

연구논문

빗물 유출면 및 빗물 침투시설이 주거단지 유출빗물의 pH에 미치는 영향

현경학^{*,**} · 최정주^{*} · 정연규^{**}

한국토지주택공사 토지주택연구원^{*}, 연세대학교 토목·환경공학과^{**}

(2009년 9월 9일 접수, 2010년 1월 14일 승인)

The Effect of Impermeable Surface and Rainwater Infiltration Facilities on the Runoff pH of Housing Complexes

Hyun, Kyoung Hak^{*,**} · Choi, Jung joo^{*} · Choung, Youn-Kyoo^{**}

Land & Housing Institute, Korea Land & Housing Corporation^{*}

Department of Civil & Environmental Engineering, Yonsei University^{**}

(Manuscript received 9 September 2009; accepted 14 January 2010)

Abstract

In order to examine the effect of impermeable surface (rooftop, outdoor parking lot) and rainwater infiltration facilities on runoff pH, pH was measured. pH measurement spots were splash blocks accepted roof runoff of 3 sites, infiltration boxes and trenches accepted parking lot runoff and plastic rainwater harvesting facility accepted roof runoff. These measurements were operated at 3 housing complexes from 2006 to 2009.

The rainwater runoff pH was influenced by the quality of the runoff surface material (concrete), the age of the building, waterproofing methods according to each housing site, antecedent rainfall conditions and others. Rain garden, infiltration boxes and trenches decreased the alkalinity of runoff by detention and infiltrating the roof and outdoor parking lot runoff. These results mean that decentralized rainwater management facilities of housing complexes can reduce effect on the outskirt aquatic ecosystem by the accumulation of substances causing pH rising in the infiltration facilities and rain garden.

Keywords : pH, runoff, roof, parking lot, surface material, infiltration facility, rain garden

1. 서론

도시 물순환의 복원, 유출저감 및 비점 오염부하의 저감 등을 위한 분산형 빗물관리는 이제 점차 제도화되어가고 있다. 1990년대 후반부터 빗물 이용에 대한 움직임이 나타난 이후 이수적 측면을 넘어 빗물 침투, 저류와 함께 수문순환 복원 문제가 중요하게 부각되면서 자연 순응형(분산형) 빗물관리에 대한 관심이 고조되고 있다.

빗물을 비가 내리는 곳에서 곧바로 유출시키지 않고, 머금어 침투되도록 하는 자연 순응형 빗물관리는 도시화로 인한 지표 유출량의 증가와 하천의 건천화를 방지하고, 수질 환경의 악화 등을 억제하는 등 개발 이전 수문 순환으로의 복원을 위한 빗물관리라고 할 수 있다(현경학 등, 2006). 이와 관련하여 외국에서는 저영향 개발(Low Impact Development ; LID), 발생원 관리 등 분산형 빗물관리와 유사한 빗물관리 개념들이 현실화되어 있다.

저영향 개발(Low Impact Development ; LID)은 지표수와 지하수 보호 능력을 키우고, 수생 자원과 생태계를 유지하기 위한 개발 방식이다. 또한, 수문학적 기능과 오염 방지 기능을 가진 단지 설계로 개발이 수문, 수질 및 수생태계에 미치는 영향을 최소화하고자 하는 방식이다. 즉, 빗물을 머금고, 침투하고, 증발시키며, 빗물 유출을 저감시키는 단지 설계 기술을 사용함으로써 개발 이전의 단지 수문과 유사하도록 개발하고자 하는 것이다. 빗물관리를 위한 소규모 빗물관리시설·다기능 경관시설(빗물정원, Bio-retention 등) 등을 통해 수역의 생태학적/생물학적 특성을 유지하고, 수문 기능을 복원하고자 하는 빗물관리 방식이기도 하다. 빗물을 가능한 빨리 개발 부지로부터 배제해야만 하는 것으로 인식하여 관거로 급속하게 빗물을 유출시키는 전통적 빗물관리 방식의 도시, 단지 설계는 자연적인 배수 특성을 결여하여 종종 생태계에 부정적인 영향을 미친다(Prince George's Country, 1999). 전통적인 빗물관리 도시들은 그 도시 확장 과정에서 호우 오염 문제가 증가하였다. 이러한 문제 해결을 위해 빗물을 발생 현장 및 지역에서 소규모 시설

로 저류, 침투 및 이용하는 발생원 빗물 관리 방식에 대한 관심이 증가하게 되었고, 이러한 관심의 증가로 유럽 국가들은 발생원 빗물관리 방식을 도입하여 왔다. 독일에서도 분산형 호우 저류, 침투를 지속가능하고, 비용효과적인 도시 호우 관리 대안으로 80년대 초부터 추진하고 있다(Chouli *et al.*, 2007; Nolde, 2007).

그간 국내외에서는 진행된 연구들을 보면, 지붕이 비점오염원(non-point source) 중의 하나가 될 수 있다는 연구결과가 제기되고 있다(Chang *et al.*, 2004). 입자, 콜로이드, 유기물 및 중금속 등의 대기 오염원은 지붕이나 다른 표면에 축적되고, 결과적으로 강우 시 빗물 유출수의 수질을 악화시킨다는 보고도 있다(Kim *et al.*, 2005). 산업국가 도시 지역 불투수면에서 유출되는 빗물 중 약 반은 지붕 유출수일 것으로 추산되기도 하는 등 지붕 유출수가 차지하는 비중은 크다. 지붕 유출수(roof runoff)의 수질은 지붕과 개별 강우 사상의 특성에 영향을 받으며, 초기에는 높은 농도를 보이다가 강우가 지속되면서 그 농도는 감소한다는 연구결과도 있다(Foster, 1996; Foster, 1999).

특히 집수구역과 저장시설의 재질과 특성에 따라 빗물의 pH의 영향을 크게 받게 된다고 보고되고 있다(한무영 등, 2002; 현경학 등, 2008 b). 침투시설의 성분이 콘크리트인 경우 알칼리 성분이 용해되어 pH가 높아지는 것으로 보고되고 있다(한영해와 이태구, 2008). 특히, 대리석의 경우에는 pH가 11 이상의 강알칼리성을 나타낸다고 하고 있으며, 좀 더 다양한 경우를 포함하기 위한 추가 연구의 필요성을 제기하고 있기도 하다(문정수 등, 2006).

빗물의 발생원 관리를 위해서 국내 건물, 단지에서 유출되는 빗물의 특성을 살펴볼 필요가 있다. 그래서 건물 옥상 빗물 등 단지에서의 유출 빗물에 대한 기본적인 빗물 특성 연구가 진행되어 오고 있다. pH도 그 중 하나로, 산 또는 알칼리도 정도를 가늠하는 척도인 pH는 수처리 및 빗물 관리에 있어 대단히 중요한 인자이다. 이에 옥상 유출 빗물의 pH만이 아닌 주차장과 침투통, 침투트렌치 및 빗물정

원 등 빗물관리시설의 설치가 pH 변화에 미치는 특성과 단지 준공 이후 pH의 수년간 변화 여부에 대한 연구가 필요하다. 단지 내 빗물의 유출면은 옥상, 지상주차장, 단지 내 도로 및 녹지 등이며 이중 옥상과 지상주차장 등은 누름 콘크리트로 방수 처리되어 있는 경우가 많다. 빗물이용 시설도 콘크리트인 경우가 많으나, 최근 플라스틱류의 빗물이용 시설 등이 설치되는 경우가 있기 때문에 빗물이용 시설의 재질에 따라 빗물의 pH에 미치는 영향을 검토할 필요도 있다. 일반적으로 플라스틱 재질의 빗물이용시설에서는 pH가 영향을 받지 않는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 빗물 집수면(지붕, 주차장), 단지 준공 연수 및 침투시설 등이 빗물 pH에 미치는 영향과 시간적 변화 추이를 분석하고자 하였다. 이러한 분석 결과는 빗물이용시설, 침투시설 등을 포함한 분산형 빗물관리시설을 단지 계획 및 설계에 반영하는 경우 참조할 수 있을 것으로 보인다. 또한, 분산형 빗물관리시설의 운영에도 의미 있는 연구로 활용될 수 있을 것이다.

II. 재료 및 방법

3개 단지의 옥상과 주차장에서 유출되는 빗물의 pH를 측정하였다. 그리고 옥상 빗물을 받는 빗물정원에서의 pH 변화도 측정하였다. 주차장의 유출 빗물을 침투시키는 침투통, 침투트렌치 연계 시설

에서도 pH를 장기간 측정하였다. 폴리프로필렌 재질의 플라스틱 실험용 빗물이용시설과 그 콘크리트 유출맨홀에서도 pH 변화를 측정하였다. 이러한 측정은 2년에서 4년에 걸쳐 수행되었으며, 유출, 저장 재질과 단지 준공 경과 년도 및 침투시설의 영향을 보기 위하여 pH가 측정되었다. 자연강우 조건에서의 측정과 더불어 상수를 이

용한 인공강우 실험을 통하여 pH 데이터를 확보하였다. 옥상에서 유출되는 빗물은 홈통받이까지 바로 연결되어 있기 때문에 옥상면 이외의 영향은 받지 않으며, 3개 단지 모두 플라스틱 홈통받이이다. 측정 대상 단지는 96년 5-8월에 준공한 분당의 1개 단지과 06년 3월에 준공한 용인의 2개 단지이다.

96년 입주 단지에서는 pH 변화를 알아보기 위해 2005년부터 2009년 현재까지 옥상을 거친 빗물을 홈통받이에서 채수하여 pH를 측정하여 비교하였다. 또한, 주동 녹지부에 침투형 홈통받이, 도랑 및 빗물정원을 05년 5월에 설치하여 2009년 현재까지 약 4년여 운전하고 있는 중이다. 옥상 빗물의 유출량을 저감시키고, 초기오염우수를 제어하기 위해 설치한 빗물정원은 면적 9m², 저류수심 12.5cm, 총 저류량 1.124m³이다. 이 빗물정원에서의 pH값을 측정하여 옥상 유출 빗물의 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 06년에 입주한 2개의 단지 중 첫 단지에는 지상주차장 유출빗물이 침투시설을 거치면서 발생하는 pH 변화 여부를 알아보기 위해 2006년 3월부터 현재까지 약 3년여 간의 pH를 측정하

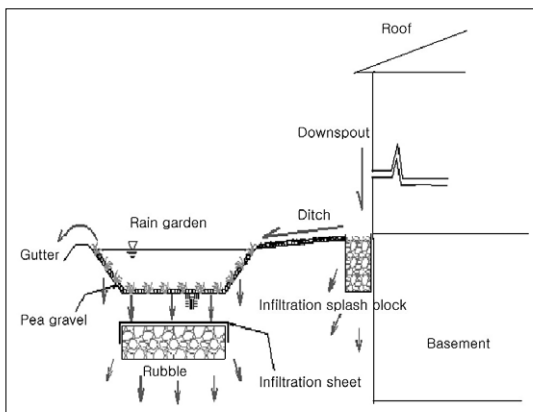


Figure 1. Cross section, photograph of Infiltration splash block and rain garden at the housing complex completed in 1996

였다. 지상주차장은 콘크리트 구조물이다. 지상주차장의 빗물을 침투통과 침투트렌치로 유도하여 침투하도록 한 시설로 유역인 지상주차장의 면적은 500m²이다. 각형의 침투통(0.75m×0.8m×0.7m; H×W×L) 2개소를 설치하였으며, 침투트렌치는 36를 설치하였다. 침투통 본체 하부와 측면에 0.2m와 0.3m의 쇠석을 충전시키고, 침투트렌치는 200mm 유공관 주변에 상부와 하부에 0.2m, 0.3m의 쇠석을 충전시키고 측면에는 0.2m의 쇠석을 충전하였다. 주차장에 8mm/hr의 인공강우 실험을 시행하여 주차장 흠통받이에서 첫 유출수 채수 후 10분, 10분, 20분, 20분 간격으로 1시간동안 채수하였으며, 침투통과 침투트렌치를 통과한 후 유출맨홀로 나오는 유출수의 pH를 측정하였다(현경학 등, 2008 a).

06년 3월에 준공한 2번째 단지에는 실험용의 폴리프로필렌 플라스틱 재질의 조립식 빗물이용시설(2.99m×2.99m×1.54m; W×L×H)을 주민공동시설 옥상 90m²의 빗물을 받을 수 있도록 07년 6월에 설치하였다. 이 시설은 약 14m³의 빗물 저류가 가능하다. 옥상에서 모아진 빗물이 집수정을 통해 플라스틱조로 들어와 저류된 후 플라스틱 이용



Figure 2. Parking lot runoff through the infiltration chamber & infiltration trench at 1st housing complex completed in 2006

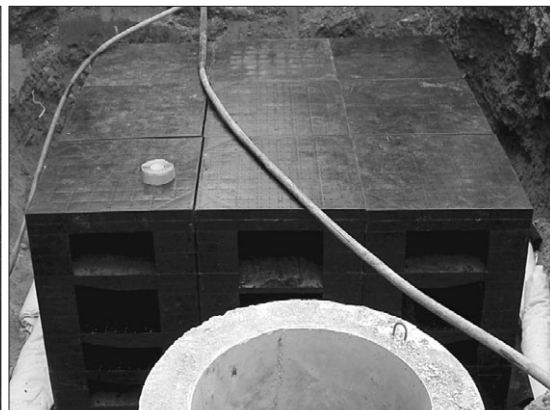


Figure 3. Roof and plastic rainwater facility with concrete manhole for study at 2nd housing complex completed in 2006

시설의 바닥 중앙에 설치한 U형구를 통해 바로 옆의 콘크리트 맨홀(1m×2.1m; D×H)로 이송될 수 있도록 설치하였다. 플라스틱 빗물이용시설과 콘크리트 맨홀에 각각 저류된 빗물의 pH를 측정하였다(현경학 등, 2007).

빗물의 pH는 pH meter(HI8424, HANNA)를 이용하여 현장 등에서 곧바로 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 단지 옥상 유출 빗물 pH의 특성

유출 빗물의 pH는 그 유출면에 의한 영향을 받기에 콘크리트면을 거치면서 알칼리성으로 변한다(한무영 등, 2003). 주요 도시에 내리는 강우는 Fig. 4 처럼 대부분을 산성을 띄고 있으나 그 유출면 재질의 영향을 받는다. 콘크리트는 시멘트, 물, 골재 및 혼화재료를 섞어서 만드는 재료로 타설시 수화 반응에 의해 Ca(OH)₂, KOH 및 NaOH 등의 생성물들이 발생한다. 이러한 생성물들이 산성의 강우와 반응하여 시멘트 성분의 지붕면을 유출면으로 하는 경우 유출수 수소이온농도(pH)를 알칼리성으로 전환하는데 영향을 미치게 된다. 주거단지 준공 이후의 시간경과가 pH에 미치는 영향과 pH 상승 정도에 대한 다년간의 영향을 판단하여 단지 내 빗물이용이나 빗물관리에 참조할 필요가 있다. 그리하여 단지 옥상 빗물의 pH를 3년간 흠통받이에서 측정

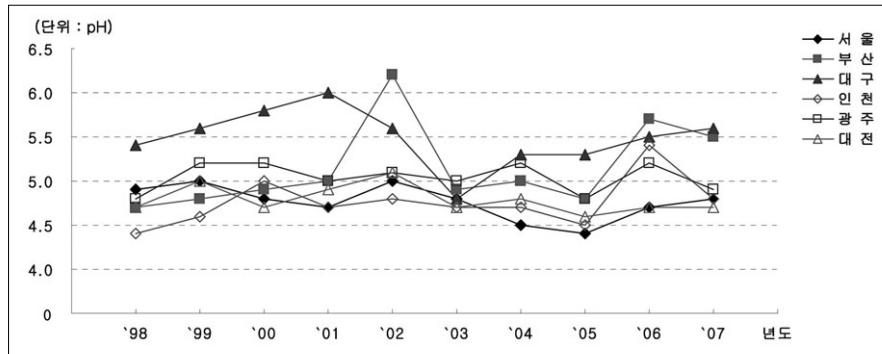


Figure 4. Acid rain change of major city (환경부, 2008)

하여 준공 경과 년수와 단지별로 어떤 특성이 있는지 분석하였다.

현재 우리나라 주요도시에 내리는 빗물의 pH는 Fig. 4와 같이 산성이다. 비가 내린 다음 유출면 등의 영향을 배제한다면 빗물의 pH는 산성으로 여러 영향을 미칠 것이다. 즉, 하천과 호소의 이용목적별 pH 기준인 6.0~8.5에 영향을 미칠 수 있으며, 주변식물, 토양 및 증금속의 용출 등에 영향을 미치게 된다. 다만, 유출과정에서 중성 내지는 알칼리성을 띄게 된다고 하기에 주거단지에서 분산형으로 빗물을 관리함에 있어 빗물의 pH 변화를 다년간 측정하여 볼 필요가 있다.

Fig. 5는 분당 H 마을, 용인 S1 및 3단지 옥상 유출수의 pH를 측정한 것으로 각 단지 여러 주거동 흡통받이 5~6군데에서 빗물을 채취하여 측정한 결과이다. 주거단지 옥상우수의 pH 차이를 관찰하기 위하여 동일시기에 측정하였다. Fig. 5에서 분당 H 마을의 pH는 2007년에 6.8~7.67을 보여주고 있으며, 평균 7.27을 나타내고 있다. 2008년에는 6.44~7.63의 pH를 나타냈으며, 평균 7.18이다. 2009년에는 7.3~7.39의 pH를 보이고 있으며, 평균은 7.36이다. 3개 단지 중 중간 범위의 pH 분포를 보이는 용인 S 3단지의 경우 2007년에는 7.34~7.6의 pH를 보이고 있으며, 평균은 7.49이다. 2008년과 2009년 각각의 pH 평균은 7.49, 7.57이다. 3개 단지 중 가장 높은 pH 분포를 보이는 용인 S 1단지는 8.06, 8.09 및 7.95의 평균값을 보이고 있다.

이처럼 3년 동안 pH는 각 단지별로 뚜렷한 차이를 보여주고 있으며, 수년간 옥상 유출빗물의 pH 특성이 단지별로 유지되고 있음을 보여주고 있다. 즉, 옥상 유출 빗물의 pH는 줄곧 약 알칼리성을 유지하면서 준공 이후 짧은 기간 내에 중성으로 돌아서지 않는다. 주거동과 흡통받이에 상관없이 용인 S 1단지에서 가장 높은 pH를 3년간 보여주고 있다. 용인 S 1, 3단지는 동일시기에 준공된 단지이고, 같은 지역에 위치함에도 pH 분포의 차이는 비교적 뚜렷하다. 이는 지역적 차이에 의해 발생할 수 있는 대기 침전물에 의한 pH 차이가 아님을 의미한다. 즉, 같은 시기에 준공되었다 하더라도 옥상 공사 시 시멘트 마감의 차이 등 현장 마무리 차이가 옥상 유출 빗물의 pH에 영향을 미치는 점이 있는 것으로 보인다.

옥상면의 구성은 방수를 위해 몇 단계를 거쳐 이루어진다. 옥상 구성 단계는 대개 맨 밑은 콘크리트 슬래브이고, 그 위로 순서대로 아스팔트 8층 방수, 비드법 발포 폴리스티렌 및 PE 필름을 둔다. 그리고 마지막으로 옥상면의 맨 위에 누름콘크리트를 타설하여 완성된다. 콘크리트와 몰탈에 깊이 3~5mm 정도의 구멍을 뚫어 유출 실험한 결과 pH가 거의 12 이상으로 증가한다는 연구보고와 수산화칼슘의 수소이온지수는 포화용액에서 12.4에 이른다고 하는 설명은 옥상에 빗물이 내려서 흐르는 경우 유출 빗물의 pH가 상승하는 결과와 연결될 것으로 보인다(Li et al., 1999; 한국콘크리트 학회, 2005).

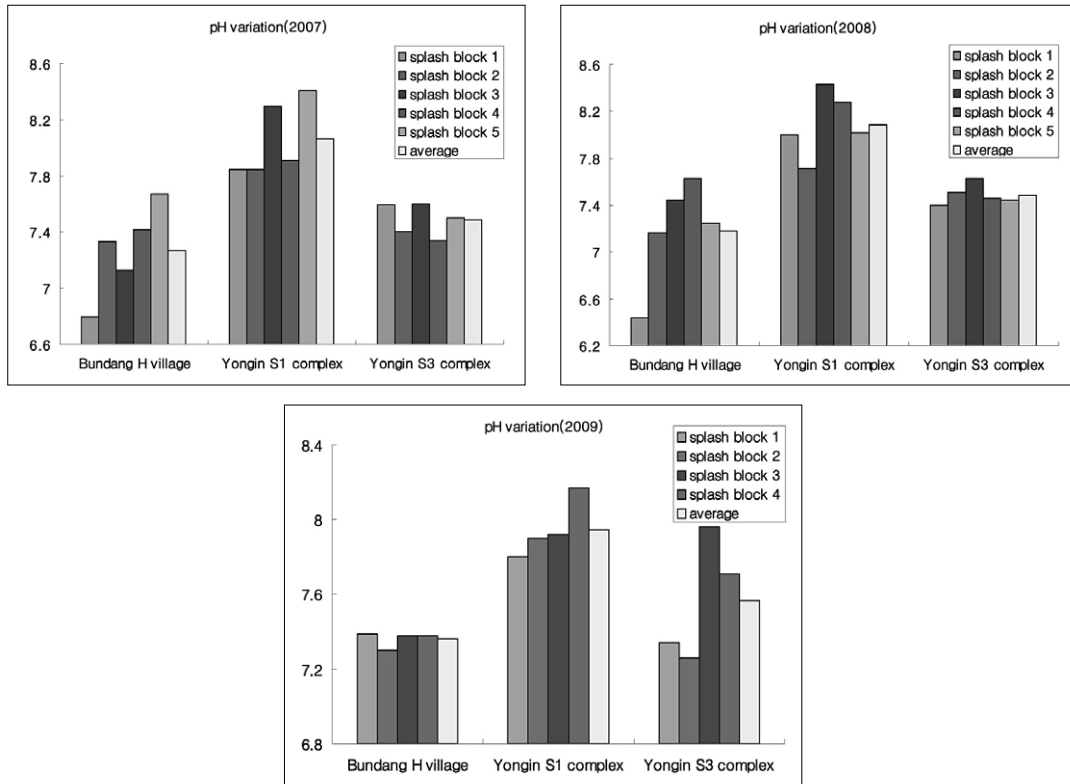


Figure 5. pH variation of roof runoff at 3 complexes (2007 - 2009)

약 10년 먼저 준공된 분당 H마을에서 용인 S1, 3 단지에 비해 pH가 낮게 나오는 경향은 시간이 지날 수록 지붕면 재질이 pH에 미치는 영향이 줄어드는 현상이 아닌가 한다. 준공 후 10년 이상 경과한 단지인 분당 H의 경우 옥상유출수의 pH는 강우보다 높게 나타나지만 중성인 7 정도를 유지하는 것으로 확인되었다. 하지만 준공 후 1~3년이 지나는 동안 S1의 경우에는 평균 pH가 8 전후를 나타내 옥상면 재질의 직접적인 영향을 받는 것으로 보인다. 이는 준공 이후 많은 햇수가 경과하여 알칼리성에 영향을 미치는 물질이 그동안 방출된 결과로 보인다. 이는 Ca(OH)₂, KOH 및 NaOH 등의 물질이 일정기간이 지나면 용출량이 줄어든다는 보고와 그 맥을 같이 한다(한국콘크리트 학회, 2005).

분당 H와 용인 S1, 3단지가 가지는 10년이라는 건물의 나이 차이가 옥상 빗물 유출수의 pH에 영향을 미치며, 준공 이후 시간이 오래 경과될수록 콘크리트 등에 의한 영향이 줄어드는 것으로 보인다.

2. 빗물침투시설과 실험용 플라스틱 빗물이용시설 등과 빗물의 pH 변화

용인 S1 단지에 설치한 빗물관리시설은 집수구역을 지상주차장으로 하는 침투통과 침투트렌치의 조합 시설이다. 지상 주차장 유출 빗물을 침투정, 침투트렌치로 유입시켜 침투시키기 위한 시설로 이 과정에서 초기 오염 우수를 침투통 등의 쇄석 내에 저류, 침투시킴으로써 빗물 유출수에 포함된 오염원을 지표수로 배출시키지 않는 효과를 얻게 된다. 특히, 본고에서는 2006년 6월부터 2009년 9월까지 약 3년여 동안 인공강우 실험의 실시 과정에서 유출수의 시간대별 pH 변화를 살펴보고자 하였다. 인공강우 시작 후 주차장 유출수를 첫 유출부터 10~20분 간격으로 다섯 번 채수(runoff 1-5)하여 pH를 측정하였다. 그리고 침투통과 침투트렌치를 거치면서 유출맨홀로 처음 유출되는 유출수(Outflow 1)의 pH를 측정하였다. 측정시간은 인공강우 시작 후 30~40분 후 유출맨홀에서 첫 유출이

발생하는데, 침투통, 침투트렌치에서 저류, 침투 및 유출지면에 따른 영향으로 유출맨홀에서의 첫 유출 시간이 늦어지는 것으로 판단된다. 주차장 유출수의 시간대별 pH 변화와 침투통, 침투트렌치 통과 후 빗물의 pH 변화를 비교하여 보았다.

Fig. 6에서 2006년 이후 햇수가 지날수록 주차장 유출수(Runoff 1-5)의 pH가 지속적으로 낮아지는 것을 볼 수 있다. Outflow 1의 pH 범위는 7.49~8.19로 침투통과 침투트렌치를 지나면서 주차장에서 처음 유출된 빗물의 pH보다 낮아지는 것을 볼 수 있다. 이는 침투통과 침투트렌치를 거치면서 영향을 받는 것으로 판단된다. 2006년의 경우에는 첫 유출 후 시간이 지나도 지속적으로 pH가 높게 나오고 있다. 이는 준공 초기 시점이기때 주차장 표면, 침투시설 등에 pH 유발 물질이 많이 남아 있어서 pH를 높인 것으로 판단된다.

Fig. 6의 첫 그래프에서 준공년도인 2006년을

제외하고는 초기 유출 빗물의 경우(runoff 1) pH가 가장 높았다가 시간이 경과하면서 낮아지는 것이 관찰되었다. 이는 빗물에 의해 주차장면에 축적되어 있던 오염물질이 씻겨 내려가는 씻김 현상의 영향으로 보인다.

Fig. 6의 두 번째 그래프에서 보듯이 용인 S 3 단지의 실험용 빗물이용시설은 플라스틱 재질로 pH에 미치는 영향은 없으나, Fig. 3처럼 집수구역인 옥상이 pH에 미치는 영향은 플라스틱 재질의 저류조 내에 남아 있었던 것으로 보인다. 플라스틱 빗물이용시설에 저류된 빗물은 옥상우수의 pH와 차이가 없는 것으로 보아 플라스틱 빗물이용시설은 pH에 영향을 주지 않는 것으로 보인다. 다만, 플라스틱 저류조 앞의 유출맨홀은 콘크리트 재질이라 이 유출맨홀에 머물러 있던 빗물의 pH는 콘크리트 부분과의 접촉으로 인해 플라스틱 내부에서보다 pH가 더 높아진 것으로 판단된다. 빗물이용시설을 플

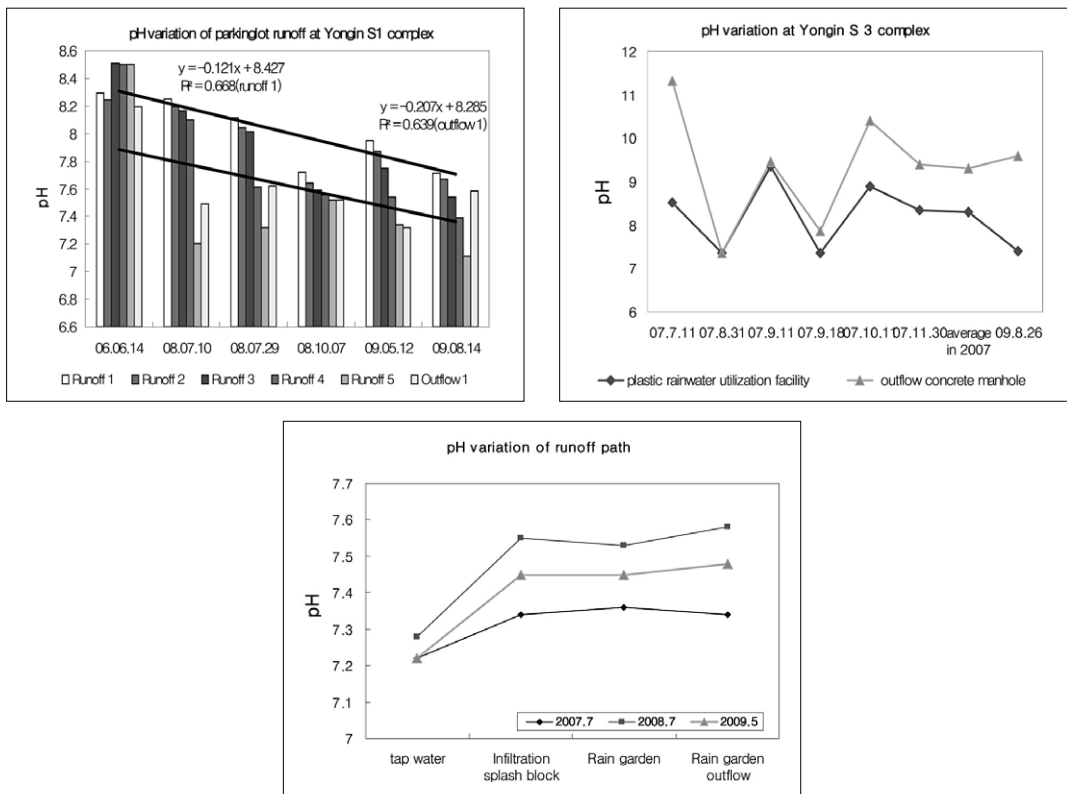


Figure 6. pH variation of parking lot runoff according to runoff time(S 1), pH difference of plastic facility and concrete manhole(S 3) and pH variation from infiltration splash block to rain garden outflow(Bundang H)

라스틱 재질로 설치하더라도 그 주변 시설이 콘크리트일 경우 빗물의 pH에 영향을 미치는 결과를 가져올 것으로 보인다.

Fig. 6의 마지막 그래프에서는 분당 H 마을에 2005년 5월에 설치한 침투형 빗물받이, 도랑, 빗물정원 및 유출구로 이어지는 옥상 빗물의 유출 경로에 따른 pH 변화를 보여주고 있다. 즉, 옥상을 지나면서 강우의 pH보다 높아진 옥상 유출 빗물은 침투시설 등을 통과하면서도 영향을 미치고 있는 것으로 보인다. 이는 옥상 유출 빗물을 따라 옥상의 산화칼슘 등의 pH 상승 유발물질이 침투형 흡통받이, 빗물정원 등에서 pH에 영향을 미치고 있음을 보여주는 것이다. 즉, 옥상 유출 빗물이 토양 내로 침투하면서 토양 표층에 pH 유발물질이 쌓여 있음을 간접적으로 보여주는 것이며, 단지에 설치한 분산형 빗물관리시설인 이들 시설이 옥상 등에서 유출되는 빗물의 pH를 높이는 물질을 잡아줌으로써 주변 수역에 미치는 영향을 최소화한다 하겠다. 다만, 침투시설을 거쳐 나오는 유출 빗물의 pH는 Fig. 6에서처럼 8을 넘지 않고, 약 알칼리성으로 토양에 미치는 영향은 없을 것으로 보인다.

IV. 결론

빗물의 수질은 집수구역과 저장시설 등의 환경적인 영향을 많이 받게 된다고 보고되고 있는데 특히 집수구역과 저장시설의 재질과 특성에 따라 빗물의 pH는 영향을 받게 된다.

1. 옥상 유출 빗물의 pH는 각 단지별로 뚜렷하게 차이가 나타나고 있으며, 단지별로 비교적 일정하게 유지되고 있다. 준공 후 10년 이상 지난 분당 H의 경우 옥상 유출수의 pH는 7에 근접하였으나 준공 후 1~3년 이내의 용인 S 1은 평균 pH가 8 전후로 입주 초기에 옥상 재질의 영향이 뚜렷한 것으로 보인다. 용인 S 1, 3단지처럼 동일시기 준공 및 동일 지역에 위치하더라도 옥상 유출 빗물의 pH가 비교적 뚜렷한 차이를 보이고 것으로 보아 대기 침전물 등의 영향이 아닌 옥상 방수 공사과정에서의 시

멘트 마감의 차이가 옥상 유출 빗물의 pH에 더 영향을 미치는 것으로 보이며, 추가 연구가 필요할 것으로 보인다. 준공 후 10여년이 지난 분당 H 마을 옥상 유출 빗물의 pH가 용인 S 1, 3 단지와 비교하여 낮은 경향을 보이는 이유는 pH에 영향을 미치는 물질이 많이 씻겨 나간 결과로 보인다. 즉, 시간이 지날수록 지붕면 재질이 옥상 유출빗물의 pH에 미치는 영향이 줄어드는 것으로 판단된다.

2. S 1단지의 주차장 유출수의 pH는 입주 이후 해가 지나 갈수록 그리고 주차장에서 첫 유출 후 계속 낮아지고 있다. 이 역시 주차장면의 오염물질이 씻겨 나가는 탓으로 보인다. 또한, 침투통과 침투트렌치를 통과한 빗물의 pH는 주차장에서 곧바로 유출되는 빗물의 pH보다 낮아졌다. 이는 주차장 표면 등 불투수면에서 유출되는 빗물을 실개천, 하천 등의 지표수로 바로 유입되지 않도록 함으로써 알칼리성 pH에 의한 수질 및 수생태계에 부정적인 영향을 미칠 수 있는 여지를 미연에 차단하는 효과를 기대할 수 있을 것으로 보인다. 특히, 갓 준공된 단지 등에서는 그 효과를 더욱 기대할 수 있을 것이다.

3. 침투형 빗물받이, 도랑, 빗물정원 및 유출구로 이어지는 옥상 빗물의 유출 경로를 따라 pH가 상승하는 것으로 보아 옥상의 pH 유발물질이 유입되어 쌓이는 것으로 보인다. 다만, 빗물침투시설 내에서 유출되는 유출수의 pH는 8을 넘지 않는 약 알칼리성으로 침투시설의 토양 환경에 미치는 영향은 거의 없을 것으로 보인다. 이렇게 단지에 설치하는 분산형 빗물관리시설은 특히, 준공 초기 시점에서 단지 외부 환경에 미칠 수 있는 빗물 pH 알칼리성의 영향을 최소화하는데 기여할 수 있을 것이다.

감사의 글

본고는 21세기 프론티어 연구개발 사업 중 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단(과제번호 4-3-3)의 연구비 지원과 지하형 플라스틱 빗물이용시설 적용 연구의 지원에 의한 것으로, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 문정수, 장재연, 한무영, 2006, 빗물이용시설에서 집 수면 조건과 저장조에서의 체류시간이 빗물의 수질에 미치는 영향, 대한상하수도학회 · 한국물환경학회 공동추계학술발표회 논문집, pp. 1093-1100.
- 한무영, 이일용, 김미형, 김영진, 2002, 빗물이용시스템에서 빗물의 pH와 전기전도도에 관한 연구, 상하수도학회지, 16(1), 80-86.
- 한무영, 이일용, 박상철, 2003, 건물의 지붕 집수면이 유출빗물의 수질에 미치는 영향, 상하수도학회지, 17(3), 460-466.
- 한영해, 이태구, 2008, 분산식 빗물관리시스템이 도시 물순환에 미치는 효과 분석, 한국생태환경건축학회 학술발표대회논문집, 15, 177-182.
- 현경학, 장선영, 안성식, 2006, 국내 공동주택단지 자연 순응형 빗물관리시설 사례 분석, 환경영향평가학회지, 15(2), 111-119.
- 현경학, 정승혜, 박순영, 2007, 지하형 플라스틱 빗물 이용시설 적용 연구, 대한주택공사 주택도시연구원.
- 현경학, 오정익, 이강문, 정경영, 최정주, 안성식, 2008a, 공동주택단지 우수관리 기반시스템 적용 방안 연구, 수자원의 지속적 확보기술 개발 사업단.
- 현경학, 오정익, 최정주, 2008b, 장기간 운전한 빗물 침투시설의 pH 변화, 대한상하수도학회 · 한국물환경학회 공동추계학술발표회 논문 요약집, pp. 250-251.
- 한국콘크리트학회, 2005, 최신 콘크리트 공학.
- 환경부, 2008, 환경통계연감 2008, 21, 6.
- Chang, M., McBroom, M. W. and Beasley, R. S., 2004 Roofing as a source of nonpoint water pollution. *Journal of Environmental Management*, 73, 307-315.
- Chouli, E., Aftias, E. and Deutsch, J.-C., 2007, Applying storm water management in Greek cities: learning from the European experience. *Desalination*, 210, 61-68.
- Foster, J., 1996, Patterns of roof runoff contamination and their potential implications on practice and regulation of treatment and local infiltration. *Water Science and Technology*, 33(6), 39-48.
- Foster, J., 1999, Variability of roof runoff quality. *Water Science and Technology*, 39(5), 137-144.
- Kim, R.-H., Lee, S. and Kim, J.-O., 2005, Application of a metal membrane for rainwater utilization: filtration characteristics and membrane fouling. *Desalination*, 177, 121-132.
- Li, L., Sagués, A. A. and Poor, N. (1999) In situ leaching investigation of pH and nitrite concentration in concrete pore solution. *Cement and Concrete Research*, 29, 315-321.
- Nolde, E., 2007, Possibilities of rainwater utilisation in densely populated areas including precipitation runoffs from traffic surfaces. *Desalination*, 215, 1-11.
- Prince George's Country, Maryland, 1999, Low impact development design strategies - An integrated design approach.