

도로노면 유출수 처리를 위한 여과에서의 여재별 손실수두 특성

A study on the headloss of filter media for treatment of Road Runoff

최원석^{1*} · 송창수¹ · 김석구²

Choi, Weon-Suk¹ · Song, Changsoo¹ · Kim, Seog-ku²

1 호남대학교 토목환경공학과, 2 한국건설기술연구원

(2008년 11월 25일 접수; 2008년 12월 12일 수정; 2008년 12월 15일 채택)

Abstract

Stormwater runoff from urban road area as non-point source has a tendency of including lots of pollutants at initial rain period. Recently, there are several cases of having installed treatment facilities for reducing pollution discharge from the impervious cover in urban area to prevent watershed environment from getting worse.

The filtration type among non-point source treatment systems has been known as one of the most efficient system for treatment of non-point source pollutants. Therefore, various kinds of filter media such as expanded polypropylene(EPP), granular activated carbon, zeolite, perlite, illite, sand, gravel has been developed.

This study was conducted to verify performance and hydraulic characteristics of filter media as measures for non-point source.

The experiment was carried out to evaluate applicability and variation of 4 kind of most popular filter media(EPP, GAC, Zeolite, Perlite) in headloss with elapsed time and influent flow rate and to obtain data base that could be used to establish management plan for road runoff treatment.

In experiment by tap water, it showed that EPP and perlite those are floatable materials showed stable operating performance and lower headloss than the others.

Key words : road runoff, NPS(Non-point source), Head loss of Filtration, characteristic of Filtration Media

주 제 어 : 도로노면 유출수, 비점오염원, 여과손실수두, 여재특성

1. 서론

우리나라의 과거 물관리정책은 고도경제성장과 생활수준의 향상, 인구증가 등으로 인한 물 수요를 충족시키기 위해 수자원의 공급능력 확대에 주력해 왔으며, 수자원의 질적 가

치를 보전하기 위한 노력은 상대적으로 소홀하였다. 그러나 최근 들어 확보된 수자원의 수질문제에도 관심을 가지게 되면서 유역 및 하천의 수질개선을 위해서 많은 노력들이 이루어지고 있다. 현재 수질오염 특징은 과거의 점오염원에 의한 수질오염에서 강우유출수, 농지 등에 의한 다수의 비점오염

*Corresponding author Tel: +82-31-423-2971, Fax: +82-31-423-2972, E-mail: wschoi@n4tec.co.kr(Choi, W.S.)

원에 의한 광역적 수질오염이 갈수록 문제가 되고 있다.

이 중 도시지역의 경우에는 불투수면적의 증가로 강우초기에 고농도의 오염물질이 유출되는 현상이 발견되며(이 등, 2006), 이러한 불투수성의 증가는 비점오염원에 대한 자연적 자정능력을 감소시킬 뿐만 아니라, 선행 무강우일동안 도로표면에 쌓여있던 오염물질이 강우발생시 씻김현상(first-flush)으로 인하여 무방비상태로 인근 수역으로 방류됨에 따라 수자원보호를 위한 노력에도 불구하고 점오염원의 위주의 관리로서는 양질의 수자원 확보에 한계를 가질 수밖에 없다(김 등, 2004). 뿐만 아니라 도시의 도로면에서 유출되는 강우에는 질소와 인과 같은 부영양화 영양염류 등의 오염물질(박 등, 2007)이외에도 중금속(위 등, 2008), 기름 성분(김 등, 2004), 병원성 미생물(박 등, 2007)이 여름과 가을 사이에 고농도로 배출되고 있으며, 생태계에 악영향을 주는 내분비계 장애물질이 함유(환경부, 2006)되어 있는 것으로 나타나 사태가 심각하다고 할 수 있다.

이러한 도로노면 유출수에 의한 비점오염물질의 문제점

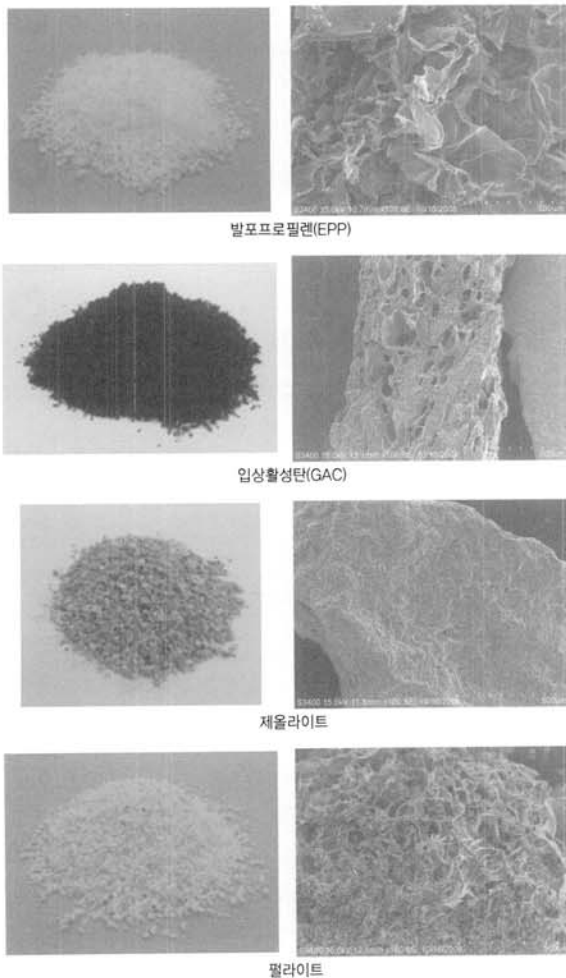


Fig. 1. Appearance and SEM images of filter media.

을 해결하기 위한 방안으로 인공습지(정 등, 2006), 장치형 시설(노 등, 2004), 여과형 처리시설(김 등, 2004) 등이 있다. 여과형 처리시설은 크게 하향류와 상향류로 구분될 수 있는데, 하향류는 중력방향과 여과방향이 같아 여과와 침전이 동시에 발생하여 처리효율이 높은 반면 여재 유입부에 여과잔류물이 퇴적되고 퇴적부가 월류에 직접적 영향을 받아 고유량시 이전에 제거된 여과잔류물이 유출될 우려가 크다는 단점이 있으며, 상향류는 처리용량제어가 용이하고 여과잔류물이 여층에 직접적 영향을 미치지 않는다는 특징이 있다(정 등, 2004).

따라서 본 연구에서는 도로노면 유출수에 포함된 비점오염물질을 효과적으로 제거하기 위하여, 국내에서 현재 적용되고 있는 여러 가지 여재들을 대상으로 Lab-scale의 모형 실험장치를 제작하여 각 여재들의 오염물질 제거효율, 처리 지속시간, 통수능, 손실수두 및 여재폐색 진행여부 등을 동일한 조건에서 비교분석하고자 하였다.

2. 실험재료 및 방법

본 연구에서는 장치형 비점오염 처리시설로서 여과시설을 검토하였으며, 여과방식의 선정에 있어서는 처리효율보다는 많은 유량처리에 유리하고, 여과지속시간이 긴 상향류 여과방식을 채택하였다. 상향류 여과장치는 전체 높이는 20~50cm, 여과층의 표면적은 289cm²이다.

본 연구에서의 실험대상여재는 도시지역의 장치형 비점오염 저감시설에 널리 사용되고 있는 여재를 대상으로 조사하여 발포폴리프로필렌(EPP), 활성탄(GAC), 제올라이트 및 펄라이트 4가지 여재를 선정하였다. 각 여재는 입경이 2~3mm로 체거름 한 후 사용하였으며, EPP를 제외한 여재는 Tap-water로 수회 세척하여 불순물을 최소화한 후 사용하였다.

유량 변화에 따른 여재의 손실수두를 변화를 조사하기 위해 수돗물을 통과시키면서 여재에 걸리는 수두를 측정하였다. 여재층의 높이를 20, 30, 40, 50cm로 변화시켰으며, 여과 선속도를 196, 386, 772, 1,157m/day로 변화시켰다.

도로노면 유출수는 도로노면 분진을 채집하여 0.8mm 체로 거른 다음 수돗물에 혼합하여 사용하였으며, 유입은 2 m³ 탱크에서 자연유하로 공급을 하였다. 유입유량은 수위에 따라 변동하였는데 수위가 높은 초기에는 유입유량이 크고 중기에는 작아지는 경향이 있었다. 이를 분석하면 실험이 진행되는 동안 시간당 0.48~0.29m³까지 감소하는 경향을 보였는데 이를 강우강도로 환산하면 시간당 10.4~6.2mm에 해당된다.

1회 이벤트시 시간변화에 따른 유입조건을 각각 환산하였다. 20분 경과시 유입유량은 시간당 0.45m³이며 이때 여과

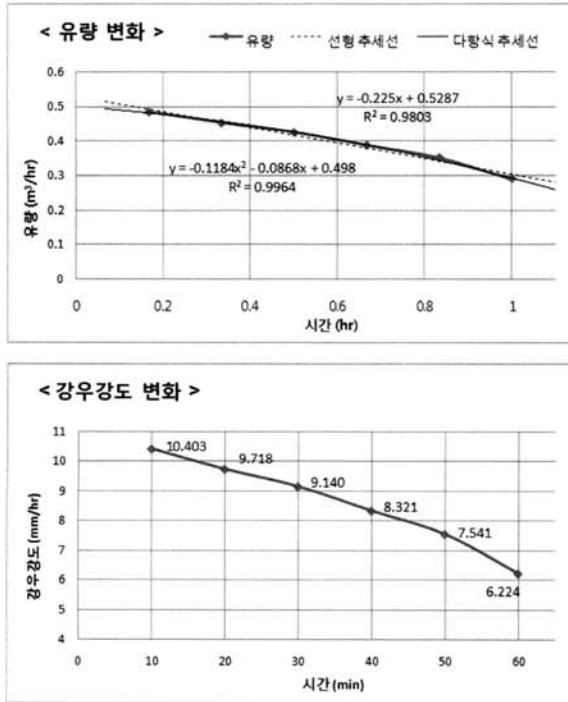


Fig. 2. Variation of influent flow rate.

속도는 375m/day, 이를 강우강도로 환산하면 시간당 9.7mm가 된다. 40분 경과시는 시간당 0.39m³, 60분 경과시는 0.29m³으로 유입하였는데, 이를 환산하면 Table 1과 같다.

Fig. 3은 도로노면 유출수에 대한 각 이벤트당 유입수질 및 유입부하를 나타낸 것이다.

SS농도가 평균 820mg/L로서 누적유입부하를 도심지 SS 부하량 808kg/ha/년을 기준으로 하여 환산하면 누적환산일수는 1차 Test는 538일, 2차 Test는 1,111일에 해당된다.

3. 결과 및 고찰

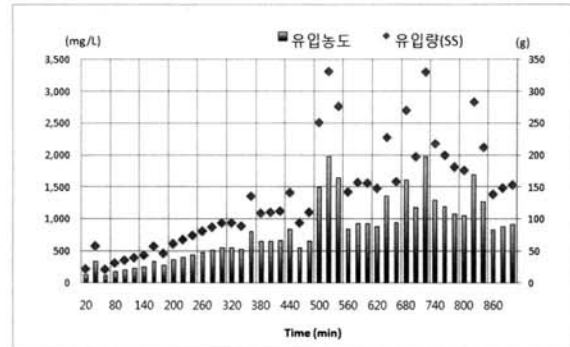
3.1. 유량에 따른 손실수두의 변화

3.1.1. 초기손실수두 변화

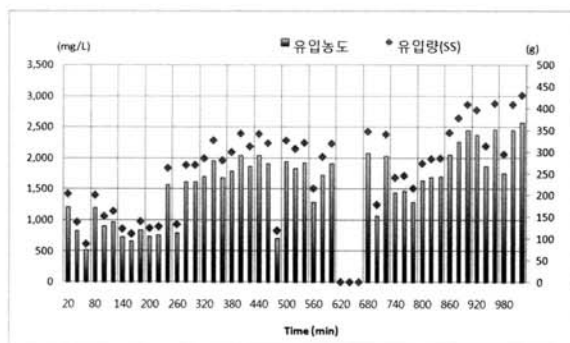
각각의 여재별로 유량에 따른 손실수두 변화는 Table 2와 Fig. 5와 같다. 여과 선속도가 증가함에 따라 재료에 관계없이 손실수두는 증가하고 있다. 선속도의 증가에 따라 손실수두의 증가폭은 제올라이트가 큰 것으로 나타났다. EPP와 펄라이트는 선속도의 증가에 따라 균일한 손실수두의 증가

Table 1. Experimental condition of inflow

| 항 목 | 20분 경과 | 40분 경과 | 60분 경과 |
|------|-------------|-------------|-------------|
| 강우강도 | 9.718 mm/hr | 8.321 mm/hr | 6.224 mm/hr |
| 여과유량 | 0.451 m³/hr | 0.386 m³/hr | 0.289 m³/hr |
| 여과속도 | 374.9 m/day | 321.0 m/day | 240.1 m/day |

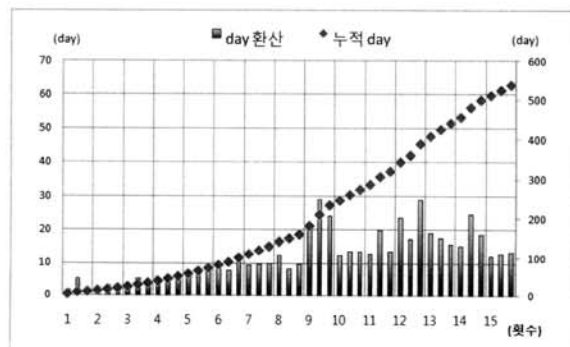


< 1차 Test >

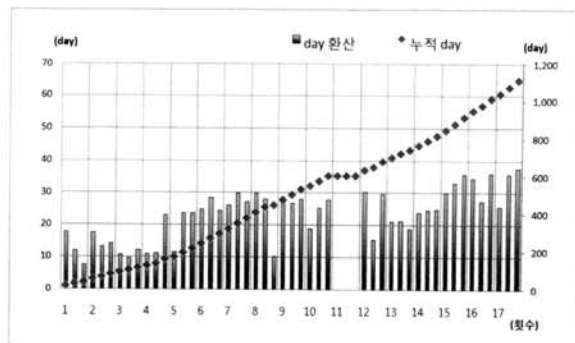


< 2차 Test >

Fig. 3. Influent SS concentration and load.



< 1차 Test >



< 2차 Test >

Fig. 4. Converted cumulative days of each experiment.

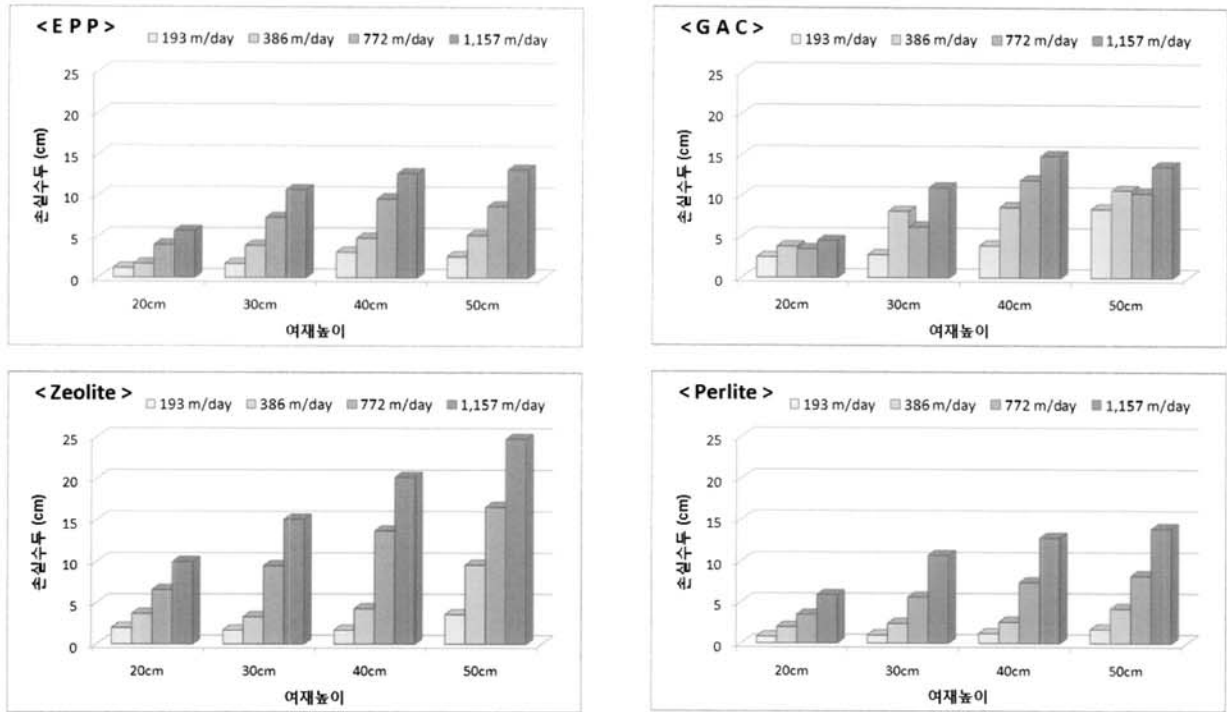


Fig. 5. Headloss of filter media on filtration height.

를 보여주고 있다. GAC는 여과속도 증가에 따라 여재층 높이에 따라 다양한 변화를 보여주고 있다. 선속도를 386m/day에서 772m/day로 증가시켰을 때, 여재층 높이 20cm와 30cm에서 손실수두가 감소하는 것으로 나타나고 있다. 이러한 요인은 통과유량이 증가하여 선속도가 증가하면 여층 전체가 교란되어 손실수두가 감소하는 현상이 발생하였다.

여과속도 1,157m/day로 모의했을 경우에는 활성탄뿐만

아니라 제올라이트에서도 여재층 상부에서 간헐적으로 여층 교란 현상이 관찰되었다. EPP와 펄라이트의 경우 부양성 여재로 여재층 높이 및 유입량 증가에 관계없이 본 실험에 사용한 여과속도의 범위에서는 여재 내부의 교란현상 등은 발견되지 않았으며, 유입량 증가에 따른 손실수두 증가폭도 제올라이트에 비해 작은 것을 확인할 수 있었다.

Table 3은 여재층의 교란을 억제했을 때의 손실수두 변화를 관찰하기 위해 상부를 고정하여 손실수두를 측정하였다.

Table 2. Measured headloss of filter media for each linear velocity

| 재료 | 선속도 | 여재층 높이 | | | |
|---------|------------|--------|------|------|------|
| | | 20cm | 30cm | 40cm | 50cm |
| EPP | 196m/day | 1.2 | 1.7 | 3.1 | 2.6 |
| | 386m/day | 1.7 | 3.9 | 4.8 | 5.2 |
| | 772m/day | 4.0 | 7.3 | 9.6 | 8.7 |
| | 1,157m/day | 5.7 | 10.7 | 12.7 | 13.2 |
| GAC | 196m/day | 2.5 | 2.8 | 3.9 | 8.4 |
| | 386m/day | 3.8 | 8.1 | 8.6 | 10.7 |
| | 772m/day | 3.5 | 6.2 | 11.9 | 10.3 |
| | 1,157m/day | 4.5 | 11.0 | 14.9 | 13.6 |
| Zeolite | 196m/day | 2.0 | 1.7 | 1.7 | 3.6 |
| | 386m/day | 3.7 | 3.3 | 4.3 | 9.6 |
| | 772m/day | 6.6 | 9.5 | 13.7 | 16.6 |
| | 1,157m/day | 10.0 | 15.1 | 20.2 | 24.8 |
| Perlite | 196m/day | 0.8 | 1.0 | 1.2 | 1.7 |
| | 386m/day | 2.0 | 2.4 | 2.6 | 4.2 |
| | 772m/day | 3.5 | 5.6 | 7.4 | 8.2 |
| | 1,157m/day | 5.9 | 10.7 | 12.8 | 13.9 |

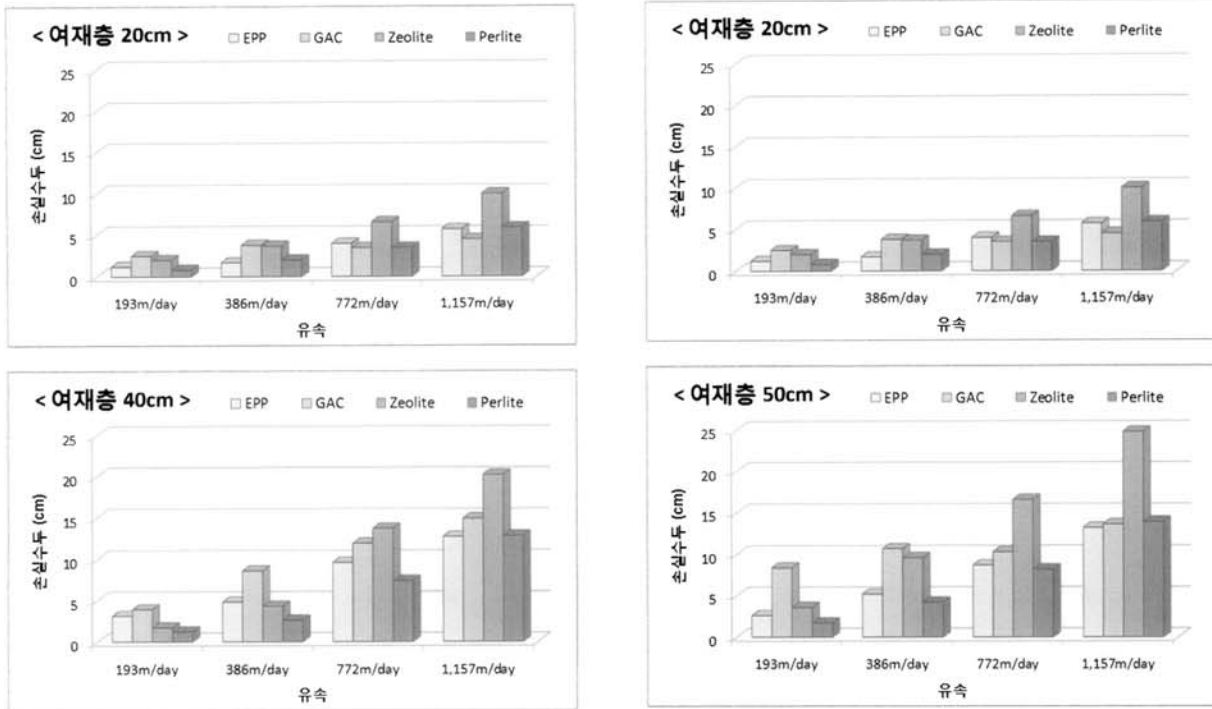


Fig. 6. Effects of media height on headloss.

여과속도가 증가함에 따라 손실수두는 급격한 증가를 보였으며, Table 2에서 큰 손실수두를 보인 제올라이트보다 손실수두 증가폭이 크게 나타났다.

여재층 높이에 따른 각 여재의 특성을 나타낸 결과는 Fig. 6과 같다. 여재층 20cm에서는 여과속도 증가에 따라 손실수두의 변화가 상대적으로 작게 나타나고 있다. 여재층의 높이가 30cm인 경우에는 여과속도 증가에 따라 손실수두의 증가가 높게 나타나고 있다.

펄라이트의 손실수두가 유량이 적을 때는 EPP 보다 낮게 나타나다가 유량이 많아지면 EPP 보다 높아지는 경향이 보이는데 이는 여재의 특성상 유량증가에 따른 손실수두 증가폭이 큰 현상과 실험을 거듭하면 펄라이트 여재가 깨지고

이중 무거운 입자가 여층 하부에 퇴적되면서 층을 형성하여 손실수두를 증가시키는 현상이 복합된 것으로 파악된다.

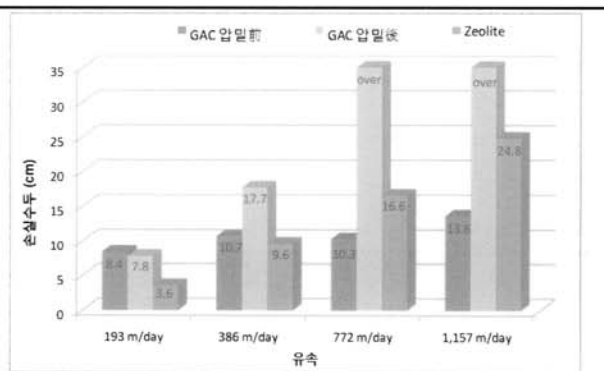
여재의 비중이 크거나 여상이 고정될 경우 손실수두가 크게 나타나 비중이 1보다 작은 부양성 여재인 EPP가 유리한 것으로 나타났다. 또한 비중이 1보다 큰 여재에서는 선속도가 증가하면 활성탄처럼 여층이 전체적으로 교란되거나, 제올라이트처럼 여층에 균열이 생기면서 일시적으로 돌파되는 현상이 관찰되었다.

3.1.2. 초기손실수두 경험식

측정된 데이터를 이용하여 손실수두 경험식을 산정하였다. 여과 손실수두를 여층의 두께와 여과속도의 함수로 표현

Table 3. Variation in headloss of GAC and Zeolite with media height of 50cm

| 선속도 | GAC (압밀前) | GAC (압밀後) | Zeolite |
|------------|-----------|-----------|---------|
| 193m/day | 8.4 | 7.8 | 3.6 |
| 386m/day | 10.7 | 17.7 | 9.6 |
| 772m/day | 10.3 | 40 | 16.6 |
| 1,157m/day | 13.6 | 40 | 24.8 |



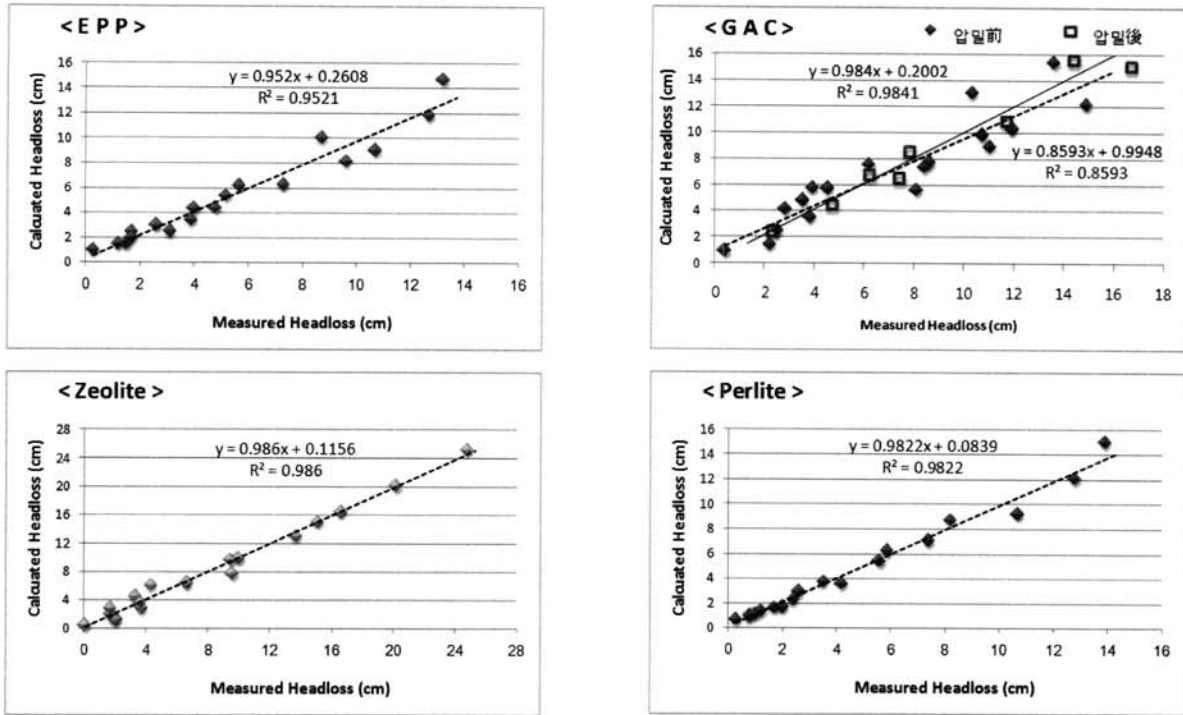


Fig. 7. Effects of media height on headloss.

하여 다음과 같이 산출하였다.

$$f = a + b \cdot h \cdot LV^c$$

여기서, f : 손실수두(cm), h : 여재층 높이(cm), a, b, c : 도출계수, LV : 유입유량/여재단면적 = 선속도(m/day)

EPP와 제올라이트, 압밀한 GAC는 값이 1에 근접하여 선속도에 대하여 일차함수의 성향을 보였으며, 값이 1.39로 가장 큰 값을 보인 펄라이트가 선속도에 대하여 가장 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 압밀하지 않은 GAC는 값이 0.38로 가장 작지만, 압밀하여 여재층의 교란을 억제한 경우에는 1.04로 나타났으며, 이는 여층의 교란으로 인하여 선속도가 증가하면 손실수두가 증가속도가 감소하는 현상에 기인한다.

R^2 값이 압밀전 활성탄이 가장 낮게 나타났는데 이는 여층의 교란에 기인한 것이며, 그 다음으로 EPP가 낮게 나타났는데 이는 EPP가 합성수지인 폴리프로필렌을 원료로 하므로 여재가 flexible하여 수두가 높아져 압력이 증가하면 여

층이 압밀이 되는 현상에 기인하는 것으로 판단된다.

3.2. 도로노면 유출수의 여과에 따른 손실수두의 변화

도로노면 유출수에 의한 손실수두 결과는 Fig. 8과 같다. EPP를 사용한 여재층에서는 경과일수가 증가함에 따라 지속적으로 손실수두가 증가하는 경향을 보여주며, 증가율은 여과 속도가 높음에 따라 크게 나타나고 있다. 활성탄을 여재로 사용한 경우에 있어서는 경과일수에 따라 손실수두의 변화가 나타나지 않는다. 이러한 요인은 여재층 내부에서 교란됨으로 인하여 손실수두가 증가하는 경향을 보여주지 않는다.

제올라이트는 150일 지나 손실수두가 35cm를 넘어 월류가 발생하였으며 여과속도 240m/day에서 경과일수 275일에서 일시적으로 회복되었다가 다시 월류하는 현상을 보였다. 펄라이트는 여과속도 240m/일과 321m/일에서 200일에서 월류가 발생하며, 여과속도 375m/일에서 경과일수 400일에서 월류가 발생하는 것으로 나타났다. 누적 일수가 증가함에 따라 제올라이트와 펄라이트는 여재층의 파괴가 발생하며, 이로 인하여 수두가 일시 회복되는 현상을 보였다.

2차 테스트에서도 제올라이트가 가장 급격한 수두증가를 보였으며 EPP와 펄라이트는 매우 완만한 증가 추세를 보였다. 그러나 두 여재도 일정기간 경과 후 급격한 손실수두 증가를 보였으며, 특히 펄라이트의 경우가 매우 극심한 경향을 보였다. GAC는 수시로 여층이 교란 및 파괴되어 매우 불규칙한 패턴을 보였는데 유출수질도 크게 나빠지는 경향을 보였다.

Table 3. Computed parameters for each filter media

| | EPP | GAC(압밀前) | GAC(압밀後) | Zeolite | Perlite |
|---|------|----------|----------|---------|---------|
| a | 0.50 | -0.65 | -1.56 | -0.33 | 0.41 |
| b | 0.30 | 21.26 | 0.84 | 0.31 | 0.02 |
| c | 0.97 | 0.38 | 1.04 | 1.05 | 1.39 |

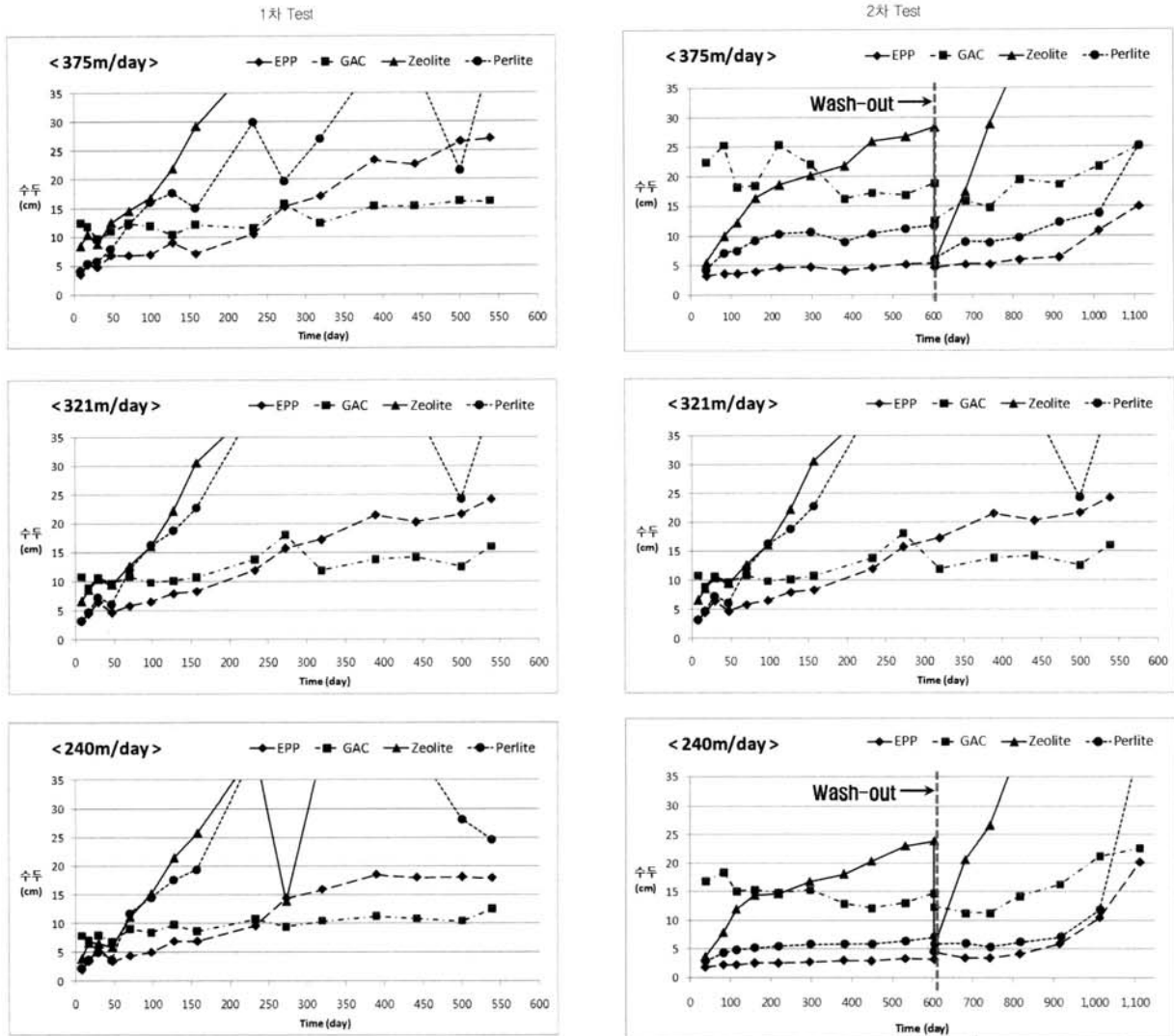


Fig. 8. Variation in headloss with elapsed time.

1차와 2차 실험을 통하여 시간이 경과하면 여층에 오염물질이 축적되고 이는 손실수두의 상승으로 나타났다. 여재별로는 제올라이트 > GAC > 펄라이트 > EPP 순으로 나타났으며, 제올라이트와 GAC는 유량증가에 따라 여층의 교란 및 파괴로 처리수질 악화와 손실수두의 회복이 발생하였고, 펄라이트는 여재가 부서지면서 여층이 파괴되어 처리수질이 악화와 손실수두 회복이 발생하였다.

2차 Test에서 재현기간 600일 경과 후 강우가 종료된 후에 유입되는 저농도의 유입수가 여재층에 포집된 고형물에 미치는 영향을 알아보기 위해 수돗물에 의한 Wash out 실험을 실시하였다.

EPP는 wash-out 실험기간동안 손실수두의 변화를 보여주지 않는다. 활성탄의 경우는 여재층이 파괴되어 있음으로 인하여 손실수두의 변화를 보여주지 않는다. 제올라이트는

wash-out 실험기간동안 손실수두의 급격한 증가를 보여준다. 펄라이트는 EPP와 유사한 손실수두의 변화를 나타낸 후, 1,100일 경과시 급격한 증가를 보여준다.

4. 결론 및 제언

도로노면 유출수를 처리하기 위하여 상향류 여과로 운전시 여재에 따른 손실수두의 변화를 파악하기 위하여 blank 실험과 도로노면 유출수를 사용하였다.

1. blank 실험에서 여과 선속도의 증가에 따라 손실수두의 증가폭은 제올라이트가 큰 것으로 나타났다. EPP와 펄라이트는 선속도의 증가에 따라 균일한 손실수두의 증가를 보여주고 있다. GAC는 여과속도 증가에 따라 여층 전체가 교란되어 손실수두가 감소하는 경향을 보여준다.

2. 도로노면 유출수에 대한 실험에서는 시간이 경과하면 여층에 오염물질이 축적되고 이는 손실수두의 상승으로 나타났다. 여재별로는 제올라이트 > GAC > 펠라이트 > EPP 순으로 나타났으며, 제올라이트와 GAC는 유량증가에 따라 여층의 교란 및 파괴로 처리수질 악화와 손실수두의 회복이 발생하였고, 펠라이트는 여재가 부서지면서 여층이 파괴되어 처리수질이 악화와 손실수두 회복이 발생하였다. 여층의 안정도와 손실수두를 종합하면 EPP가 가장 우수한 여재로 다른 여재에 비하여 가장 오랜 기간 동안 높은 처리효율을 유지할 수 있는 것으로 판단된다.

향후 각 여재에 대하여 손실수두와 처리효율의 관계, 여층 높이별 제거율 및 물질수지 분석, 각 여재의 오염물질 제거 성향 등에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.



참고문헌

- 이은주, 고석오, 강희만, 이주광, 이병식, 임경호, 김이형(2006) 포장지역에서의 강우사상별 EMC산정 및 단순 샘플농도와의 비교, *한국물환경학회지*, 22(1), pp.104-109.
- 김석구, 김영임, 윤상린, 이용재, 김이호, 김종오(2004) 강우강도에 따른 노면 유출수의 유출 특성, *한국물환경학회지*, 20(5), pp.494-499.
- 박상우, 오재일, 최영화, 서정우(2007) 도로노면 유출수의 비점오염원 배출 특성(1): 기본 수질 항목, *상하수도학회지*, 21(2), pp.225-233.
- 위승경, 김이형, 정용준, 길경익(2008) 교량 강우유출수내 비점오염물질의 유출특성 및 상관성, *한국물환경학회지*, 24(3), pp.378-382.
- 김이형, 강주현(2004) 고속도로 강우유출수내 오염물질의 EMC 및 부하량 원단위 산정, *한국물환경학회지*, 20(6), pp.631-640.
- 박상우, 오재일, 최영화, 김종화, 하재원(2007) 도로노면 유출수의 비점오염원 배출특성(2) : 중금속 및 병원성 미생물, *상하수도학회지*, 21(2), pp.235-242.
- 환경부(2006) *도로노면 초기우수 무동력 처리장치의 실용화, 차세대핵심환경기술개발사업 연구보고서*.
- 정용준(2006) 하수종말처리장 방류수와 비점오염원 처리를 위한 주암호 인공습지 2년 운영 사례, *한국물환경학회지*, 22(6), pp.1031-1037.
- 노성덕, 이대근, 전양근(2004) 도로상의 비점오염물질 저감을 위한 초기 우수유출수 처리에 관한 연구, *한국물환경학회지*, 20(5), pp.525-533.
- 김석구, 윤상린, 김영임, 이용재, 김이호(2004) 여재에 따른 노면유출수의 처리특성, *대한상하수도학회 춘계학술발표회 논문집*, pp.407-410.
- 정팔진, 광동희(1994) 고정상 및 유동상 생물여과를 이용한 상수의 전처리, *수질보전*, 10(1), pp.24-30.
- 환경관리공단(2004) *도심지 합류식 하수관거 월류수 및 분류식 우수관거 우수유출 오염부하 기초조사 연구보고*.
- 김형준(2005) *도시지역 비점오염물질 저감을 위한 초기우수 처리시설의 여재특성*, 단국대학교 박사학위 논문.
- 환경부(2006) *도시비점오염원의 유출특성 변화에 적용 가능한 처리시스템 개발*, 차세대핵심환경기술개발사업 연구보고서.