

## 친수코팅에 의한 초기우수 배제에 관한 연구

### A Study of the first stage Rain-Water exclusion by hydrophilic coating

최 원 준\* 김 영 정\* 심 영 민\* 오 혜 철\*\* 이 동 석\*\*\*  
Choi, Won Jun Kim, Young Jung Shim, Young Mean Oh, Hye Cheol Rhee, Dong Seok

#### Abstract

Water shortage as well as water control problems including urban flood and drought have led to developing technologies for rainwater utilization in order to provide a sustainable water supply. However, relatively few works have been done to improve the water quality during rainwater utilization. Therefore, in this study, the characteristics of rainwater were examined in terms of pollutant concentrations and outflow rate. A experimental rain and roof model(1m×1m) were produced to evaluate wash-off properties of pollutants. And rainfall intensity were standardized in 10 mm/hr, a experimental model roof catchment surface were coated in TiO<sub>2</sub> photocatalyst. Samples of runoff rainwater collected from a experimental model were analyzed for physicochemical parameters such as Turbidity, Suspended Solid, EC. The results show that the first flush of rainwater contains substantial amount of contaminants that potentially pollute the whole rainwater. Surface treatment of roof catchment area using TiO<sub>2</sub> photocatalyst allowed a better runoff property of rainwater because of its improved hydrophilicity.

키워드 : 우수, 이산화티타늄, 광촉매, 친수성, 친수코팅

Keywords : rainwater, TiO<sub>2</sub>, photocatalyst, hydrophilicity, hydrophilic coating

#### 1. 서 론

현재 우리나라는 UN에 의해 '물 부족국가'로 분류되어 있다. 우리나라의 연평균 강수량은 1,238mm로 세계평균 973mm의 1.3 배에 이르고 있으나 좁은 국토에 높은 인구밀도로 인해 1인당 수자원 강수량은 3,000 m<sup>3</sup>/인·년으로 세계평균 34,000 m<sup>3</sup>/인·

년의 10 %에 지나지 않기 때문이다[1]. 더욱이 실질적으로 이용 가능한 수자원(강수량에서 자연 상태의 증발량을 제외한 양, 자연유출량)은 1,550 m<sup>3</sup>/인·년밖에 되지 않는다[2].

또한 우리나라의 강우발생 양상을 살펴보면, 연 강수량의 2/3가 홍수기인 6~9월에 편중되어 있으며, 국토의 65 %가 산악지형으로 하천의 경사가 급해 홍수가 일시에 유출(유량변동계수 300~400)되고 있다.

자연적인 조건을 배제하더라도 도시의 인구집중과 산업화로 인하여 필요한 물의 수요는 급격하게 증가되고 있으며 이로 인해 수자원의 부족 문제가

\* 강원대학교 환경공학과 학사과정

\*\* 강원대학교 환경공학과 석사과정

\*\*\* 강원대학교 환경공학과 교수, 이학박사

더욱 가속화되고 있다. 또한, 지표면의 불투수율 증가로 인하여 도시형 침수나 홍수가 빈번하게 발생하고 있으며, 우수와 함께 유출되는 오염물질이 수계로 유입되면서 도시 인근의 하천이나 호소의 수질오염을 발생시키거나 상수원을 오염시키는 등의 환경 문제를 발생시키고 있다.

이러한 수자원 부족과 도시형 침수나 홍수, 그리고 수질오염의 문제를 해결하기 위한 방안으로 우수를 모아서 활용하는 방법이 연구되고 있다. 즉, 강우시 우수를 집수하고 저류하여 생활용수, 비상용수, 조경용수 등으로 활용하여 물 부족 문제를 해결하는 것이다. 우리나라 연간 총 수자원량은 1,276억 톤으로, 이중 400억 톤의 빗물이 하천이나 바다에 버려지고 있는 실정이다.

이러한 빗물을 도시지역에서 모아서 사용하게 되면 용수를 얻을 수 있고, 그에 따른 댐이나 상수도 설비 같은 기반시설의 확충 비용을 절감할 수 있다. 이 밖에도 홍수저감, 지하수 충전, 생태계 복원 등 많은 장점들을 얻을 수 있다.

그렇지만 도시 지역에서의 우수 활용에 있어서 가장 큰 문제점은 집수시에 도시 분진이나 유기오염물, 중금속 등의 각종 오염물질이 우수와 함께 유입되어 비점오염으로 문제를 야기하는 것이다. 비록 우수를 직접 음용수로 사용하지 않는 경우라 할지라도 유해 오염물질이 우수에 존재하게 되면 잠재적인 위험요소로 작용하게 된다[3,4].

빗물이용에서 사용하고자 하는 빗물은 강우가 아닌 집수면을 통해 집수된 우수이다. 그러므로 집수된 우수 중 오염물질의 대부분은 집수면에서 유출된다고 볼 수 있다. 특히 초기세척효과로 강우초기에 오염물질의 농도가 높은 유출수가 발생하고, 강우가 지속됨에 따라 오염물질의 농도는 점차 줄어들어 아주 낮거나 검출한계 이하가 된다[5]. 따라서 우수의 효율적 활용을 위해서는 이와 같은 오염물질이 우수 집수시에 유입되는 현상을 이해하고 이를 효율적으로 제어할 수 있는 기술의 개발이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 이산화티타늄( $TiO_2$ )을 활용하여 효율적인 초기우수 배제에 관한 연구를 진행하였다. 이산화티타늄( $TiO_2$ )은 태양에너지 전환, 환경오염물질 분해 등에 광촉매로 이용되며 초친수성 및 자정기능을 갖고 있는 물질로 환경 및 소재분야에서 최근 활발히 연구되고 있다[6]. 이산화티타늄( $TiO_2$ )의 친수성을 응용한 많은 기능성 상용제품들이 소개되고 있으나 아직까지 건물의 옥상이나 지붕의 코팅제로 활용하는 연구는 초기단계라고 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 초친수성을 나타내는 이산화티타늄( $TiO_2$ )코팅제를 사용하여 친수코팅에 의한 초기 우수 배제효율을 알아보고, 우수의 수질 개선 및 이용량 확대를 위한 방법을 알아보고자 한다.

## 2. 본론

### 2.1 $TiO_2$ 광촉매 sol의 제조

본 연구에서는 Titanium Source로써 다루기가 용이하고, 비교적 저렴한 이산화티타늄( $TiO_2$ )을 사용하였으며, 침전제로는 물에 쉽게 녹일 수 있는 탄산염 침전제를 사용하였다. 반응은 상온 또는 일정온도에서 이루어졌으며, 침전물에는 불순물로 작용할 수 있는 음이온이 완전히 제거될 때까지 물로 세척한 후 일정량의 분산제로 분산하였다. 분산된 sol은 고온고압 반응기(autoclave)를 이용하여 결정화하였다.

### 2.2 실험장치

일정한 단위면적에 내리는 빗물을 포집하고, 그 빗물에 의해 오염된 집수면이 씻길 때 나타나는 수질변화를 조사하기 위하여 Fig. 1과 같은 인공강우 분사 및 우수 집수 장치를 고안하였다. 우수가 직접 접촉하는 집수면은 밑면에서 40cm상단에 탈착이 가능하도록 설치하였으며, 집수면과 접촉 후 유출되는 우수가 집수판 앞쪽으로 배수되도록 집수판의 기울기를 조절하였다. 집수판의 크기는 가로 1m × 세로 1m이며 10mm두께의 아크릴판을 사용하여 제작하였다.

강우시 건물 옥상면에서의 유출특성을 파악하기 위해, 우수 집수판은 옥상 마감재로 많이 이용되는 우레탄으로 실제 시공시와 같이 표면처리 하였다. 또한, 이렇게 시공된 옥상면과의 비교실험을 위하여, 우레탄 표면을 개질하여 좀더 효과적인 우수제이용 시스템을 개발하고자 친수 기능을 발현하는 이산화티타늄 졸을 우레탄 위에 코팅하였다.

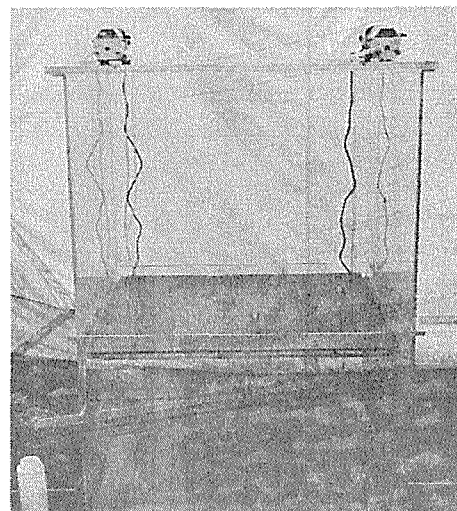


Fig. 1 Experimental rain and roof system

2.3 실험 방법 및 분석 항목

인공강우 장치 하단에 위치한 강우 집수관은 자연배수를 유도하기 위하여 일정한 구배를 갖춘 형태이다.

집수관의 표면은, 장기적으로 대기에 노출되어 여러 건식 강하물이 쌓인 상황을 모사하기 위하여 강원대학교 공과대학 1호관 옥상에서 포집한 분진 1g을 인위적으로 살포한 후 6시간 동안 대기중에 방치한 다음 시험하였다.

이 집수면에 내리는 강우는 Fig. 2의 실험장치 모식도에 나타낸 바와 같이 2개의 Pump(L/S Variable-speed Modular Drives)를 이용하여 인공강우를 강우 저장고로 유입시켰다. 인공강우장치를 거쳐 나온 빗물은 강우강도 10mm/hr로 집수관으로 떨어지고, 유출되는 우수는 집수관 앞쪽의 배수로를 거쳐 집수하였다.

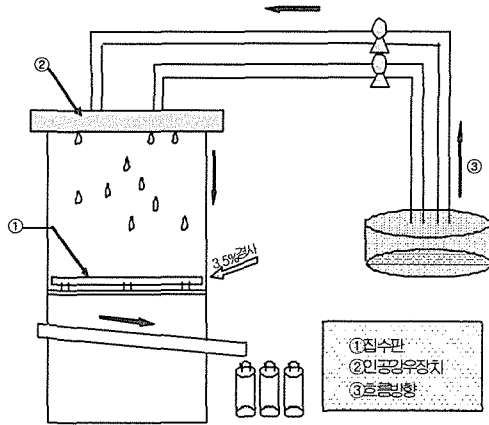


Fig. 2 Schematic diagram of experimental rain and roof system

분진이 침적되어있는 집수면에 강우를 살포한 후, 시간에 따라 포집된 우수의 수질을 조사하기 위하여 탁도(Orion-AQ4500), 부유성 고형물(수질공정시험법), 전기전도도(Orion-115)를 측정하였다.

시료채취는 강우지속시간에 따른 수질변화를 비교하기 위하여 강우 개시 후 10분까지는 1분 간격으로, 10분 이후부터는 5분 간격으로 총 20분 동안 채취하여 각 항목을 분석하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 집수관 기울기 변화에 따른 수질변화

일반적인 강우를 배제하기 위한 옥상 구배는 2° 미만으로 알려져 있다. 따라서 본 실험에서도 이 기준을 고려하여 집수관의 기울기를 각각 0.5°, 1°, 2°로 변화시켰으며 기울기에 따른 광촉매 기능의

친수성 발현 정도를 비교해 보았다. 또한 집수된 우수에 대해 탁도, 부유분진, 전기전도도 등의 수질 분석항목으로 분석함으로써 시간에 따라 집수된 우수의 수질을 평가하고, 초기 우수 배제 효과에 대해 어느 정도 영향을 미치는지 평가하였다.

집수관의 기울기 이외의 실험에 영향을 줄 수 있는 강우강도는 10mm/hr로 고정하였으며 집수관 1m<sup>2</sup>의 크기에 45μm 이하의 분진을 1g사용하여 인위적으로 채가름하여 뿌렸으며, 대기 조건에서 6시간 가량 방치 후 인공강우 집수 실험을 진행하였다[7].

3.1.1 탁도 변화

Table 1은 20분까지의 강우지속시간에 따른 탁도(NTU)변화를 나타낸 것이다. 강우초기 1분을 기준으로 비교해 보면 각도가 0.5°에서 2°로 높아질수록 탁도가 높게 나타났다. 이산화티타늄(TiO<sub>2</sub>) 코팅면의 경우 대략 70 NTU에서 125 NTU로 증가하고 있으며, 비코팅면의 경우 대략 22 NTU에서 100NTU으로 증가하고 있다.

Table 1. Occurrence of Turbidity (unit : NTU)

Time (분)	0.5°		1°		2°	
	TiO <sub>2</sub> 코팅면	비코팅면	TiO <sub>2</sub> 코팅면	비코팅면	TiO <sub>2</sub> 코팅면	비코팅면
1	70.84	22.53	100.21	70.13	125.50	99.50
2	23.47	14.20	19.00	15.00	14.61	23.64
3	8.29	12.90	2.42	7.39	6.72	11.55
4	5.22	8.27	2.15	5.75	4.96	8.03
5	2.74	5.11	3.15	5.18	5.11	11.38
6	2.38	4.32	3.37	4.36	4.12	11.97
7	2.95	4.33	1.99	4.62	2.88	8.23
8	1.76	3.12	1.97	4.27	2.51	5.42
9	1.67	2.58	2.13	3.77	2.69	7.16
10	1.77	3.12	1.57	3.34	2.80	5.32
15	1.10	2.63	0.97	4.01	2.20	4.30
20	0.86	1.94	1.04	2.12	1.37	3.06

또한 각각의 기울기에 대해 비교해 보면 이산화티타늄(TiO<sub>2</sub>) 코팅면이 비코팅면에 비해 강우 초기 1분에서의 탁도값이 높게 나타남을 확인할 수 있었으며, 그 코팅면과 비코팅면과의 탁도 차이는 집수관의 기울기가 낮은 경우에 더욱 현저하게 나타났다. 이는 기울기가 낮은 집수관에서는 TiO<sub>2</sub> 코팅면이 광촉매에 의한 초친수 기능이 우선하며, 기울기가 큰 집수관에서는 경사 각도에 따른 유속의 영향이 우선하는 것으로 판단된다.

강우 초기 1분에서 높게 나타났던 탁도값은 강우가 지속됨에 따라 지속적으로 감소하여 강우 발생 10분후에는 5NTU 이하로 감소하였다.

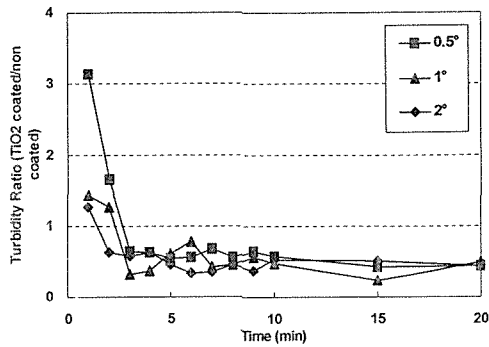


Fig. 3 Comparison of Turbidity for normal surface with TiO<sub>2</sub> coated surface

Fig. 3은 강우지속시간에 따른 비코팅면의 탁도값과 이산화티타늄(TiO<sub>2</sub>) 코팅면에서의 탁도값의 비를 나타낸 것으로 이때, 탁도(NTU)값의 비가 1.0이상은 이산화티타늄(TiO<sub>2</sub>) 코팅면에서 친수성에 의한 효과를 상대적으로 나타낸다. 강우초기 1분을 보면 집수판의 각도가 0.5°일 때 이산화티타늄(TiO<sub>2</sub>) 코팅면에서의 탁도비가 가장 높게 나타났으며 나머지의 경우는 1.0을 약간 상회하는 값으로 거의 비슷하게 나타났다. 이것은 집수판의 기울기가 1°, 2°의 경우 초친수 특성이 나타나긴 하지만 기울기 0.5°의 경우에 비해 초친수에 의한 영향이 상대적으로 작음을 의미한다. 즉, 기울기 0.5°의 경우는 광촉매에 의한 초친수 특성이 지배적이며, 나머지 경우에는 구배에 의한 유속의 영향이 지배적이라고 할 수 있다.

### 3.1.2 부유성 고형물질(SS) 변화

Table 2는 20분까지의 강우지속시간에 따른 SS 농도를 나타낸 것이다.

강우초기 1분의 SS 농도를 비교해 보면, 집수판의 기울기가 0.5°일 때 보다 2°로 높은 경우일수록 SS의 농도값이 증가함을 볼 수 있다. 또한 각각의 기울기에 대해 비교해 보면, 이산화티타늄(TiO<sub>2</sub>) 코팅면이 비코팅면에 비해 강우 초기 1분에서의 SS값이 높게 나타남을 확인할 수 있었으며, 그 코팅면과 비코팅면과의 SS값의 차이는 집수판의 기울기가 낮은 경우에 더욱 현저하게 나타났다. 이는 기울기가 낮은 집수판에서는 TiO<sub>2</sub> 코팅면이 광촉매에 의한 초친수 기능이 우선하며, 기울기가 큰 집수판에서는 경사 각도에 따른 유속의 영향이 우선하는 것으로 판단하며 앞서 본 탁도와 비슷한 양상을 보이고 있다.

Fig. 4에는 비코팅면에서의 SS에 대한 코팅면에서의 SS값의 비율을 나타내었다. 이것은 집수판의 기울기에 따라서 초친수 특성이 지배적인지 기울

Table 2. Occurrence of Suspended Solid

(unit : mg/l)

Time (분)	0.5°		1°		2°	
	TiO <sub>2</sub> 코팅면	비코팅면	TiO <sub>2</sub> 코팅면	비코팅면	TiO <sub>2</sub> 코팅면	비코팅면
1	237.2	52.4	300.1	220.2	383.7	311.9
2	78.3	29.7	200.0	150.0	253.3	95.6
3	25.7	21.4	5.6	41.8	46.5	48.6
4	7.2	29.1	10.0	28.3	18.0	47.5
5	2.5	9.2	6.7	25.3	11.9	55.0
6	3.0	8.7	5.8	23.7	11.3	52.9
7	4.7	15.9	6.4	24.9	20.9	48.0
8	4.9	4.8	4.5	20.0	7.2	42.6
9	5.9	12.8	4.2	19.6	7.3	38.4
10	8.4	7.7	4.0	18.0	4.8	34.4
15	2.8	8.7	3.3	21.8	3.1	29.5
20	4.5	8.3	4.6	10.9	2.4	24.1

에 의한 영향이 지배적인지를 평가할 수 있는 지표라 할 수 있다. 집수판의 기울기가 0.5°인 경우 SS비가 4.0이상으로 가장 높게 나타났으며 나머지의 경우는 1.0을 약간 상회하는 값으로 거의 비슷하게 나타났다. 이것은 집수판의 기울기가 1°, 2°의 경우 초친수 특성이 나타나긴 하지만 기울기 0.5°의 경우에 비해 초친수에 의한 영향이 상대적으로 작음을 의미한다.

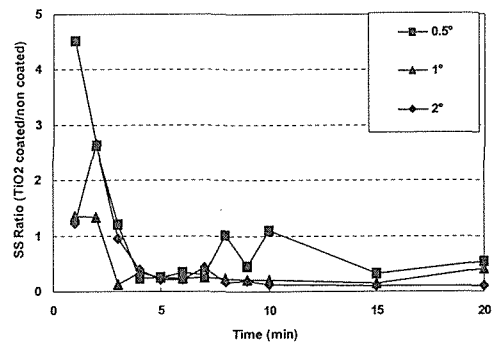


Fig. 4 Comparison of SS for normal surface with TiO<sub>2</sub> coated surface

### 3.1.3 전기전도도 변화

Table 3에 집수판의 기울기에 따라 강우 지속시간 동안 집수된 우수의 전기전도도(EC)값을 나타내었다.

실험결과, 기울기가 낮은 0.5°에서 전기전도도 값이 강우 초반부 높게 나타났으며, TiO<sub>2</sub>코팅면이 비코팅면에 비해 높게 나타났다. 또한 강우 초기 5분 이내에서는 기울기가 낮을수록 높은 전기전도

도 값을 나타냄을 알 수 있다. 그리고 초기 1분 동안 집수된 우수의 전기전도도 값을 비교해 보면, 코팅면의 전기전도도 값이 비코팅면의 전기전도도 값에 2배에 달하고 있으며, 시간이 지날수록 그 차이는 점점 줄어들고, 10~15분 사이를 지나면 그 값이 비슷해지고 있음을 알 수 있다.

Table 3. Occurrence of EC  
(unit :  $\mu\text{s}$ )

Time (분)	0.5°		1°		2°	
	TiO <sub>2</sub> 코팅면	비코 팅면	TiO <sub>2</sub> 코팅면	비코 팅면	TiO <sub>2</sub> 코팅면	비코 팅면
1	48.0	24.7	38.1	20.9	20.2	9.2
2	30.2	20.9	27.9	14.6	13.7	8.2
3	23.9	17.4	21.6	10.2	11.1	7.2
4	20.5	15.1	18.8	11.0	10.6	7.7
5	17.5	14.7	17.1	10.3	10.4	7.1
6	17.9	13.8	14.8	9.5	10.1	7.3
7	15.9	14.4	13.3	10.4	9.0	8.1
8	15.2	12.7	12.9	10.5	8.6	7.2
9	13.1	14.2	12.3	9.3	8.3	7.1
10	13.2	13.5	12.1	9.0	8.4	7.0
15	10.1	11.8	9.7	9.4	6.5	6.6
20	9.6	11.3	9.2	8.1	6.6	6.1

일반적으로 콘크리트 집수면을 지나는 유출 빗물 내에서 양이온 및 음이온의 변화특성은 강우가 집수면을 거치면서 급격히 증가된다. Tousand등(1999)[8]은 건설 폐자재의 용출실험을 통해 콘크리트가 양이온과 음이온의 주된 용출원이며, 총 용존 고형물(TDS)의 증가의 원인으로 발표하였다. 그러나 본 연구에서는 이러한 현상과는 달리, 강우가 우레탄 및 광촉매가 코팅된 집수면을 따라 흐르면서 집수판에 묻어 있던 분진을 세정하면서 분진 속에 포함된 무기 이온성 물질이 강우에 용존되어 일정량의 전기전도도를 띤다고 판단된다. 따라서 광촉매 코팅면과 비코팅면의 전기전도도를 비교해 보면, 코팅면에서의 전기전도도가 높게 나타나는데 이것은 코팅면이 초친수성에 의해 부유분진을 보다 많이 제거하였기 때문으로 사료된다.

비코팅면의 EC값에 대한 이산화티타늄(TiO<sub>2</sub>) 코팅면에서의 EC값의 비율(Fig. 5)을 보면 0.5°, 1°, 2°에서 크게 차이를 보이고 있지 않다. 강우지속시간에 따른 전기전도도는 비코팅면에 비해 이산화티타늄(TiO<sub>2</sub>) 코팅면에서 감소율이 크게 나타났으나 집수판 각도에 의한 영향은 크게 나타나지 않았다.

위와 같이 집수된 우수의 탁도, 부유분진, 전기전도도는 집수판의 기울기에 영향을 받으며, 집수판의 기울기가 증가할수록 초기에 집수된 우수의 탁도, 부유성 고형물질, 전기전도도는 증가함을 알

수 있었다. 또한 집수판의 기울기가 낮은 경우(0.5° 이하)에는 광촉매 코팅에 의한 초친수 효과에 의해 집수면의 세정작용이 우수하였고, 그 기울기에 따른 유속의 영향이 지배적으로 작용하였다고 할 수 있다.

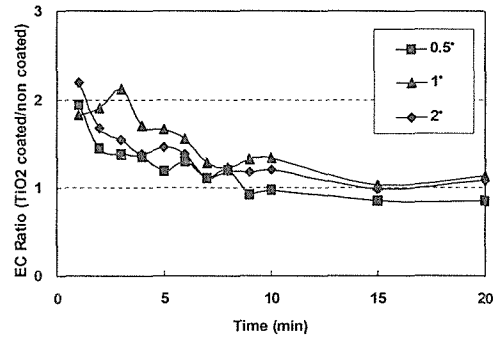


Fig. 5 Comparison of SS for normal surface with TiO<sub>2</sub> coated surface

또한, 실제 우리가 접하는 옥상면은 배수구로 향하는 기울기가 크게 2°를 넘지 않는다고 보고되고 있다. 물론 시공자 또는 시공 상황 및 경제적인 여건에 따라 구배를 일정하게 유지하는 것은 쉽지 않다. 따라서 고르지 않은 옥상면이나 우수 집수면에 이산화티타늄(TiO<sub>2</sub>) 광촉매 코팅제를 코팅한다면 구배가 낮은 면에서도 초친수성에 의해서 우수를 쉽게 집수할 수 있을 것으로 판단한다.

### 3.2 분진 크기에 따른 수질 변화

일반적인 대기 부유 분진의 크기인 1~500 $\mu\text{m}$  중 약 75 $\mu\text{m}$ 이하의 크기에서 부유분진이 80%(v/v%) 이상 포함되어 있으며, 20 $\mu\text{m}$ 크기 이하에서는 약 50%(v/v%) 정도의 분진이 포함되어 있다[9]. 그러나 인위적으로 분진을 채취하기 위해서는 분진의 비산을 최소화해야 할 필요성이 있다. 따라서 본 연구에서는 분진의 크기를 75 $\mu\text{m}$ 의 대략적인 중간 크기인 45 $\mu\text{m}$ 이하와 45 $\mu\text{m}$ ~75 $\mu\text{m}$ 로 변화를 주어 분진 입경 변화에 따른 이산화티타늄(TiO<sub>2</sub>) 코팅면과, 비코팅면의 초기 우수 배제 효과 및 친수효과에 의한 세정작용 등을 검토하였다.

분진의 크기 이외의 실험에 영향을 줄 수 있는 유량 및 분진의 양은 각각 10mm/hr와 1g으로 고정하였다. 그리고 집수판의 기울기는 앞서 언급한 바와 같이 기울기의 영향보다는 초친수성 효과가 지배적인 0.5°도 고정하였다.

#### 3.2.1 탁도 변화

Table 4는 분진의 크기가 45 $\mu\text{m}$ 이하와 45 $\mu\text{m}$ ~75

μm일 때, 그리고 이산화티타늄(TiO<sub>2</sub>) 코팅면과 비코팅면에서의 탁도값의 변화를 제시한 것으로 모두 초기 탁도값이 높게 나오며 시간이 경과함에 따라 점차 감소함을 알 수 있다. 분진 입경에 상관없이 강우초기에 고농도의 유출수가 발생하고 강우가 지속됨에 따라 오염물의 농도는 점차 줄어드는 초기세척효과가 전반적으로 나타났다.

또한 전체적인 탁도값은 45μm~75μm 보다 입자가 미세한 45μm이하의 경우에서 높게 나타났다. 이것은 상대적으로 입자가 미세할 경우 입자가 갖는 무게가 작기 때문에 작은 강우에도 초침수성 효과로 인해 쉽게 세정되는 것으로 판단된다. 그리고 이산화티타늄(TiO<sub>2</sub>) 코팅면과 비코팅면을 비교해 봐도 코팅면에서의 초기 탁도값이 높게 관찰되었으며 시간이 경과에 따라 점차 감소하여 일정하게 유지됨을 확인 할 수 있었다.

Table 4. Occurrence of Turbidity

(unit : NTU)

Time (분)	45~75μm		45μm 이하	
	TiO <sub>2</sub> 코팅면	비코팅면	TiO <sub>2</sub> 코팅면	비코팅면
1	18.55	12.95	70.84	22.53
2	13.70	13.53	23.47	14.20
3	5.76	8.58	8.28	12.90
4	2.38	6.38	5.21	8.26
5	1.89	6.42	2.73	5.10
6	1.73	5.51	2.37	4.31
7	1.16	4.77	2.95	4.33
8	1.32	5.11	1.76	3.12
9	1.19	4.25	1.67	2.57
10	0.95	4.42	1.76	3.12
15	0.90	4.34	1.09	2.62
20	0.84	3.49	0.85	1.93

Fig. 6에는 비코팅면의 탁도값에 대한 이산화티타늄(TiO<sub>2</sub>) 코팅면에서의 탁도값의 비율을 나타내었다. 이것은 분진입자의 크기가 코팅된 집수관에서 초침수 특성을 발휘하는데 어느 정도의 영향을 미치는지를 평가할 수 있는 지표라 할 수 있다. 분진입자의 크기가 45μm 이하의 경우 탁도비가 상대적으로 높게 나타났으며 입자가 큰 경우 1.0을 약간 상회하는 값으로 나타났다. 이것은 분진 입자가 상대적으로 큰 경우, 초침수 특성이 나타나긴 하지만 입자가 큰 만큼 무게 증가 요인 때문으로 입자가 작은 경우에 비해 초침수에 의한 영향을 덜 받음을 의미한다. 즉, 입자 크기가 큰 경우는 그 만큼의 무게로 인해 초침수 특성에도 불구하고 그 영향을 덜 받는 것으로 판단할 수 있다.

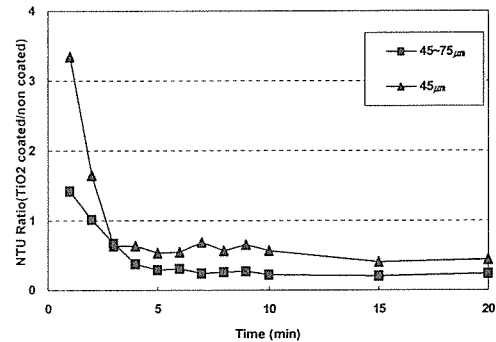


Fig. 6 Comparison of Turbidity for normal surface with TiO<sub>2</sub> coated surface

### 3.2.2 부유성 고형물질 변화

Table 5에서는 분진 입경 변화에 따른 SS농도를 나타낸 것이다.

Table 5. Occurrence of Suspended Solid

(unit : mg/l)

Time (분)	45~75μm		45μm 이하	
	TiO <sub>2</sub> 코팅면	비코팅면	TiO <sub>2</sub> 코팅면	비코팅면
1	51.4	36.2	237.2	52.4
2	21.8	29.6	78.3	29.7
3	9.6	22.4	25.7	21.4
4	5.1	10.2	7.2	29.1
5	2.1	9.9	2.5	9.2
6	1.8	7.9	3.0	8.7
7	2.2	6.9	4.7	15.9
8	0.5	4.6	4.9	4.8
9	0.6	6.6	5.9	12.8
10	0.2	4.7	8.4	7.7
15	0.1	6.2	2.8	8.7
20	0.1	4.8	4.5	8.3

전체적으로 보면 분진의 크기에 상관없이 초기 6~7분 이내에 SS농도가 급격하게 감소함을 알 수 있다. 이는 집수판에서의 분진이 짧은 시간 내에 상당량 제거되었음을 의미한다. 또한 분진입경이 45μm 이하인 경우가 45μm~75μm 일 때보다 초기 SS 농도가 높았으며 총 SS 발생량도 많음을 보이고 있다. 이는 앞의 탁도에서 언급한 바와 마찬가지로 입자가 작은 경우의 초기 세정효과에 의한 분진 제거율이 우수함을 의미한다고 하겠다.

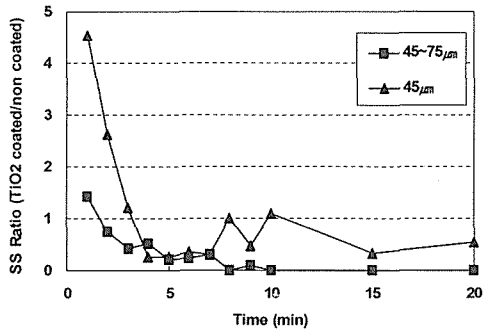


Fig. 7 Comparison of SS for normal surface with TiO<sub>2</sub> coated surface

Fig. 7에서는 45 $\mu\text{m}$ 이하일 때, 비코팅면의 SS값에 대한 이산화티타늄(TiO<sub>2</sub>) 코팅면에서의 SS값 비율을 나타내었다. 분진입자의 크기가 45 $\mu\text{m}$ 이하의 경우 SS비가 상대적으로 높게 나타났으며 입자가 큰 경우는 1.0을 약간 상회하는 값으로 나타났다. 이것은 분진 입자가 상대적으로 큰 경우, 초친수 특성이 나타나긴 하지만 입자가 큰 만큼 무게 증가 때문에 입자가 작은 경우에 비해 초친수에 의한 영향을 덜 받는다고 생각한다. 즉, 입자 크기가 큰 경우는 그 무게로 인해 초친수 특성에도 불구하고 그 영향을 덜 받는 것으로 판단할 수 있다.

### 3.2.3 전기전도도 변화

Table 6은 분진의 입경 변화에 따른 전기전도도 변화를 나타내고 있다.

Table 6. Occurrence of EC

(unit :  $\mu\text{s}$ )

Time (분)	45~75 $\mu\text{m}$		45 $\mu\text{m}$ 이하	
	TiO <sub>2</sub> 코팅면	비코팅면	TiO <sub>2</sub> 코팅면	비코팅면
1	30.2	9.7	48.0	24.7
2	24.3	10.3	30.2	20.9
3	19.3	10.4	23.9	17.4
4	15.9	9.9	20.5	15.1
5	14.7	9.8	17.5	14.7
6	14.7	9.8	17.9	13.8
7	12.6	9.7	15.9	14.4
8	12.0	9.5	15.2	12.7
9	11.2	9.2	13.1	14.2
10	10.4	9.1	13.2	13.5
15	9.0	8.5	10.1	11.8
20	8.4	8.3	9.6	11.3

전체적으로 보면, 코팅면에서는 초기 전도도가

높게 나타나며 시간이 경과함에 따라 감소하는 경향을 보이고 있으나, 비코팅면의 경우는 시간에 따른 전기전도도 값이 일정하게 유지되거나 감소하는 정도가 극히 미약하다. 또한 입자 크기에 따른 전기전도도를 비교해 보면 입자가 작은 45 $\mu\text{m}$ 이하의 경우가 더 큰 값을 나타낸다. 이는 앞서 언급한 탁도 및 SS 변화 양상과 동일한 결과로써 탁도가 심하고 SS 발생량이 클수록 집수된 우수 속에 무기이온이 다량 용존하여 상대적으로 높은 전기전도도를 나타낸다고 판단된다.

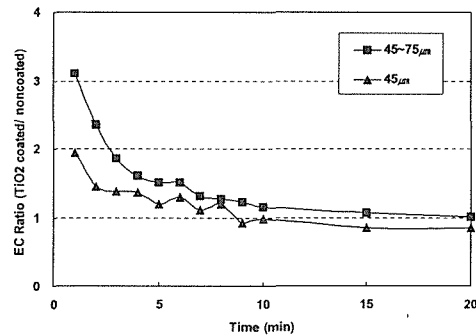


Fig. 8 Comparison of EC for normal surface with TiO<sub>2</sub> coated surface

Fig. 8에는 비코팅면의 EC값에 대한 이산화티타늄(TiO<sub>2</sub>) 코팅면에서의 EC값 비율을 나타내었으며 이는 크기에 따른 분진입자가 초친수 특성을 발휘하는 집수판에서 얼마나 제거되었는지를 평가할 수 있는 지표라 할 수 있다. 분진입자의 크기가 45 $\mu\text{m}$ ~75 $\mu\text{m}$ 의 경우, 초기 1분의 전기전도도비가 3.0으로 상대적으로 높게 나타났으며 입자가 작은 경우는 2.0을 약간 밑도는 값으로 나타났다. 이는 앞선 연구결과와 다른 양상으로서, 입자의 크기가 큰 경우, 탁도 및 SS 농도, 전기전도도가 상대적으로 낮은 값을 나타내었기 때문에 전기전도도비도 낮은 값을 나타낸 것으로 사료된다.

상기의 분진 크기에 따른 우수의 수질을 분석한 결과로부터 알 수 있듯이 분진 크기에 따라서는 탁도, SS, 전기전도도 등이 영향을 받음을 확인했다. 즉, 입자가 작은 경우에서 탁도, SS, 전기전도도가 증가했으며 초기 3~4분 동안에 급격한 값의 변화를 나타내었다.

대부분의 부유분진의 크기가 75 $\mu\text{m}$ 이하의 분진이 전체 분진의 부피에 80%(v/v%)를 차지하고, 50% 이상이 20 $\mu\text{m}$ 이하의 미세분진으로 이루어져 있다. 특히, 봄철에 우리나라 상공을 뿌옇게 만드는 황사도 10 $\mu\text{m}$ 이하의 아주 가벼운 다공성 입자로 이루어져 있으며, 수 $\mu\text{m}$ 이하의 입자는 호흡기 질환

등을 야기하기도 하고 환경오염에 악영향을 미치고 있다. 또한 대부분 가옥 및 건물의 외벽 및 옥상에 잔류하면서 미관을 해치기도 한다. 따라서 건물 외벽이나 옥상의 집수면에 이산화티타늄(TiO<sub>2</sub>) 코팅제를 코팅한다면 초친수 효과에 의해 크고 작은 분진 입자를 막론하고 대부분의 분진을 집수 초기에 제거함으로써 양호한 수질의 우수를 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

### 3.3 분진 제거율(%)

지금까지의 실험 결과를 종합해 보면, 집수판의 기울기를 변화시켜 주었을 때, 0.5° 기울기에서 초친수 효과가 지배적임을 확인할 수 있었으나, 나머지의 경우에는 기울기의 영향이 지배적임을 알 수 있었다. 또한 부유분진의 크기별 실험에서는 미세한 분진의 경우가 상대적으로 더 많이 제거됨을 확인했고, 초기 우수 배제 효과에도 탁월함을 알 수 있었다.

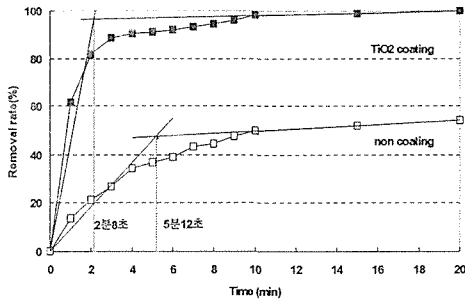


Fig. 9 Dust Removal (%)

Fig. 9는 강우지속시간 20분까지 집수판에서 유출된 분진량을 총량으로 했을 때의 강우지속시간에 따른 분진 누적 제거율(%)을 나타낸 것이다. 결과에서 알 수 있듯이 이산화티타늄(TiO<sub>2</sub>) 코팅면에서 초기 제거율이 급격히 증가하였으며 10분 이후에는 제거율이 거의 일정하게 유지되었다. 또한 20분까지의 전체 제거율(%)을 보면 이산화티타늄(TiO<sub>2</sub>) 코팅면의 제거율이 비코팅면에 비해 약 2배 정도 높게 나타났다.

또한 초기 우수 배제 효과에 대한 평가를 위해 이산화티타늄(TiO<sub>2</sub>) 코팅면과 비코팅면에서 초기 1분과 20분에서의 분진 제거 경향을 비교하였다. 그래프의 초기 3분까지 기울기의 평균값과 20분에서의 점선의 교점으로 확인하였다. 그 결과 대략적인 초기 우수 배제 시간은 이산화티타늄(TiO<sub>2</sub>) 코팅면의 경우 2분 8초, 비코팅면의 경우는 5분 12초로써 코팅면의 경우 초기 우수배제 시간을 약 1/2로 단축시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

## 4. 결 론

강우 집수면에서 씻겨내리는 오탁물질의 농도가 높은 초기우수배제 시간을 단축함으로써, 재이용을 위해 포집하는 우수의 질을 향상하고, 더 많은 양의 우수를 확보하기 위한 기술의 하나로, 이산화티타늄을 이용하여 우수 집수면을 표면처리하는 실험을 수행하였다. 집수면에 우레탄만을 시공한 경우와 우레탄 위에 이산화티타늄을 코팅한 경우, 강우에 의하여 씻겨 내리는 오탁물질의 척도로서, 강우 시간 경과에 따른 탁도, 부유성 고형물질 및 전기전도도를 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 집수면에 우레탄만을 시공한 경우에 비하여, 우레탄위에 이산화티타늄을 코팅한 경우에 탁도, 부유성 고형물질 및 전기전도도 등 모든 측정항목의 감소율이 우수하였으며, 특히 강우개시 5분 이내의 감소율 차이가 뚜렷하였다. 강우에 의한 농도감소는 탁도 > 부유성 고형물질 > 전기전도도 순이었으며, 이산화티타늄 코팅 전·후의 감소율 차이는 전기전도도 > 부유성 고형물질 > 탁도 순이었다.

2. 집수판의 구배(0.5°, 1°, 2°)에 따른 오염물질의 농도 변화를 시험한 결과, 각도 증가에 따라 오탁물질의 농도감소는 높았으나, 이산화티타늄 코팅 전·후의 차이는 오히려 각도가 적은 0.5°에서 가장 큰 것으로 나타났다. 이는 집수면 시공시 구배가 작은 경우에도 이산화티타늄을 코팅할 경우 오탁물질의 빠른 제거를 유도할 수 있을 것으로 사료된다.

3. 분진 입경 분포(45µm이하, 45~75µm)에 따른 강우시 오탁물질 제거 실험에서는 탁도와 부유성 고형물질, 그리고 전기전도도의 감소가 분진입경이 작은 경우에 이산화티타늄 코팅 전·후의 차이가 크게 나타났다.(전기전도도에서는 분진입경이 큰 경우에 이산화티타늄 코팅이 더 효과적이었다.) 이는 입경 크기에 따라 함유되어있는 화학물질의 특성이 다르고, 친수성 이산화티타늄 코팅면에서 비교적 쉽게 탈리되는 화학종의 분포가 다르기 때문일 것으로 사료된다.

이와 같은 결과들은, 집수면에 이산화티타늄 코팅을 할 경우 친수성이 증가하여 우수에 의한 오탁물질 세정효과가 향상되는 것을 의미하며, 이러한 결과는 강우시 오탁물질의 농도가 높은 초기우수 배제 시간을 약 1/2정도 단축시킴으로써, 양질의 우수를 다량으로 확보할 수 있는 실용적인 우수 재활용 시스템을 구성하는데 적용할 수 있을 것으로 사료된다.



### 참고문헌

- [1] 환경부, 환경백서, 2004
- [2] 건설교통부, 수자원장기종합계획, 2001
- [3] 김이호, 이정훈, 이상호, “초기우수 수질 모니터링을 통한 저오염 집수방법의 연구”, *대한상하수도학회 공동 춘계 학술발표회*, p69-72, 2003
- [4] Mingteh Chang, Matthew W. Mcbroom, R.Scott Beasley, “Roofing as a source of nonpoint water pollution.” *Journal of Environmental Management* 73, p307-315, 2004
- [5] 김석구, 윤상린, 김영임, 이용재, 김이호, “여재에 따른 노면유출수의 처리특성”, *한국물환경학회 대한상하수도학회 공동 춘계 학술발표회*, p407-410, 2004
- [6] 최원용, “TiO<sub>2</sub> 광촉매 반응 연구”, *공업화학*, Vol.14, No.8, p1011-1022, 2003
- [7] 김석구, 김영임, 윤상린, 이용재, 김이호, 김종오, “강우강도에 따른 노면 유출수의 유출 특성”, *한국물환경학회 대한상하수도학회 춘계 학술발표회*, p494-499, 2003,
- [8] 한무영, 이일용, 박상철. “건물의 지붕 집수면이 유출빗물의 수질에 미치는 영향”, *상하수도학회지* 17권, 3호, p460-466. 2003
- [9] Ree-Ho Kim, Sangho Lee, Young-Min Kim, and Jung-Hun Lee. “Pollutants in Rainwater Runoff and Their Control by Surface Modification Using TiO<sub>2</sub>”, *J.Ind.Eng.Chem.*, Vol.10, No.1, 152-160, 2004