

노면배수 취약구간의 수리·수문 원인 분석

A study of the Hydraulic & Hydrologic Causes on the Road Drainage Poor Site

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

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

ABSTRACT

This study aims to compare hydraulic & hydrologic design characteristics by examining generated on weak points for road drainage poor sites. More appropriated methodology of rainfall-intensity calculated is to consider minutely rainfall-intensity decision method for road drainage basins. To use non-uniform flow analysis methodology for road surface drainage facilities inlet spacing decision methods is better than present experience inlet spacing decision equations.

KEYWORDS

road drainage poor site, minutely rainfall-intensity equation, inlet spacing, non-uniform flow

요지

본 연구의 목적은 도로배수 취약구간에 대한 수리·수문 설계 인자들을 비교 및 검토하여 수리·수문학 측면의 도로 노면배수 취약구간 발생 원인을 규명하는 것이다. 본 연구를 통하여 대부분 노면배수시설의 설계홍수량 산정에 사용하는 합리식의 주요 변수인 강우강도를 도로의 노면배수유역 특성에 적합하게 산정하기 위해서는 분단위 강우강도식을 사용하여 10분 이하 강우지속시간을 고려해야 하고, 검토가 부족했던 노면 수로에 대하여 실제 자연현상을 적절하게 반영할 수 있는 부등류 흐름 수리해석 방법을 적용해야 하며, 도로 노면 강우의 즉시 배제가 목적인 쌓기부 도수로, 깎기부 집수정, 중분대 집수정 등의 설치간격 결정에는 현재 설계 실무에서 사용 중인 경험공식보다 노면 수리해석 기법을 활용하여 설치간격을 계산하는 것이 합리적이라고 판단되었다.

핵심용어

배수 취약구간, 분단위 강우강도식, 설치간격, 부등류

1. 서론

도로의 배수유역은 지형·기하구조·수리 및 수문 요소들이 서로 복잡하게 연결되어 있으며, 도로 배수유역에 홍수 발생 시 상기와 같은 복합적인 요소들의 상관관계에 의하여 인명 과 구조물의 피해가 발생한다. 지금까지 홍수로 인한 도로 배수유역의 피해 원인에 대한 수리·수문학 관점에서의 연구는 다소 부족한 것이 현실이었기 때문에, 본 연구는 도로배수 취

약구간 현장조사를 통하여 구축된 DB를 이용하여 도로의 수리·수문학 요소들을 비교 및 검토함으로써 도로배수 취약구간의 발생 원인을 규명하는 것을 연구의 목적으로 한다.

1.1. 연구 범위 및 수행 방법

도로배수 취약구간의 수리·수문 측면의 원인에 대한 연구 범위로써 첫째 설계홍수량 산정 주요 인자인 강우강도식의

검토, 둘째 다이크 또는 측구와 같은 노면 배수시설물의 강우 흐름 해석 방법 분석, 셋째 도로의 종단방향으로 설치하는 노면 배수시설물의 적정 설치 간격 비교로 설정하였다. 구체적으로, 도로 배수유역 설계홍수량 산정에 적용하는 강우강도 검토를 위해서 현재 사용중인 강우강도식(국토해양부, 2000)과 분단위 강우강도식(국토해양부, 2010)을 도로의 배수시설 설계에 적용하여 도출된 강우강도를 비교하였으며, 도로 노면 쌓기부에 설치되는 다이크와 깎기부에 설치되는 L형 측구로 형성된 수로 내 강우의 흐름을 등류인 경우와 부등류인 경우로 구분하여 비교 및 분석하였다. 또한 도로 노면 쌓기부에 설치되는 도수로와 깎기부에 설치되는 집수정의 적정 설치간격을 비교하기 위해 현재 도로설계 실무에서 사용 중인 설치간격 공식과 등류·부등류 흐름 해석 방법이 적용된 공식(국토해양부, 2010)을 이용하여 적정 설치 간격을 비교 검토하였다.

1.2. 연구 동향

도로 노면의 강우 흐름에 대하여 UDINLET이라는 전산모형을 이용하여 도로 노면의 수리 분석 및 측구 유입구의 제원을 결정하였고(Guo, 1997), 도로 배수시스템에 대한 수리학적 산정 이론들 - 선형 부등류를 소통시키는 유출구(outlet)의 간격 결정 방법과 선형 배수계의 배수용량 결정 방법을 제시하였다(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 배수유역과 같은 소규모 유역에 적합한 1분단위의 강우강도 매개변수를 전국 182개 수문관측지점에 대하여 도출하였다(박창열 등; 2007). 도심지 도로 배수시설 중 우수받이 시설물의 수리계산 방법(이종태 등, 2003), 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 제시하였다(김홍상, 1996).

2. 노면배수 수리·수문 이론

2.1. 강우강도식

강우강도(mm/hr)는 강우시 임의 유역 내 단위 시간(hr)동안 단위 면적(m²)에 내리는 강우량(mm)의 세기를 나타내며, 강우강도식은 강우량의 측정자료가 없는 지역의 강우강도를 산정하기 위하여 만들어진 공식이다. 현재 국내 도로 배수시설 설계에 사용되는 강우강도식은 한국 확률강우량도 작성

(국토해양부, 2000)에서 제시한 통합형 확률강우강도식(식 (1) 참조)을 사용하고 있으나, 도로배수유역에의 적용성 검토는 이루어지지 않았다.

$$I(T, t) = \frac{a + b \ln \frac{T}{t^n}}{c + d \ln \frac{\sqrt{T}}{t} + \sqrt{t}} \quad (1)$$

여기서, T 는 재현기간(년), t 는 강우지속시간(분), 그리고 a, b, c, d 는 지점별로 결정되는 지역상수이다.

현재 도로 배수시설 설계에 사용 중인 식 (1)은 강우지속시간이 최소 10분 이상인 경우에만 적용이 가능한데, 도로 노면배수 유역 내 강우지속시간은 10분 이내가 대부분이기 때문에 상기 식 (1)을 적용하는 것은 한계가 있다고 판단된다. 한편, 분단위 강우강도식(국토해양부, 2010)은 도로 배수유역의 특성을 고려하여 강우지속시간 10분 이내에도 적용할 수 있도록 개발된 공식이다.

분단위 강우강도식은 전국에 대하여 1분 단위 강우자료와 시단위 강우자료를 수집하여 강우강도식 개발 대상 지점을 선정하였고, 선정된 지점에 대해 자료분해기법의 하나인 Random Cascade 모형 방법을 이용하여 매개변수를 산정하였으며, 산정된 매개변수의 공간적 분포 특성을 파악하였다. Random Cascade 모형을 1분 단위 강우자료가 없는 지점의 시단위 강우자료에 적용하여 1분단위 강우자료를 재생산하고, 직접 빈도해석하여 분단위 강우강도식을 유도하였으며, 유도된 분단위 강우강도식을 전국에 대하여 공간적 확장을 수행하였다(국토해양부, 2010).

본 연구에서는 현재 사용 중인 강우강도식(식 (1) 참조)과 분단위 강우강도식을 고속국도 배수유역 설계홍수량 산정에 적용하여 그 결과를 비교하였다.

2.2. 수로 흐름해석 방법

일반적으로 중력의 법칙을 지배받는 개수로 흐름의 해석 방법은 등류, 부등류로 크게 나눌 수 있으며, 실제 자연현상과 가까운 현상을 모의하기에 적합한 것은 부등류 해석방법으로 알려져 있으나, 현재 횡단배수시설(암거, 횡배수관)을 제외한 도로 배수시설의 설계에서 수로 흐름에 대한 부등류 해석 방법은 수행하지 않고 있다. 따라서, 본 연구에서는 노면 배수시설을 대상으로 등류 및 부등류 해석 방법을 적용하여 각 방법별 유속, 수위 등의 수리특성을 도출하여 비교 검토하였다.

등류(uniform flow) 흐름은 수로 내 임의 구간의 위치가 변하여도 수심이 변하지 않고 일정한 수심을 유지하는 흐름을 말하며, 등류 유량과 수심은 각각 식 (2)와 식 (3)으로 계

산할 수 있다.

$$Q = \frac{A}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$AR^{\frac{2}{3}} = \frac{nQ}{S^{\frac{1}{2}}} \quad (3)$$

여기서, $AR^{\frac{2}{3}}$ 은 단면의 형상과 수심에 관련된 값으로 단면 조도계수 n 의 역수를 곱하게 되면 해당 수로단면의 통수능 (conveyance) K 를 계산할 수 있으며, A 는 통수단면적 (m^2), R 은 윤편(m), S 는 수로경사를 뜻한다. 한편, 부등류 (non-uniform flow) 흐름은 수로 내 임의 구간 위치 변화에 따라 수심이 변하는 흐름을 말하는데, 일반적으로 자연에 존재하는 모든 수로에서 등류 흐름은 존재하지 않으며 수로 내 전 구간에서 수리 특성은 다양하게 변하게 되므로 부등류 흐름 해석은 필수적으로 필요하다. 부등류는 점변부등류와 급변부등류로 분류할 수 있으며, 본 연구에서 분석 대상인 점변 부등류의 기본식은 식 (4)와 같다.

$$H = z + y + \alpha \frac{V^2}{2g} \quad (4)$$

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dz}{dx} + \frac{d}{dx} \left(y + \alpha \frac{V^2}{2g} \right) \quad (5)$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_o - S_f}{(1 - Fr^2)} \quad (6)$$

여기서, H 는 임의 단면에서의 총수두, y 는 임의 단면의 압력수두, z 는 임의 단면의 위치수두이며, $\alpha \frac{V^2}{2g}$ 는 임의 단면의 속도수두, S_o 는 수로 내 하도경사, S_f 는 수로 마찰경사이며, Fr 는 프루드 수(Froude number)를 뜻한다.

2.3. 배수시설 설치 간격

도로배수 시설 간격의 결정은 식 (7)~식 (9)를 이용하여 계산하며, 최대 설치간격에 대한 기준은 표 1과 같다.

$$S_1 = \frac{3.6 \times 10^6 \times Q_1}{C_r \times I \times W_r} \quad (7)$$

$$S_2 = \frac{3.6 \times 10^6 \times Q_2}{I(C_r W_r + C_s W_s)} \quad (8)$$

$$S_3 = \frac{3.6 \times 10^6 \times Q_3}{C_r \times I \times W_r} \quad (9)$$

여기서 S_1, S_2, S_3 과 Q_1, Q_2, Q_3 는 각각 쌓기부 도수로·깎기부 집수정·중분대 집수정의 설치간격(m)과 허용통수량 (m^3/sec)이고, I 는 강우강도(mm/hr)이며, C_r, C_s 와 W_r, W_s 는 각각 노면과 비탈사면의 유출계수와 집수폭(m)을 의미한다.

표 1. 도로 노면배수시설 설치간격 설계 기준(m)

구 분	일반국도	고속국도	산지부
쌓기부 도수로	30~100	30~150	~70
깎기부 집수정	5~50	~50	-
중분대 집수정	5~30	5~30	-

※ 도로 선형 상 곡선부 외측 구간의 쌓기부 도수로 설치 최대 간격은 일반국도 200m, 고속국도 300m임.

3. 도로배수 취약구간 분석

3.1. 분석 대상 선정

전국 도로 중에서 강우시 배수취약구간 분석 대상은 표 2와 같이 쌓기부 도수로, 깎기부 집수정, 중앙분리대 집수정에서 설치간격 부족 또는 통수능력 초과 등의 현상이 발생하는 21개 구간을 선정하였다.

표 2. 수리·수문 분석 대상 배수취약구간

구 분	쌓기부 도수로	깎기부 집수정	중앙분리대 집수정	합 계
개소 수	3	3	15	21

3.2. 수리·수문 분석 방법

상기 표 2에 나타난 배수취약구간에 대한 수리·수문학적인 원인을 분석하기 위하여 시단위와 분단위 강우강도 산정방법을 적용한 경우 설계홍수량을 비교하였으며, 현재 설계 실무에서 사용 중인 경험적인 설치 간격 공식과 수리학적 분석 기법을 도입한 수로의 등류·부등류 흐름해석 방법을 적용한 노면배수시설 설치간격 산정 방법을 서로 비교 검토하였다.

강우강도 산정에 이용한 강우량 자료의 기록년수는 1999년 말을 기준으로 하였으며(표 3 참조), 시단위 강우강도식은 국토해양부(2000)에서 제시한 통합형 확률강우강도식(식 (1) 참조)을 사용하였고 분단위 강우강도식은 국내에서 일반적으로 사용 중인 강우강도식을 사용하였으며(표 4 참조), 설계홍수량 산정은 국내 소규모 유역에서 일반적으로 사용 중인 경험공식인 합리식(식 (10) 참조)을 공통적으로 적용하였다.

$$Q_d = \frac{1}{3.6} \cdot C \cdot I \cdot A_d \quad (10)$$

여기서, Q_d 는 설계홍수량(m^3/sec), C 는 유출계수, I 는 강우강도(mm/hr), A_d 는 배수 유역면적(km^2)이다.

표 3. 강우량 자료 비교

구 분	시단위 강우강도식	분단위 강우강도식
관측소 개수	69개 지점	182개 지점
관측소 기록년수	~1999년	~1999년
강우지속시간	최소 10분	최소 1분

표 4. 일반적으로 사용되는 강우강도식 형태

구 분	강우강도식
Talbot 형	$I = \frac{a}{t+b}$
Sherman 형	$I = \frac{a}{t^b}$
Japanese 형	$I = \frac{a}{\sqrt{t+b}}$
Semi-Log 형	$I = a + b \times \text{Log}(t)$

한편, 노면 배수시설의 설치간격 비교를 위해서는 현재 설계 실무에서 사용 중인 경험공식(식 (7)~식 (9) 참조)과 수리학적 해석 기법이 적용된 등류·부등류 해석 방법(식 (2)~식 (6) 참조)을 사용하였다.

3.3. 비교 검토

도로배수 취약구간에 대한 강우강도 비교 결과는 다음 표 5와 같으며, 분석대상 전체 구간에서 분단위 강우강도 산정 방법을 적용하여 도출된 강우강도는 현재 설계에 사용 중인 시단위 강우강도보다 평균적으로 95% 증가하였으나, 예외적으로 중분대 집수정 3개 구간의 설치간격은 시단위 강우강도보다 평균 17% 감소하였다. 이러한 분석 결과는 서로 다른 형태의 강우강도 산정공식을 적용한 점과 강우강도식 매개변수 중 하나인 강우지속시간의 차이와 관련이 있는데, 노면 배수시설 설계시 시단위 강우강도식 방법은 강우지속시간의 적용에 최소 10분 단위로 고정된 값을 적용하는 반면, 분단위 강우강도식에서는 노면의 기하학적 형상에 따라 변하게 되는 강우지속시간이 실제 도로 노면의 형상을 제대로 반영할 수 있기 때문인 것으로 판단된다.

한편, 도로배수 취약구간의 설계홍수량은 표 6과 같이 쌓기부 도수로 1개 구간에서 11%, 깎기부 집수정 전 구간에서 평균 496%, 중분대 집수정 11개 구간에서 평균 145% 증가

표 5. 도로배수 취약구간 강우강도 비교

구 분	대상 구간	강우강도(mm/hr)		
		시간단위	분단위	증감(%)
쌓기부 도수로	A 1	119.4	499.1	+318
	A 2	141.0	201.8	+43
	A 3	99.0	124.3	+26
	A구간 평균	-	-	+129
깎기부 집수정	B 1	132.6	506.2	+282
	B 2	154.2	307.6	+100
	B 3	121.8	150.4	+23
	B구간 평균	-	-	+135
중분대 집수정	C 1	99.0	249.0	+152
	C 2	119.4	264.5	+122
	C 3	132.6	318.9	+140
	C 4	86.4	219.1	+154
	C 5	119.4	208.6	+75
	C 6	154.2	306.6	+99
	C 7	154.2	298.7	+94
	C 8	154.2	276.7	+79
	C 9	154.2	285.6	+85
	C 10	130.2	107.9	-17
	C 11	130.2	107.9	-17
	C 12	130.2	108.4	-17
	C 13	99.0	155.5	+57
	C 14	99.0	161.6	+63
	C 15	99.0	237.3	+140
	C구간 평균	-	-	+81
	전구간 평균	-	-	+95

하였으나, 쌓기부 도수로 2개 구간과 중분대 집수정 4개 구간에서는 오히려 평균 39%와 18%씩 감소하였다. 상기와 같이 노면배수 취약구간의 일부 지점에서 설계홍수량이 오히려 감소하는 이유는 전술한 것과 같이, 시단위 강우강도는 배수 유역의 지형특성을 고려하지 못하여 동일한 수문관측소의 자료가 적용되는 구간에서는 모두 동일한 강우강도가 산정되는 반면, 분단위 강우강도는 동일한 수문관측소 자료가 적용되어도 배수유역의 지형특성에 따라 강우강도의 값이 증가 또는 감소할 수 있으며 설계홍수량의 크기도 강우강도의 증감 영향을 받고 있기 때문이다.

도로배수 취약구간에 대한 노면 배수시설의 설치간격을 비교한 결과, 표 7과 같이 쌓기부 도수로 구간에서 평균 49% 설치간격이 감소하였고 중분대 집수정에서는 12개 구간에서 평균 50% 감소하였으나, 깎기부 집수정 구간에서는 설치간격이 오히려 평균 274% 증가하는 결과가 도출되었다. 쌓기부 도수로와 중분대 집수정 구간에서 설치간격이 평균 50% 감소하는 것은 경험공식에서는 고려하지 못하는 수로 내 유

표 6. 도로배수 취약구간 설계홍수량 비교

구 분	대상 구간	설계홍수량(m ³ /sec)		
		시단위 강우강도 적용	분단위 강우강도 적용	증감(%)
쌓기부 도수로	A 1	0.049	0.055	+11
	A 2	0.259	0.147	-43
	A 3	0.069	0.045	-35
	A구간 평균	-	-	-22
깎기부 집수정	B 1	0.029	0.099	+242
	B 2	0.028	0.081	+189
	B 3	0.006	0.069	+1,057
	B구간 평균	-	-	+496
중분대 집수정	C 1	0.096	0.241	+151
	C 2	0.027	0.059	+119
	C 3	0.042	0.100	+138
	C 4	0.027	0.069	+155
	C 5	0.045	0.079	+75
	C 6	0.041	0.069	+67
	C 7	0.069	0.080	+16
	C 8	0.138	0.124	-10
	C 9	0.069	0.256	+270
	C 10	0.058	0.048	-17
	C 11	0.041	0.048	+18
	C 12	0.047	0.034	-28
	C 13	0.066	0.056	-16
	C 14	0.053	0.108	+105
	C 15	0.022	0.127	+479
	C구간 평균	-	-	+102
	전 구간 평균			+140

표 7. 도로배수 취약구간 설치간격 비교

구 분	대상 구간	설치 간격(m)		
		경험공식	수리해석	증감(%)
쌓기부 도수로	A 1	174	37	-79
	A 2	321	190	-41
	A 3	171	123	-28
	A구간 평균	-	-	-49
깎기부 집수정	B 1	18	34	+82
	B 2	9	30	+240
	B 3	12	72	+499
	B구간 평균	-	-	+274
	C 1	9	4	-60
	C 2	10	4	-55
	C 3	4	2	-58
	C 4	6	2	-61
	C 5	0	0	-42
	C 6	56	28	-50

〈표 계속〉

중분대 집수정	C 7	22	12	-48	
	C 8	6	3	-44	
	C 9	7	4	-46	
	C 10	3	3	+20	
	C 11	3	3	+20	
	C 12	6	8	+20	
	C 13	2	1	-36	
	C 14	5	3	-39	
	C 15	6	3	-58	
		C구간 평균	-	-	-36
		전 구간 평균	-	-	+6

량과 수위의 관계가 수리해석 방법에는 고려되어 설치간격을 계산하기 때문이며, 깎기부 집수정의 경우 설치간격이 오히려 증가하는 이유는 쌓기부와 중분대의 경우와 달리 설치간격 산정에 중요한 요소인 배수유역이 두 개로 분류되기 때문인 것으로 판단된다.

즉, 쌓기부 도수로와 중분대 집수정 설치간격 산정에는 지형특성이 동일한 도로 노면이 배수유역면적의 입력변수로 이용되는 반면, 깎기부 집수정 설치간격 산정에는 도로와 인접지를 횡단면상으로 볼 때 집수정을 중심으로 좌측과 우측에 각각 배수유역이 형성된다. 그런데, 깎기부 비탈면으로 형성되는 배수유역은 일반적으로 경사가 상당히 급하여 강우 즉시 수 초 내에 깎기부 L형측구 수로로 집수되는 반면, 도로 노면에서 깎기부 L형측구 수로로 유입되는 경우는 깎기부 비탈면보다는 상대적으로 횡단경사가 완만하게 형성되는 것과 같이 서로 다른 지형적 특성을 내포하고 있으며, 현재 설계실무에서 사용 중인 깎기부 집수정 설치간격에 대한 경험공식은 깎기부 비탈면의 수리·수문학적 특성이 전혀 고려되지 않은 상태에서 동일한 강우지속시간을 적용하고 있기 때문에, 수리·수문학적 해석 기법이 고려된 방법으로 도출된 강우강도 결과 값보다 더 큰 값이 도출되는 것이라 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 매년 강우시 배수불량으로 인해 발생하는 노면배수 취약구간에 대하여 수리·수문 측면에서 노면 배수시설의 강우강도, 설계홍수량, 설치간격 산정에 대한 비교 검토를 수행하여 원인을 분석하였으며 주요 결과는 다음과 같다.

1. 노면 배수시설 설계에 적용하는 강우강도를 비교한 결과, 분단위 강우강도 산정 방법을 적용한 경우 시단위 강우강도를 적용한 경우와 비교하여 평균 95% 증가하였다.
2. 노면 배수시설의 설계홍수량을 비교한 결과, 쌓기부 도수로 1개 구간에서 11%, 깎기부 집수정 전 구간에서는 평

- 균 496%, 중분대 집수정 11개 구간에서 평균 145% 증가하였으나, 쌓기부 도수로 2개 구간과 중분대 집수정 4개 구간에서는 오히려 평균 39%와 18%씩 감소하였다.
3. 쌓기부 도수로와 깔기부 집수정, 그리고 중앙분리대 집수정의 설치간격을 비교한 결과, 쌓기부 도수로 구간에서 평균 49% 설치간격이 감소하고 중분대 집수정의 경우 12개 구간을 제외한 구간에서 평균 50% 감소하였으나, 깔기부 집수정 구간에서는 설치간격이 오히려 평균 274% 증가하였다.
 4. 분단위 강우강도는 시단위 강우강도와 달리 배수구역의 지형특성을 충분히 고려할 수 있으므로, 동일한 수문관측소 자료가 적용되어도 배수구역의 지형특성에 따라 영향을 받는 강우지속시간의 변동으로 인하여 강우강도의 값이 증가 또는 감소할 수 있다.
 5. 현재 노면 배수시설의 설치간격에 사용하고 있는 경험공식은 깔기부 비탈면 배수구역에 대한 잘못된 수문학적 접근방법을 사용하고 있기 때문에 깔기부 집수정 설치간격 계산에는 적용이 어렵다고 판단된다.
 6. 도로 노면의 배수취약구간에는 분단위 강우강도 산정 방법을 이용하여 설계홍수량을 결정하고, 부등류 흐름 해석 기법을 적용하여 노면 배수시설의 적정 설치간격을 도출하는 것이 합리적이라고 판단된다.

참고 문헌

- 국토해양부(2000). 1999년도 수자원관리기법개발연구조사 보고서 - 제1권 한국확률강우량도 작성.
- 국토해양부(2003). 도로 배수시설 설계 및 유지관리 지침.
- 국토해양부(2007). 수해 예방을 위한 산악지 도로설계 매뉴얼.
- 한국도로공사(2009). 도로배수시스템 적정성 검토 연구.
- 한국도로공사(2009). 도로설계요령 -토공 및 배수.
- 국토해양부(2010). 친환경·지능형 도로설계 기술개발 연구 최종 보고서.
- 김홍상, 조강식(1996). "다차선 고속도로 노면배수시설 개선방안 연구", *상지대학교 산업기술연구원 논문집*, 제15권, pp.21-29.
- 김성준(1998). "격자기반의 운동파 강우유출모형 개발(1)-이론 및 모형-", *한국수자원학회지 논문집*, 제31권, 제3호, pp.303-308.
- 김한준, 김병익, 전경수(2001). "운동파 모형에 의한 확률 홍수량 산정.", *한국수자원학회 2001년 학술발표회 논문집*, pp.236-241.
- 이종태, 김영란, 김갑수, 윤세의, 박영민(2003). "도로 노면의 형상과 강우의 임계 지속시간을 고려한 적정 우수 유출량 산정 및 영향분석.", *대한상하수도학회지 논문집*, 제17권, 제2호, pp.291-298.
- 이만석, 구혜진, 김흥래, 박태권, 유철상, 전경수(2007). "기상변화에 대응하기 위한 새로운 개념의 도로 배수설계 방향.", 2007년 *한국도로학회 학술발표회 논문집*, pp.349-354.
- 구혜진, 최흥식, 유철상, 전경수, 이만석, 김흥래, 안성순, 박태권(2008). "새로운 도로 배수설계 기술 개발.", *제8회 도로 및 공항기술사회 기술발표회 논문집*, pp.231-287.
- 유창열(2008). "합리식의 수정유출계수 적용성 검토.", *한국방재학회지*, 제8권, 제4호, pp.62-68.
- 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.
- 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.
- Escarameia, M., Gasowski, Y., May, R.W.P., and Bergamini, L. (2002). "Hydraulic design of paved areas." *Report SR 606*, HR Wallingford, UK.
- Guo, J.C.Y. (1997). (*Street hydraulics and inlet sizing*.) Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado. U.S.A.
- Naqvi, M.(2003). *Design of linear drainage systems*. Thomas Telford.

접 수 일 : 2011. 3. 4
 심사 일 : 2011. 3. 7
 심사완료일 : 2011. 5. 20