

환경친화적인 도로건설을 위한 도로 노면 유출수 오염원 처리기술



서 정 우 | 정회원 · GS건설(주) 기술본부 토목기술2담당 상무
김 종 화 | 정회원 · GS건설(주) 기술본부 도로팀 부장
황 환 구 | 정회원 · GS건설(주) 기술본부 도로팀 과장

도로 및 단지 등의 대단위 개발사업에 따른 환경 피해 문제가 국민적인 이슈로 떠오르며, 지속가능한 환경친화적인 도로 건설의 필요성은 날로 증대되고 있다. 특히 하천이나 산림을 통과하는 도로 건설은 차량 운행에 따라 퇴적된 각종 오염물질들이 강우 시 하천으로 흘러들어 생태계 및 상수원을 오염시키는 주요 오염원으로서, 이의 효율적 저감 처리를 위해 정부에서는 비점오염원관리 종합대책을 수립 발표하였다. 본사에서는 도로건설시 발생하는 비점오염원 처리를 위해 대학 BG-Link와 공동으로 도로부 비점오염원 정화처리 시스템(R-RCS, 특허 제0402625) 및 교량부 비점오염원 처리(B-RCS, 특허 제 0486105호) 시스템을 개발하여 도로건설에 적용하고 있으며, 본 기술에 대해 소개하고자 한다.

1. 국내 도로 비점오염원 현황

일반적으로 도로 노면 유출수와 같은 오염원을 비점오염원이라고 하는데, 이들 비점오염원은 4대강

유역에서 BOD성분을 기준으로 오염부하량 기여도가 22~37%에 이르며, 점차 그 비율이 증대되고 있는 실정이다. 도로 상에서 발생하는 비점오염물질의 문제점은 일반적으로 자연정화가 어려운 유기물 성분과 영양염류, 중금속 성분 등이 다량 포함되어 있어, 이들이 하천으로 유입될 경우 오염물이 축적되는 결과를 초래할 수 있다. 도로 노면 유출수는 기존에 이를 처리하기 위한 시설이 도로에 적용된 이력이 없기 때문에, 도로 노면에서 발생한 오염물질 등이 주변 토양 또는 하천유역에 직접 유입되는 등, 도시화가 진행됨에 따라 해당 지역에서의 오염물질 부하량은 지속적으로 증가하고 있는 실정이다. 따라서, 정부와 환경부에서는 현재 강화되고 있는 하천 수질 목표의 달성을 위해, 2003년 7개 부처 합동으로 각 분야별 비점오염원 저감 대책에 대한 세부 수행 추진 계획안을 수립하였으며, 2004년 한강유역 관리청에서는 팔당호 유역 인근 개발 사업 시 비점오염원 처리 시설을 반드시 설치하도록 규제하고 있다(국무총리실 외 2003 ; <http://www.hanriver.me.go.kr>). 또한, '03~'04년에 수행된 환경영향 평가 보고서에

서는 검토된 개발 사업 중 하천 횡단 교량의 경우 대부분 도로 노면 유출수 처리 시설을 설치하도록 권장하고 있다.

따라서 현재 도로 건설 사업 수행에 있어, 도로 노면 유출수 관리 방안 구축은 사업 추진 시 반드시 병행되어야 하는 항목 중 하나라고 할 수 있으며, 이러한 도로 노면 유출수를 처리하기 위한 시설로 최근에 표 1과 같은 다양한 기술들이 제안되고 있는 실정이다.

표 1. 도로 노면 유출수 처리시설

시설구분	저류형	침투형	식생형	장치형
처리기술	저류조, 인공습지	침투조, 유공포장, 침투도랑	식생여과대, 식생수로	여과조, 유수입 장치

표 1의 도로 노면 유출수 처리시설 대부분의 경우, 높은 용지보상비, 현장 접근성, 유지관리 측면 등을 감안해 보면, 국내 도로 현장에 적용하는 데에는 한계가 있을 것으로 판단된다.

2. 도로부 비점오염원 처리 시스템의 기본원리

비점오염원의 배출 특성을 표현하는데 있어, 강우 강도가 매 시간마다 일정하게 발생하지 않기 때문에 오염물질 배출 패턴을 시간에 따른 함수로 표현하기에는 다소 어려움이 있다. 따라서 시간과 유출 유량의 개념을 모두 감안하여, 유출되는 유량을 기준으로, 오염물질 배출특성을 나타내면, 그림 1과 같다. 그림 1을 살펴보면, COD의 경우 300~885mg/L, BOD는 54~189mg/L, TN은 8~48mg/L, TP는 0.14~2.05mg/L, SS는 35~272mg/L, Cu는 0.055~0.423mg/L, Zn은 0.394~3.317mg/L로, 강우 유출 초기에 대부분의 오염물질이 높은 농도로 배출되는 것을 알 수 있다.

따라서 당사에서는, 강우초기에 대부분의 오염물질이 배출되는 이러한 오염물질 배출특성 등을 감안하여, 초기 강우시 배출되는 오염물질을 중점적으로 처리하고, 이 후 고유량의 지속 강우수 부분에 대해서는 별다른 처리 없이 배출하게 되는, 경제적, 효율

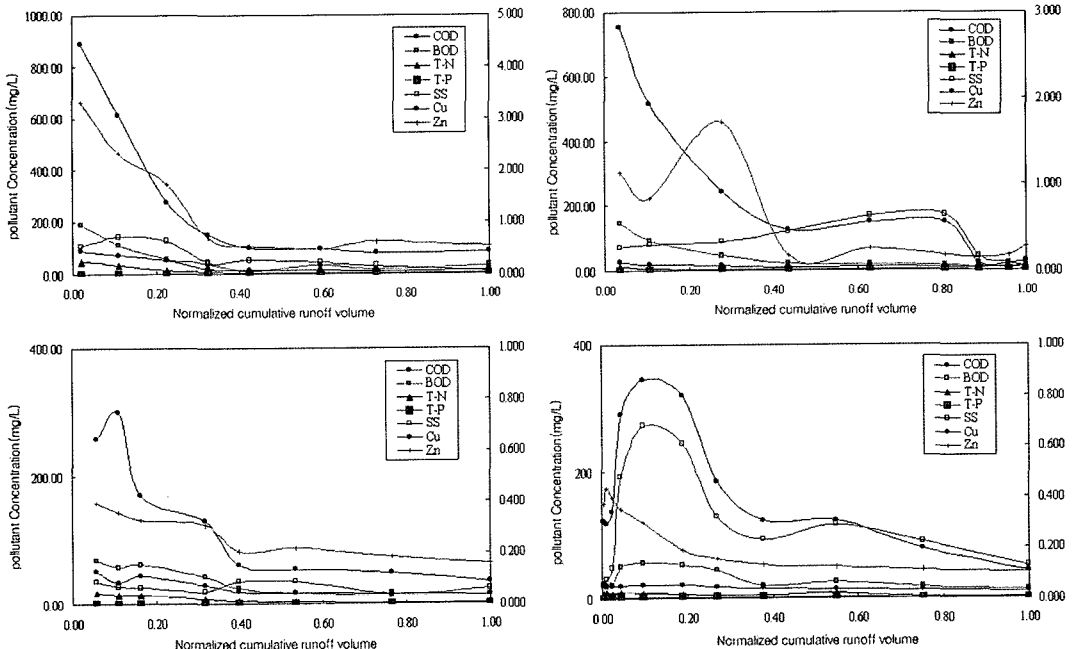


그림 1. 교량 상부 도로의 오염물질 배출특성

적인 저감시설을 개발하였다.

3. 도로부 비점오염원 처리 시스템 (R-RCS, Road Runoff Pollution Control system)

당사에서는 앞서 제시한 높은 농도의 노면 유출수를 처리하기 위해 토공 및 교량 도로부 저감시스템을 개발함에 있어, (1)다양한 오염물질을 처리할 수 있어야 하고, (2)기존의 배수 시설물이 갖는 배수능을 만족할 수 있어야 하며, (3)기존 배수 시설물이 설치된 지역에 적용할 수 있는 원위치 기술 개발을 통해 신규 시장에서는 설계기법을 최소화하고, (4)기존 건설된 도로에서는 교체 시공이 용이하도록 하며, (5)유지, 보수 등의 관리 업무가 용이하게 해야 한다는 점 등을 고려하였다.

3.1 도로부 비점오염원 처리 시스템 특징

개발된 도로부 비점오염원 처리 시스템(R-RCS)의 구성 및 특성은 그림 2와 같다. 도로의 외측부에 설치된 기존의 빗물받이 위치에 본 처리 장치를 그대로 적용하는 방법으로, 도로 2차선(12m) 종단방향 100m 규격의 집수면적에 적용이 가능하도록 하였으며, 이는 기존 고속도로에서 도수로가 설치되는 지점과 동일하다. 비점오염원 여과 장치는 크게 (1)여과조에 유입되기 전에 강우수에 포함되어 있는 고형 물질을 침전시키는 침전조, (2)중금속, 방향족 화합물과 같은 용존상태의 오염물질을 제거하기 위한 여과조, (3)도로 배수 강우수의 저유량의 오염물질의 농도가 높은 초기 강우수를 여과조로 유도하고, 고유량 부분은 유출구로 bypass시켜 원활한 배수능을 갖도록 하는 월류 유도부로 구성되어 있다. 특히 여과조는 오염물 저감 소재의 충전과 유지관리를 용이하게

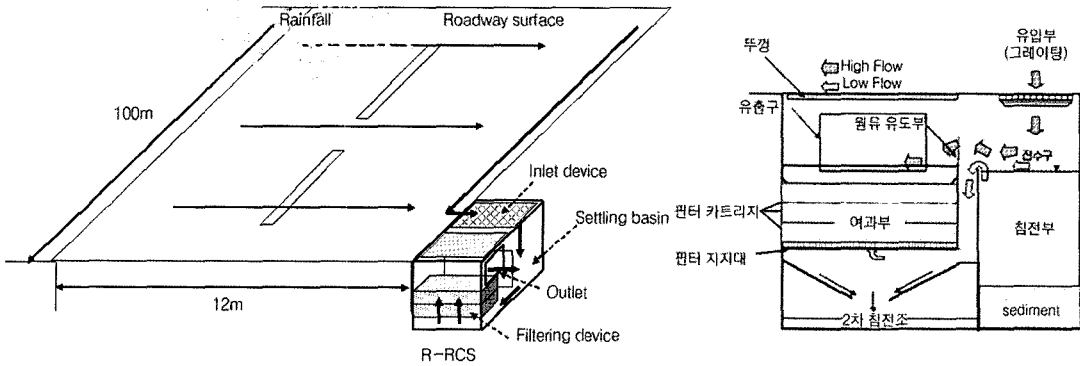
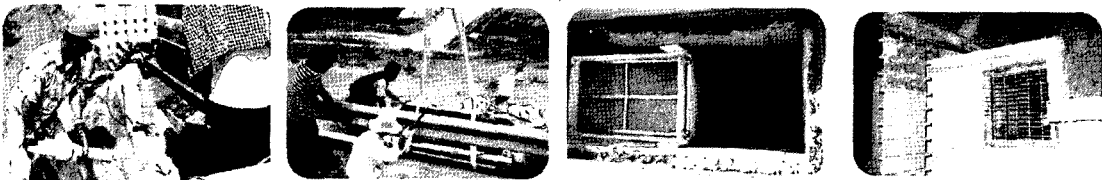


그림 2. 도로부 비점오염원 처리 시스템(R-RCS)



1. 기존 측구 제거
2. Conc' 박스 삽입
3. 여과 모듈 삽입
4. 주변 장치설치

그림 3. 도로부 비점오염원 처리 시스템(R-RCS) 시공순서

하기 위해 카트리지가 형식으로 제작되었으며, 시공순서는 그림 3과 같다.

3.2 시스템 수리 특성

본 시스템의 경우 강우강도 5mm/hr 정도를 여과할 수 있으므로, 전체 도로 발생 비점오염원의 80% 정도를 처리할 수 있는 수준의 처리유량이라고 할 수 있다.

3.3 처리 효율 특성

개발된 도로 노면 유출수 처리 시설의 처리 성능을 확인하기 위해, 천안-논산간 고속도로(충남 공주시 소재) 현장 빗물받이 2개소 위치에 본 처리 시스템을 설치하였으며, 강우 발생 시 그림 4와 같은 과정을 거쳐 처리되는 것을 확인하였다.

표 2와 같이 본 개발 시스템은 오염물질 전반적으로 높은 제거효율을 갖는 것으로 확인되었으며, 이는

한강 유역청이 제시한 비점오염원 처리 효율 기준을 상회하는 결과인 것으로 나타났다.

3.4 경제성 검토

도로 노면 유출수 처리시설의 초기시설 투자비를 기존의 국내 비점오염원 시장에서 유통되는 기술들과 비교·확인하였으며, 그 결과를 정리·요약하면 그림 5와 같다. 여기서 산정된 초기 시설 투자비는 도로 4차선(B=24m) 연장 5km에 해당되는 면적의 도로에 처리시설을 적용할 경우 소요되는 비용을 계산한 것이다.

식생 저류지의 경우, 넓은 부지 소요면적에 따라 이에 대한 용지 보상비용이 높게 산정되었으며, 타 기술의 경우 국외 도입기술로써 이에 대한 기술료 지분이 크기 때문에 시설비가 높게 산정되었다. 당사가 개발한 도로부 비점오염원 처리 시스템(R-RCS)의 경우, 다른 기술에 비해 저렴한 시공비가 소요되므로, 도로 건설 사업 시 예산 절감효과를 기대할 수 있

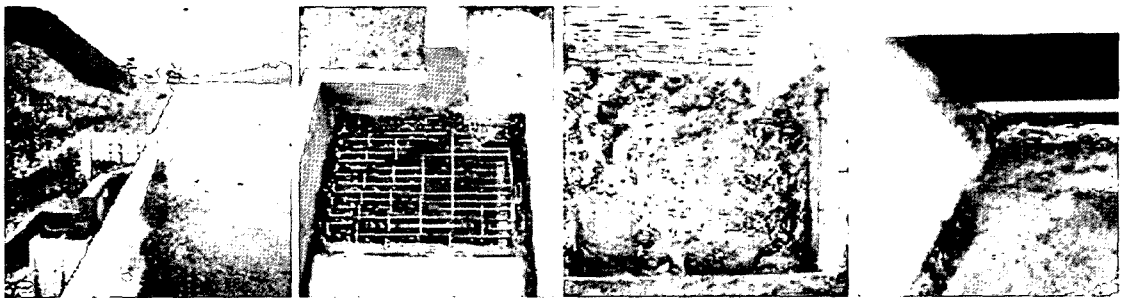


그림 4. 도로부 비점오염원 처리 시스템(R-RCS)의 비점오염원 처리과정

표 2. 도로부 비점오염원 처리 시스템(R-RCS)의 효율

구 분	BOD		COD		TN		TP		SS		Pb		Zn	
	유입 유출	효율	유입 유출	효율	유입 유출	효율	유입 유출	효율	유입 유출	효율	유입 유출	효율	유입 유출	효율
1	67.5	84.6	248	85.5	39.0	56.4	1.9	41.8	345.2	84.9	0.0258	87.9	0.2534	87.6
	10.4		36		17.0		1.1		52.1		0.0031		0.0312	
2	34.6	56.6	211.5	90.6	7.9	75.8	0.1	20	133.5	89.5	0.0564	56.6	0.5218	78.2
	15.0		19.8		1.9		0.0		14.0		0.0245		0.1134	

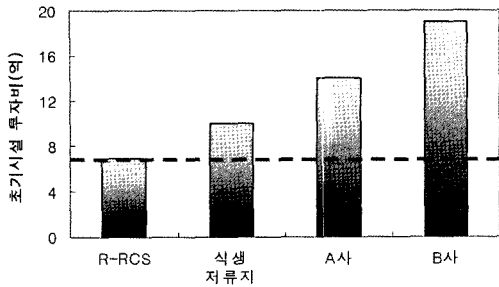


그림 5. 도로 노면 유출수 처리시설의 초기시설 투자비용 비교
을 것으로 사료된다.

4. 교량부 비점오염원 처리시설 (B-RCS, Bridge Runoff Pollution Control System)

4.1 현행 기술 검토

현행 교량부 노면 유출수 처리를 위해 제안되고 있는 방법은 교량 배수구에서 차집된 빗물을 종배수관을 통해 육상부에서 앞서 제시한 기술들을 통해 처리 후 방류하는 방법들이 대부분이다.

한강횡단 교량에 이와 같은 노면 유출수 저감시설을 적용할 경우, 한강 교량의 대부분이 1km이상의 장대교량이므로, 종배수관의 영향에 대한 문제가 다양하게 발생할 수 있다.

편도 2차선(도로 폭 12m)의 종단 방향 1km 양방향 배수형태(종단 경사 1%)의 교량의 경우, 강우 강도 120mm/hr의 강우가 발생하는 경우를 모의하고,

종배수관 내 하중영향을 계산하면 다음 표 3과 같다. 여기서, 계산된 하중은 양방향 일측 차선에 가중되는 하중이며, 전체적으로는 약 200ton의 하중이 종배수관 시공에 의해 발생된다고 하겠다.

또한, 대부분의 장대교량의 경우 종단 경사가 2% 내외로 크지 않은 경우가 대부분인데, 이와 같이 낮은 경사의 경우, 빗물 통과 유속이 낮은 관계로 종배수관 내에 노면 유출수중 모래 또는 부유물질이 관내로 침전되는 경우가 발생할 수 있다. 일반적인 하수관과와는 달리 종배수관의 경우, 유출부에 도달하는 동안 개방된 곳이 없으며, 침전물을 제거하기 위한 유지관리 작업이 난해하기 때문에, 사전에 부유물질에 의한 침전을 방지할 수 있도록 적절한 관경사를 산정·검토할 수 있어야 한다. 앞서 모의한 바와 같이 20m 간격으로 빗물받이가 설치될 경우, 종배수관의 빗물 유입 시점에서 종점부까지 관내 유속을 검토하면 표4와 같다. 또한 여기서 설정된 강우강도는 앞서 서울지역의 강우 분포 특성 중 일반적으로 발생하는 강우인 5mm/hr(전체 강우 빈도수의 80%이내)를 가정으로 산정하였다.

평균 강우 강도 시, 종배수관 전 구간에서 환경부에서 제시하는 우수관거 및 합류식 우수관거에서 요구하는 유속 기준(0.8m/sec 이상)을 만족하지 못하였으며, 건교부에서 제시하는 교량 배수관 경사(2% 이상)의 기준에도 만족하지 못했다(환경부, 1998).

이와 같이 전반적으로 교량부 노면 유출수를 처리하기 위하여 종배수관을 시공하는 경우, 장대 교량에서 여러 가지 문제점이 발견되는 것을 확인할 수 있

표 3. Weight estimation of drainage pipe and rainwater at design storm event

종배수관 길이, m	종배수관 관경, m	단위 거리 당 관 무게, ton/m	종배수관 무게, ton	관내 빗물하중, ton	총 하중, ton
500	0.45	0.03	16.95	34.17	51.12

표 4. Flow velocity estimation of rainwater at average storm event

종배수관 길이, m	20	100	200	300	400	500
통과 유속, m/sec	0.28	0.46	0.56	0.64	0.70	0.73

었으며, 당사는 이러한 중배수관의 문제점을 보완하고자 중배수관에 의한 별도 차집 없이 교량 배수구 원위치에서 처리 후 하천으로 배출할 수 있는 시스템을 고안하고자 하였다.

4.2 처리 시스템 특징

기존에 제안된 중배수관의 문제점을 해결하기 위하여, 당사가 개발한 교량용 저감 시스템은 아래 그림 6과 같이 2중관 형태의 처리 시스템을 기존의 빗물받이 위치(10m 간격)에 설치 가능하게 고안하였으며, 오염물질의 농도가 높은 저유량의 강우 강도에서는 그림 6(a)와 같이 침전조에서 부유물질을 침전시키고, 미립자와 용존상의 오염물질은 중공 원주상의 여과 소재(활성탄, 이온교환 수지, 부직포)가 충전된 필터 카트리지에서 횡방향 여과에 의해 오염물

질을 제거 후, 내측 원형관의 유출구를 통해 배출된다. 또한, 설계 강우 강도 또는 장마철의 고유량의 강우 강도 시에는 그림 6(b)와 같이 월류 후, 바로 배출되는 구조로 고안하였다.

4.3 처리 효율 특성

개발된 교량 비점오염원 처리 시설은 청계천 복원 공사 현장 내 창선방교(서울 종로 5가 소재)위치에 시공되었다.

4.4 경제성 검토

기존 기술의 비용 산정은 교량 집수 면적에 해당되는 용량의 처리시설과 이를 처리 시설까지 유도하는 중배수관의 시공비를 감안하여 계산하였고, 당사의

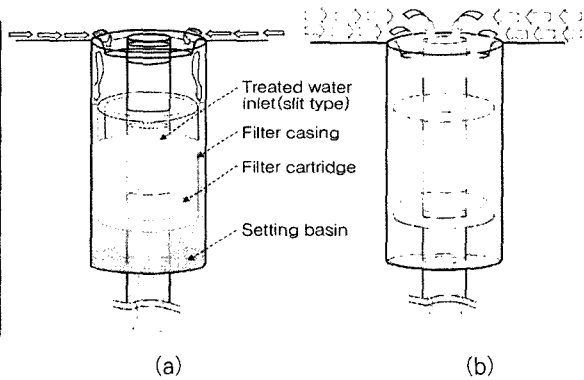
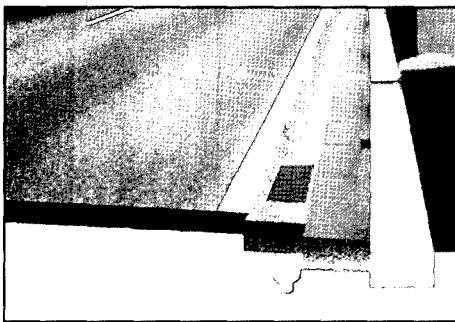


그림 6. Description of bridge runoff treatment process at treatment system
(a) first flush runoff inlet case (b) design storm runoff inlet case

표 5. Efficiency of bridge runoff treatment system

강우강도 mm/hr	COD		TN		TP		SS		Cr		Cu	
	유입 유출 ⁽¹⁾	효율 ⁽²⁾	유입 유출	효율	유입 유출	효율	유입 유출	효율	유입 유출	효율	유입 유출	효율
1	235.02 1.0	91.0	6.31 1.24	80.0	1.78 0.46	56.4	189.0 30.0	84.0	0.170 0.003	98.0	0.069 0.027	61.0
5	232.0 34.0	85.0	5.69 1.54	73.0	1.21 0.50	58.0	184.0 38.0	79.0	0.014 0.004	71.0	0.070 0.023	67.0

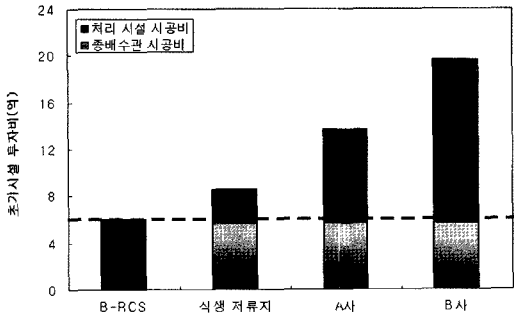


그림 7. Construction cost evaluation of bridge runoff treatment systems

노면 유출수 처리 시설(B-RCS)의 경우, 시스템 시공비와 재료비를 감안한 비용을 적용하였다.

또한 기존 시설 적용에서 종배수관을 앞 절에서 확인한 바와 같이 관경 500mm관을 사용하고, 부대 배수 시설물로 빗물받이, 연결관, 행거로드, 앵커 등을 적용하여 계산 하였으며, 이에 대한 비교 결과는 그림 7과 같다.

기존 시설의 경우 종배수관의 시공비가 전체 시설

투자비에 상당한 비중을 차지하는 것으로 나타났으며, B-RCS의 경우, 기존 기술의 종배수관 시공비와 비슷한 단가로 산정됨으로써, 타 기술에 비해 경제적인 시공 계획을 수립할 수 있다.

5. 결론

건설사업에 따른 환경 문제가 국민적 관심과 더불어 각종 이해당사자간의 분쟁 등으로 원활한 사업 추진에 어려움을 받고 있는 상황이다. 도로 건설에 따른 환경 문제는 크게 토양, 수질, 소음, 진동, 대기질, 생태 등으로 나누어 볼 수 있는데 우선 당사에서는 도로 건설에 따른 수질 및 토양의 오염을 저감하고자 본 기술을 개발 하였으며 앞으로도 도로 건설 및 공용에 따른 환경피해를 저감하고 관리하기 위한 경제적이고 효율적인 기술을 개발하여 환경친화적인 건설에 기여하고자 한다.

학회지 광고접수 안내

본 학회지에 게재할 광고를 모집합니다. 우리 학회지는 계간으로 매회 1,800부를 발간하여 회원과 건설관련 기관에 배포하고 있습니다. 회사 영업신장과 이미지 제고를 원하시는 업체는 우리 학회지를 이용하시기 바랍니다.

광고료 : 표 2, 표 4(300만원)

표 3, 간지(200만원)

※ 상기금액은 연간(4회)광고료임.

사단법인 **한국도로학회**

전화 (02) 558-7147 전송 (02)558-7149