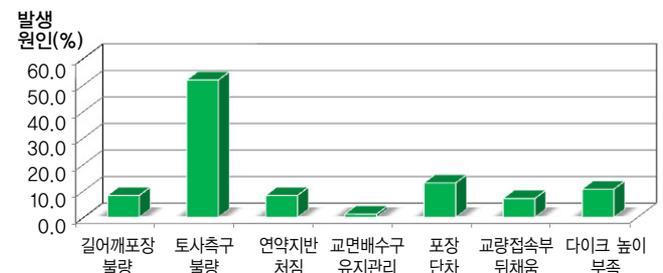
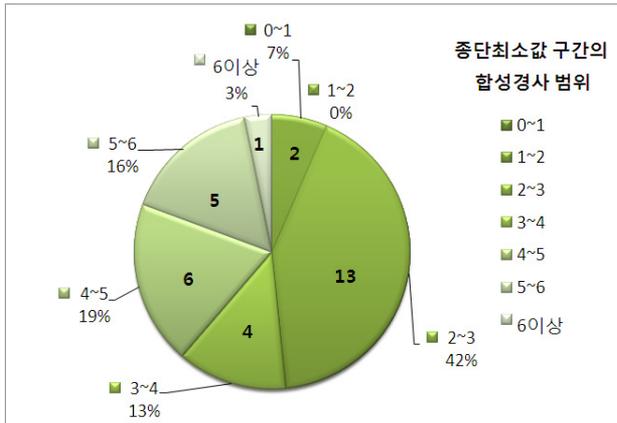


그림 2. 도로배수 취약구간 시공 및 기타 원인 분석

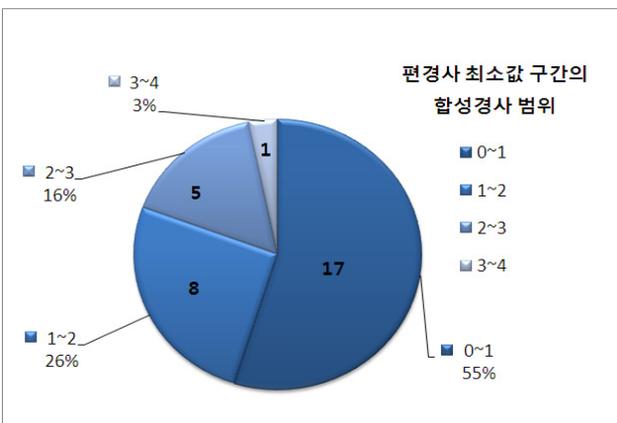
3.2. 기하구조

도로 기하구조로 분류된 세부 원인은 편경사 변화구간, 길어깨 경사 불량, 중단 오목 저점부 배수불량, 중단 선형 불량 등으로 나눌 수 있으며, 이 중에서 편경사 변화구간이 도로 배수 불량의 가장 큰 비중인 53%를 차지하였다. 구체적으로, 합성경사 검토 결과 중단 최소값을 가지는 구간에서는 합성경사값 2~3% 범위에서 42%의 분포를 보였으며(그림 3(a) 참조), 편경사 최소값을 가지는 구간은 합성경사값 2% 이내에서 80% 이상의 분포를 보였으며(그림 3(b) 참조), 편

경사 변화구간에서 발생하는 편경사 값이 표준 횡단경사 2% 이내 구간에서 종단경사가 최소기준인 0.3~0.5%를 적용시 노면배수 불량 발생하여 사고의 원인이 되므로 종단경사 1.5%를 기준으로 하여 합성경사 값의 최소 적용치는 1.5% 이상이 필요하다고 판단된다.



(a) 종단 최소값 구간의 합성경사 범위



(b) 편경사 최소값 구간의 합성경사 범위

그림 3. 노면배수불량 구간의 합성경사 분포도

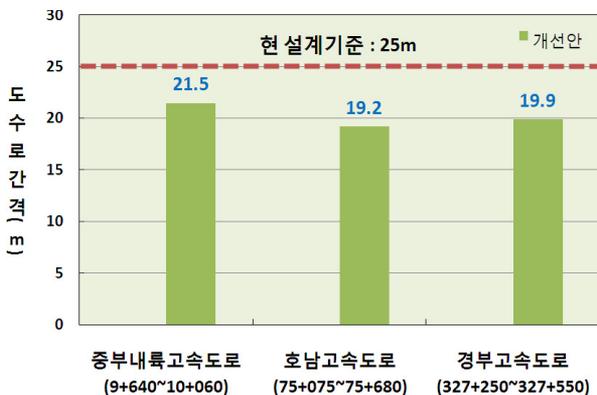


그림 4. 오목 저점부 구간 도수로 설치간격 비교

또한, 종단 오목 저점부 배수불량 구간은 현재 사용 중인 설계기준 상으로는 종단 오목구간에 T형 집수구 설치 후, 설치 지점 전·후 구간에 20m 간격으로 도수로를 설치하게 되어 있으나, "Model Drainage Manual(AASHTO, 2005)" 등에 제시되어 있는 계산공식으로 해당 종단 오목구간의 도수로 간격을 계산한 결과, 25m 이내의 도수로 간격이 적정한 것으로 검토되었으며 현재의 설계기준과 비교하여 약 19% 간격의 감소효과가 나타났다(그림 4 참조).

3.3. 수리·수문

도로배수 취약구간의 수리·수문의 세부 원인은 중분대 집수정 설치간격 부족, 쌓기부 도수로 간격 과다, 깔기부 집수정 설치간격 부족 등으로 나타났으며(표 2 참조), 이 중에서 중분대 집수정의 설치간격 부족이 49%로 가장 큰 비중을 차지하였다(그림 5 참조). 또한, 노면배수 취약구간 중 수리·수문 측면의 주 발생원인인 중분대 집수정 간격은 현재보다 약 35%정도 설치 간격을 축소시켜야 하는 것으로 분석되었다(그림 6 참조).

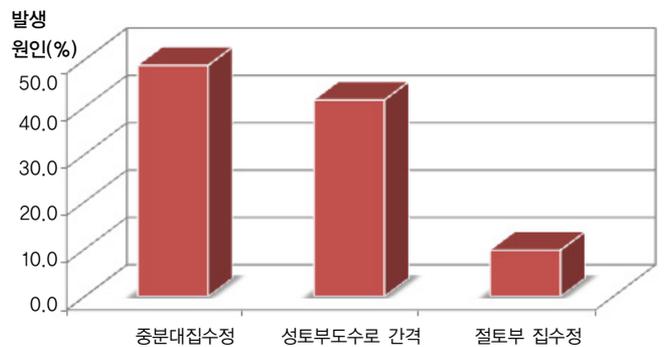


그림 5. 도로배수 취약구간의 수리·수문 발생원인 분석

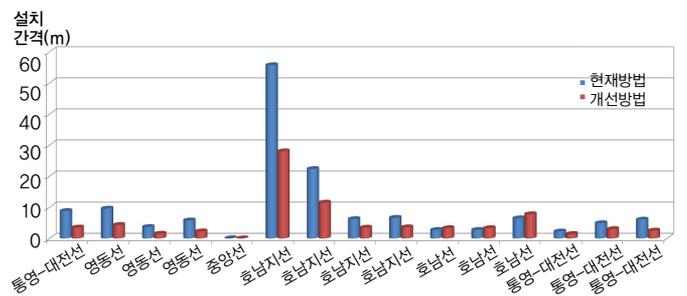


그림 6. 노면배수 취약구간의 중분대 집수정 설치간격 비교

4. 도로배수 취약구간 개선 방안

4.1. 시공 및 기타

시공 및 기타 부분에서 가장 큰 원인을 차지했던 토사축구

불량의 문제점을 해결하기 위해, 현재 흙으로 구성되어 있는 측구 재료를 강우시 파손 확률이 적은 콘크리트로 교체하고, 이상기후 등 국지성 호우의 증가로 인한 영향에 대비하기 위해 토사측구의 단면규격을 상향할 필요가 있으며, 토사측구의 단면 설계시 부등류 흐름 해석을 적용하여 토사측구 연장 길이 증가에 따른 정확한 유량의 산정 등을 개선방안으로 제시하였다.

4.2. 도로 기하구조

4.2.1. 편경사 변화구간

도로배수 취약구간에 대한 도로 기하구조 측면의 단기 개선방안으로 도로 노면의 사선방향 그루빙을 설치하여 초기 노면배수를 원활하게 하고, 중기 개선방안으로 도로 평면의 완화곡선과 도로 종단의 오목부가 겹치는 구간에 배수성 포장을 적용하며, 중분대 배수용량 증대를 위해 집수정 설치 간격을 최소 5m로 유지하도록 하고, 중분대 기초의 편경사를 6%로 하여 배수용량을 증대하도록 하며, 장기 개선방안으로는 국외(독일)에서 적용하는 합성경사를 활용하여 편경사와 종단경사 모두를 고려한 적정범위를 산정한다(그림 7 참조).

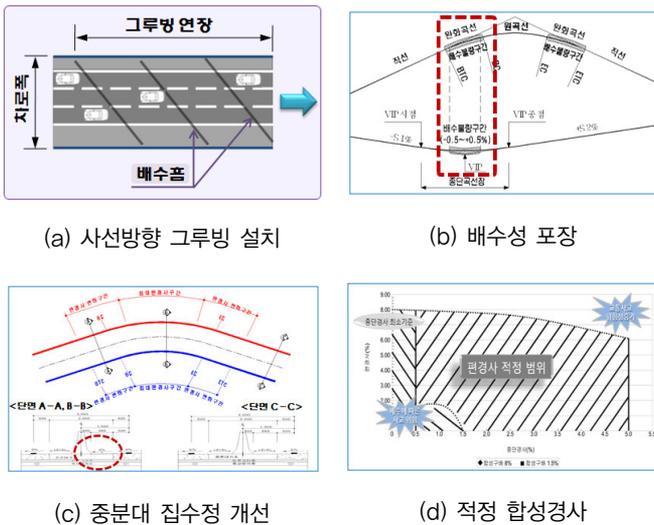


그림 7. 편경사 변화구간의 개선 방안

4.2.2. 종단곡선 오목부

현재는 종단곡선 최저점부에 집수거 또는 도수로로 설치 후, 설치 지점 전후 25m, 50m 지점에 추가로 설치하지만 종단곡선 형태와 종단경사에 따라 오목부의 적정 배수시설물 간격 계산 공식의 제시가 필요하며, 그림 8과 같이 “Model Drainage Manual(AASHTO, 2005)” 등에 제시되어 있는 오목 저점부 구간 집수정 설치 간격 산정 공식(식 1 참조)을 사용하여 노면 배수를 원활하게 유도한다.

$$x = \sqrt{200d_f k_f} \quad (1)$$

여기서, x 는 종단 오목 저점부에서 flanking inlet까지 거리(m), d_f 는 flanking inlet의 깊이, k_f 는 도로 종단 곡률이다.

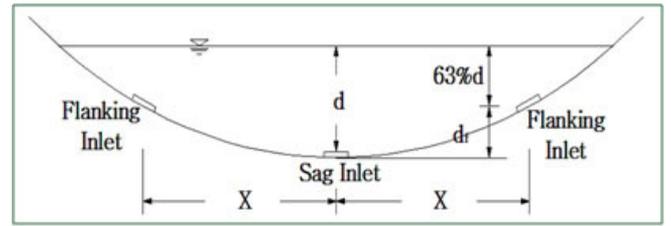


그림 8. 오목저점부 구간의 강우유입구 설치위치

4.3 도로 수리·수문

4.3.1. 강우강도 산정 방법

현재 도로 배수 시설물 설계에 사용 중인 강우강도는 시간단위 강우강도로 최소 강우지속시간이 10분(0.1667hr) 이상인 경우에만 적용할 수 있으나, 실제로 도로 배수구역에서의 강우지속시간은 일반적으로 10분보다 작고, 특히 도로 노면을 유하하는 강우의 지속시간은 매우 짧기($t \leq 5\text{min}$) 때문에 10분 이하 강우지속시간이 대부분인 도로배수구역의 강우강도를 산정하기 위해서는 국토해양부 건설기술혁신 연구사업을 통해 그 적용성이 이미 검증된 1분 단위 강우강도식을 사용하도록 제시하였다.

표 3. 강우강도 산정 방법 비교

구 분	시간단위 강우강도	1분단위 강우강도
강우지속시간	최소 10분 이상만 적용 가능	10분 이하에 적용 가능
수문관측소	68개소	182개소

4.3.2. 수로 흐름 해석 방법

도로 노면과 같이 수로의 종단 방향으로 경사가 급격하게 자주 변하는 경우에는 도로 노면에 설치되는 다이크, L형 측구, 중분대 집수정으로 형성되는 측구 수로의 수위가 연장 길이에 따라 변하게 되는데, 현재 사용 중인 등류 흐름 해석 방법은 분석 구간 내 수위가 일정하게 유지된다는 기본 가정을 가지고 있기 때문에, 강우시 실제 도로 노면의 수위 변화를

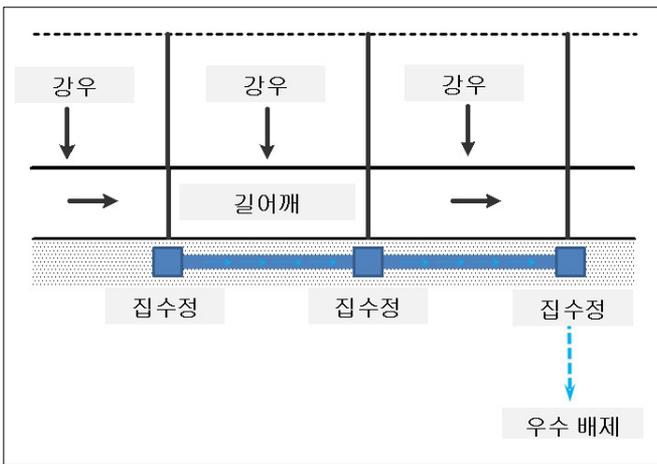
표 4. 도로노면 측구 수로의 흐름해석 방법 비교

구 분	등류 해석	부등류 해석
지배방정식	$Q = A \cdot \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$ (Manning 제시 공식)	$\frac{dy}{dx} = \frac{S_o - S_f - (2Q / gA^3)(dQ/dx)}{1 - (Q^2 / gA^2 D)}$ (운동량 방정식)
수로 내 수위	구간 내 수위 동일	구간 내 수위 변화

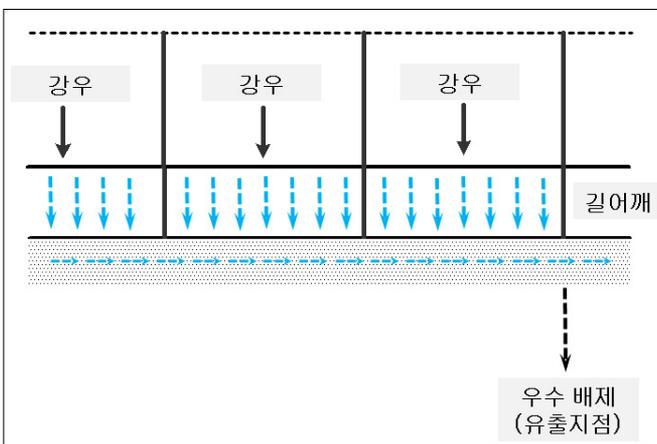
반영하지 못한다는 단점이 있다. 따라서, 강우의 흐름 방향으로 구간 연장 길이에 따른 수위 변화를 제대로 반영할 수 있는 부등류 흐름 해석 방법을 적용하도록 제시하였다.

4.3.3. 노면 배수 방식

현재 도로 노면의 강우는 집수거를 통한 도수로, L형 측구를 통한 집수정, 그리고 중앙분리대 집수정을 통하여 특정 지점이나 위치에서 도로 부지 밖으로 배제시키는 형태로 운영하고 있으나, 연구 수행 결과로 도출된 도로 노면 편경사 변화 구간, 도로 곡선부 구간, 도로 종단 오목구간 등으로 대표되는 노면배수 취약구간에는 시공 상의 문제 등으로 인하여 취약구간의 해소가 어렵다고 판단된다. 이에 도로 노면에서의 강우를 최대한 신속하게 배제시켜 발생 가능한 교통사고 등을 사전에 방지하기 위한 방법으로 그림 9와 같은 선형배수 방식을 제시하였다.



(a) 현재 점배수 방식의 노면배수



(b) 선형 배수 방식의 노면배수

그림 9. 도로 노면배수 방식의 비교

5. 결론

본 연구에서는 매년 강우시 배수불량으로 인해 발생하는 도로 노면배수 취약구간에 대하여 현장조사를 통하여 DB를 구축하고, 도로의 기하구조 측면과 수리·수문 측면에서의 원인 분석과 이에 따른 개선 방안을 제시하였고 주요 결론은 다음과 같다.

1. 도로배수 취약구간과 관련된 도로 배수시설 설계에 대한 국내·외 연구동향을 조사한 결과, 국내 도로 배수시설 취약구간에 대한 연구는 다소 부족한 수준으로 연구 시작 단계인 것으로 파악되었으며, 도로 방재의 측면에서 지속적인 연구 수행이 필요하다고 판단되었다.
2. 전국의 공용 중인 노면배수 취약구간에 대하여 현장조사 및 배수시설 담당자의 적극적인 협조 등을 통하여 도로 배수 취약구간 현황 데이터베이스를 구축하였다. 도로 배수 시설 취약구간은 노면배수 취약구간 103개, 기타 도로배수 취약구간 55개 구간을 합쳐서 총 158개 지점을 조사하여 분석하였다.
3. 현장조사 구간을 원인별로 구분한 결과 시공 및 기타로 인한 배수 취약구간이 46%로 가장 많이 분포하였으며, 기하구조가 원인이 된 취약구간은 32%, 수리·수문이 원인이 된 취약구간은 22%로 분석되었으며, 시공 및 기타 측면에서 발생한 주요 원인은 토사측구 불량이가장 큰 비중인 52%를 차지하였고, 길어깨 포장 불량 및 포장 단차 발생, 유지관리상태 불량 등의 요인도 다수 존재하였다. 도로 기하구조 측면에서의 배수 취약구간 발생 원인은 주로 곡선부 편경사 변화구간의 노면수 흐름 정체가 53%를 차지하였고, 종단 오목부 상습 정체, 교량 뒤채움부 및 연약지반의 처짐으로 인한 노면 물고임 발생 순서였으며, 수리·수문 측면에서의 배수 취약구간 발생 원인은 도로의 중앙분리대 집수정 설치간격의 부족이 49%로 가장 큰 비중을 차지하였다.
4. 합성경사 검토 결과 종단 최소값을 가지는 구간에서는 합성경사값 2~3% 범위에서 42%의 분포를 보였으며, 편경사 최소값을 가지는 구간은 합성경사값 2%이내에서 80% 이상의 분포를 보였으며, 편경사 변화구간에서 발생하는 편경사 값이 표준 횡단경사 2% 이내 구간에서 종단경사가 최소기준인 0.3~0.5%를 적용시 노면배수 불량이 발생하여 사고의 원인이 되므로 종단경사 1.5%를 기준으로 하여 합성경사 값의 최소 적용치는 1.5% 이상이 필요하다고 판단된다.
5. 노면배수 취약구간에 본 연구에서 제안한 방법을 적용하여 배수시설물의 설치간격을 비교한 결과 중분대 집수정의 설치간격은 평균 35% 가량 설치 간격을 축소시켜야

하는 것으로 분석되었다.

- 6. 도로 배수 취약구간 개선방안으로 i)시공 및 기타 측면에서는 토사축구의 재료 변경, 단면의 크기 상향과 수리학적 근거를 바탕으로 한 용량의 산정 등을 제시할 수 있으며, ii)기하구조 측면에서는 편경사와 종단선형을 고려한 합성경사 도출 및 범위 산정과 종단 오목부 구간의 배수구조물 적정 간격을 제시하였고, iii)수리·수문 측면에서는 1분단위 강우강도식의 사용과 노면 배수시설 설치간격 산정 방법으로서 부등류 흐름해석 기법의 적용과 선형 배수 방식에 따른 노면 강우의 신속 배제를 개선방안으로 제안하였다.

참고 문헌

국토해양부(2003). 도로 배수시설 설계 및 유지관리 지침
 국토해양부(2006). 국도건설공사 설계실무요령.
 국토해양부(2007). 수해 예방을 위한 산악지 도로설계 매뉴얼
 국토해양부(2009). 수충부 및 토석류 방재기술 연구단 중간 보고서
 국토해양부(2009). 토석류 대비 도로시설물 설계기준 개선 연구 보고서
 한국도로공사(2009). 도로배수시스템 적정성 검토 연구
 한국도로공사(2009). 도로설계요령 -토공 및 배수
 국토해양부(2010). 친환경·지능형 도로설계 기술개발 연구단 최종 보고서
 구혜진, 최흥식, 유철상, 전경수, 이만석, 김흥래, 안성순, 박태권 (2008). “새로운 도로 배수설계 기술 개발”, 제8회 도로 및 공항기술사회 기술발표회 논문집, pp.231-287
 권현한, 문영일(2005). “수리학적 추적 방법을 이용한 자연하천의 강우유출 해석”, 한국수자원학회지 논문집, 제38권, 제7호, pp.555-564
 김성준(1998). “격자기반의 운동파 강우유출모형 개발(1) -이론 및 모형-”, 한국수자원학회지 논문집, 제31권, 제3호, pp.303-308
 김성준, 채효석, 신사철(1998). “격자기반의 운동파 강우유출모형 개발(2) -적용 예(연천댐 유역을 대상으로)-”, 한국수자원학회지 논문집, 제31권, 제3호, pp.309-315
 김지호, 박영진, 최인호, 송재우(2004). “산지유역의 합리식 유출계수 산정에 관한 연구”, 한국수자원학회 2004년도 학술발표회 논문집
 김한준, 김병익, 전경수(2001). “운동파 모형에 의한 확률 홍수량 산정”, 한국수자원학회 2001년도 학술발표회 논문집(1)
 유창열(2008). “합리식의 수정유출계수 적용성 검토”, 한국방재학회지, 제8권, 제4호, pp.62-68
 윤찬영, 김경석, 이재웅(2009). “토석류의 정의와 분류”, 한국지반공학학회지, 제25권, 제4호, pp.28-35
 이만석, 구혜진, 김흥래, 박태권, 유철상, 전경수(2007). “기상변화에 대응하기 위한 새로운 개념의 도로 배수설계 방향”, 2007년

한국도로학회 학술발표회 논문집

이영대, 김종순, 김영택(2007). “합리식의 유출계수 산정방법의 개선에 관한 연구”, 한국방재학회지 논문집, 제7권, 제4호, pp.67-74
 이용수, 조진우(2004). “도로에서의 유송잡물 차단시설 설치방안”, 2004 대한토목학회 정기학술대회, pp.3835-3840
 정성원, 문장원(2001). “국내 기존 합성단위도 방법의 비교”, 한국수자원학회지 논문집, 제34권, 제6호, pp.659-672
 최민규, 권기범, 이광원, 김흥래, 이승우(2009). “집중호우에 의한 산지하천도로 피해 유형에 따른 도로 기하구조 영향인자 분석”, 한국도로학회지, 제11권, 제2호, pp.54-64
 최윤석, 김경탁, 이진희(2008). “유한체적법을 이용한 격자기반의 분포형 강우-유출 모형 개발”, 한국수자원학회지 논문집, 제41권, 제9호, pp.895-905
 AASHTO (1999). “Highway drainage guidelines. American Association of State Highway and Transportation Officials.” Washington, D.C., USA.
 AASHTO (2005). “2005 Model drainage manual: SI Edition. American Association of State Highway and Transportation Officials.” Washington, D.C., USA.
 Brown, S.A., Stein, S.M., and Warner, J.C. (2001). “Urban drainage design manual.” FHWA-NHI-02-021, HEC-22, Federal Highway Administration, USA.
 Brune W., Graf W.H., Appel E., and Yee P.P. (1975). “Performance of Pennsylvania highway drainage inlets.” Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 101, No. 12, pp. 1519-1536.
 Burgi, P.H., and Gober, D.E. (1977). “Bicycle-safe grate inlets study; Volume 1. Hydraulic and safety characteristics of three selected grate inlets on continuous grades.” FHWA-RD-77-24, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation
 Chow, V.T. (1959). Open-channel hydraulics. McGraw-Hill.
 Erin S. Brooks, Jan Boll, William J. Elliot, Tom Dechert(2006). “Global Positioning System/GIS-Based Approach for Modelling Erosion from Large Road Networks.”, Journal of Hydrologic Engineering, ASCE, pp.418-426
 Escarameia, M., Gasowski, Y., May, R.W.P., and Bergamini, L. (2002). “Hydraulic design of paved areas.” Report SR 606, HR Wallingford, UK.
 Escarameia, M., Gasowski, Y., May, R.W.P., and Lo Cascio, A. (2001). “Hydraulic capacity of drainage channels with lateral inflow.” Report SR 581, HR Wallingford, UK.
 Guo, J.C.Y. (1997). Street hydraulics and inlet sizing. Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado. U.S.A.
 접수일 : 2011. 3. 4
 심사일 : 2011. 3. 7
 심사완료일 : 2011. 4. 8