# 한강원수에 대한 중대형 막여과 고도정수처리장 설계 및 한국형 막여과 정수장 건설비 분석

### 한강원수 수질특성에 따른 막여과 공정 설계

우리나라는 4계절이 뚜렷한 기후적 특색을 가지고 있어 계절별로 나타나는 원수의 특성이 크게 다르다. 한강원수의 수온은 0.2~25.2℃로 여름과 겨울의 차이가 25℃ 정도로 나타나, 같은 처리수 유량에서도 Flux 차이가 1.97배로서, 막여과 공정 설계 시 동절기의 수온저하에 대비하여 공정을 설계하여야 할 것으로 평가되었으며, 탁도 및 입자수는 10.3~193.8NTU와 21,000EA/ml~79,000EA/ml로 원수의 대부분(92%)이 직접여과를 수행할 수 있는 27.2 NTU이하로 유입된 반면, 강우가 집중되는 여름철에 빗물에 의해 유실되어진 토사들이 취수장에 유입되어 고탁도 및 많은 입자가 유입되었다. 원수의 조류농도는 160~41,500cell/ml로 갈수기인 겨울과 봄철에 집중되어 많은 군집이 발생하였으며, 특히 고탁도 및 높은 조류개체수가 유입될 경우 막여과 공정의 TMP 상승이 유발되어 이에 대한 적절한 전처리 공정의 도출이 필요한 것으로 평가되었다.

원수의 수온, 탁도 그리고 조류개체수 등은 계절적 영향이 큰 것으로 나타났으나 그 외의 대부분의 용존성 물질은 계절적으로 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다. 특히 유기물 지표를 나타내는 TOC의 경우 전체적으로 1.40~3.47mg/L이하로 변화폭이 크지 않았다. 그러나 이러한 낮은 유기물 농도에서도 Bio-fouling 등이 형성되어 장기적으로 TMP가 증가할 것으로 판단되나, 본 실증플랜트 연구에서는 고탁도 및 고농도의 조류 유입 시 급격한 TMP의 상승 등으로 인해 화학세정을 수행함으로써, 유기물에 의한 막오염을 평가할 수 없었다.

### 한국형 중대형 막여과 처리공정 설계 결과

가압식 막여과 공정은 혼화, 응집, 경사판침전, 막여과, 배출수 회수 등의 공정으로 설계되었으며, 혼화설비는 운영비 절감을 위하여 펌프확산식 혼화장치를 적용하고, GT값은 $1000sec^{-1}$으로 설계하였다. 응집된 원수의 입자상 오염물질 제거를 위하여 경사판침전공정과 중력식 섬유여과공정 및 가압식 섬유여과 공정을 비교 평가한 결과, 탁도 제거효율은 중력식 섬유여과 공정이 91.66%, 가압식 섬유여과 공정은 84.09%로 높게 나타난 반면, 경사판 침전공정의 경우 41.21%로 다소 낮게 나타났다. 경제성 비교를 위한 LCC분석결과 섬유여과 공정에 비해 경사판 침전공정이 우수한 것으로 평가되었으며, 막여과 공정의 처리특성상 다소 낮은 처리효율로도 막여과 공정의 안정적인 운전이 가능할 것으로 평가되어, 경사판 침전공정을 전처리공정으로 최종 선정되었다. 막여과 공정은 PVDF재질의 외압식 정밀여과막을 최종 선정하였으며, 설계수온은 1.2℃로 여과방식은 cross flow방식을 선정하였다. 여과Flux는 62.5LMH(1.5m/day), 역세Flux는 91.7LMH(2.2m/day)로 설계하였으며, 역세주기는 38.5분 간격으로 1.5분간 수행하며, 주 1회 여과Flux를 향상시키기 위해 100~500mg/L의 차아염소산을 이용하여 40~60분간 EFM세정을 수행하는 것으로 설계하

였다. 또한 전체 가압식 막여과 시스템의 회수율을 95%로 유지하기 위하여, 막여과 배출수의 일부를 혼화기 전단으로 반송하여 운전하는 것으로 설계하였다.

침지식 막여과 공정은 혼화, 응집, 1단 막여과, 2단 막여과 등의 공정으로 설계되었으며, 혼화설비는 가압식 공정에서와 같이 펌프확산식 혼화장치를 적용하고, 응집지는 지난 2년간의 pilot 운영결과를 반영하여 체류시간을 10.5분으로 짧게 설계하였다. 막여과 공정을 2단으로 구성함으로써 전체 시스템의 회수율을 99%로 유지할 수 있도록 하였으며, 막여과 공정은 cross flow, 정유량제어방식으로 여과하며, 설계 flux는 1단에서 35.3LMH(0.85m/day), 2단에서 17.7LMH(0.42m/day)로 설계하였다. 막여과 공정의 허용 운전압력은 -50kPa, 최대 막차압(TMP)은 75kPa로 설계하였으며, 막여과 공정의 역세는 15분간격으로 30초동안 수행하고, 역세Flux는 여과Flux의 1.5배로, 최대 역세압력은 75kPa로 설계하였다. 생물막 형성에 따른 막오염을 저감하기 위하여 일일 1회 50mg/L 농도의 차아염소산으로 15.5분 동안 유지세정을 수행하고, 막의 운전 중 파단을 확인하기 위하여 막완결설시험방법으로 압력손실시험(PDT)을 수행하여 적용압력 30kPa에서 2분동안 압력손실이 3kPa/min이하이면 완결성에 문제가 없음을 확인하는 것으로 설계하였다.

**한국형 막여과 정수장 건설비 분석**

본 사업으로 건설되는 한국형 중대형 가압식 및 침지식 막여과 처리시설의 공사비를 분석한 결과 공정별로 가압식 막여과 공정 11,327백만원, 침지식 막여과 공정 9,132백만원, 그리고 기반 및 건축시설 7,751백만원으로 집계되어, 가압식 막여과 공정의 건설비가 침지식 막여과 공정보다 1.24배 높게 나타났다.

공사비의 공종별 비율을 분석한 결과 기계공사 46.0%, 건축공사 18.8%, 토목공사 16.2%, 계장공사 7.8%, 전기공사 5.6%의 순으로 나타났다. 이는 유사한 용량의 G시의 막여과 정수장 설계 시 공종별 공사비 분포와 유사하게 나타났으나, 막여과시설비용이 포함된 기계공사의 비율이 다소 높게 나타났다.

특히 본 연구에 적용된 분리막 모듈은 국내에서 개발·생산되는 국산막을 적용하였으며, 막여과시설의 가격은 가압식이 침지식보다 1.25배 높게 나타났으나, 막여과시설 중 막모듈이 차지하는 부분은 가압식이 52.8%, 침지식이 75.7%로 침지식이 높게 나타났다. 이는 침지식 막여과시설의 대부분이 막모듈로 구성되어 있는 반면, 가압식 막여과시설은 막모듈 이외에도 연결배관 및 자동벨브 등의 부대설비가 많이 구성되어 있어 나타난 결과로 판단된다. 이는 유사한 가압식 막여과공정으로 설계된 G시 막여과 정수장의 경우와 일치한다.

**결론**

1. 4계절이 뚜렷한 우리나라의 기후적 특색에 따라, 고탁도 유입, 조류의 발생, 저수온 등의 영향을 충분히 고려하여 막여과시설 및 전처리 공정을 설계하여야 할 것이다.
2. 장기간의 실증플랜트 연구결과, 가압식 막여과 공정의 경우 혼화, 응집, 경사판침전, 막여과 등의 처리공정으로, 침지식의 경우 혼화, 응집, 막여과 공정으로 최종 설계하였으나,

최적화된 공정을 도출하기 위해서는 향후 검증연구가 필요한 것으로 판단된다.

3. 가압식 및 침지식 막여과 공정으로 중대형 규모의 시범정수장을 설계한 결과, 가압식 막여과 공정이 침지식 막여과 공정에 비해 1.24배 높은 공사비가 요구되는 것으로 평가되었으며, 공종별로 분석한 결과 일반 정수장 공사비와 달리 막여과시설이 포함된 기계공사가 46.2%가 가장 많은 비중을 차지하는 것으로 평가되었다.

**향후연구계획**

본 연구결과 도출된 처리공정 중 가압식 막여과 공정의 배출수 반송시스템에 대한 안정성 연구는 향후 보완실험을 수행해야 할 것으로 판단되며, 또한 최근에 개발되어 본 연구에 적용된 국산 막모듈의 경우 장기운전에 따른 여과효율의 안정성, 막파단 등 막의 수명에 대한 지속적인 검증연구가 필요할 것으로 사료된다.

**참고자료**

1. 서울특별시 상수도연구원 (2007) 영등포 막여과 시범정수장 건설 기본 및 실시설계 보고서
2. 전형기, 김범석, 한성용, 진광호 (2006) 공주정수장 실시설계 결과에 의한 일반 정수처리 공정 및 막여과 공정 비교・검토, Proc. of 한국막학회 학술발표회, 100-112.