

## 비전통오일 시설물의 안전성 운용확보 및 평가에 관한 연구

# A Study on the Safety Operation and Evaluation of Unconventional Oil Plant

정진우<sup>1</sup> · 나영우<sup>2\*</sup> · 양능원<sup>3</sup>

Jin-Woo Jung<sup>1</sup> · Young-Woo Na<sup>2\*</sup> · Neung-Won Yang<sup>3</sup>

(Received December 12, 2023 / Revised December 19, 2023 / Accepted December 19, 2023)

In this study aims to provide operational guidelines based on risk assessment and safety evaluation in the operation of non-traditional oil production plants, serving as alternative resources in comparison to conventional oils within the construction sector. Presently, operational facilities within these plants are active. However, integrating comprehensive management through sectional and device-specific diagnostic and evaluation systems in similar platform-based operational management systems proves to be a challenging reality. Consequently, this research introduces an evaluation methodology tailored for an operation-centric management system using an integrated management approach, and evaluates its practical applicability within the construction field.

**키워드** : 대체자원, 비전통오일, 생산 플랜트, 안전성, 자원활용

**Keywords** : Alternative energy, Unconventional oil, Plant, Safety probability, Resource utilization

## 1. 서론

석유는 산업 전반에 걸쳐 현대 사회 가장 중요한 에너지 원으로 동력 연료 및 공업 용도로 많이 사용되고 있다(Xiao et al, 2019). 최근 러시아·우크라이나 전쟁 및 산유국 등의 석유생산 감소 정책 등으로 인하여 원유 수입국인 우리나라는 직접적인 영향을 받는다. 이러한 문제로 발생하는 고유가 현상은 국민경제와 산업분야에 전반적인 부담으로 작용하고 있는 현실로 지속적으로 반복되고 있다(da Silva et al, 2015). 국내·외적으로 이러한 고유가 시대 및 자원고갈 등의 대안으로 천연 에너지와 대체 에너지 자원에 대한 연구 및 개발에 지속적인 투자를 실시하고 있으나 투자 대비 효율성이 떨어지는 문제점을 가지고 있다(Choi et al, 2019). 석유는 전통 석유자원 및 비전통 석유자원으로 분류할 수 있으며, 전통 석유자원인 전통 오일&가스는 부존량이 적고 생산이 용이하나, 중질유, 오일샌드, 오일 셰일 및 초중질유 등과 같은 비전통 석유자

원은 부존량이 많으며, 생산이 어렵다는 단점이 있다(Mostafapour and Davoudi 2013). 비전통오일은 일반적인 석유제품 생산 방법과 다른 방법을 통해 추출되는 석유의 일종으로 유동성이 높은 원유를 지표층에서 추출하는 것이 기존방식이나, 비전통오일은 더 깊은 지하층이나 특수한 지질 조건에서 추출되는 석유방식이다(Choi et al, 2020). 비전통오일은 총 부존량이 풍부하지만 지층특성이나 석유자체의 높은 점성으로 인하여 생산하기 어렵고 적은 양으로 넓게 분포하여 경제성이 없는 자원으로 분류되었으나, 채굴기술의 발달로 인하여 기존 전통 석유방식 대비하여 환경적인 문제, 생산효율 및 비용적이라고 인식되었던 비전통오일에 대한 관심이 높아지고 있는 실정이다(Choi et al, 2016).

매장량이 풍부한 캐나다, 중남미 및 동남아를 중심으로 오일샌드(Oil sands), 중질유(heavy oil) 등 비전통오일의 개발에 대한 관심이 증가하고 있다(Min 2022). 국내에서도 최근 비전통오일에 대한 관심도가 높아지면서 비전통오일 생산플랜트 건설설비 및 핵심

\* Corresponding author E-mail: survey21@semyung.ac.kr

<sup>1</sup>한국케이이티컨설턴트 대표이사 (Korea KGT Consultant, Incheon, 403, Korea)

<sup>2</sup>세명대학교 토목공학과 교수 (Department of Civil Engineering, Semyung University, Jecheon, Chungbuk, 27136, Korea)

<sup>3</sup>퀀텀앤타임 기술책임자 (Quantum&Time, Pocheon, Gyeonggi, 1007, Korea)

기술에 대한 자립화를 추진하고 있다. 오일생산에 필요한 생산 플랜트는 기계, 토목, 건축, 자원, 전자 및 통신 등 다양한 분야가 집합체로 각 분야의 기준에 맞춰 건설되고 운용되고 있으나, 설계, 시공, 유지관리 등 하나의 프로세스를 통합적으로 관리 할 수 있는 주체가 명확하지 않고, 각 분야의 기준에 의해 관리하고 있는 실정이다(Meng et al. 2012). Fig. 1은 오일 플랜트의 시설물 중 하나인 월패드 시스템의 전경을 나타낸 것이다.

오일 생산 플랜트는 정확한 오일 매장량, 추출 방법, 기계설비, 건설, 운용방안 등이 중요하지만 완공 후, 운용과 유지관리 분야에서의 관리주체에 따라 접근방식이 달라 운용 중에 발생하는 돌발적인 사항 및 대체 능력에 대해서는 문제점으로 지적될 수 있으며, 국내 자립화에 따른 한국형 관리 및 체계가 필요로 한 시점이기도 한다.

처음부터 신설 플랜트 설계에 안전성 결함을 관리하기 위한 체계적인 접근방식이 요구되고 있으나 명확한 기준 및 방법이 마련되어 있지 않아 정립이 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 비전통오일 시설물의 안전한 운용확보 방안 및 평가를 위하여 플랜트 엔지니어링의 단계별 공정기술범위인 '계획, 설계, 구매조달, 건설, 운용 및 유지관리, 프로젝트 매니지먼트' 중 운용 및 유지관리 분야에 대한 기술자립화에 따른 안전성 확보 및 점검평가기법을 제시하고자 하였다.



Fig. 1. Wall pad system

## 2. 연구계획 및 내용

### 2.1 구성요소

#### 2.1.1 오일 생산 플랜트 구조

비전통오일을 생산하기 위한 생산 플랜트는 생산, 부분개질, 수집분리, 수처리, 순환설비, 이송 단계의 기술로 구분할 수 있다. 이러한 기술은 기기와 연결설비로 구성되며, 파이프라인을 통하여 생산된 오일을 생산하고 유기적으로 수송하는 시스템으로 구성된다. 지상구조물은 지하구조물과 달리 지상환경에 노출되어 있다. 이러한 구조물들에 대한 관리는 각각의 구성기술에 맞춰 자체적인 매뉴얼을 통해 관리하고 있는 실정이다.

Table 1은 오일 생산 플랜트를 구성하는 주요설비 및 구조를 정리하여 나타낸 것이다.

#### 2.1.2 오일 생산 플랜트의 유지관리

오일 생산 플랜트의 유지관리는 석유 및 가스 생산 시설의 안전성, 신뢰성, 효율성을 향상 시키고 유지할 수 있도록 하는데 있다. 그러나 오일 생산 플랜트는 복잡한 시스템으로 구성되어 있으며, 안전하고 안정적인 운영을 위해 지속적인 유지 및 관리가 필요하다. 오일 생산 플랜트의 경우, 국가주요 보원 시설로서의 정기적인 예방 및 상태 기반의 유지보수가 이뤄지고 있으며, 고장이 발생할 경우 신속하게 원인을 진단하고 효과적인 복구작업이 수행되어야 한다. 또한 화학물질 처리, 폐기물 관리 등 운용 중에 발생 되는 오일 외에 물질에 대해서는 안전 규정 및 환경규제를 준수해야 하는 등 여러가지 제약 및 규제를 동시에 받는 시설물이다.

정기적인 검사 점검, 예방적인 유지보수가 이루어 지고 있으나, 자동화된 제어시스템을 통하여 프로세스를 모니터링하고 안전상태를 유지하기 위해 사용되는 PLC(Programmable Logic Controller)방법과 위험 상황 감지 및 대응을 자동으로 수행하는 시스템이 있으며, 비상 상황 시 빠르게 조치가 유용한 SIS(Safety Instrumented System)을 현재 주로 많이 사용하고 있다.

Table 1. Major facilities and structures

No.	Group	Part
1	Plant	Core building, oil and gas processing, refining and production processes
2	Feedstock receiving and storage facilities	Facility for receiving and storing crude oil or natural gas
3	Refinery tower	Crude oil separation, cracking for refining, distillation and chemical reactions occur
4	Gas processing facility	A facility for processing and refining gas separation, compression, and chemical reactions
5	Tanks and storage facilities	Tanks and storage facilities for various types of petroleum products

### 2.1.3 오일 생산 플랜트의 위험요소

복잡하게 구성된 오일 생산 플랜트의 시스템상 다양한 위험과 안전문제 등에 상시 노출되어 있는 구조물로 지속적인 관리와 위험 요소에 대한 대응 매뉴얼이 필요하다. 이러한 위험들은 플랜트 내에서의 화학물질 처리, 고압 시스템, 높은 온도 및 압력, 화재와 폭발 등의 다양한 요인에 의해 발생할 수 있으며, 이러한 위험요소는 생산량 저하는 물론이고 화재 및 폭발의 위험에 노출되어 제 2, 3차 피해를 유발할 수 있다. 오일 생산 플랜트 시설물의 안전성을 확보하고 위험성에 대해 평가하는 것은 매우 중요한 부분이다. 상태 진단의 정확성과 함께 위험 부위 및 인자에 대해 점검 및 감사가 필요로 한다. 위험평가 및 분석은 시스템 내에서 발생할 수 있는 위험을 도출하고 평가하는 HAZOP(Hazard and Operability Study)와 시스템의 고장이나 사고가 발생할 수 있는 모든 가능성을 분석하는 기법인 FTA(Fault Tree Analysis), 프로세스에 잠재적으로 위험한 상황을 식별하고 분석하여 사고의 원인을 파악하고 예방하는 PHA(Process Hazard Analysis)로 구분할 수 있다(Kim et al. 2017).

## 2.2 환경적 요인 및 구조적 요인

### 2.2.1 재료 영향성 평가

오일 생산 플랜트를 구성하는 모든 기기나 구조물을 구성하는 부품 및 요소들은 서로 다른 재료들로 만들어진 하나의 복합체이다. 오일 생산 플랜트를 건설할 때 사용되는 재료로는 플랜트의 프레임, 플랫폼, 탱크 등 건축물의 구조물에 사용되는 고강도 철강(structural steel), 건물의 기초, 탱크, 플랫폼 등 다양한 구조물에 사용되는 콘크리트(concrete)는 구조 재료로 가장 많이 사용된다(Li et al. 2018). 파이프 및 관로, 열교환기, 기계 및 회전 장치, 압력용기 등에도 다양한 소재의 재료들이 활용되고 있다. 이들의 재료는 고유의 물리적성질을 가지고 있으며, 이는 플랜트의 고온, 고압을 견딜 수 있도록 견고하게 사용되고 있다.

이러한 재료들은 설계, 제작, 시공, 운용 등 각 단계에서부터 관리가 필요로 하며, 외부에 의해 발생 되는 변형(strain)도 주요 체크 사항이지만, 재료적 성질(material properties)에 대한 면밀한 관리가 필요하다. 이에 본 기계적 요소 및 구조적 안전성에 대한 평가기법이 아닌 재료적 특성을 고려한 평가기법을 적용하여 플랜트 설비 및 건설구조물의 안정성을 평가하고자 하였다.

### 2.2.2 환경 영향성 평가

기존 중동 중심의 오일 생산 플랜트의 기후는 높은 온도와 낮은 습도를 가지며, 강우의 불규칙성을 가지는 특징을 가진다. 이러한

기후 특성은 중동 지역의 에너지 생산 및 건설 프로젝트 등에 영향을 미친다. 비전통오일 중 하나인 오일샌드 매장량이 가장 많은 캐나다의 경우에는 중동과는 다른 기후 조건을 가지고 있다. 국내 기술 자립화 및 확보를 검증을 위하여 설정한 지역인 알버타 지역은 대륙성 기후의 형태를 지니며, 뚜렷한 계절별 차이가 있고, 추운 겨울과 더운 여름이 있으며, 강한 바람 및 강설이 많이 내리는 지역이다. 이러한 기후적 특성은 구조물 및 기기의 물리적, 화학적 변화과정을 거치게 되는 요인으로 지적할 수 있다. 이러한 작용이 지속되면 운용 기간의 경과에 따라 성능저하를 일으키는 주요 요인의 하나이며, 환경변화에 따른 기기 및 구조물의 성능저하를 유발하는 가속인자로 구분할 수 있어 환경적인 영향도 고려되어야 할 사항이다.

오일 매장의 주요 매장국인 중동, 중남미, 북미 등은 서로 다른 기후적 환경을 가지고 있어, 오일 생산 플랜트의 설계 및 건설시 기능적인 설계 외에도 운용 후의 사용성을 고려하여야 하며 환경적인 요소들에 대해서도 평가항목에 반영하여 보다 면밀한 관찰 및 평가가 이루어져야 한다. Table 2는 환경 영향성 평가를 위한 중동 지역과 캐나다 지역의 기후특성을 나타낸 것이다.

Table 2. Climatic characteristics

Group	Characteristic
Middle East	Hot and arid climate / almost no rainfall / large temperature difference
Canada (Alberta)	Extreme climate / heavy snowfall / large temperature fluctuations
Central and South America	Tropical climate, arid climate / high humidity / small diurnal temperature range

## 3. 연구결과 및 분석

### 3.1 플랜트의 안전성 관리를 위한 요소산출

플랜트의 안전성 관리를 위한 방법으로 PHA(Process Hazard Analysis)기법을 기본으로 하여 진행하였다. 잠재적인 위험과 사고의 가능성을 구분하기 위하여 위험요소를 설정하였다.

플랜트 기기 및 설비 등은 사용법 및 유지관리 등에 대하여 자체적인 매뉴얼이 존재하며, 이러한 매뉴얼에 의하여 플랜트의 기기 및 설비운용을 관리하고 안전성을 평가하는 실정이다. 하지만 이러한 관리 방법은 플랜트를 세분화하여 관리하기에는 적절한 수행 방법이지만 기기의 성능 중심적 관리는 근본적인 원인에 대한 추적이 쉽지 않으며, 현 상태에서의 대처법으로 적합한 시스템 구조

Table 3. Material and environmental hazards

No	Material	Risk factors	Internal cause	External cause
1	Strong steel	Corrosion, crack, peeling	Fatigue failure under high temperature and pressure	Temperature, rainfall, snowfall, humidity, wind speed, geographic location
2	Concrete	Delamination, wear, crack	Carbonation, chloride ion diffusion	
3	Stainless	Corrosion, crack	Stress corrosion, diffusion corrosion, high-temperature corrosion	
4	Other	Crack, elimination	Fatigue failure under high temperature and pressure	

를 가져 보여지는 현상에 대한 일시적인 조치일 뿐 위험 요소 및 저하 요소를 제거하지 못한다.

재료적 원인과 환경적 원인을 통해 사고 및 안전성을 위협하는 근본적인 원인을 파악하고 이를 통해 발생 될 수 있는 사고들을 예측하여 사고 발생 시 근본적인 원인을 빠르게 분석할 수 있도록 설계하였다. Table 3은 재료적 원인과 환경적 원인에 대한 구분표를 나타낸 것이다.

플랜트 운용에 따른 기기의 성능저하의 원인은 재료의 변형, 마모, 노후화 및 기타로 구분할 수 있으며, 재료의 변형, 마모, 노후화는 전체 성능저하의 원인으로 약 90 % 이상의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히 변형이나 마모 현상은 기기 운용에 의한 직접적인 원인이 약 70 %, 간접적인 원인은 약 30 %대로 고압, 고온 등의 운용 중 발생하는 직접적인 현상에 의해 내구성능 저하 현상이 나타났다. 부식, 박리 등 외부적 요인에 의한 원인도 발생하였다. 그러나 이러한 현상을 발생 시킨 원인이 무엇인지에 대한 평가가 제대로 이뤄지지 않았으며, 이러한 원인의 근본적인 문제가 어떤 것이 있는지에 대해 살펴볼 필요는 있다. 부식이 발생한 원인이 무엇인지, 박리가 나타난 원인이 무엇인지, 처짐이 커지는 원인이 무엇인지에 대한 원인은 파악이 선행되어야 하지만 기존의 평가기법에서는 적용되지 않은 것으로 분석되었다.

박리 및 부식은 외부적인 요인 중 환경적인 문제에 의해 발생하는 빈도가 높게 나타났으며 주요 원인으로 분석되었다. 특히 이러한 박리 및 부식은 외부의 습도, 강우, 강설 등에 의한 습기에 의해 발생하였으며, 이 빈도는 약 80 %로 대체로 높게 나타났다.

캐나다 지역의 경우, 겨울철 강설이 많고 대기 온도의 저하가 심한 특성을 가지고 있으며, 이러한 기후는 박리 및 부식의 영향을 주는 근본적인 원인으로 파악되었다.

파이프라인의 경우, 내부와 외부로 나눠 분석한 결과 내부의 경우, 유체의 흐름에 따른 온도변화, 압력 차, 화학적 원인이 주된 내구성능 저하 원인으로 나타났으며, 주요 현상으로 처짐 및 피로 균열 등으로 분류할 수 있었다. 외부의 경우 도막 및 방청 성능이 운용연수에 따라 박리현상이 발생하고, 수분 및 공기와의 접촉을

통해 부식이 촉진되었으며 이는 캐나다의 기후 특성에 따라 중동에 비해 빈도 횡수가 약 50 % 이상 촉진되는 결과를 나타냈다 이는 잦은 강설로 인해 외부표면의 수분이 공급되며 추운 기온으로 동결융해 현상이 반복되면서 외부의 영향으로 인한 박리 및 부식이 촉진되는 경향으로 분석되었다.

이러한 결과는 플랜트의 기기 및 구조물은 기기, 설비의 성능 및 운용방법에 따른 평가기법이 모든 지역에서 동일하게 적용할 수 없으며, 지역별 특성 및 환경적인 원인 등이 열화 및 내구성능 저하를 촉진시키는 위험인자로 구분할 수 있었다. 이는 플랜트 부지설정에 있어서 고려되어야 할 것으로 판단된다.

### 3.2 가중치 선정 기법 및 안전성 운용방안

위험요소에 따른 가중치는 산업, 전자, 환경 등 다양한 분야에서 활용하는 위험도 평가 수식을 기반으로 산출하였으며, 식 (1)은 위험 발생 확률에 대한 것을 나타낸 것이다.

$$\text{위험도(Risk)} = \text{위험발생확률(Probability)} \times \text{위험의 심각성(Consequence)} \quad (1)$$

이에 위험도를 평가하기 위하여 기본 위험 요소인자를 산출하여 위험 발생확률을 생산량을 기준으로 위험도 단계를 구분하였으며, 이러한 원인 발생은 재료적 원인과 환경적 원인으로 설정하였다. 재료적인 원인은 고유의 성질로 변하지 않는 특성을 가지고 있으며, 이는 자체적으로 변하지 않고 외부의 요인에 따라 달라지는 상수이기에 고정하였으며, 위험의 심각성 부분은 환경적인 영향 부분으로 하였다. 이는 각 지역마다 기후 차이와 기후의 변화는 조건변수로 적용이 가능할 것으로 판단하였다. 즉, 위험 발생확률은 재료적인 특성을 뜻하고, 위험의 심각성은 재료적 특성을 제외한 환경적 요인 및 재료에서 발생하는 위험요소 등을 조건변수로 적용하였다.

환경적인 요인은 강우, 강설, 온도 등에 따라 조건에 따라 위험인자 및 위험형태 결과가 달라지므로 특정조건에서만 특정 변수를

활성화하여 제어하는 목적으로 설정하였다.

Table 4는 위험도별 가중치 및 가산점수 산정 도입방안에 대한 가중치의 값을 설정하였으며, 기후 특성 및 환경에 따라 이 가중치는 변화할 수 있다. 예를 들어 부지에정지의 최근 5년간의 강우 및 강설량, 평균온도 등을 분석하고 이에 따른 발생 빈도수를 반영하여 가중치의 값은 달라질 수 있도록 설계하였다

Table 5는 생산량 기준 위험단계를 나타낸 것이다. 시설물의 안전한 운영을 위하여 평가 기준 대상이 필요하며, 이를 위하여 생산량을 기준으로 생산량에 따른 위험단계를 분류하고자 하였다.

위와 같은 사항을 고려하여 안전성 운용방안을 위한 위험요소를 결정하였다. 플랜트의 안전성 운영을 위해서는 기기마다의 성

Table 4. Weight by risk

Types	Weighted	Additional points	
Operational life	1.2	~10 year	0
		10~15 year	-0.35
		15~20 year	-1
		25 year~	-2
Periodic safety check	0.5	excellent	0
		average	-0.2
		attention	-0.4
Accurate safety evaluation	1.5	A~B grade	0
		C grade	-2
		D grade	-4
Geographical environment	0.2	mountainous	-0.1
		plain	0
		coast	-0.2
Climate	1.2	rainfall/snowfall	1.5
		humidity	1.2
		extreme temperature	1.2

Table 5. Risk stage based on output

Risk Level	Standard
Normal environment	An environment where production output(design capacity), based on production capacity, is consistently maintained at satisfactory levels within a certain range
High-frequency abnormal conditions	An environment where production output, based on production capacity (design capacity), falls below 30 % of the target production volume
Low-frequency abnormal conditions	An environment where production output, based on production capacity (design capacity), falls below 50 % of the target production volume

능 기준, 구성재료, 구성부품 등의 기본적인 자료와 함께 운용 중에 발생할 수 있는 돌발사항 등을 고려하는 것도 중요하다. 하지만 운용 중에 발생하는 사고의 확률은 전체 사고의 약 10 %의 미만으로 확률적으로 높지 않는 것으로 나타났다. 또한 운용 중에 발생하는 사고에 대해 확률은 빈도수가 적어 정확한 확률로 산출하기는 쉽지 않다.

그러나 내구성능 저하 및 위험인자 법을 활용하는 것은 지속적인 영향을 통해 초기 설계한 내구성을 장기간 지속적으로 위험인자를 공급해주는 역할을 하므로 이러한 원인으로 인한 발생할 수 있는 위험영향을 수치화하고 정립하기에 적합할 것으로 판단된다. 또한 이러한 위험인자의 도출을 위해서는 충분한 사전 조사가 필요하며, 각 기기, 설비, 건설, 통신분야의 내용을 한 번에 관리할 수 있는 통합관리시스템이 필요로 할 것으로 보인다. 이러한 통합관리시스템은 단순한 기기적 오류를 예측하고, 부분적 설비 및 생산 구역을 나눠 관리하는 방식이 아닌 하나의 플랫폼을 통합적으로 시스템하여 정성적인 통합관리 시스템을 구축하여 사용자나 관리자가 보다 사고예방, 사고원인 및 대처법에 대해 보다 신속하고 정확한 평가를 할 수 있는 방안으로 제시할 수 있다고 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 전통오일의 대체자원인 비전통오일 생산플랜트의 운용에 있어서의 위험인자 및 안전성 평가를 통한 운용방안에 대하여 제시하고자 하였다. 현재 플랜트 시설물이 운용되고 있으며, 비슷한 플랫폼 기반의 운용관리체계를 가지고 있으나 이는 통합적인 관리 시스템이 아닌 각 구역 및 기기적 설비, 운용에 따른 문제점 등을 체크하고 해결하는 운용 중심적 관리 시스템을 사용하고 있다. 이에 다음과 같은 방법을 토대로 보다 효율적인 운용방안 및 관리 체계를 구축하는 기초 자료로서 활용 할 수 있을 것으로 판단된다.

1. 플랜트 건립지에 따른 기후적 특성이 다르며, 재료마다의 특성이 외부환경에 영향을 받기 때문에 환경적인 요인을 반영한 위험요소 및 평가방법이 반영되어야 할 것으로 판단된다.
2. 재료적인 변형, 마모, 노후화는 전체 성능저하의 약 90 %를 차지하였으며, 변형이나 마모 등은 직접적인 원인이 약 70 %, 간접적인 원인은 약 30 %의 비율로 내구성능 저하를 발생하는 비율로 나타났다. 또한 직접적인 원인은 상황에 따라 달라질 수 있으나, 간접적인 원인은 지속적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.
3. 간접적인 원인 중 하나인 환경적인 요인은 강재로 구성된

파이프라인에 적용하였을 때, 강재의 박리, 부식 및 균열은 외부의 습도, 강우, 강설 등 습기에 의해 발생하는 빈도가 약 80 %로 높게 나타났으며, 이는 기후에 따라 플랜트의 내구성능에 영향을 미치는 것으로 판단하였다. 또한 현재 전통 오일의 주요 생산지역인 중동과 비전통오일의 매장량이 많은 캐나다의 경우, 기후 특성이 전혀 달라 이러한 점을 고려한 설계, 시공, 운용방안 및 진단 평가 기법이 변화가 필요할 것으로 판단된다.

4. 신뢰성 향상을 위하여 추가적인 데이터가 많이 확보되어야 할 것으로 보이며, 통합 관리평가 시스템에서는 정량적인 산출이 쉽지 않고 통계적인 수치화까지는 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. 그러나 통합관리평가를 위하여 정성적인 산출기법을 통하여 플랜트의 위험성 및 안전성을 신속하게 평가할 수 있어 기존방식에 비해 사고예방, 사고 원인 및 대처법에 더 효과가 있을 것으로 판단되며 기존의 운용평가법과 조합하여 활용할 경우, 보다 다양한 관점에서 위험요인 및 내구 성능저하 원인을 분석할 수 있을 것으로 판단된다.

### Conflicts of interest

None.

### 감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원에 의해 수행된 연구입니다(과제번호 RS-2022-00143541).

### References

Choi, Y., Naidu, G., Nghiem, L.D., Lee, S., Vigneswaran, S. (2019). Membrane distillation crystallization for brine mining and zero

liquid discharge: opportunities, challenges, and recent progress, *Environmental Science: Water Research & Technology*, **5(7)**, 1202–1221.

Choi, Y., Vigneswaran, S., Lee, S. (2016). Evaluation of fouling potential and power density in pressure retarded osmosis (PRO) by fouling index, *Desalination*, **389**, 215–223.

Choi, Y.O., Kim, J.M., Ahn, B.H., Choi, B.K. (2020). Feature analysis of acoustic emission and vibration signal according to pipe cracking shape and valve opening/closing, *Korean Soc, Noise and Vibration Engineering*, **30(1)**, 5–10 [in Korean].

da Silva, S.S., Chiavone-Filho, O., de Barros Neto, E.L., Foletto, E.L. (2015). Oil removal from produced water by conjugation of flotation and photo-fenton processes, *Journal of environmental management*, **147**, 257–263.

Kim, Y., Woo, Y.C., Phuntsho, S., Nghiem, L.D., Shon, H.K., Hong, S. (2017). Evaluation of fertilizer-drawn forward osmosis for coal seam gas reverse osmosis brine treatment and sustainable agricultural reuse, *Journal of Membrane Science*, **537**, 22–31.

Li, S., Song, Y., Zhou, G. (2018). Leak detection of water distribution pipeline subject to failure of socket joint based on acoustic emission and pattern recognition, *Measurement*, **115**, 39–44.

Meng, L., Yuxing, L., Wuchang, W., Juntao, F. (2012). Experimental study on leak detection and location for gas pipeline based on acoustic method, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, **25(1)**, 90–102.

Min, B.H., Kim, M., Kwon, S.Y. (2022). Production methods of unconventional oils, *Journal of the KSME*, **62(7)**, 30–35 [in Korean].

Mostafapour, A., Davoudi, S. (2013). Analysis of leakage in high pressure pipe using acoustic emission method, *Applied Acoustics*, **74(3)**, 335–342.

Xiao, R., Hu, Q., Li, J. (2019). Leak detection of gas pipelines using acoustic signals based on wavelet transform and support vector machine, *Measurement*, **146**, 479–489.

#### 비전통오일 시설물의 안전성 운용확보 및 평가에 관한 연구

본 연구에서는 전통오일의 대체자원인 비전통오일 생산플랜트의 운용에 있어서의 위험인자 및 안전성 평가를 통한 운용방안에 대하여 제시하였다. 현재 플랜트시설물이 운용되고 있으며, 비슷한 플랫폼 기반의 운용관리체계는 구간별, 장치별 진단 및 평가체계로 통합적인 관리가 쉽지 않은 현실이다. 이에 통합적인 관리시스템을 통한 운용 중심적관리시스템을 위한 평가방법을 제시하고 이에 따른 활용성을 평가하였다.