

도로 배수시설 설계 모형의 적용성 검토

Application Test of Road Drainage Facility Design Model

이만석* · 김흥래** · 박태권*** · 전경수**** · 이한주*****

Lee, Man Seok · Kim, Heung Rae · Park, Tae Kwon · Jun, Kyung Soo · Lee, Han Joo

1. 모형의 개요

전 세계적으로 기온 상승과 같은 기후변화가 극심하게 발생하고 있으며, 이에 국내에 집중호우가 국지적으로 증가하고 있다. 이러한 연유로 도로와 접한 산지 비탈사면의 붕괴, 도로 노면 측구 수로의 유실, 도로를 횡단하여 설치된 구형 암거와 원형 배수관 등의 유입구 파괴 및 막힘 현상들이 초래되어 막대한 피해를 입고 있다. 본 연구를 통해 개발된 모형은 도로 배수유역에 발생하는 국지적 집중호우에 의한 도로 배수시설물의 피해를 감소시키기 위한 목적으로 개발되었다. 도로 배수유역의 설계홍수량 산정에는 운동파 이론을 적용한 표면박류 강우-유출 모형을 이용하였으며, 도로 노면의 도수로와 집수정 설치간격 산정을 위해 흐름의 부등류 해석을 바탕으로 한 모형을 개발하였고, 도로 횡단배수시설(구형 암거 및 원형 배수관)의 최적 단면규격 산정에는 범용 중인 Culvert Master 소프트웨어를 벤치마킹하여 모형을 개발하였다.

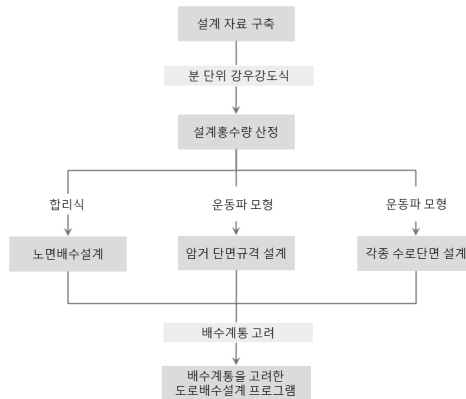


그림 1. 개발된 도로 배수설계 모형의 흐름도

2. 적용성 검토

2.1 적용성 검토 대상 선정

본 연구를 통해 개발된 도로 배수설계 모형을 현장에 적용하기 위하여 표 1과 같이 국내 도로건설 6개 현장(강원도 4개, 경기도 2개)을 선정하여, 조사를 통한 각종 보고서와 도면 자료를 입수, 설계현황을 분석하였다.

* 정회원 · (주)평화엔지니어링 기술연구원 선임연구원 · 공학석사(E-mail : msasa@korea.com)
** 정회원 · (주)평화엔지니어링 기술연구원 부사장(E-mail : hrkpro@hanmail.net)
*** 정회원 · (주)평화엔지니어링 상임고문 · 공학박사(E-mail : mihyun114@daum.net)
**** 정회원 · 성균관대학교 사회환경시스템공학과 교수 · 공학박사(E-mail : ksjun@skku.edu)
***** 정회원 · (주)평화엔지니어링 기술연구원 책임연구원 · 공학박사(E-mail : hjlee@pec.ne.kr)



표 1. 노면 배수시설 설계 모형의 적용성 검토 대상

공사명	도로연장(km)	노면배수시설		횡단배수시설		관측소	설계변수			
		성토부(km)	절토부(km)	PIPE(EA)	BOX(EA)		설계빈도(year)		강우강도(mm/hr)	
							노면	횡단	노면	횡단
신북~용산	7.6	3.7	2.1	25	7	춘천	10	25	119.4	141.2
성남~장호원	10.9	2.9	2.9	25	3	서울	5	25	137.0	185.0
철원~서면	6.9	4.4	1.5	34	8	철원	10	50	100.0	135.0
장흥~송추	8.4	2.6	1.7	7	4	서울	5	25	124.0	186.0
신동~가사	5.2	3.3	2.9	15	1	정선	5	25	92.0	118.0
가사~문곡	4.6	6.1	4.2	19	8	정선	5	25	92.0	118.0

2.2 현황 분석

상기 표 1에서 조사한 6개 현장에 계획 또는 설치된 노면 배수시설 중 성토부 도수로와 절토부 L형 측구 집수정의 설치간격 및 횡단배수시설의 단면규격을 조사하여 표 2와 같이 정리하였다.

표 2. 도로 배수시설 설치 현황

구분	노면 배수시설 설치 간격						횡단 배수시설 단면 규격			
	성토부 도수로(m)			절토부 L형측구 집수정(m)			구형 암거(m)		원형 배수관(mm)	
	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	최대	최소
신북~용산	120	75	100	50	50	50	4.0×4.0	2.0×2.0	1,200	1,000
성남~장호원	200	50	80	90	40	48	2.0×2.0	2.0×2.0	3,250	1,000
철원~서면	120	80	90	80	20	40	7.0×3.0	2.0×2.0	1,200	1,000
장흥~송추	150	30	80	60	20	40	3.0×1.75	1.2×1.0	1,200	1,000
신동~가사	140	70	100	90	50	65	1.5×1.5	1.5×1.5	1,200	1,000
가사~문곡	245	50	140	120	60	80	2.0×2.0	1.5×1.5	1,200	1,000

노면 배수시설 중 성토부 도수로는 80~140m, 절토부 L형측구 집수정은 40~80m 간격으로 설치되어 있으며, 횡단 배수시설은 구형 암거의 경우 1.2×1.0(m)~4.0×4.0(m)의 단면 규격의 시설물이 설치되었다.

2.3 모형 적용 및 비교 검토

도로 배수시설물의 설치간격 및 단면규격의 적정성을 검토하기 위하여 현재 도로 설계 실무에서 사용 중인 방법과 본 연구를 통해 개발한 방법을 사용하여 그 결과를 비교하였다.

표 3. 도로 배수시설 설계 방법 비교

구분	현행 방법	개발 방법
강우지속시간	최소 10분 사용	실제 강우지속시간
강우강도식 적용	시단위 강우강도식	분단위 강우강도식
설계홍수량 산정	노면배수	합리식
	비탈면·횡단배수	합리식
수로 흐름 해석	등류 해석	부등류 해석

표 1에서 제시한 6개 현장에 대하여 노면배수시설의 경우 성토부 도수로 설치간격과 절토부 L형측구 집수정 설치간격을 현행 설계 결과와 개발 모형 적용 결과를 비교 검토하였으며, 대표적으로 신북~용산 현장에 대한 성토부 도수로 설치간격은 표 4와 같이 현행 설계 방법과 비교하여 평균 48% 짧아지는 결과가 산정되었으며, 절토부의 집수정 설치간격은 표 5와 같이 평균 38% 짧아지는 결과가 도출되었다.

표 4. 성토부 도수로 설치간격 비교(신북~용산)

설치간격(m)	횡단경사(%)														
	2			3			4			5			6		
	기존(m)	개선(m)	증감(%)	기존(m)	개선(m)	증감(%)	기존(m)	개선(m)	증감(%)	기존(m)	개선(m)	증감(%)	기존(m)	개선(m)	증감(%)
0.3	70.00	45.08	64.40	81.80	51.81	63.34	94.40	59.66	63.20	107.70	68.45	63.56	121.60	78.31	64.40
0.5	90.30	45.45	50.33	105.70	52.43	49.60	121.90	60.27	49.44	139.00	69.00	49.64	156.90	78.70	50.16
1.0	127.80	55.30	43.27	149.40	65.58	43.90	172.40	77.33	44.85	196.60	90.54	46.05	221.90	105.22	47.42
1.5	156.50	69.88	44.65	183.00	82.40	45.03	211.10	96.62	45.77	240.80	113.34	47.07	271.80	131.52	48.39
2.0	180.70	81.11	44.89	211.30	95.43	45.16	243.80	112.18	46.01	278.00	130.97	47.11	313.90	151.85	48.38
2.5	202.00	90.94	45.02	236.30	106.93	45.25	272.50	125.60	46.09	310.80	146.60	47.17	350.90	169.91	48.42
3.0	221.30	99.82	45.11	258.80	117.30	45.32	298.50	137.75	46.15	340.40	160.76	47.23	384.40	186.33	48.47
3.5	239.00	107.05	44.79	279.50	125.79	45.01	322.50	147.64	45.78	367.70	172.29	46.86	415.20	199.63	48.08
4.0	255.50	114.82	44.94	298.80	134.88	45.14	344.70	158.38	45.95	393.10	184.74	47.00	443.90	214.04	48.22
4.5	271.00	122.03	45.03	317.00	143.36	45.22	365.60	168.32	46.04	416.90	196.34	47.10	470.80	227.46	48.31
5.0	285.70	128.84	45.10	334.10	151.42	45.32	385.40	177.78	46.13	439.50	207.32	47.17	496.30	240.16	48.39
5.5	299.60	135.37	45.18	350.40	159.11	45.41	404.30	186.82	46.21	461.00	217.82	47.25	520.50	252.36	48.48
6.0	312.90	141.47	45.21	366.00	166.31	45.44	422.20	195.24	46.24	481.50	227.64	47.28	543.60	263.71	48.51
6.5	325.70	147.51	45.29	380.90	173.39	45.52	439.50	203.54	46.31	501.10	237.35	47.37	565.80	274.94	48.59
7.0	338.00	153.10	45.30	395.30	180.04	45.55	456.00	211.35	46.35	520.10	246.50	47.39	587.20	285.44	48.61
7.5	349.90	158.50	45.30	409.20	186.45	45.56	472.10	218.80	46.35	538.30	255.17	47.40	607.80	295.57	48.63
8.0	361.30	163.75	45.32	422.60	192.61	45.58	487.50	226.12	46.38	556.00	263.71	47.43	627.70	305.33	48.64
8.5	372.50	169.18	45.42	435.60	199.02	45.69	502.50	233.56	46.48	573.10	272.38	47.53	647.00	315.47	48.76

표 5. 절토부 L형측구 집수정 설치간격 비교(신북~용산)

설치간격(m)	횡단경사(%)														
	2			3			4			5			6		
	기존(m)	개선(m)	증감(%)	기존(m)	개선(m)	증감(%)	기존(m)	개선(m)	증감(%)	기존(m)	개선(m)	증감(%)	기존(m)	개선(m)	증감(%)
0.3	30.50	19.57	64.16	35.70	21.93	61.43	41.20	24.67	59.88	46.90	27.71	59.08	53.00	31.02	58.53
0.5	39.40	18.41	46.73	46.10	20.73	44.97	53.10	23.44	44.14	60.60	26.45	43.65	68.40	29.73	43.46
1.0	55.70	19.33	34.70	65.10	22.40	34.41	75.20	23.62	31.41	85.70	27.41	31.98	96.80	31.60	32.64
1.5	68.20	23.74	34.81	79.80	27.21	34.10	92.10	31.47	34.17	105.00	36.30	34.57	118.50	41.66	35.16
2.0	78.80	27.99	35.52	92.10	31.82	34.55	106.30	36.67	34.50	121.20	42.19	34.81	136.90	48.31	35.29
2.5	88.10	31.67	35.95	103.00	35.89	34.84	118.80	41.28	34.75	135.50	47.43	35.00	153.00	54.26	35.46
3.0	96.50	34.98	36.25	112.80	39.57	35.08	130.20	45.47	34.92	148.40	52.22	35.19	167.60	59.72	35.63
3.5	104.20	37.99	36.46	121.90	42.94	35.23	140.60	49.32	35.08	160.30	56.61	35.32	181.10	64.73	35.74
4.0	111.40	40.80	36.62	130.30	46.08	35.36	150.30	52.92	35.21	171.40	60.76	35.45	193.60	69.40	35.85
4.5	118.20	42.71	36.13	138.20	48.20	34.88	159.40	55.33	34.71	181.80	63.48	34.92	205.30	72.51	35.32
5.0	124.60	45.26	36.32	145.70	51.09	35.07	168.00	58.66	34.92	191.60	67.26	35.10	216.40	76.78	35.48
5.5	130.70	47.73	36.52	152.80	53.82	35.22	176.20	61.80	35.07	201.00	70.86	35.25	227.00	80.99	35.68
6.0	136.50	49.99	36.62	159.60	56.49	35.39	184.10	64.82	35.21	209.90	74.31	35.40	237.10	84.81	35.77
6.5	142.10	52.22	36.75	166.10	59.02	35.53	191.60	67.72	35.34	218.50	77.64	35.53	246.70	88.59	35.91
7.0	147.40	54.37	36.89	172.40	61.49	35.67	198.80	70.56	35.49	226.70	80.87	35.67	256.00	92.28	36.05
7.5	152.60	56.35	36.93	178.40	63.75	35.73	205.80	73.15	35.54	234.70	83.83	35.72	265.00	95.67	36.10
8.0	157.60	58.27	36.97	184.30	65.92	35.77	212.60	75.65	35.58	242.40	86.70	35.77	273.70	98.93	36.15
8.5	162.50	60.26	37.08	190.00	68.21	35.90	219.10	78.28	35.73	249.80	89.72	35.92	282.10	102.35	36.28

횡단 배수시설의 경우 표 1에서 제시한 6개 현장에 설치되어 있는 구형암거와 횡단배수관의 단면규격에 대하여 현행 설계 결과와 개발 모형 적용 결과를 비교 검토하였으며, 대표적으로 신북~용산 현장에 대한 구형암거와 횡단배수관의 단면규격은 표 6와 같이 현행 설계 방법과 비교하여 구형 암거의 경우 평균 9%, 원형 배수관의 경우 평균 60% 증가하는 결과를 도출하였다.



표 6. 횡단배수시설 단면규격 비교(신북~용산)

번호	측점	유역면적 (km ²)	기존 방법		개선 방법		결과	비 고
			설계홍수량 (m ³ /sec)	단면 규격 (m)	설계홍수량 (m ³ /sec)	단면 규격 (m)		
1	0+340.0	0.02	0.63	1@800	1.63	1@1200	증가	원형 배수관
2	1+480.0	0.01	0.31	1@600	0.58	1@800	감소	원형 배수관
3	1+599.0	0.03	0.94	1@1000	2.62	2@1000	증가	원형 배수관
4	2+320.0	0.036	1.13	1@1000	2.99	2@1200	증가	원형 배수관
5	2+550.0	0.1	3.14	2@1200	5.95	3@1200	증가	원형 배수관
6	2+926.0	0.06	1.88	1@1200	3.78	2@1200	증가	원형 배수관
7	3+160.0	0.05	1.57	1@1200	3.16	2@1200	증가	원형 배수관
8	3+280.0	0.05	1.57	1@1200	3.24	2@1200	증가	원형 배수관
9	3+500.0	0.02	0.63	1@800	0.97	1@1000	-	원형 배수관
10	3+800.0	0.07	2.20	1@1200	4.11	2@1200	증가	원형 배수관
11	4+860.0	0.01	0.31	1@600	0.87	1@1000	-	원형 배수관
12	5+220.0	0.09	2.83	2@1000	6.26	3@1200	증가	원형 배수관
13	5+330.0	0.02	0.63	1@800	1.57	1@1200	증가	원형 배수관
14	5+428.0	0.04	1.26	1@1000	2.85	2@1200	증가	원형 배수관
15	5+739.0	0.087	2.73	2@1000	5.38	3@1200	증가	원형 배수관
16	6+080.0	0.01	0.31	1@600	0.79	1@800	감소	원형 배수관
17	6+200.0	0.06	1.88	1@1200	4.10	2@1200	증가	원형 배수관
18	6+300.0	0.03	0.94	1@1000	2.31	1@1200	증가	원형 배수관
19	6+380.0	0.01	0.31	1@600	0.89	1@1000	-	원형 배수관
20	6+620.0	0.03	0.94	1@1000	2.31	1@1200	증가	원형 배수관
21	7+200.0	0.04	1.26	1@1000	2.89	2@1000	증가	원형 배수관
22	7+360.0	0.01	0.31	1@600	0.87	1@1000	-	원형 배수관
23	7+560.0	0.06	1.88	1@1200	4.05	2@1200	증가	원형 배수관
24	0+120.0	0.02	0.63	1@800	1.39	1@1200	증가	원형 배수관
25	0+044.0	0.02	0.63	1@800	1.94	1@1200	증가	원형 배수관
26	2+182.0	0.78	24.49	1@4.0×4.0	38.56	1@4.5×4.5	증가	구형 암거
27	2+700.0	0.48	15.07	1@3.0×3.0	25.61	1@4.0×4.0	증가	구형 암거
28	3+060.0	0.32	10.05	1@2.5×2.5	18.30	1@3.5×3.5	증가	구형 암거
29	4+540.0	0.28	8.79	1@2.5×2.5	16.52	1@3.0×3.0	감소	구형 암거
30	4+740.0	0.21	6.60	1@2.5×2.0	12.65	1@3.0×2.5	감소	구형 암거
31	0+053.0	0.66	20.73	1@3.5×3.5	31.69	1@4.0×4.0	증가	구형 암거
32	0+135.0	1.36	36.72	1@4.5×4.5	47.80	1@5.0×5.0	증가	구형 암거

3. 결 론

현재 설계에서 사용 중인 방법과 본 연구를 통해 개발된 모형을 사용한 방법의 차이점을 제시하였으며, 각 방법으로 도로 배수시설물을 설계하는 경우 계산 결과를 비교 및 검토하였다.

노면 배수시설의 경우에는 성토부 도수로와 절토부 L형 측구 집수정의 설치간격을, 횡단배수시설의 경우에는 구형 암거와 원형 배수관의 단면규격을 비교하였으며, 본 연구에서 조사한 6개 현장에 대하여 전술한 방법으로 배수시설물의 설치간격과 단면규격을 비교한 결과 표 7과 같은 결과를 도출하였다.

표 7. 도로 배수시설 설치간격 및 단면규격 비교

현 장	노면배수시설 설치간격		횡단배수시설 단면규격	
	성토부 도수로	절토부 집수정	구형 암거	원형 배수관
신북~용산	50% 짧아짐	37% 짧아짐	73% 상승	50% 상승
성남~장호원	12% 넓어짐	15% 넓어짐	64% 상승	50% 상승
철원~서면	18% 짧아짐	27% 짧아짐	5% 축소	30% 축소
가사~문곡	50% 짧아짐	56% 짧아짐	10% 상승	96% 상승
방산~하중	6% 짧아짐	65% 짧아짐	14% 상승	33% 상승
장흥~송추	48% 짧아짐	40% 짧아짐	6% 상승	140% 상승

본 연구에서 6개 도로현장에 대하여 비교한 결과 노면배수시설 중 성토부 도수로의 설치간격은 평균 25%, 절토부 L형측구 집수정의 설치간격은 35% 짧아졌으며, 횡단배수시설 중 구형 암거의 단면규격은 평균 27%, 원형 배수관의 단면규격은 평균 57% 단면이 상승하는 결과를 도출하였다.

상기 표 7의 결과와 같이 본 연구에서 개발한 모형을 도로 배수설계에 적용하여 적극 활용한다면, 계속적으로 증가 추세에 있는 국지적 집중호우에 의한 도로 배수시설물의 피해를 상당 부분 감소할 수 있을 것이라 판단된다.

감사의 글

본 연구는 친환경·지능형 도로설계 기술개발 연구단(건설핵심D05-01)을 통하여 지원된 국토해양부 건설 기술혁신사업에 의하여 수행되었습니다. 연구 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 국토해양부, 한국확률강우량도 작성, 2000
2. 국토해양부, 도로설계편람(배수편), 2001
3. 국토해양부, 도로 배수시설 설계 및 유지관리 지침, 2003
4. 구혜진, 김진수, 박형섭, 전경수(2008) “부등류 해석을 기반으로 한 노면배수시설 설계”, 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제41권, 제12호, pp 1173-1185
5. 김진수, 박형섭, 전경수, 이만석, 김홍래(2006) “선형 배수로에 대한 부등류 해석”, 한국도로학회 학술발표회 논문집, 한국도로학회, pp 395-400
6. 박창열, 김경준, 유철상, 전경수(2007) “분단위 강우강도-지속시간-재현기간 관계의 유도: 모포마 분포와 Random Cascade 모형의 적용”, 2007대한토목학회 정기학술대회 논문집, 대한토목학회, pp 1224-1227
7. 이만석, 구혜진, 김홍래, 박태린, 유철상, 전경수(2007) “기상변화에 대응하기 위한 새로운 개념의 도로 배수설계 방향”, 한국도로학회 학술발표회 논문집, 한국도로학회, pp 349-354
8. 구혜진, 전경수(2008) “암거 설계 모형의 개발”, 2008년 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp 645-649
9. AASHTO (1999) “Highway drainage guidelines. American Association of State Highway and Transportation Officials.”, Washington, D.C., USA.
10. AASHTO (2005) “2005 Model drainage manual: SI Edition. American Association of State Highway and Transportation Officials.”, Washington, D.C., USA.
11. Chow, V.T. (1959) “Open-channel hydraulics.”, McGraw-Hill.
12. CulvertMaster, BENTLEY. (www.bentley.com).
13. Guo, J.C.Y. (1997) “Street hydraulics and inlet sizing.”, Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado. U.S.A.
14. Naqvi, M. (2003) “Design of linear drainage systems.”, Thomas Telford.
15. Wong, T.S.W. (1994) “Kinematic wave method for determination of road drainage inlet spacing.”, Advances in Water Resources, Vol. 17, pp. 329-336.