

도로의 빗물받이 간격을 고려한 우수관거 최적설계

Optimal Design of Drainage Pipe Considering a Distance of Storm Water Grate Inlet in Road

장동일* · 이정호** · 전환돈*** · 김종훈****

Chang, Dong Eil · Lee, Jung Ho · Jun, Hwan Don · Kim, Joong Hoon

Abstract

This study presented a design model optimizing a distance of inlet with drainage pipe laid under the gutter in road. When the distance of inlet changed, a basin for the gutter divided by the distance of inlet and the inflow coming into the gutter would be changed. In this case, the change of inlet distance causes the change of a diameter of drainage pipe and slope because of the change of capacity. Therefore, the optimization is needed to design the combination of them for the distance of inlet. Genetic Algorithm is used to determine the optimal combination of them. The conditions of road and the precipitation were assumed like a real and the range of inlet distance adopted 10~30 m which has been introduced in domestic. This model presented the optimal distance of inlet and the combination of pipe and slope through the minimum cost. The result of the study is that the optimal distance of inlet is different from each slope of road and it can reduce about 20% of total cost for the distance of inlet.

Keywords: Storm water grate inlet, Genetic algorithm, Gutter, Optimal design

요 지

본 연구에서는 도로 측구에 매설된 우수관거와 함께 빗물받이 간격을 최적화하는 우수관거 최적 설계 모형을 제시하였다. 빗물받이 간격이 변화하면 각 측구에 대한 유역면적이 변화하게 되며, 각 측구로 유입되는 유량을 또한 변화시키게 된다. 각 측구로 유입되는 유량이 달라질 경우 하부에 매설된 우수관거의 필요용량이 달라지므로 관경의 변화가 요구되는 결과를 낳는다. 즉 빗물받이 간격이 달라진다면 빗물받이 개수, 각 우수관거의 관경 및 연장, 그리고 관거별 경사 등의 설계조합이 달라진다. 그에 따라서 최소비용을 위한 빗물받이 간격 별 우수관의 설계조합은 최적화를 통하여 해결해야한다. 수리학적 조건을 만족하는 빗물받이 간격 및 우수관의 설계조합을 유전자 알고리즘을 통하여 결정하였다. 도로의 조건들은 실제도로에 맞게 가정하였으며 강우조건은 서울지방의 재현기간 10년 지속시간 1시간 강우를 사용하였다. 현재 하수도 시설기준 및 여러 기준에 의해 포괄적으로 소개된 빗물받이 적정 간격은 10~30m이므로 본 모형을 이용한 빗물받이 최적 간격에 대한 해의 탐색은 이 범위 내에서 이루어졌다. 본 연구는 도로의 경사조건에 따른 빗물받이 최적간격과 우수관의 최적조합을 최소 건설비용을 통하여 제시하였으며 본 연구에 의해 획득된 결과에 의하면 노면경사에 따라 최적 빗물받이 간격이 다르며 빗물받이 간격에 따라 공사비용을 최대 20% 감소시킬 수 있었다.

핵심용어 : 빗물받이, 유전자 알고리즘, 측구, 최적설계

1. 서 론

노면에 흐르는 빗물은 도로의 측구로 유입되어 빗물받이를 통하여 차집 된다. 도로의 측구는 노면수를 빗물받이까지 이동시키는 중요한 역할을 할 뿐만 아니라 도로에서 유일한 배수 수로의 역할을 담당하고 있어 그 형상과 규모에 대해 많은 연구가 수행되었다. 또한 빗물받이로 유입되는 유량 및 측구를 따라 다음 빗물받이로 흐르는 통과유량에 대한 산정

식에 대해 연구도 꾸준히 진행되어 왔으며 그 산정 식 또한 빗물받이 형상과 크기에 따라 다양하게 소개되어있다.

빗물받이 간격에 따른 측구 유량의 차집효율에 대해서는 많은 연구가 진행되어왔다. 외국의 경우 빗물받이 차집능력에 대한 이론적 실험적 연구가 다양히 실시되었는데 John Hopkins Univ.(1956)에서는 빗물받이 유입부를 위어로 가정하여 유입부 간격 계산식을 제시하였으며 Russam(1969)은 빗물받이 간격에 따라 빗물받이가 담당하는 도로 면적에 떨

*고려대학교 공과대학 건축·사회환경공학과 석사과정 (E-mail : circuspk@korea.ac.kr)

**고려대학교 방재과학기술연구센터 연구교수

***정회원 · 한밭대학교 토목공학과 전임강사

****정회원 · 고려대학교 공과대학 건축·사회환경공학과 교수(교신저자)

어지는 경우는 해당 빗물받이로 전량 유입된다는 가정 하에 유입부 간격 계산식을 제시하였다. 또한 Rollin(1994)은 연석 유입부(curb-opening inlet)와 쇠살대 유입부(grate inlet)의 차집효율 향상에 대해 소개하였으며 Wong(1997)은 빗물받이 크기에 따라 측구에서 차집유량의 효과에 대해 연구하였다.

국내의 경우 빗물받이 설치 간격에 관하여 '도로설계편람(국토해양부, 2001)'의 경우 20 m 정도로 제시되고 있으며 '하수도 시설기준(환경부, 1998)'은 노면배수의 빗물받이 간격을 20~30 m로 제한하고 있다. 또한 '단지설계법(토지개발공사, 1999)'에서는 도로 폭 및 경사 등을 고려하여 30 m 이내에서 적당한 간격으로 설치하도록 권장하고 있다. 이처럼 빗물받이 간격에 대한 명확한 기준이 제시되어 있지 않으므로 실무에서의 기술적인 판단 근거의 마련이 어려운 실정이다.

최근 이종태 등(2003)는 빗물받이 간격에 따른 수리모형을 제작하여 노면의 종경사, 횡경사, 측구의 종경사, 횡경사 및 지역상수를 고려하여 다양한 강우조건 하에서 빗물받이로 유입되는 유량에 대한 차집효율 및 차집유입량 산정 회귀식을 제시하였으며 차집효율 면에서의 적정 빗물받이 간격을 제시하였다. 김재권 등(2006)은 소규모 도로에서의 합리적인 배수 시설로 부각되는 횡유입부의 차집효율을 빗물받이 유입부의 크기에 따른 가능 최대 차집유량과 그에 따른 효율을 분석하였다.

그런데 빗물받이로 유입되는 유입수는 빗물받이 간격이 변화할 경우 각 빗물받이에 대한 유역면적이 변화하며 그로 인하여 유입량 또한 변화한다. 이러한 경우 유입량에 따른 관경의 변화와 적정 관내 유속을 위한 관경사의 변화는 불가피하게 된다. 따라서 빗물받이 간격에 대한 변화는 관경 및 관경사를 동시에 고려하는 조합의 문제가 된다.

본 연구에서는 도로의 빗물받이 간격을 고려하여 우수관의 최적설계를 수행하는 모형을 유전자 알고리즘을 이용하여 제시하였으며 빗물받이 간격의 변화에 따른 관경 및 관경사에 대한 최적 조합을 최소비용 관점에서 비용함수를 이용하여 결정하였다.

2. 배경이론

2.1 유전자 알고리즘

최적화 방법 중 발견적(heuristic) 방법으로는 SA(Simu-

lated Annealing), TA(Taboo Search), 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm, GA) 등이 폭넓게 사용되고 있다. 다윈의 적자생존의 원리에 기반한 유전자 알고리즘은 Holland(1975)에 의하여 개발되었으며 Goldberg(1990) 등에 의하여 다양한 최적화 문제에 대해 적용되었다.

본 연구에서 최적화 문제의 해결을 위하여 채택된 유전자 알고리즘은 자연계에 있는 생물의 진화과정에 있어서 개체군(population) 중에서 환경에 대한 적합도(fitness)가 높은 개체가 높은 확률로 살아남아 재생(reproduction)할 수 있게 된다. 이때 교배(crossover) 및 돌연변이(mutation)로써 다음 세대의 개체군을 형성하는 알고리즘을 인공적으로 모델링한 것이다. 본 연구에서 도로변의 우수관거 설계에 있어서 최소비용의 설계를 위하여 빗물받이 간격 변화에 따른 관경 및 관경사의 최적 조합 문제를 해결하기 위하여 유전자 알고리즘을 이용하였다.

2.2 빗물받이 유입량 산정방법

그림 1에서 Q_m 은 도로 빗물받이 간격에 의해 구분되는 각 구간 도로 면적에서 발생하는 노면 유출수가 측구로 유입될 때 측구로 흐르는 총 유량을 나타내는 것이고 Q_i 는 측구로 흐르는 총 유량(Q_m)이 빗물받이를 통하여 배출될 때의 유출량을 나타내는 것이다. Q_b 는 Q_m 이 해당 구간의 빗물받이로 전원 배수되지 못하고 다음 구간으로 통과될 때의 유량을 나타낸다.

Wong(1997)은 측구의 유량 과 종단경사 S_L , 횡단경사 S_c , 지역상수 K 의 관계에 의해 유입부에 유입되는 유량 Q_i 가 결정된다는 가정 하에 식(1)의 형태를 제시하였다. 여기서 S_L 은 종단경사, n 은 조도계수, z 는 측구의 횡경사의 역수($z=1/S_c$), w 는 측구에 흐르는 유량 흐름 폭이다.

$$Q_i = K_1 Q_m^{K_2} S_c^{K_3} S_L^{K_4} \quad (1)$$

이종태 등(2003)은 폭 1.2 m, 길이 7 m의 조립식 앵글로 도로노면을 제작하여 수리실험을 실시하여 관측한 수리 결과로부터 식(1)과 유사한 차집유량 산정 회귀식을 식(2)와 같이 도출하였다. 식(2)는 빗물받이 유입부 크기 40 × 50 cm에서 종경사 0, 2, 5, 7% 일 때, 횡경사를 4, 7, 10% 유량을 변화시키면서 실측치를 회귀 분석한 결과이다.

$$Q_i = 1.486 Q_m^{0.899} S_c^{0.124} S_L^{-0.0278} \quad (2)$$

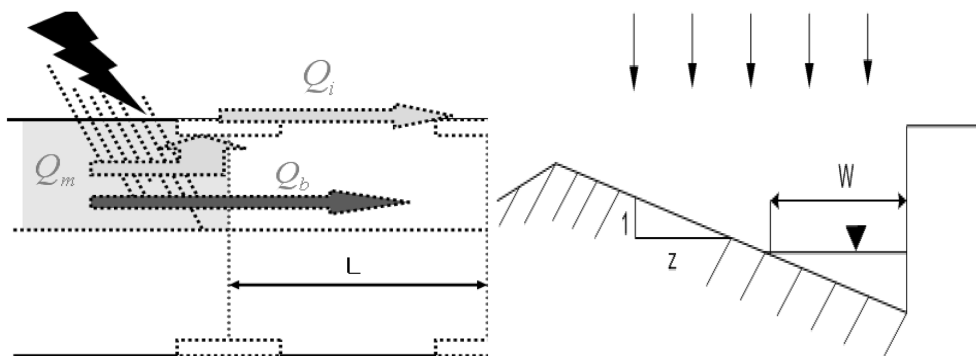


그림 1. 도로의 모식도 및 횡단면도

본 연구에서는 국내 일반적인 빗물받이 크기가 40 × 50 cm 이므로 식 (2)를 이용하여 빗물받이 유입량(Q_i)를 산정하였으며 이 때 측구에 흐르는 총 유량 Q_m 은 식 (3)의 합리식을 통하여 산정되었다. 여기서 C는 배수구역의 특성에 따라 결정되는 유출계수이며 I는 강우강도(mm/hr), A는 유역면적(ha)이다. 통과유량(Q_b)은 측구에 흐르는 총 유량(Q_m)과 유입부로 유입되는 유량(Q_i)의 차로써 산정되어지며 이것은 다음의 식 (4)와 같다.

$$Q_m = 0.2778 C I A \quad (3)$$

$$Q_b = Q_m - Q_i \quad (4)$$

3. 최적 설계모형 구성

3.1 목적함수

본 연구에서 개발된 우수관거 최적 설계모형의 목적은 빗물받이 설치 간격과 관경 및 관경사의 최적 조합의 설계를 통하여 우수관과 빗물받이를 설치하는데 드는 비용을 최소화 하는 것이다. 비용의 산정은 관경에 따른 관거의 재료비(pipe cost)와 관거 매설 시 절 · 성토에 따른 토공비(land cost) 및 빗물받이 개당 단가로 결정되는 빗물받이 설치비(inlet cost)로 구성된다. 다음의 표 1은 ‘건설적산(대한건설협회, 2007)’에 수록된 각종 단가를 나타내고 있으며, 여기서 빗물받이의 경우 최상대 유입부(grate inlet)로 가정하였다. 따라서 본 모형에서의 목적함수는 다음의 식 (5)와 같으며, 여기서 n은 전체 도로 구간에서의 빗물받이 간격에 따른 구간 수를 의미한다.

$$Min Cost = \sum_{i=1}^n Pipe Cost + \sum_{i=1}^n Inlet cost + \sum_{i=1}^n Land Cost \quad (5)$$

제약조건으로는 유속조건과 경사조건 그리고 경사에 따른 우수관거 말단부의 매설심도가 고려되었다. 하수도시설기준(환경부, 1998)는 우수관 유속조건으로 유사와 부유량의 침전을 방지하기 위해 최소 유속조건 0.8 m/sec보다 커야하며 관

경을 유발할 수 있는 최대유속조건 3 m/sec 보다 작아야한다는 설계기준을 제시되어 있다. 본 최적설계 모형은 이상의 유속조건을 모형에 적용하였으며 관의 경사는 역 경사를 방지하기 위해 0보다는 커야한다는 조건과 동결방지를 위한 매설깊이 조건도 고려하였다. 이상의 제약조건은 다음의 식(6), (7) 및 (8)과 같다.

$$0.8 \text{ m/sec} \leq Velocity \leq 3.0 \text{ m/sec} \quad (6)$$

$$Slope > 0 \quad (7)$$

$$Depth \leq 1 \text{ m} \quad (8)$$

3.2 모형구성

빗물받이 간격이 변화하면 각 측구에 대한 유역면적이 변화하며 측구에 흐르는 총 유량 Q_m , 통과유량 Q_b 및 빗물받이 유입량 Q_i 가 달라진다. 본 모형은 그림 2에서와 같이 전체 도로 구간이 빗물받이 간격의 설정에 의하여 구분될 경우 구간 A_1 에서 발생하는 통과유량을 다음 구간 A_2 의 측구에 흐르는 총 유량에 누적함으로써 실제 설계모형과 동일한 유량 흐름을 가지도록 모형을 구성하였다.

본 연구에서는 빗물받이 간격에 따라 구별되는 구간에서 수리학적 조건을 만족하는 빗물받이 간격, 관경 및 경사를 변수로 하여 개체를 생성하였다. 목적함수인 최소비용으로 적합도 검사를 한 후 일점 법에 의해 교배를 실시하였다. 기존에 생성되어 교배된 세대에 돌연변이를 발생시켜 보다 나은 성질을 가진 세대가 출현 할 수 있도록 모형을 만들었다. 본 연구에서 사용된 유전자 알고리즘은 20개의 개체에 대하여 룰렛 휠 방법으로 적합도를 평가하였으며 교배확률은 25%, 돌연변이 발생확률은 1%로 적용되었다. 유전자 알고리즘은 확률론적 모형으로 지역 해에 빠질 수 있는 위험성을 가질 수 있다. 그러므로 본 연구는 모형 종료 조건(stop rule)을 최적해 선택의 과정을 반복적으로 수행하며 하나의 세대에 대한 최소값이 일정한 세대 진행에도 불구하고 값이 개선되어지지 않는 경우를 모형의 종료 조건(stop rule)으로 채택하

표 1. 비용 산정표

Pipe diameter (mm)	300	400	500	600	700	800	1000
Pipe cost (won/2.5 m)	44,910	50,760	66,000	90,600	122,600	159,730	253,800
Inlet cost (40 × 50 cm)	56,400 (won/개)						
Land cost	868 (won/)						

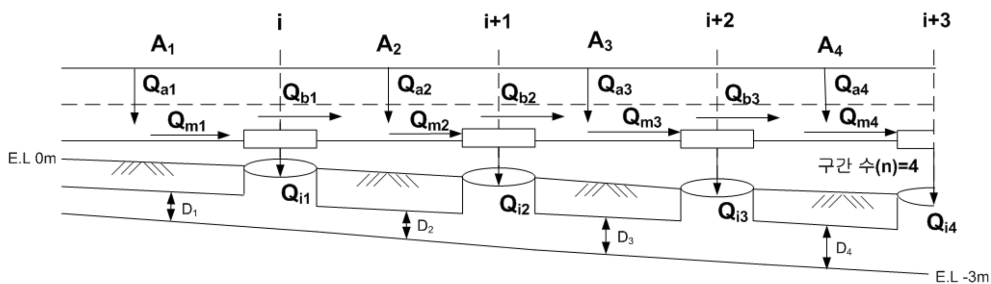


그림 2. 도로 구간별 유량 산정 모식도

표 2. 구간 별 유량

구간	측구 유량(Q_m)	통과유량(Q_b)	관거 내 유량(Q_i)
A_1	Q_{a1}	Q_{b1}	Q_{i1}
A_2	$Q_{a2} + Q_{b1}$	Q_{b2}	$Q_{i1} + Q_{i2}$
A_3	$Q_{a3} + Q_{b2}$	Q_{b3}	$Q_{i1} + Q_{i2} + Q_{i3}$

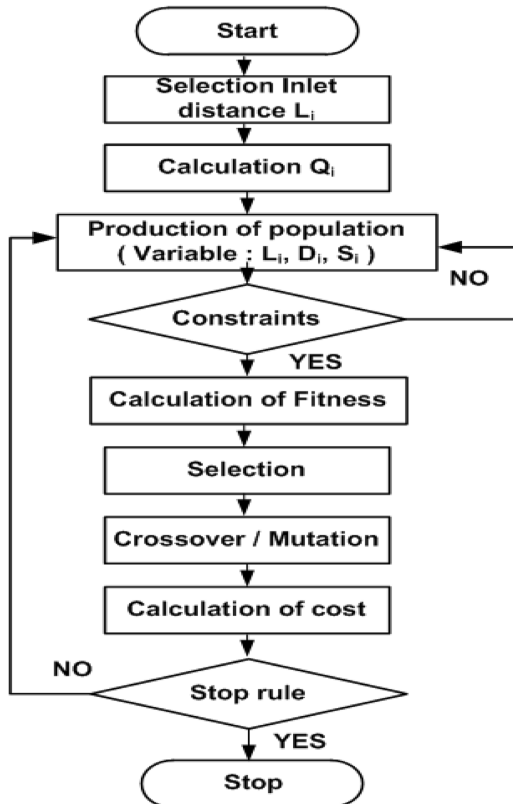


그림 3. 모형 흐름도

표 3. 도로 및 강우조건

차선	6	강우지속시간(hr)	1
차선 폭(m)	3.5	강우빈도(year)	10
빗물받이 종류	Grate inlet	강우량(mm)	76.6
도로포장	Asphalt con.	총 연장(m)	500
횡방향 경사(%)	0.2	종방향 경사(%)	2, 1, 0.6, 0.2

었다. 본 연구에서는 50,000회의 세대 진행을 그 기준으로 하였다. 그림 3은 본 최적설계 모형의 순서도이다.

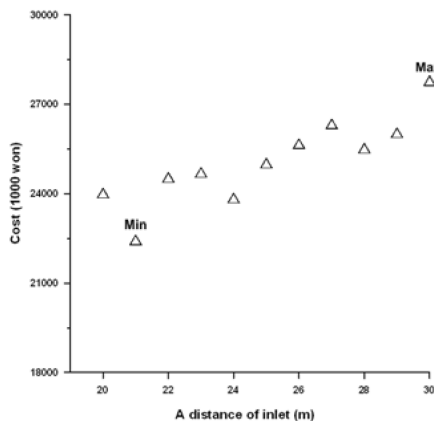
4. 적용 및 결과

4.1 대상유역 현황

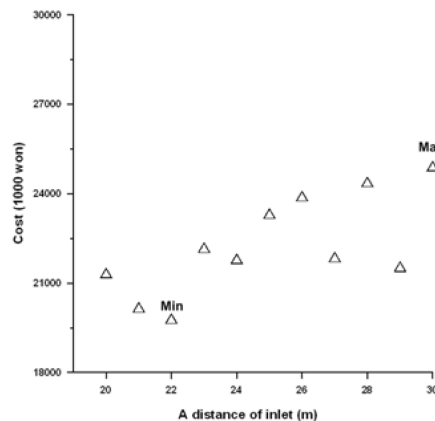
본 모형에서 고려된 도로 조건은 차선폭 3.5 m의 편도 6 차선 도로이며 도로의 종방향 경사는 2%, 1%, 0.6%, 0.2%이며 횡방향 경사는 0.2%로 총 연장 500 m에 대해 일정하게 가정하였다. 적용된 도로구간에서 별도의 외부 유입수는 없으며 도로 노면에 떨어지는 경우에 의해 발생하는 노면수가 유일한 유입 유량이다. 강우는 설계빈도에 해당하는 재현 기간 10년의 강우를 채택하였으며, 침투유출량 값이 가장 큰 지속시간 1시간의 강우에 대하여 식 (3)의 합리식을 이용하여 유출량을 산정하였다. 본 모형은 빗물받이 간격을 20~30 m 사이에서 1 m 간격으로 구동하였으며 빗물받이 간격 10~20 m 부분은 산정된 유입량 값이 작아서 유속의 제약조건을 만족시키지 못하므로 본 모형에서는 제외하였다.

4.2 적용결과

다음 그림 4는 유역에 대한 모형의 적용성을 검증하기 위하여 노면 경사에 따른 빗물받이 간격별 최소비용을 나타내고 있다. 각 경사에 따른 적용 결과에서 빗물받이 간격에 대하여 최소비용은 어떠한 경향을 보이지 않았으며 각 노면 경사에 따른 최소비용과 최적간격을 살펴본 결과 도로 노면 종경사 2%에서는 빗물받이 간격이 21 m일 때 최소비용을 얻을 수 있었으며 도로 노면 종경사 1%에서는 빗물받이 간격이 22 m일 때 최소비용을 얻을 수 있었다. 도로의 노면 종경사가 2%, 1%인 경우 모두 빗물받이 간격이 최대인 30 m에서 최대비용 나타내었다. 도로 노면 종경사 0.6%일 때 최소비용과 최대비용은 빗물받이 간격이 29 m, 30 m에서 나타났으며 본 연구에서 최소 도로 노면 종경사인 0.2%인 경우 도로 노면 종경사 1%와 마찬가지로 빗물받이 간격 22 m에서 최소비용을 얻을 수 있었다. 도로 노면 종경사 2% 일 때 빗물받이 최적간격 별 최대비용과 최소비용의 차가 가장



(a) 도로 노면 종경사 2%



(b) 도로 노면 종경사 1%

그림 4. 경사에 따른 빗물받이 간격별 최소비용(계속)

표 4. 도로 노면 경사별 우수관 최적설계

도로 노면 종경사 2%			도로 노면 종경사 1%		
Inlet distance (m)	Pipe diameter (mm)	Pipe slope	Inlet distance (m)	Pipe diameter (mm)	Pipe slope
21	300	0.002	22	300	0.008
42	300	0.002	44	300	0.010
63	400	0.003	66	300	0.008
84	400	0.010	88	400	0.004
105	400	0.001	110	400	0.003
126	450	0.002	132	400	0.003
147	450	0.006	154	450	0.003
168	450	0.001	176	450	0.004
189	500	0.001	198	500	0.001
210	500	0.004	220	500	0.002
231	500	0.002	242	500	0.003
252	500	0.002	264	600	0.007
273	500	0.001	286	600	0.002
294	600	0.005	308	600	0.002
315	600	0.001	330	600	0.005
336	700	0.007	352	700	0.003
357	700	0.006	374	700	0.003
378	700	0.003	396	700	0.002
399	800	0.001	418	700	0.007
420	800	0.005	440	800	0.002
441	800	0.003	462	800	0.008
462	1000	0.001	484	800	0.008
483	1000	0.004	500	1000	0.004
500	1000	0.006			

표 4. 도로 노면 경사별 우수관 최적설계(계속)

도로 노면 종경사 0.6%			도로 노면 종경사 0.2%		
Inlet distance (m)	Pipe diameter (mm)	Pipe slope	Inlet distance (m)	Pipe diameter (mm)	Pipe slope
29	300	0.008	22	300	0.008
58	400	0.001	44	300	0.010
87	400	0.002	66	300	0.008
116	400	0.005	88	400	0.004
145	400	0.001	110	400	0.003
174	450	0.001	132	400	0.003
203	450	0.003	154	450	0.003
232	450	0.001	176	450	0.004
261	450	0.002	198	450	0.001
290	500	0.001	220	500	0.002
319	600	0.004	242	500	0.003
348	700	0.001	264	600	0.007
377	700	0.006	286	600	0.002
406	700	0.005	308	600	0.002
435	800	0.003	330	600	0.005
464	800	0.001	352	700	0.003
493	900	0.004	374	700	0.003
500	900	0.002	396	700	0.002
			418	700	0.007
			440	800	0.002
			462	800	0.008
			484	800	0.008
			500	900	0.004

표 5. 빗물받이 최적간격 별 비용

	노면경사 2% (최적간격 21 m)	노면경사 1% (최적간격 22 m)	노면경사 0.6% (최적간격 29 m)	노면경사 0.2% (최적간격 22 m)
최대비용(천원)	27,795	24,922	24,208	23,418
최소비용(천원)	22,467	19,820	20,250	19,820
감소액(천원)	5,328	5,102	3,958	3,598
감소비율(%)	19.17	20.47	16.34	15.36

크게 나타났으며 최대 감소비율은 20.47%로 도로 노면 종경사 1%에서 나타났다.

다음의 표 4는 도로 노면 경사에 따른 빗물받이 간격별 최소비용으로 산정된 최적 빗물받이 간격의 환경과 환경사의 최적조합을 나타낸 표이다.

표 5에서 나타내는 바와 같이 노면의 경사가 작을수록 비용절감을 가져올 수 있으며 그 이유는 토공비의 절감이 주된 요인으로 판단된다. 본 모형의 적용 결과 빗물받이 간격에 따른 우수관거의 최적 설계를 통하여 다양한 노면 경사의 도로 구간에 대한 비용 절감의 효과가 검증되었다. 이때 우수관거 설계에 따른 최대비용은 본 모형과 동일한 조건하에 유전자 알고리즘을 통한 최대의 비용이 산출되는 결과에 따른 것이다. 또한 각 노면 경사에 따른 빗물받이 최적 간격은 어떠한 경향성을 나타내고 있지 않으므로 빗물받이 간격을 고려한 우수관거의 설계에 있어서 빗물받이 간격, 구간별 환경 및 관 경사의 최적 조합의 문제는 본 연구에서 개발된 설계 모형을 통하여 해결될 수 있다.

5. 결 론

본 연구는 도로 측구에 매설된 우수관거와 함께 빗물받이 간격을 최적화하는 설계모형을 제시하였다. 최적설계를 하기 위해서 비용을 최소화하며 수리학적 조건을 만족하는 환경과 환경사의 최적조합을 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)을 이용하여 산정하였다. 기존의 포괄적인 빗물받이 설치 간격 제시안보다 본 모형은 우수관의 수리학적 면과 비용 면에서 객관적인 결과를 줄 수 있으며 본 연구에 의해 획득된 결과에 의하면 노면경사에 따라 최적 빗물받이 간격이 다르며 빗물받이 간격에 따라 공사비용을 최대 공사비용 대비 약 15%에서 20%까지 감소시킬 수 있었다.

따라서 본 연구에 의한 결과는 도로구간의 우수관거의 설계가 빗물받이의 적정 간격의 설정과 함께 고려될 때 보다 효율적이고 경제적인 공사 시행이 가능함을 보여주고 있으며, 아울러 본 모형은 우수관거의 설계에 있어서 설계자의 의사결정에 활용 가능한 모형이 될 것이다.

또한 본 모형은 도로의 경사가 일정한 구간에서 쉽게 사용

할 수 있으며 만약 경사가 일정하지 않거나 총 연장이 긴 우수관 설계 시 맨홀을 이용해 구간을 나눠 모형을 사용할 수 있을 것이라 판단된다. 다만, 횡경사의 변화 및 곡선부와 같이 노면 조건이 변화되는 구간의 경우 유량 관계식의 보정 및 기타 제약 조건들에 대한 세밀한 추후 연구가 필요하며 이에 따른 본 모형의 개선이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업인 자연과 함께하는 하천복원기술개발 연구단(ECORIVER21)(06건설핵심B01)의 연구비 지원에 의해 수행 되었습니다.

참고문헌

국토해양부 (2001) **도로설계편람**.
 김재권, 김정수 (2006) 횡유입부의 차집효율분석. **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제39권, 제4호, pp. 260-266.
 대한건설협회 (2007) **건설직산**.
 이종태, 윤세의 (2003) 도로 빗물받이의 차집능력 분석. **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제36권, 제3호, pp. 465-480.
 토지개발공사 (1999) **단지설계법**.
 환경부 (1998) **하수도시설기준**.
 Goldberg, D.E. (1990) *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley, Reading, M.A.
 Holland, J.H. (1975) *Adaption in Natural and Artificial Systems*. Univ. MI Press.
 John Hopkins University (1956) *The design of storm water inlets*. Baltimore, Maryland, USA.
 Rollin, H.H. (1994) Improvements in curb-opening and grate inlet efficient. *Transportation Research Record*, No. 1471, pp. 24-30.
 Russam, K. (1969) *The hydraulic efficiency and spacing of BS road gulleys*. RRL report LR 27, Road Research Laboratory, Ministry of Transport, Crowthome, Bershire, UK.
 Wong, T.S.W.(1997) Effect of maximum flood width on road drainage inlet spacing. *Water Science Technology*, Vol. 36, No. 8, pp. 241-246.

◎ 논문접수일 : 08년 07월 22일
 ◎ 심사의뢰일 : 08년 07월 22일
 ◎ 심사완료일 : 08년 08월 07일