

자외선 소독 시스템의 성능 유지를 위한 석영관 세척장치

김민재* · 김선백** · 황우철*

Apparatus for Online Mechanical Chemical Cleaning system in UV Disinfection system

Minjae Kim*, Seonbaek Kim*, Woo-chul Hwang**

Key Words : UV reactor(자외선 반응기), Medium pressure UV lamp(중압 자외선 램프), Quartz sleeve(석영관), Microbubble(미세기포), Cleaning system(세척 시스템)

1. 서론

대부분의 수처리 장치들은 장치의 운영에 따라 처리 대상 용수 내에 포함된 오염물질로 인해 오염이 발생하게 된다. 자외선 소독 시스템의 경우 자외선 램프를 보호하기 위해 설치된 석영관의 표면에서 처리 대상 용수 내 존재하는 다양한 이온성 물질(철, 칼슘, 마그네슘, 알루미늄 등)들이 석영관 표면에 침착되어 미생물 등에 조사되는 자외선의 양이 감소하여 자외선 소독 시스템의 효율이 저하되어 시스템의 효율을 높이기 위하여 석영관의 표면 세척이 필요하다.

미국 환경보호청(US EPA, United States Environmental Protection Agency)에서는 석영관 표면을 세척하는 세척 시스템을 Off-line chemical cleaning(OCC, 수동화학세척), On-line mechanical cleaning(OMC, 자동기계세척), On-line mechanical-chemical cleaning(OMCC, 자동기계화학세척)로 총 3가지의 세척방식에 대해 언급하고 있다(US EPA, 2006).

석영관의 세척방식은 미국 NWRI(National Water Research Institute) 규정(NWRI, 2003)에 따르면, UV System의 성능을 결정짓는 CAF(Combines Aging and Fouling factor) 값에 대해 언급하고 있다.

$$CAF = EOLL \times Fouling Factor \quad (1)$$

* (주)에코셋

** 원주지방환경청 측정분석과

E-mail : kmj00@ecocet.co.kr

CAF 값은 Lamp의 수명과 연관된 EOLL(End of lamp life)와 석영관의 세척 방식에 따른 Fouling factor의 곱으로 "식 (1)"과 같이 계산된다. Fouling factor의 경우 2003년까지는 NWRI 규정 상 세척장치를 사용하지 않을시(OMC)에는 0.5, 기계식 세척장치(OMC)를 사용한 경우 0.75, 기계화학식 세척장치(OMCC)를 사용한 경우는 0.95를 적용하게 되는데 현재는 제3의 기관을 통해 시험한 후 시험 결과값만을 적용하도록 되어있다. CAF 값은 자외선 소독 시스템의 설치비, 운영비 등이 결정되기에 세척장치는 자외선 소독 시스템 내에서는 중요한 시스템이라 할 수 있다.

현재 당社에서는 저압 자외선 소독 시스템에 적용 가능한 기계화학식 세척장치를 개발한 경험이 있으나, 중압 자외선 소독 시스템에는 적용이 불가능하다. 저압 자외선 램프의 경우는 표면에서 발생하는 열은 약 100°C 수준으로 석영관 표면까지 전달되는 열의 양은 적은 편이나 중압 자외선 램프의 경우 저압 자외선 램프와는 달리 표면에서 발생하는 열이 600 ~ 900°C로 매우 높아 저압 자외선 소독 시스템 용으로 개발된 석영관 세척장치는 적용이 불가능하다는 문제가 있다. 이러한 문제 외에도 기존 개발한 세척장치의 경우에는 일반 개수로에 적용되는 소독 시스템에 국한되어 있었으나, 본 연구에서 개발하고자하는 중압 자외선 소독 시스템의 경우 관로형의 제품으로 관 내의 압력에 의해 누수가 발생할 우려가 있다.

본 연구에서는 고온의 중압 자외선 램프가 설치된

관로형 자외선 소독 시스템에 적용 가능하도록 내열성, 내압성이 높은 Seal 재질을 선정하고, 세정액을 활용하여 미세기포를 발생시켜 세정액과 함께 석영관 세척할 수 있으며 세정액의 누수 감지&방지 시스템을 적용한 온라인 기계화학식 세척장치를 개발하였다.

2. 온라인 기계화학식 세척장치

2.1 온라인 기계화학식 세척장치

본 연구에서 개발한 온라인 기계화학식 세척장치의 경우 세정액을 저장하고 석영관 외주면으로 공급해 줄 수 있는 세정액 공급 장치와 석영관 외주면으로 고속 순환할 수 있고 세정액이 순환될 때 외부로 누출되지 않도록 막아줄 수 있는 칼럼, 세정액으로 구성된다. 아래 Fig. 1은 온라인 기계화학식 세척장치의 사진이다.



Fig. 1 Picture of online mechanical chemical cleaning system (Left) and cleaning column(Right)

세정액의 경우 당 社에서 과거 연구를 통해 환경표지인증 및 NSF 60 인증을 획득한 Bubble clean solution - DW 제품(인증번호: 제19079호)을 사용하였으며, 세정액의 주 성분은 인산으로 자외선 소독 시스템의 주 적용 현장인 경수장, 하수처리장 인 점을 감안하여 Food grade 등급의 약품을 조합하여 개발하였다.

본 연구에서 중요하게 다루고자하는 세정액 공급장치와 세정액 칼럼이다. 앞서 서론에서 언급한 내열성, 내압성 외에도 낮은 pH의 세정액을 수용할 수 있는 재질로 구성이 필요하다. 세정액 공급장치의 경우 기존 개발품에 적용된 펌프, 탱크, 마이크로버블 발생장치, 기타 배관류(배관, 솔레노이드 밸브)는 모두 동일하게 사용되며 세정액의 누수를 감지할 수 있도록 세정액 회수 배관 내 압력센서와 유량센서를 설치하여 세정액 탱크로 회수되는 세정액의 압력과 유량을 측정하여 기준치 이상일 경우 솔레노이드 밸브를 통해 세

정액 공급 또는 세정액 회수가 차단되도록 구성하였으며, 압력센서와 유량센서로도 감지가 불가능할 수 있기에 세정액 탱크 내 수위센서를 추가로 설치하여 적정 수위 이상, 이하가 될 경우를 감지하여 작동이 중단될 수 있도록 설계, 제작하였다.

2.2 세정액 칼럼 및 wiper seal

세정액 칼럼의 경우 세정액 공급장치와는 달리 하나 더 고려해야 할 부분은 바로 자외선에 대한 내성을 확인하는 것이다. 칼럼의 경우 STS316L, PTFE, PVC, Acetal 재질에 대해 검토하였으며, 검토 결과 STS316L이 전반적으로 모든 측면에서 우수하나 칼럼으로 제작시 무게가 무겁기에 석영관을 파손시킬 우려가 있어 최종 재질은 PTFE로 선정하였다. 아래 table 1은 세정액 칼럼 재질에 따른 특성을 정리한 표이다.

Table 1 Characteristic of Cleaning column material

Classification	STS316L	PTFE	PVC	Acetal
Specific gravity	7.98	2.14-2.20	1.45	1.43
Hardness	< 187	50-65	80	78
Phosphoric acid(10%)	Great	Great	Great	Limited Use
Max. Temperature(°C)	420	260	60	95
Wear resistance	Great	Great	Great	Great
UV resistance	G	G	None	Limited Use

세정액 칼럼 양측에 세정액이 외부로 누수되거나 또는 외부에서 세정액 내부로 유입되는 것을 방지하기 위하여 wiper seal을 설치하여 사용하는데 wiper seal의 경우 seal의 형상도 중요하며, 내마모성, 자외선에 대한 내성, 산에 강한지 확인이 필요하였다. 저압 자외선 소독 시스템에 적용되는 wiper seal의 경우 EPDM 재질을 사용하고 있으나 내열성이 낮아 사용이 불가하기에 타 재질에 대해 조사하였다. FMQ(viton) 재질의 경우 최고 사용 온도가 높기는 하나 장기간 사용시 문제가 생길 수 있고 산에 대한 내성이 낮아 배제하였으며, 다음으로 최고 사용 온도가 높은 FKM 재질의 wiper seal을 적용하여 제작하였다(Table 2 참조).

과거 wiper seal의 형상은 SDR type의 seal을 사용하였다. 이는 외부가 대기압 상태이기 때문에 내부에서 외부로 누수되는 것만 방지할 수 있는 ㄷ자 형상의

로 우선 적용하여 약 5일간의 Test를 진행한 결과 외부에서 내부로 처리용수가 미량 유입되는 것이 확인되어 사용이 불가능할 것으로 판단된다. 그렇기에 현재 내부-외부, 외부-내부로 누수를 방지할 수 있는 X 자형상으로 칼럼을 설계, 제작하여 단기간의 평가를 진행하고자 한다.

Table 2 Characteristic of wiper seal material

Classification	EPDM	FKM	FMQ
Specific gravity	0.86-0.87	1.80-1.82	1.36-1.47
Hardness	40-90	60-90	40-80
Strong acid resistance	Good	Great	Good
Max. Temperature(°C)	140	220	300
Wear resistance	Good	Great	Good

3. 결론

본 연구에서는 자외선 소독 시스템 내 설치된 석영관을 세척하여 자외선 소독 시스템의 성능을 장기간 유지시켜 줄 수 있도록 하는 온라인 기계화학식 세척장치를 개발하였다.

기존 온라인 기계화학식 세척장치의 경우 저압 자외선 램프가 설치된 자외선 소독 시스템에 적용하는데는 무리가 없으나, 램프의 표면 온도가 600 ~ 900°C 까지 상승하는 중압 자외선 소독 시스템에는 부적합하기에 중압 자외선 소독 시스템에 적용 가능하도록 세정액 칼럼과 wiper seal의 재질을 각각 PTFE와 FKM(viton)으로 선정하였다. 또한 중압 관로형 자외선 소독 시스템의 경우 외부압에 의해 세정액 칼럼 내부로 처리용수가 유입될 수 있는 점을 감안하여 세정액 회수 배관 내 압력센서, 유량센서를 설치하여 회수되는 세정액을 감시할 수 있도록 구성하여 정상 작동 유무를 확인할 수 있도록 설계, 제작하였다. 추가로 회수되는 세정액의 양이 미량 증가하는 것에 대비하기 위하여 수위센서를 설치하여 수위변화에 따른 이상 유무도 감지할 수 있도록 제작하였다.

본 연구에서 개발된 온라인 기계화학식 세척장치의 경우 내년부터 현장 실증플랜트 내 적용하여 장기간의 운영평가를 수행할 예정이다.

사사(A)

본 연구는 환경부 산하 한국환경산업기술원의 산하

수도 혁신 기술개발사업(2020002690009)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌(Reference)

(1) US EPA, 2006, "Ultraviolet disinfection guidance manual for the final long term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule", pp.2-27~2-28.

(2) NWRI(National Water Research Institute), 2006, "Ultraviolet Disinfection Guidelines for Drinking Water and Water Reuse", pp.8-54