

경기도 하수처리수 재이용을 위한 RO 농축수처리 결합형 MBR-RO 공정개발

< 명지대학교 김 한 승 >

I. 연구의 목적 및 필요성

최근 기후 변화와 산업발달 및 인구증가에 따른 물 부족 현상이 대두되고 있다. 이러한 물 부족 현상의 대안으로 하폐수 재이용 분야에 대한 관심이 증가하고 있다. 물 재이용 비중은 2008년 10.8%에서 2012년 14.4%로 증가하고 있는 추세이다. 이로 인해 수도수 이상의 양질의 하수재이용화를 위해 오래전부터 각종 분리막 여과기술이 큰 각광을 받아 왔다. 분리막 여과기술 중 RO 기반의 물재이용 공정으로 처리 시 생산수를 공업용수나 지하수 인공함양 등과 같은 고품질 수원의 용도로 활용하는 기술이 개발되고 있다. 본 연구의 목적은 RO 기반의 물재이용 공정 구성 시 단점인 RO 농축수를 경제적/안정적으로 처리할 수 있는 RO 농축수처리 결합형 MBR-RO 공정을 개발하는 것이다.

II. 연구의 내용 및 범위

본 연구는 안정적/경제적인 RO 농축수처리 공정이 결합된 MBR-RO/RO 농축수처리 공정 개발을 위해 pilot 설계/시공을 하고, pilot 규모의 장기운영실험을 진행하여 안정운영방법, 실증규모 설계인자 도출하였다. 또한 RO 농축수의 수질조정기술 개발을 위하여 농축수의 TDS, 유기물 제거기술을 개발하기 위해 실시하였다.

III. 연구결과

RO농축수를 Lab-scale의 MBR 공정을 이용하여 처리한 결과 RO농축수를 주입한 초기에는 처리수질이 악화되었지만 점차 시간이 지나면서 미생물이 농축수에 순응을 하여 처리수질이 안정화되었다. 혼합비율이 증가할수록 전체적인 처리효율은 감소하였지만 미생물이 순응할 수 있는 시간이 길어져 혼합비율을 늘린 초기에도 처리수질이 악화되지 않고 비교적 안정적인 수질을 보였다. 그 결과 최종 RO농축수를 50% 혼합하였을 때 활성탄을 넣은 MBR 공정에서 DOC는 약 94%, TN은 약 50%, TP는 약 16%로 제거되었다. 활성탄의 유무실험을 수행한 결과 난분해성 유기물 흡착에 의해 활성탄을 주입한 반응조의 처리수질이 안정적으로 나타났다.

RO농축수의 질소성분 제거를 위해 인공으로 질산성질소만 함유한 원수를 만들어 전기분해 공정을 이용하여 질산성질소의 전환량을 알아보기 위한 실험에서는 최적의 염소농도가 300mg/L인 것으로 나타났다. 난분해성 유기물의 제거 가능성을 확인하기 위하여 Humic acid로 인공원수를 만들어 운전한 결과 DOC가 약 24% 제거된 것을 확인하였다. RO농축수를 원수로 하여 전기분해 한 결과 전압이 셀수록 모든 항목의 제거효율이 좋았고 최적반응시간은 인을 기준으로 1시간인 것으로 판단되었다.

MBR1(PAC O)과 MBR2(PAC X)의 운전 초기 평균 MLSS 농도는 각각 9975mg/L, 5427mg/L 이며 인공하수만을 주입하여 운전하였을 때 MLSS 농도는 비교적 일정하게 유지되었다. 농축수와 하수를 1:1 비율로 혼합하여 유입수로 적용 시, MBR1과 MBR2에서 MLSS 농도는 각각 약 39.5%, 약 41.5% 감소하였다. 전기분해로 전처리한 농축수와 하수를 유입수로 적용 시에는 MBR1과 MBR2의 MLSS 농도는 각각 약 27.6%, 약 29.6% 감소하였으며, 전기분해 처리를 하지 않은 경우에 MLSS 농도가 전기분해 처리 적용 시에 비해 MBR1과 MBR2에서 각각 약 11.9%, 11.9% 더 감소하였다. 또한 PAC를 주입한 MBR1은 전기분해 유무와 상관없이 PAC를 주입하지 않은 MBR2에 비해 MLSS 감소량이 약 2% 낮은 것으로 확인되었다.

농축수를 전기분해 시 DOC와 UV₂₅₄의 감소율은 각각 약 16.6%, 약 31.8%로 나타났으며 SUVA는 약 18.0% 감소, T-P는 약 42.6%, T-N의 경우 약 43.0%의 제거율을 보였으며 초기 30분간 암모니아성 질소의 산화반응으로 제거되어 감소하는 경향을 보이다가 30분 이후에는 질산성 질소의 환원반응이 일어나 총질소가 제거되었다. 하지만 질산성 질소의 제거율은 약 16.0%로 상대적으로 낮은 제거율을 보였다. 전기분해를 MBR 공정의 전처리로 적용하여 전기분해가 MBR 운영에 어떠한 영향

을 미치는지 알아보기 위해, 활성탄을 배제한 MBR 공정의 제거특성을 확인하였다. 유기물의 경우, 전기분해를 하지 않은 MBR과 전기분해를 한 MBR의 평균 제거율은 각각 97.2%, 96.4%로 전기분해 처리를 하지 않은 MBR의 DOC 제거율이 약 0.8% 낮지만 처리수의 SUVA 값이 높게 분석되었다. 질소의 경우 전기분해를 하지 않은 MBR과 전기분해를 한 MBR의 제거율은 각각 약 30.5%, 약 25.5%로 전기분해를 하지 않은 MBR의 제거율이 약 5% 높았으며 인의 경우 전기분해를 하지 않은 MBR과 전기분해를 한 MBR의 제거율은 각각 약 26.5%, 약 20.9%로 나타났다.

전기분해로 전처리한 RO 농축수를 MBR에 유입시켰을 때, MBR 내 PAC의 주입여부에 따른 RO농축수의 제거특성을 조사하였다. 유기물의 경우, MBR1(PAC O)과 MBR2(PAC X)의 DOC 제거율은 각각 약 98.0%, 약 96.4%로 PAC가 첨가된 MBR1이 그렇지 않은 MBR2보다 안정적으로 처리되었다. 또한, 난분해성 유기물질의 특징을 나타내는 SUVA의 경우에도 MBR1이 안정적인 처리효율을 보였다. 질소의 경우, MBR1과 MBR2의 제거효율은 각각 약 40.4%, 약 25.5% 이었으나 운전기간이 지속될수록 각 반응조의 제거율은 점차 회복되어 각각 약 48.5%, 약 36.4%로 제거율이 향상되었다. 인의 경우, MBR1과 MBR2의 제거효율은 각각 약 45.6%, 약 20.9%로 나타났다.

일반 하수처리를 위한 MBR 공정을 비롯해 전기분해 전처리 유무와 PAC를 통한 탈염 적용 여부에 따른 처리효율을 평가해 보았다. RO농축수를 전기분해로 전처리한 후 활성탄이 주입된 MBR 공정에 적용한 결과, 일반적인 하수처리를 위한 MBR 공정과 비교해 보았을 때 DOC, T-N, T-P의 제거율은 각각 약 -0.3%, 약 -44.2%, 약 -2.4%의 차이가 나타났다. DOC와 T-P의 경우 비교적 유사한 제거율을 보이지만 T-N은 낮은 제거율을 보인다. 하지만 농축수 처리를 위한 MBR 공정으로는 기타 비교공정에 비해 T-N 제거율이 약 2.0-15.0%, T-P 제거율이 약 19.0-25.0% 높은 것으로 확인된다. 또한 추가적으로 소독부산물과 난분해성 물질의 제거를 통해 MBR의 안정적인 운영이 가능할 것으로 판단된다.

IV. 연구결과의 활용계획

본 연구에서는 RO농축수를 전기분해 전처리 후 하수원수와 1:1로 혼합하여 PAC 주입한 MBR을 통하여 처리가 가능하다는 것을 확인하였다. 하지만 파일럿 규모의 실험에서 RO농축수의 전기분해 처리 시 전극 표면에 오염이 발생하는 것을 알 수 있었다. 따라서 원활한 운전을 위해 전극 오염에 따른 세정방안 연구가 수행되어야

할 것이다. 또한 전기분해 시 낮은 질산성 질소 제거율을 향상시키기 위한 연구도 함께 수행 되어야 할 것이다. 이를 통해 RO농축수의 처리를 위한 제안공정과 타 경쟁공법과의 성능 비교와 경제성평가가 함께 수행되어야 할 것으로 사료된다.

< I-1 >

Treatment of RO concentrate coupled MBR-RO process development for wastewater reuse in Gyeonggi

< Myongji Univ. Hanseung Kim >

I. Objectives and Necessity

In recent years, due to rapid industrialization and urbanization, water pollution has deteriorated. The reuse of treated water has a huge potential as such an alternative resource. The trend of increasing water reuse accounted for 14.4% in 2012 from 10.8% in 2008. With an increase of water usage, the method of reusing treated water receives attention using membrane filtration as there is an increasing interest in the reuse of water treated as an alternative water resource, and with stricter standards of required water quality, membrane filtration technology has been in the limelight as a solution in the field of reuse. In the treatment with membrane filtration technology of RO based water reuse process, to develop high quality water used for the water resources such as industrial water and ground water. In this study, treatment of RO concentrate coupled MBR-RO process development for wastewater reuse.

II. Research scope

In this study, we was construction and reliability and economical pilot design for the development of RO concentrate treatment process is combined the MBR-RO and RO concentrate treatment process, and conducted experiments of long-term management of the pilot scale, demonstrated the scale of the design factor derivation and stability management methods. Also, we were experiments in order to develop a RO concentrate of TDS, organic matter removal technology for the development of water conditioning technology of RO concentrate.

III. Results

In this study, it was shown that although the quality of permeate was deteriorated when RO concentrate began to be mixed but as time passed by, it steadily returned to the level before the mixture took place. And the microorganism got adapted to RO concentrate. As the mixing ratio of RO concentrate increased, the percentage removal of DOC, TN, TP decreased but rapid recovery rate had been observed. This shows that the activated sludge microorganisms adjusted to RO concentrate. Accordingly, the quality of permeate was more stable for MBR1(with PAC) than MBR2(without PAC) due to the effect of PAC.

To remove nitrogen component of RO concentrate, we experimented to investigate conversion amount of nitrate using electro-oxidation process with raw water included only nitrate. This experiment shows the effective chlorine concentration was 300mg/L.

As a result of experiment using raw water consisted in humic acid to identify removal possibility of Non-readily biodegradable organic matter, we confirmed that the percentage removal of DOC was about 24%.

According to electro-oxidation using RO concentrate, the voltage was higher, removal efficiency of all items was better. And we could identify that the best reaction time is an hour in case of phosphorus.

The mean MLSS concentrations in the MBR1 (with PAC) and MBR2 (without PAC) were 9975mg/L and 5427mg/L respectively and when injecting the artificial wastewater only, MLSS concentration was maintained relatively

constant. When the water mixed the RO concentrate with the wastewater by 1:1 was applied (8–27 days), the mean concentrations of MBR1 and MBR2 were reduced by 39.5% and 41.5%, respectively. When the RO concentrate treated with electrolysis in advance and the wastewater were applied, the concentrations in the MBR1 and MBR2 were reduced by 27.6% and 29.6%, respectively. When the RO concentrate treated without electrolysis and the wastewater were applied, the concentrations in the MBR1 and MBR2 were more reduced by 11.9% and 11.9%, respectively. In addition, it was observed that the MLSS reduction in the MBR1 with PAC was 2% lower compared to MBR2 without PAC regardless of electrolysis.

When electrolyzing the RO concentrate, the reduction rates of the DOC, UV₂₅₄ and were 16.6%, 31.8% and 18.0%, respectively and T–P and T–N were reduced by 42.6% and 43.0%, respectively. T–N was inclined to be reduced being removed by the oxidation reaction of the ammonia nitrogen for 30 minutes in the initial stage, but after 30 minutes, T–N was removed by occurring the reduction reaction by the nitrate nitrogen.

In this study, to find out what influence the electrolysis has in the MBR operation, the removal characteristics of the MBR process excluding the activated carbon was examined by applying the electrolysis as pre-treatment of MBR process. In case of organic matter, the mean removal rate in MBR2, which the electrolysis was performed, and in the MBR2, which the electrolysis was performed was approximately 97.2% and 96.4%, respectively and although the DOC removal rate of the process not applied with pre-treatment was 0.8% lower than the process applied with pre-treatment, the SUVA of the treated water was analyzed higher. In case of T–N, the removal rate of MBR2 applied with electrolysis and of MBR2 not applied with electrolysis was approximately 30.5% and 25.5%, respectively and the removal rate of the MBR2 applying with the electrolysis was 5.0% higher than MBR2 not applying with the electrolysis. In case of T–P, although the removal rates of MBR2 applied with electrolysis and of MBRS not applied with electrolysis were approximately 26.5% and 20.9%, respectively.

RO concentrate removal characteristics depending on the PAC injection in the MBR were examined when the RO concentrate treated with electrolysis in

advance was flowed into the MBR. In case of DOC, as the removal rates for MBR1 and MBR2 were approximately 98.0% and 96.4%, respectively, the MBR1 with PAC treated more stable than the MBR2. In addition, In case of SUVA, which represented the characteristics of non-degradable organic matters, MBR1 showed the stable removal efficiency. In case of T-N, the removal efficiency of MBR1 and MBR2 was approximately 40.4% and 25.5%, respectively. first, and the longer the MBR is operated, the removal rate of each reactor was restored increasing to approximately 48.5% and 36.4%. In case of T-P, the removal rate of MBR1 and MBR2 was represented as approximately 45.6% and 20.9%, respectively.

In the results of applying the RO concentrate after treating with electrolysis in advance to the MBR process having activated carbon, which is the main purpose of this study, as DOC, T-N and T-P removal rates were approximately -0.3%, -44.2% and -2.4%, respectively compared to the MBR process to treat the general wastewater, relatively similar removal rates were shown but showed the low T-N removal rate. However, as the MBR process to treat the RO concentrate, it represented the T-N removal rate higher by approximately 2-15%, T-P removal rate by 19-25% compared to the other processes. In addition, since the disinfection by-product and non-degradable matters can be removed, it is deemed to be able to operate stably.

IV. Application plan

In this study, MBR process that was operated with the water mixed the RO concentrate treated in advance with electrolysis with the wastewater by 1:1 that treatment is possible. However, the pilot-scale experiments, fouling I found to occur on the surface of the electrode during the electrolysis process of the RO concentrate. Thus for smooth operation, we should study the cleaning methods involving the contamination of the electrode takes place. Also, we must also take place research to improve the low nitrate nitrogen removal rate during electrolysis. We will do evaluation of performance and economy comparison with the proposed process for RO concentrate between conflict method is considered as one that should be accomplish together.