

# 요 약 문

## I. 연구개요

○ 석탄층의 coal seam gas (CSG)를 회수하는 과정에서 동반 유출되는 양질의 지하수를 수자원으로 활용하기 위한 Coal seam gas water management policy의 분석, 평가 및 저비용 고효율 물 재이용 시스템의 설계를 위한 후보 공정의 병합 시스템 설정: 실험용 간이 plant 제작 및 예비 test

○ 부산 지역 수처리 기술의 해외 진출 프로그램 작성에 의한 해외진출 체계 구축 및 현지 연구 네트워크를 이용한 Test bed 설치 계획 수립 및 추진 로드맵 작성.

○ 현지 주정부의 석탄층 지하수에 대한 전략적 관리 계획 발표에 수반한 진출 가능한 국내 기술의 정립.

○ 석탄층 지하수의 안정적인 처리 (Water Act 2009) 및 처리수의 상수공급원으로서의 수요 맞춤형 수자원(Water Supply Act 2008)으로 활용하고자하는 기본 정책을 수립하고 있는 현지의 현실을 감안한 국내·외 기업, 연구진 네트워크의 확대구성.

## II. 연구의 필요성 및 목적

### □ 필요성

1. 식수를 비롯한 용수공급을 위해 석탄층으로부터 회수되는 석탄층 지하수(CSG Water: Coal seam gas water)의 수익적 이용 방법에 관한 보고서(AUS Dept. Natural Resource, 2013)를 작성함으로써 물 자원 생산을 국가 정책으로 발표

2. 석탄층 지하수의 유출량은 용수로서 충분한 수량을 제공하고 있기 때문에 처리기술 및 관리 계획 등 후속 조치가 필요하다고 판단하고 있는 현실(Origin Energy, 2013a; APLNG, 2013).

### □목적

1.Coal Seam Gas Water Management Policy를 분석하여 용수생산의 범위를 판정한 이전의 연구 결과(shin, 2014)와 연결하여 석탄층 지하수는 염분 등에서 유래된 TDS(total dissolved solid), bicarbonate, aliphatic carbon, Ca, Mg 등이 함유되어 있는 특징으로 인하여 TDS 저감과 함께  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^{+}$  각각의 농도 저감비율을 산정하기 위한 고-액 분리 기술의 선택과 함께 BOD 저감을 위한 산화 분해 기술의 범위를 설정할 필요가 있기 때문에 이들 각각의 농도 저감을 위한 기능성 단위 반응조의 선택과 요구수질 범위를 만족하는 단위반응조의 병합 방법을 제시하고자 함.

2. 참여기업 생산의 섬유여과기를 기반으로 하는 시스템 구성 및 운전에 의한 처리 효율 분석 및 현지 적용성 확인

1) 간이 섬유여과 + 전기분해    2) pilot 형 섬유여과 + RO

### III. 연구의 내용 및 범위

#### 1. CSG water management policy 의 분석 및 평가

1) CSG water의 발생량 분석 2) CSG water의 수질 특성 3) CSG water의 이용 방안 4) 처리방법 제안

#### 2. 간이 시스템 설계 및 운전

1) 섬유여과 + RO 시스템 설계 및 운전 2) 섬유여과 + 전기분해 시스템 설계 및 운전 3) 설계 시스템의 처리효율 분석 및 적용 방법 제안

#### 3. 후속 연구의 내용 확인

1) 요소기술의 추가 병합( 산화, 분해 기술) 2) 병합 시스템의 수정 및 test bed 설치용 시스템의 설계 3) 병합 시스템의 처리효율 분석 및 진단

### IV. 연구결과

#### 1. CSG water management policy 의 분석 및 평가

##### 1) CSG water를 이용한 용수생산

1. Bowen basin의 경우, 메탄과 지하수의 평균 생산 범위는 각각 1.63 TJ/day/well과 385 bbls/day/well를 나타내며 Roma well의 경우에는 0.5 TJ/day/well과 450 bbls/day/well의 범위를 나타내고 있어 용수 생산을 위한 충분한 수량은 확보 할 수 있으나 석탄층의 위치에 따라 지하수 발생량이 다소 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 따라서 각 시추공 별 용수생산 시설을 설치하는 경우와 각 시추공에서 발생하는 CSG water를 수송하여 저류한 저류지에 용수생산 시설을 설치 할 경우를 분리하여 용수생산 시설을 설계해야 한다는 결론을 도출하였다.

2. CSG water의 대표수질에서 나타난 4,450 mg/L의 TDS는 염분에서 기인하는 부분이 많을 것으로 판정이 가능하기 때문에 TDS 저감기술을 적용하여 염화물 및 잔류염소, sodium의 허용 한계농도에 접근해야하며 특히, 독성물질 범위는 따로 정하지는 않았지만 살충제를 비롯한 합성 유기물 또는 석유화합물은 재이용수 생산에서는 제거대상이 되는 독성물질로 규정하고 있기 때문에 TOC로 표시된 유기화합물의 농도가 248 mg/L, C6 - C9 가 <20 mg/L, C10 - C36가 <60 mg/L 인 점을 감안하면 TOC 저감 기술 특히, 분자량이 상대적으로 큰 C10 - C36의 처리가 우선되어야 한다는 결론에 도달할 수 있다.

3. 나트륨의 농도가 1,570 mg/L인 경우에는 sodium absorption ratio(SAR)가 141로 나타나 10 이상이면 농·수산 용수 및 관개용수 등으로는 직접 사용이 불가능하기 때문에 염분, 중탄산, 나트륨의 농도 저감 기술의 접목이 우선되어야 한다는 사실을 알 수 있으며 식수로 사용하기 위해서는 TDS를 500 mg/L 이하로 낮추기 위한 처리 방법도 제시할 필요가 있음을 확인하였다.

##### 2) 처리기술 예측 및 병합 시스템 설계

1. 용수 생산을 위한 CSG water의 처리공정은 섬유여과 및 막 분리에 의한 여과 기술, 유기물 제거를 위한 고도산화 기술, 이온성 물질 및 TDS 제거를 위한 전기분해와 RO 공정

을 병합시스템의 단위 공정으로 제안하고자하며 생산용수의 용도에 따른 최적 운전조건 설정을 후속 연구로 추진하고자 한다.

2) CSG water에 잔류하는 알칼리도는  $\text{HCO}_3^-$ 가 대부분을 차지하고 있는 결과로부터  $\text{Ca}^{+2}$ 는  $\text{CaCO}_3$ 로,  $\text{Mg}^{+2}$ 는  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 로 침전 할 때 최적 침전의 pH 범위는  $\text{Ca}^{+2}$ 가 9.0~9.5,  $\text{Mg}^{+2}$ 는 11.0임을 감안하면 bicarbonate의 제거를 위한 처리공정에서 pH에 따른 제거 효율은 TDS의 농도를 결정하는 중요한 인자로 확인되었다. 특히 TDS는 생산 용수의 용도를 결정하는 일차적인 역할을 하기 때문에 TDS 저감을 위한 처리시스템은 섬유여과 및 막분리와 RO 공정의 병합이 필수적일 것으로 판단하였다.

3)염분 농도가 30,000~40,000 ppm인 해수의 RO 처리에 대한 투자비용이 증발기술의 투자비용에 접근하고 있으나 고농도 염분으로 평가되는 brackish water의 경우에는 투자비용을 1,600~1,700 \$(KL/d), 운전비용은 0.65~1.5\$(KL/d)으로 제시하고 있어 이 보다는 저 농도인 CSG water는 모든 비용이 brackish water의 처리비용 보다는 더 적을 것으로 예상할 수 있기 때문에 TDS와 이온성 물질의 제거에 도입 가능한 RO 공정은 기능성 분리막의 선정과 함께 운전기술의 최적화에 의한 에너지 저감 효율을 제시함으로써 경쟁력 확보가 가능하다고 판단하였다.

## 2. 간이 시스템 설계 및 운전

### 1) 섬유여과 + 전기분해

1. SS 제거효율은 1단 섬유여과기에서 53.8 %, 2단 섬유여과기에서 65.8 %로 확인되어 2단 섬유여과기에서 12 %의 추가적인 여과효율을 보이고 있음을 알 수 있으나 전기분해조는 SS 제거효율에는 그다지 영향을 미치지 못하고 있기 때문에 SS의 제거에는 섬유여과기가 주도적인 역할을 하고 있음을 확인하였다.

2. COD<sub>Cr</sub>의 제거효율은 1단 섬유여과기 및 2단 섬유여과기에서 6.8 %, 8.9 % 나타나고 있으며 COD<sub>Mn</sub>의 제거효율 역시 27.8 %, 26.8 %로 나타나고 있어 섬유여과에 의한 유기물 제거효율은 낮으며 2단 여과의 효과도 거의 없음을 알 수 있다.

3. T-N, T-P의 제거효율은 섬유여과기에서는 10 % 미만으로 나타났으며 전기분해 반응조에서 전해질 농도가 고농도 일 때 T-N은 83.1 %, T-P는 60 %의 제거 효율을 보이고 있어 최적 전해질 농도를 확인 할 수 있었다.

4. 전기분해조의 전해질 농도가 100 ppm에서 색도제거 효율이 38 %, 2,000 ppm에서 82 %의 제거 효율을 보이고 있어 이온성 염료의 산화에 의한 제거효과가 나타나고 있음을 확인 할 수 있지만 이온성 염료는 BOD/COD의 비율에 따라 처리 방법이 다르기 때문에 BOD/COD의 비율 확인 및 이온성 염료의 재분산 방지기술에 대한 후속 연구가 필요할 것으로 판단된다.

5. 결과적으로 후속 연구인 고농도 염분 함유 지하수의 처리를 위해서는 본 연구의 결과를 기반으로 SS 제거, 유기물 제거, TDS 제거, 이온성 물질 등의 제거효율 상승을 위한 단위공정의 선정과 함께 역삼투(RO) 공정 등을 병합한 시스템의 설계를 검토할 필요가 있음을 확인하였다.

## 2) 섬유여과 + RO

1. 섬유여과기에서 SS는 제거가 되고 유기물 및 다른 이온성물질이 처리되지 않고 기준을 초과하는 것을 볼 수 있다. 하지만 섬유여과기 후단에 RO를 거치며 처리수가 재이용수 기준을 만족하는 것을 볼 수 있었다.
2. M-알칼리도와 P-알칼리도를 측정에 의한  $\text{OH}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ 의 농도는  $\text{OH}^-$ 는 거의 없었고  $\text{HCO}_3^-$ 가 대부분임을 확인 하였다. 또한 RO 처리 후의 중탄산이온( $\text{HCO}_3^-$ )의 제거 효율은 97~98%로 확인되어 이온성 물질의 제거에 효율적임을 확인하였다.
3. 결과적으로 SS 제거를 목적으로하는 섬유여과기는 그 자체만으로는 제거효율은 극히 저조하기 때문에 전단에 응집 시스템을 추가하여 섬유여과기의 SS제거 효율을 상승 시킬 필요성이 있으며 응집조 + 섬유여과 시스템은 후단의 RO 시스템의 부하를 줄일 수 있는 방법으로 추천하고자 한다.

## V. 연구결과와 활용계획

1. 실증 plant 설계를 위한 기초자료로서의 활용
2. 부산 수처리 기업 보유의 단위 공정의 병합 방법 설계 및 관련 기술의 컨소시엄
3. 단위 기술 컨소시엄에 의한 동반 해외 진출 로드맵 작성
4. 국내·외 기업 및 연구 네트워크 구성 및 공동 실증화 프로그램의 연차적 추진