

강우유출수의 침투시 부하저감을 위한 경사관 침전장치의 효율평가

Evaluation of Particle Removal Rate in Inclined-pipe Settling System for Stormwater Infiltration

김상래 · 김동근 · 문정수 · 한무영*

Sangrae Kim · Dongkeun Kim · Jungsoo Mun · Mooyoung Han*

서울대학교 건설환경공학부

(2009년 9월11일 접수, 2009년10월23일 채택)

Abstract

One of the alternative runoff management measures is on-site runoff mitigation, such as rainwater retention tank and infiltration facilities especially the latter that is possible to manage simultaneously runoff quality and quantity as a perspective of water-cycle. This study was conducted to develop a particle separator, inclined-pipe settling system, that could improve particle removal efficiency of road runoff as a pre-treatment device of stormwater infiltration. Solid particles larger than $100\mu\text{m}$ are separated by simple sedimentation; however, the significant amount of pollutants with a diameter less than $100\mu\text{m}$ remain in suspension. Without any treatment in that case of the runoff into infiltrate, groundwater would be deteriorated and also infiltration rate would be decreased by clogging. Therefore, we suggest optimal design parameters (inclined angle, pipe length, and surface loading rate) of inclined-pipe settling system which can be designed to effectively remove particles diameter smaller than $70\mu\text{m}$. Thus, the results showed TSS removal efficiency more than 80% with a particle diameter between $20\mu\text{m}$ and $70\mu\text{m}$, 100% above particle diameter $70\mu\text{m}$ for the inflow rate $0.018 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ with pipe inclined at angle 15° .

Key words : Inclined-pipe, storm-water runoff, Settling plate, Infiltration, Total Suspended Solids(TSS), Particle Size Distribution(PSD)

주제어 : 경사관, 강우유출수, 침전판, 침투, TSS, 입자크기분포

1. 서론

기후변화에 따른 강우량의 증가와 도시화에 따른 불투수 면의 증가는 강우시 유출량을 증가시켜 도시형 홍수의 원인이 되고 있다. 또한 유출총량의 증가는 지하로 침투되는 비율의 감소로 지하수위 저하 및 하천 건천화의 원인이 되고 있다(한무영 등, 2009). 수량적인 측면과 수질적인 측면에

서 유출부하를 동시에 저감시키기 위해 on-site 저류시설과 침투시설의 법·제도적 보급이 확대되고 있으며, 물의 순환적 측면에서 침투시설의 도입이 적극 권장되고 있는 실정이다. 침투시설은 “수질 및 수생태계 보전에 관한 법률” 제2조 12-2호 및 제53조, “자연재해 대책법” 제2조 6호 및 제19조에 근거하여 설치되고 있다.

기존 침투시설의 경우 강우시 발생하는 유출량에 비해 낮

* Corresponding author Tel:+82-, Fax:+82-, E-mail: myhan@snu.ac.kr(Han, M.)

은 침투능으로 인한 수량적 한계와 오염물질을 포함한 강우 유출수의 침투시 지하수의 수질을 악화시키고 토양폐색(soil clogging)으로 인해 침투효율이 감소되는 수질적인 한계가 있다. 침투시 수질적인 문제를 해결하기 위한 방법으로는 비점오염원 처리를 위한 습지, 침투연못 등의 자연형 시설과 여재를 이용하는 장치형시설들이 있으나 근본적인 해결책을 제시하지 못하고 있다. 김상래(2008) 등은 토양내 공기의 인위적 배출을 통해 침투능을 향상시켜 침투시 수량적 문제의 해결가능성을 제시한 바 있다. 침투능 저하 문제와 지하수 수질 악화 문제 등을 동시에 해결 할 수 있는 침투부하 저감시설의 개발 등 강우유출수의 적극적 관리가 요구된다.

강우유출수에는 5mm이상의 조형고체(gross solid)에서부터 10~125 μ m의 미세입자, 0.45~10 μ m의 콜로이드입자, 그리고 0.45 μ m이하의 용존물질 까지 입자상 물질에 부착된 오염물질들을 포함하고 있다(Kim et al., 2004; Engineers Australia, 2006). 100 μ m이상의 입자들은 중력침전에 의해 쉽게 제거가 가능하다(Andral et al., 1999). 강우량, 도시규모, 교통량 등 지역적 사회적 여건에 따라 연구자들 마다 많은 차이를 보이고 있지만, 강우유출수 입도분포에 따른 오염물질 농도를 측정한 결과 100 μ m 내외의 입자상 물질에 50% 이상의 오염물질이 존재하고 있음을 알 수 있다(Sartor et al., 1974; Andral et al., 1999; Vaze et al., 2004; Lee, 2005). 강우유출수에 기인하는 비점오염원이나 합류식하수관거 월류수(CSOs) 처리시설의 경우 대부분 수리동력학적 고품물 분리장치 또는 여과형의 장치형 시설들로 넓은 부지면적을 필요로 하며, 이들 대부분의 장치형 시설들은 100 μ m이하의 미세입자들을 처리하는 것이 어렵다(Andral et al., 1999). 따라서 중력침강 제거가 어려운 미세입자(100 μ m이하)의

처리를 위해 경사침전 원리를 적용하여 저비용 저에너지의 물리적 처리가 가능한 경사관 침전장치를 개발하고자 한다. 경사관이나 경사관에 대한 지금까지의 연구는 정수처리와 하수처리장 침전지에 대한 연구가 대부분이었다(김남찬, 1981; Letterman, 1999). 경사관 침전장치는 정수처리공정의 경사관 침전지나 하수처리공정의 1차침전지와 마찬가지로 유입수내 침전 가능한 입자를 침강분리 시키는 것이다. 중력에 의한 침전제거가 어려운 100 μ m이하 미세입자의 침전제거 효율을 규명함으로써 침투시설에 미치는 영향을 파악 할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 강우유출수의 침투부하 저감을 위한 경사관 침전장치 개발을 목표로 첫째 경사각에 따른 입자제거 효율, 둘째 경사관 길이에 따른 입자제거효율, 셋째 유량(부하율)변화에 따른 입자제거효율을 각각 경사관내 침전판의 유무에 따라 비교 분석하였다. 마지막으로는 도출된 실험결과를 바탕으로 시설의 설계, 운전 및 유지관리시 고려사항을 제시하였다.

2. 연구방법

2.1 실험장치 구성

본 연구에 사용된 경사관 침전장치는 Fig. 1에서와 같이 원수조, 조정조, 유입맨홀, 경사관, 침전판, 유출수조 등으로 구성된다. 원수조는 PE재질의 4각형 수조(200L)로 제작 하였다. Mixer를 두어 입자의 침전을 방지하였고 수중펌프(70 L/min) 2기를 두어 조정조로 유량을 보내고 잉여의 유량은 반송되는 구조를 취하였다. 조정조는 관경 400mm의 투명 아크릴로 제작하였으며 일정 수위를 유지시키며 오리피스 방

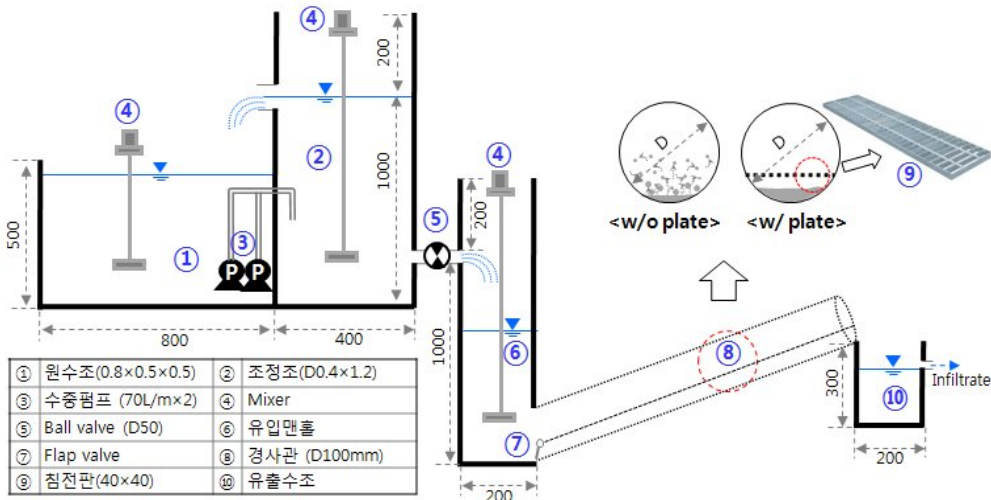


Fig. 1. Experimental setup of inclined-pipe settling system.

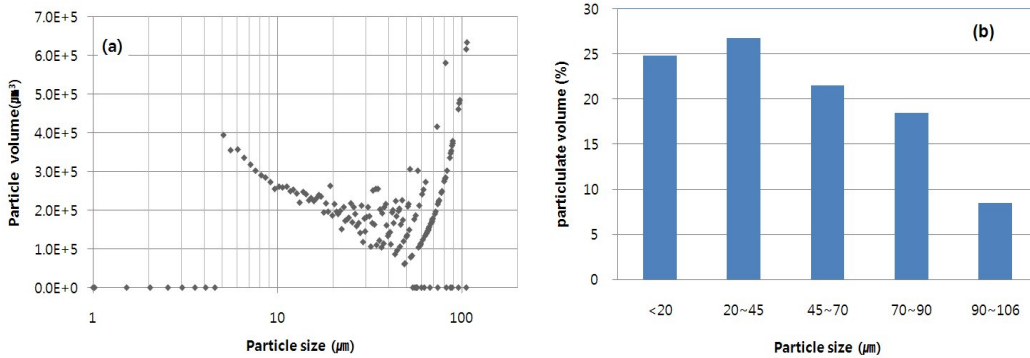


Fig. 2. Particle size distribution of suspended solids smaller than 106µm(a), particulate fractions associated with particle size(b)

식으로 공급유량을 조절하였다. 유입맨홀은 도로 측구의 집수정이나 건물 집수반이에서 연결되는 맨홀 또는 집수정에 해당하는 시설로 본 연구에서는 유입맨홀에 의한 입자의 침전 효과를 배제하기 위해 믹서 회전수를 조절하여 완전 혼합 상태에서 경사관에서만 침전이 이루어 질 수 있도록 하였다. 경사관에 의한 침전효율이 비점오염원 처리시설 기준인 TSS 80% 이상 제거를 만족시킬 수 없어 경사관내에 침전판을 두어 침전효율을 향상시키고자 하였다. 경사관은 투명아크릴관(D100)으로 1m단위 2개(1m×2EA)와 0.5m 2개(0.5×2EA)의 볼트접합으로 최대 3m까지 연결이 가능하도록 하였다. 침전판은 FRP 그레이팅을 가공하여 제작을 하였으며 Mesh크기(40×40mm)와 침전판의 유무에 따른 침전 효율 변화를 모의하고자 하였다. 침전판과 경사각, 부하율을 변화시켜가며 경사관을 통과시킨 유출수를 샘플링하여 TSS(Total Suspended Solid)와 입자의 크기분포(Particle Size Distribution, PSD)를 측정하였다. 부하율이 큰 경우 경사관내 유속 증가로 관바닥에 침전된 입자가 유실되는 것을 방지하기 위해 유입맨홀과 경사관 연결부에 플랩밸브(flap

valve)를 설치하였다. 유출수조는 경사관 침전장치에 연결되는 침투시설의 유입부에 해당하며 상등수가 침투시설로 유입되도록 하였으며 샘플링이 용이하도록 제작하였다.

2.2 실험방법

강우유출수 성상 분석에 대한 다양한 연구(Andral et al., 1999; Drapper et al., 2000; 이준호 등, 2005)를 참조하여 유입원수를 조성하였다. 사질토 샘플을 채취하여 105℃오븐 드라이 및 체분석(140번체, 106µm) 후 통과한 토양입자를 탁도 400NTU가 될 때까지 주입시켜 원수를 조성하였으며 원수의 입자분포는 Fig. 2(a)와 같고 입자크기별 비율은 Fig. 2(b)와 같다.

유입유량 조절은 집수면 100m²에 5, 10, 20mm/hr의 강우가 내리는 유출계수 1.0 조건의 유입량을 계산하였다. 또한 경사관 길이와 침전면적을 고려한 표면부하율 0.018~0.145 m³/m²·hr의 범위에서 경사각에 따른 입자의 침전 제거효율을 측정하였다. 경사관 침전장치 효율 측정을 위해 Table 1과 같이 실험조건들을 변화시켜 실험을 진행하였다.

Table 1. Combinations of experimental conditions and design parameters

Settling plate	Pipe length (m)	Loading rate (m³/m²·hr)	Inclined angle					Measurement item
			0	5	10	15	20	
w/o settling plate	1.5	0.018	●	○	●	○	●	TSS PSD
		0.036	●	○	●	○	●	
		0.075	●	○	●	○	●	
	3.0	0.036	●	○	●	○	●	
		0.075	●	○	●	○	●	
		0.145	●	○	●	○	●	
w/ settling plate	1.5	0.018	●	●	●	●	●	
		0.036	●	●	●	●	●	
		0.075	●	●	●	●	●	
	3.0	0.036	●	●	●	●	●	
		0.075	●	●	●	●	●	
		0.145	●	●	●	●	●	

●:실험값, ○:보간법에 의한 근사값

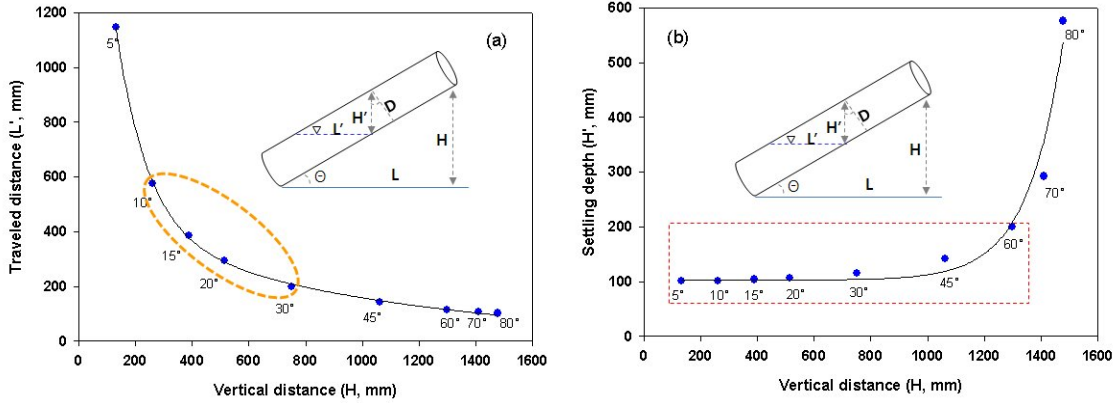


Fig. 3. Relationships of traveled distance and vertical distance(a), settling depth and vertical distance(b) for D100mm pipe with 1.5m length

먼저 침전판이 없는 경우 경사각, 관길이, 부하율에 따른 제거효율을 측정하였다. 이후 침전효율 개선 방안으로 경사관 내 침전판을 설치하였을 경우 얼마만큼 효율이 향상되는지 측정하였다. 이때 경사각은 0, 5, 10, 15, 20도로 변화 시켜 가며 유입 및 유출수의 TSS와 입경분포(PSD)를 측정하여 경사각에 따른 침전특성을 분석 제시하였다.

2.3 경사관 침전 영향인자

경사관 침전효율에 영향을 주는 인자들은 경사각, 경사관 길이, 표면부하율(Surface Loading Rate, SLR), 유입수의 TSS농도, 침전되지 않는 TSS농도 등이 있으며, 이러한 인자들의 조합을 통해 TSS제거효율을 분석하여 경사관의 성능을 확인하고자 하였다. 먼저 경사각의 변화가 침전효율에 미치는 영향을 알아보기 위해 D100mm, 길이 1.5m의 관에 대한 이론적인 경사각 범위를 Fig. 3과 같이 나타내어 경사각 실험범위를 결정하였다.

Fig. 3(a)에서와 같이 경사관내 입자의 이동거리는 경사각이 증가할수록 짧아져 침전효율이 감소하게 되므로 경사각 범위를 15도 내외로 하는 것이 적정할 것으로 판단된다. Fig. 3(b)에서는 경사각이 증가 할수록 경사관 침전 깊이가 증가하여 침전효율이 감소한다는 것을 알 수 있다. 또한 Fig. 3(b)는 경사각을 60도 이상으로 하는 경우 침전깊이가 급격히 증가하여 침전효율이 감소하게 되므로 기존의 정수장이나 하수처리장의 경사관 침전에서 경사각을 60도로 제시하는 근거가 될 것으로 사료된다. 따라서 본 연구에서는 TSS 제거효율을 나타내기 위한 이론적인 경사각 0~20도, 경사관 길이 1.5m와 3.0m, 표면부하율은 강우강도 5, 10, 20mm/hr의 조건을 가정한 0.018~0.145m³/m²·hr 범위에서 TSS제거효율 실험을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 경사각에 따른 TSS 제거효율

3.1.1 Case 1-침전판 미설치

관의 경사만을 조절하여 부하율에 따른 TSS 제거효율 결과를 Fig. 4와 같이 나타내었다. 경사관 침전은 이론적인 한계에 근접하는 침전효율을 얻기 위한 물리적 단위조작으로 Fig. 4와 같이 경사각의 물리적 증가에 따른 입자 제거효율의 선형적 증가는 예상된 결과이다. 부하율 0.018~0.072m³/m²·hr 범위에서는 부하율 변화에 따른 제거효율 변화가 적은 반면 부하율을 0.145m³/m²·hr로 증가시키는 경우 제거효율이 급격히 저하되는 결과를 보였다. 이는 경사관내 유속이 임계소류속도 또는 한계속도 이상이 되어 입자가 침전되지 못하고 월류되는 결과로 판단된다. 침전판이

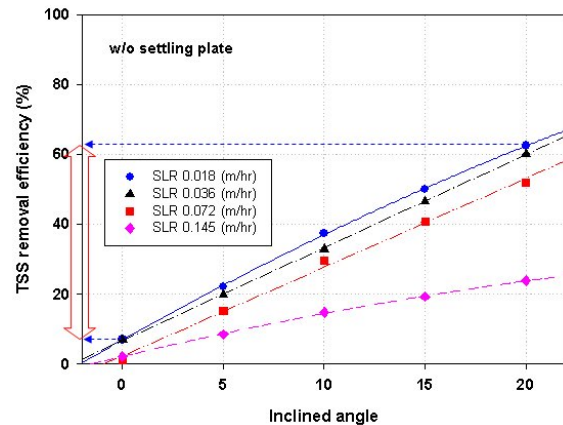


Fig. 4. TSS removal efficiency for w/o inclined plate with inclined angle and SLR

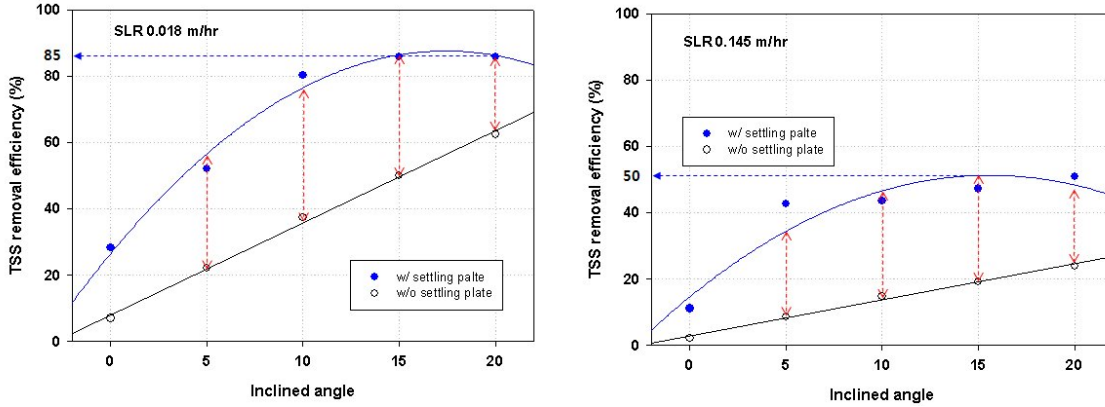


Fig. 5. Comparison of TSS removal efficiency between w/o settling plate and w/ settling plate according to inclined angle

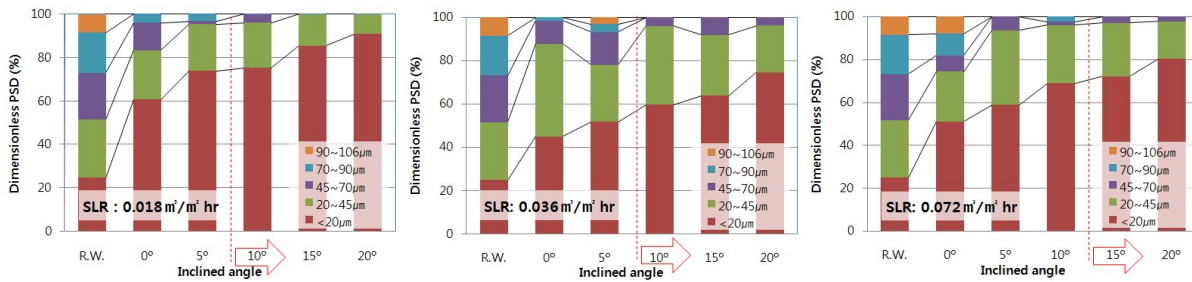


Fig. 6. Comparison of particle size distribution with variation of inclined angle for surface loading rate (SLR)

없는 경우 가장 낮은 부하율에서 최고 62%의 제거효율을 보였으며 경사각이 없는 경우 제거효율을 고려하면 제시된 부하율 범위내에서 최대 55%의 TSS 제거효율을 갖는 것으로 파악된다.

3.1.2 Case 2-침전판 설치

Fig. 5는 침전판의 설치를 통해 향상된 TSS 제거효율을 나타내기 위해 표면부하율(SLR)이 가장 작은 0.018m³/m²·hr과 가장 큰 경우 0.145m³/m²·hr에서 경사각에 따른 TSS제거효율을 나타낸 것이다. 침전판을 설치하는 경우 부하율에 대해 각각 85%, 50%의 TSS 제거효율을 보였으며 침전판을 설치하지 않는 경우에 비해 제거효율이 부하율 별로 30%이상 향상시킬 수 있었다. 또한 침전판을 설치하는 경우 경사각 15도 내외에서 최적의 침전효율을 나타내었다. 침강실험 결과 원수 TSS농도 2,160mg/L, 비침강성 TSS 농도 253mg/L를 고려하면 경사관에 의한 최대 침전제거효율은 65% 이상으로 예상되며, 침전판을 설치하는 경우 최대 제거 효율은 90%이상 가능할 것으로 판단된다. 따라서 경사관에 침전판을 설치하는 경우 비점오염원 처리의 국내기준인 TSS 80%이상 제거가 가능하여 비점오염원 처리 시설로도 설치가 가능할 것으로 예상된다.

3.2 경사각에 따른 PSD 분포변화

Fig. 6는 경사각과 표면부하율(Surface Loading Rate, SLR) 변화에 따른 침전판 설치시 입자분포(Particle Size Distribution, PSD) 결과이다. Coulter社 MultisizerII를 이용하여 입자분포 실험을 하였으며 106µm이하 입자분포를 무차원화 시켜 최적의 경사각을 구하고자 하였다. 경사가 증가함에 따라 상대적으로 큰 입자들이 제거가 되는 경향성이 뚜렷하게 나타났으며, 70µm 이상 입자가 100% 제거되는 부하율별 각각의 최적 경사를 구할 수 있다. 유입수내 입자 크기에 따른 BOD, COD, TN, TP 및 중금속 등 오염물질의 제거 가능성을 제시한 연구(Sator et al., 1974; Colandini et al., 1997; Vaze et al., 2004)에서 70µm이상의 입자를 제거하는 경우 TSS 89%, BOD 71%, COD 69%, TN과 TP 44%, 중금속 약 50% 정도 제거가 가능하다고 보고된 바 있다.

부하율 0.018, 0.036m³/m²·hr의 경우 각각 경사각 10도 이상에서 70µm이상의 입자를 100% 제거하는 것으로 나타났으며 부하율 0.072m³/m²·hr의 경우 경사각 15도 이상에서 100% 제거되는 결과를 보였었다. 또한 부하율이 가장 낮은 경우 경사각 15도 이상에서는 45µm이상의 입자를 100% 제거되는 결과를 나타내었다.

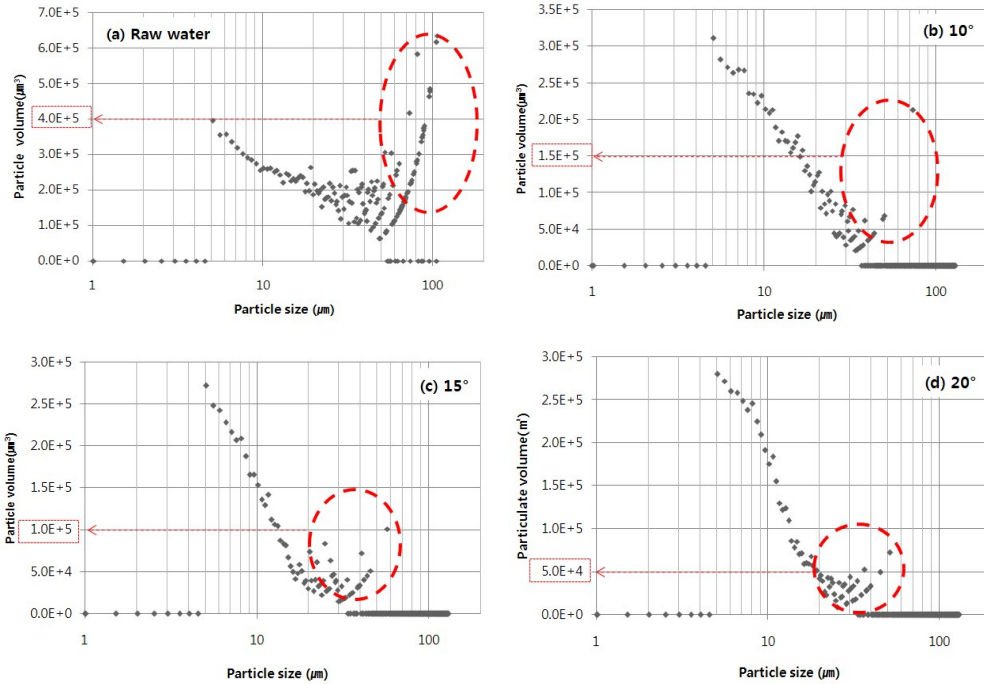


Fig. 7. Comparison of particle volume removal with variation of inclined angle at $0.036\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{hr}$

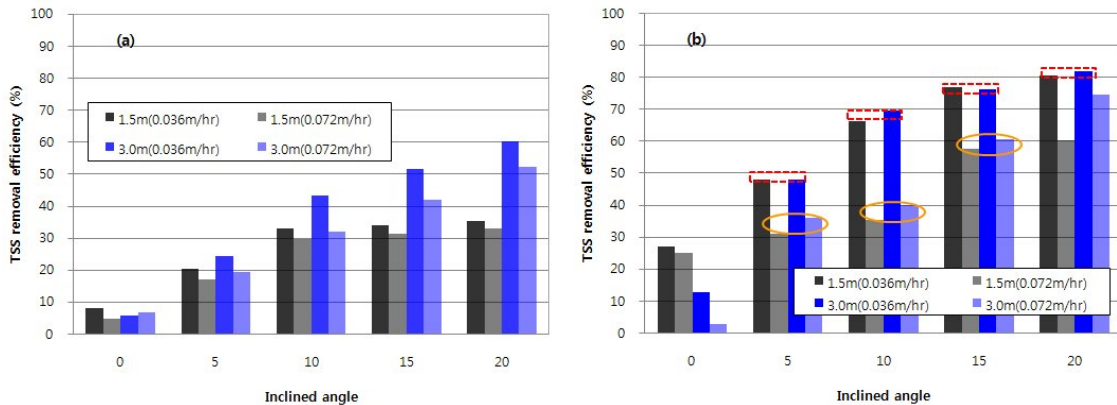


Fig. 8. Comparison of TSS removal efficiency between w/o settling plate(a) and w/ settling plate(b) according to inclined-pipe length

Fig. 6은 입자의 정성적 분포를 통해 부하율에 따른 최적경사각을 제시한 반면, Fig. 7은 부하율 $0.036\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{hr}$ 과 침전관을 설치한 경우 경사각 변화에 따른 정량적인 입자부피를 나타내었다. 각 입자범위에 대한 정량적 부피를 계산하여 입자의 제거효율을 제시하였다. 경사각 10, 15, 20도에서 $20\sim 45\mu\text{m}$ 범위 입자 제거율은 각각 73%, 84%, 88% 제거효율을 보였으며, $45\sim 70\mu\text{m}$ 범위는 모두 90% 이상 제거되는 결과를 보였다.

3.3 경사관 길이에 따른 TSS 제거효율

침전관을 설치한 경우와 설치하지 않은 경우 경사관의 길이에 따른 TSS 제거효율을 Fig. 8에 나타내었다. 경사관 길이 1.5m와 3.0m에 대해 각각 부하율 $0.036\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{hr}$, $0.072\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{hr}$ 로 원수를 유입시켰을 때의 제거효율을 비교하였다. Fig. 8(a)에서와 같이 침전관이 없는 경우 관의 길이가 길수록 그리고 경사각이 커질수록 제거효율이 증가하는 결과를 보였다. Fig. 8(b)에서와 같이 침전관을 설치하

는 경우 경사관 길이에 의한 제거효율의 차이는 거의 없으며 부하율과 경사각에 따른 제거효율에서 차이를 보이고 있다. 따라서 경사관 침전장치의 설계시 경사관의 길이는 고려하지 않아도 될것으로 판단된다.

3.4 부하율에 따른 TSS 제거효율

앞선 Fig.8에서와 같이 경사관 침전장치의 침전효율은 경사각과 부하율에 대한 함수로 표시된다. 부하율에 대한 TSS 제거효율의 경향성을 보다 명확히 나타내기 위해 TSS 농도 값 대신 PSD 실험(Coulter counter)을 통한 입자부피 (particle volume)를 이용해 Fig. 9에 나타내었다. 침전판이 없는 경우 부하율 변화에 민감하게 감소하는 경향성을 보였으며 침전판이 있는 경우 부하율 변화에 능동적으로 대처할 수 있는 결과를 보였다. 즉, 부하율이 커질수록 침전판을 설치하는 경우 그 효과가 더 크다는 것을 알 수 있다. Fig. 9(a)에 나타난 바와 같이 Fig. 4에 보인 결과와 비교해 경사관에 의한 제거효율 범위는 비슷한 결과를 보였으나 실험 범위내 최대부하율 0.145m³/m²·hr에서는 침전효율이 10% 이하로 더 작아지는 경향성을 보였다. Fig. 9(b)에서는 경사관에 의한 제거효율 범위와 침전판에 의한 제거효율 범위를 구분하여 제시 할 수 있음을 보였다. 앞선 경사각 실험 결과와 마찬가지로 관의 경사변화에 의한 제거효율 범위는 약55%, 침전판 설치를 통해 향상된 제거효율은 약30%로 나타났다.

3.5 경사관 설계, 시공 및 유지관리시 고려사항

3.5.1 침전판(settling plate) 설계

경사관 침전 실험결과 침전판이 있는 경우 침전판이 없는 경우에 비해 동일한 부하율과 경사각에서 침전효율이 약 30% 이상 증가되는 것으로 나타났다. 침전판의 설치를 통해 관내 유속이 빨라지는 경우 침전된 입자가 재부상하여 유풀

되는 것을 방지할 수 있다. 본 연구에서는 FRP 재질의 그레이팅(내부 mesh 40×40)을 침전판으로 이용하여 실험한 결과를 제시하였다. 침전판의 최적 위치와 형상에 대한 추가적인 연구로 침전효율을 개선시킬 수 있을 것으로 예상된다. 또한 유입맨홀과 경사관의 연결부에 Flap 밸브를 설치하여 침전된 입자의 유출(wash-off)을 방지 하는 것이 중요하다.

3.5.2 시공 및 유지관리시 고려사항

기존의 맨홀 또는 집수정에 경사관을 연결하는 경우 맨홀 또는 집수정의 바닥면 높리와 경사관 길이 및 적정 경사각을 고려하여 경사관 유출고를 결정해야 한다. 이때 경사관 유출고 이하 레벨에서 침투시설의 설치가 가능하다. 즉, 경사관을 통해 침투시설 설치를 위한 터파기 깊이 등 매설 깊이를 낮출 수 있는 장점을 최대한 활용하는 것이 중요하다. 강우종료 후 유입맨홀과 경사관내 유량은 경사관 상부 또는 유입맨홀 하부에 최소의 오리피스 공극을 설치하여 서서히 배출되도록 하며 이때 공극이 막히지 않도록 해야 한다. 유입맨홀에는 경사관내 침전슬러지가 유입될 수 있는 공간의 세부설계가 필요하며 이때 침전 슬러지의 적정 제거 주기를 결정해야 한다.

4. 결 론

본 연구는 강우유출수의 침투처리를 목표로 미세입자를 효율적으로 제거하기 위해 경사관 침전장치를 개발하였으며, 경사각, 경사관 길이, 부하율을 변화시키며 장치의 침전효율을 평가하였다. 또한 처리수내 입자의 크기분포를 통해 침전 제거가 가능한 입자의 크기를 분석하였으며 이러한 결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 제시하고자 한다.

- 1) 경사각에 따른 TSS 제거효율은 침전판이 있는 경우 10~15도 범위에서 효율이 가장 좋은 것으로 나타났

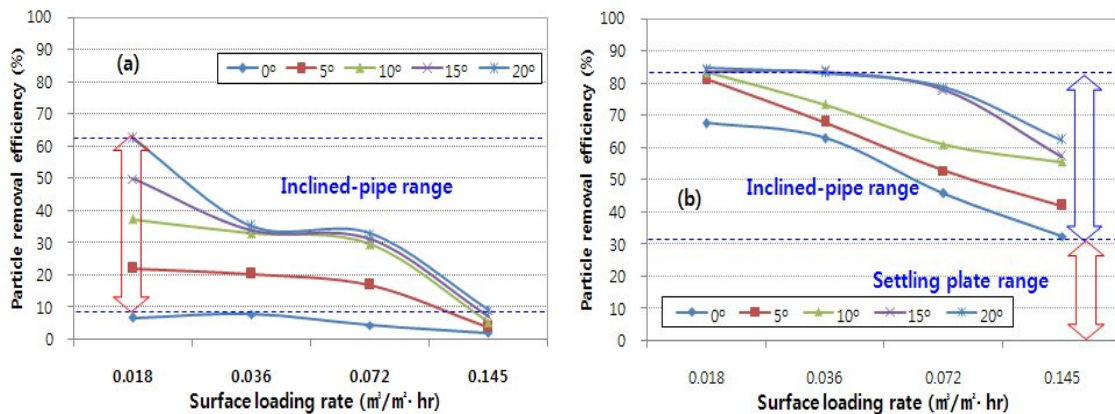


Fig. 9. Comparison of TSS removal efficiency under the w/o settling plate(a) and w/ settling plate(b) according to surface loading rate

- 으며 이때 70 μ m 이상의 입자는 100% 제거되었다. 또한 침전판이 없는 경우 경사각에 의한 제거효율은 55% 정도로 나타났으며 침전판의 설치를 통해 입자의 85%까지 처리가 가능하였다.
- 경사각에 따른 PSD 분포 실험결과 표면부하율 0.036 m³/m²·hr 이하, 경사각 15도 이상의 조건에서는 70 μ m 이상의 입자 100% 제거가 가능한 것으로 나타났다. 또한 동일조건에서 25~45 μ m 범위의 미세입자 70% 이상, 45~70 μ m 범위의 입자는 90% 이상 제거하는 것으로 나타났다. 따라서 경사관 침전장치의 강우유출수 처리를 위한 설계 목표 입자 크기를 70 μ m로 제시하였다.
 - 경사관의 길이에 따른 영향으로는 침전판이 없는 경우 길이와 경사가 커질수록 제거효율이 다소 증가하는 것으로 나타났으나 침전판이 있는 경우에는 경사관의 길이와 침전효율과는 관련성이 매우 적었다. 따라서 경사관 침전장치의 설계시 경사관의 길이는 고려하지 않아도 될 것으로 판단된다.
 - 부하율에 따른 영향으로는 침전판이 없는 경우 부하율 변화에 민감하게 침전효율이 저하되는 반면, 침전판이 있는 경우 부하율 증가에 비해 침전효율 변화가 적은 것으로 나타났다.
 - 경사관 설계, 시공 및 유지관리시 고려사항으로 침전판의 설계시 침전된 입자의 원활한 배제와 재부상 방지를 위해 침전판과 Flap 밸브 설치 및 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다.
- 본 연구에서 제시된 경사관 침전장치는 물리적 조작만으로도 이론적 한계에 근접한 침전효율과 침투 전처리시설로서의 설치 가능성을 보였다. 또한 강우에 기인하는 비점오염원 처리시설로서도 활용 될 수 있을 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 서울대학교 공학연구소와 건설교통부 건설핵심기술연구개발사업 (06건설핵심B02), 서울대학교 SIR BK21 (안전하고 지속가능한 사회기반건설)사업단의 연구비지원으로 수행되었으며 특히 근영실업(주)의 FRP 침전판 제작 및 지원에 감사를 드립니다.

참고 문헌

- 김남찬 (1981) 경사관 침강장치를 이용한 침전에 관한 연구, 서울대학교 대학원 석사학위논문, 서울대학교
- 김상래, 이재홍, 김영진, 한무영 (2008) 불포화 토양에서 공기의 배출/제한이 침투속도에 미치는 영향, **대한상하수도학회지**, **22**(6), pp. 681-687
- 이준호, 조용진, 방기웅 (2005) 강우시 도로유출수 수질특성 및 입경분포, **대한환경공학회지**, **27**(7), pp. 777-784
- 한무영, 문정수, 김충일 (2009) 다목적이고 적극적인 빗물관리에 의한 기후변화 적응방안과 국내 사례, **대한상하수도학회지**, **23**(2), pp.223-230.
- 한상운, 강용태, 송근관, 원태준, 고영발, 박경덕 (2008) 경사관 침전지와 고속여과공정을 이용한 도시 강우유출수의 처리특성, **한국수처리학회지**, **16**(2), pp. 3-12
- Andral, M.C., S. Roger, M. Montrejaud-Vignoles, and Herremans L. (1999) Particle size distribution and hydrodynamic characteristics of solid matter carried by runoff from motorways, **Water Env. Res.**, 71(4), pp. 398-407
- Colandini V., M. Legret Y. Brosseau, and Balades J.-D. (1995) Metallic pollution in clogging materials of urban porous pavements, **Wat. Sci. Tech.**, 32(1), pp. 57-62
- Drapper D., R. Tomlinson, and Williams P. (2000) Pollutant concentrations in road runoff: Southeast Queensland case study, **J. Env. Eng.**, 126(4), pp. 313-320
- Engineers Australia (2006) Australian runoff quality: a guide to water sensitive urban design. In: T.H.F. Wong, Editor, EA Books, Crows Nest, Australia
- Kim L.H., M. Kayhanian, and Stenstrom M.K. (2004) Event mean concentration and loading of litter from highways during storms, **Sci.of Total Env.**, 330, pp. 101-113
- Lee B.C. (2005) Pollutant characterizations of storm water runoff and effectiveness of on-site treatment by the up-flow filtration device, Doctoral thesis, Kyoto University, Japan
- Letterman R.D. (1999) *Water quality and treatment: a handbook of community water supplies*, American Water Works Association, McGraw-Hill, NewYork.
- Sartor J.D., G.B. Boyd, and Agardy F.J. (1974) Water pollution aspects of street surface contaminants, **Journal of WPCF**, 46(3), pp. 458-467
- Vaze J. and Chiew H.S.C. (2004) Nutrient loads associated with different sediment sizes in urban stormwater and surface pollutants, **Journal of Env. Eng.**, 130(4), pp. 391-396