

터널시공 시 이산화탄소(CO₂)를 이용한 알칼리성 폐수의 중화처리 현장적용 연구

A Study on the Field Application of Alkaline Tunnel Wastewater to Neutralization Using CO₂

박 영 진¹ Park, Young-Jin

이 호 철² Lee, Ho-Chul

Abstract

Strong alkaline waste water is generated in large quantities due to using Concrete, shotcrete and various compounds in tunnel construction sites. As the release of this alkaline waste water will contaminate the stream water, it has to be neutralized. Currently, this waste water is mainly neutralized by using sulfuric acid or hydrochloric acid, but the risks of corrosion and handling of facilities are inherent and the chemical control act requires strict management measures. Therefore, using CO₂ (carbon dioxide) as an alternative has been highlighted and various indoor experiment studies have been conducted to prove its potential. However, it is difficult to apply CO₂ to the site because it is still completely lacking in field application research and shows different characteristics from indoor experiments. In this study, the actual site applicability is verified through field testing.

요 지

터널시공 현장에서는 콘크리트와 슛크리트 및 각종 그라우팅 공법의 사용으로 다량의 알칼리성 폐수가 발생되고 있으며 하천오염을 방지하기 위해 중성화 처리를 해서 방류해야 한다. 현재는 이를 황산과 같은 강산으로 중화 처리하고 있으나 취급상의 위험이 내재 되어있다. 그 대안으로 이산화탄소(CO₂) 사용이 부각되었고 다양한 실내실험 연구가 진행되어 그 가능성이 입증되고 있다. 하지만 아직 CO₂의 현장 적용연구가 절대 부족하고 특히 건설현장에서는 실내 실험 결과와는 다른 특성을 보이고 있기 때문에 현장 적용이 어려운 실정이다. 이에 본 연구에서는 현장 실험을 통하여 실제 현장 적용 가능성을 검증하고자 한다.

Keywords : Alkaline, CO₂, Neutralization, Tunnel, Waste water

1. 서 론

2017년 기준 산업폐수의 발생량은 4,921,363.5 톤/일

이며, 그 중 섬유염색 폐수는 약 377,000 톤/일, 화학물
질폐수 486,699 톤/일, 금속업폐수 506,864 톤/일 등 많
은 양의 알칼리성 폐수가 발생되고 있다(2020환경부).

1 정회원, 경기대학교 산학협력단 조교수 (Member, Assis. Prof., Industry-Univ. Cooperation Division KYONGGI Univ., Tel: +82-31-249-1354, Fax: +82-31-248-5646, apyj0313@kgu.ac.kr, Corresponding author, 교신저자)

2 비회원, 에코엔텍(주) 부장 (Manager ECHO & TEC)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2021년 2월 28일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

특히 건설 현장에서는 석회, 실리카, 알루미늄, 산화철 등의 성분이 다량으로 혼입되어 있는 시멘트와 혼화제가 많이 사용되고 있으며 이로 인하여 강한 알칼리성 폐수를 대량으로 배출하고 있다. 알칼리성 폐수를 그대로 방류할 경우 물속에 있는 유기물질 등을 용해 또는 분해시켜 물의 자정작용을 저해하고 BOD 부하를 증가시키며 하천의 색을 변색시키는 원인이 된다.

현재 알칼리폐수는 주로 황산이나 염산 등과 같은 강산을 사용하여 중화처리하고 있다. 이러한 강산을 사용할 경우 설비 부식 및 취급상의 위험이 항상 내재되어 있다. 또한 pH 7 부근에서는 소량의 황산이 투입되더라도 pH가 급격히 떨어져 NaOH를 재 주입해야 하는 문제점이 발생하기도 한다. 그리고 강화된 화학물질관리법에 의해 10% 이상의 황산은 유독물질로 지정되어 장외 영향평가 및 위험물관리자 선임, 방호시설 설치 등 까다로운 관리방안을 충족해야 한다.

이러한 환경규제하에서 황산과 같은 무기산의 대체물질로서 이산화탄소(CO₂)가 그 대안으로 대두되고 있다. 이산화탄소(CO₂)는 온실가스 중 하나이며 이산화탄소(CO₂)를 저감하기 위해 CCS 또는 CCU와 같은 기술 개발이 활발히 진행되고 있다. 하지만 아직 건설현장의 알칼리성 폐수를 중화처리하기 위한 이산화탄소(CO₂)의 현장 적용연구가 절대적으로 부족하여 실제 현장에서 사용하기가 어려운 실정이다. 본 연구의 목적은 터널현장에서 발생하는 알칼리폐수의 중화처리에 CO₂를 적용하기 위한 실제 현장 모델을 만드는 것이다. 따라서 현장에서 발생하는 폐수의 유입량 별로 적정 CO₂ 투입량을 제시하여 초기에 적절한 설비의 용량 선정을 가능하게 하고 운영시 CO₂투입량 기준을 제시하여 현장에서 활용이 가능하도록 함이 목적이다. Fig. 1은 현재 황산을 사용한 일반적인 알칼리폐수의 중화처리 공정도이다.

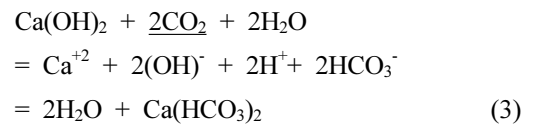
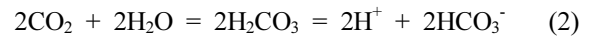
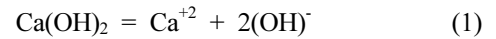
2. 이산화탄소(CO₂)를 이용한 알칼리폐수 중화처리 실내실험 고찰

이산화탄소(CO₂)를 사용하여 알칼리폐수를 중화할 경우, 강산을 사용할 때와는 달리 중화반응에 완충 영역이 존재하여 CO₂가 다소 과잉으로 투입되더라도 pH를 6~7 사이로 유지하는 것이 용이하고, 처리시설의 부식 문제를 크게 줄일 수 있다. 또한 이산화탄소(CO₂)를 이용하여 알칼리폐수를 중화함으로써 기존 중화제로 사용하고 있는 유독물질인 황산을 대체할 수 있다. 이산화탄소(CO₂)를 이용한 알칼리폐수의 중화처리는 2000년 초부터 제조업을 중심으로 많은 실내실험이 진행되었고 일부 공장에서 이산화탄소(CO₂) 배가스의 적용도 시도되었다. 그동안 진행되었던 국내 학자들의 실내실험 결과를 통하여 건설 현장에서의 적용 가능성을 찾아본다.

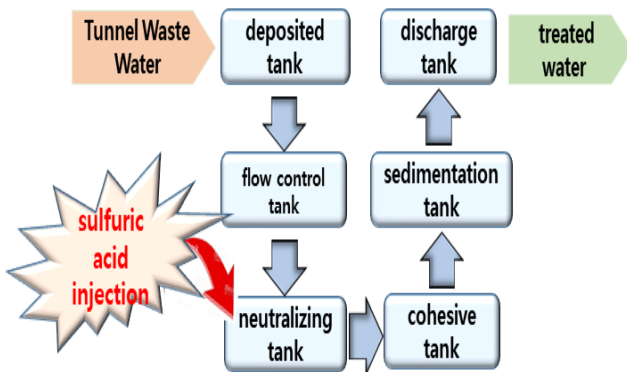
2.1 중화반응 메커니즘

터널폐수가 알칼리성을 나타내는 것은 시멘트의 주성분인 석회(CaO)로부터 기인한다.

알칼리성 폐수에 존재하는 알칼리 성분은,



이상과 같은 과정으로 중성화가 이루어진다.



- deposited tank: process by which suspended solids are deposited by this gravity
- flow control tank: Process for transferring the quantity and quality of waste water at a constant
- neutralizing tank: process of mixing waste water with neutralizer
- cohesive tank: a process that increases the size of suspended solids with a cohesive agent
- sedimentation tank: Process for clean treatment water by deposition of gravitationally growing suspended solids
- discharge tank: Process for discharging clean treated water

Fig. 1. Tunnel Waste Water Neutralization Process

2.2 이산화탄소(CO₂)를 이용한 중화처리 실내실험 장치 및 방법

이산화탄소(CO₂)를 이용한 중화처리의 실내실험에는 Bohner and Blenke에 의해 개발된 jet loop reactor가 많이 사용되고 있다. 이는 기체와 액체의 접촉면적이 증대되어 흡수율을 높이는 장점이 있기 때문이다. 실험 장치는 Fig. 2와 같다.

2.3 이산화탄소(CO₂)를 이용한 중화처리 실내실험 결과 고찰

이산화탄소(CO₂)를 이용한 알칼리폐수 중성화연구는 최근까지 여러 분야에서 많은 실내실험이 이루어졌다. 그에 따르면 CO₂ 농도가 높을수록 중성화 효과가 좋고 pH농도가 높을수록 CO₂ 이용률이 높다고 하였고(Song et al., 2017), pH의 조절에 효과적인 폐수의 양과 CO₂의 비율도 제시하였다(Kang et al., 2016). 또한 CO₂ 양이 증가하면 pH조절 속도가 증가하지만 이용률은 감소하였고 온도는 20°C 보다 25°C 일 때의 반응속도가 빨라졌음을 증명하였다(Son et al., 2013). CO₂ 농도 15% 사용 시 알칼리폐수와 CO₂의 비율이 1.1:1 일때 중성화 효율이 가장 좋았고(Kang, 2015), 제선공정에서 발생하는 알칼리폐수를 배가스에 함유된 이산화탄소(CO₂)를 이용하

여 중성화처리가 가능함을 보여주었다(Choi et al., 2001). 이상과 같이 실내실험은 실험규모에서 현장실험과 큰 차이가 있고 연속적인 현장원수(알칼리폐수)의 유입실험이 어려우므로 실제 터널현장 실험과는 차이가 많을 것으로 판단된다.

3. 이산화탄소(CO₂)의 건설현장 적용을 위한 현장실험

앞장의 실내실험으로 기술적 효과는 검증되었으나 실제 건설현장 규모의 현장실험이 없어 사용이 어려웠다. 따라서 건설 중인 터널현장에서 직접실험을 하여 그 적용성을 검증하였다.

3.1 실험 현장 개요

이산화탄소(CO₂)의 건설현장 적용을 위해 실제 건설 중인 철도터널 현장 3개소를 선정하였다. 현장 개요는 아래 Table 1과 같다.

3.2 현장 실험 방안

기존 황산 중화처리 공법 대신 이산화탄소(CO₂)의 현장적용을 위해 현장 설비공정을 일부 수정하였다. 즉 황

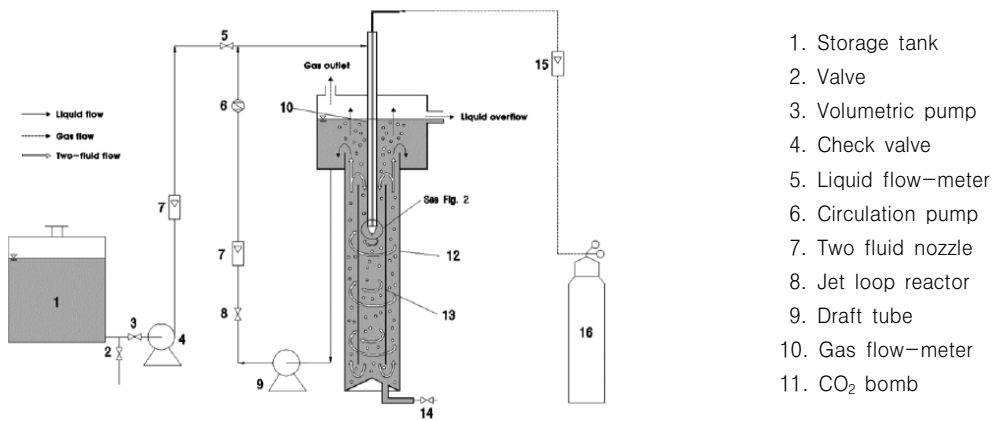


Fig. 2. Jet loop reactor

Table 1. Overview of the experiment site

Field name	Tunnel length (m)	Processing capacity (m ³ /day)	Amount of wastewater (m ³ /day)	Pollutants
S1	L = 1,368	1,300	197	pH, SS, COD n-H T-N, T-P
S2	L = 193	500	169	
D9	L = 2,322	3,820	3,910	

산탱크를 제거하고 대신에 소형 이산화탄소(CO₂)탱크를 설치하였고 만약의 경우를 대비하여 병렬로 연결하여 비상시 이산화탄소(CO₂)공급에 문제가 없도록 하였다. Fig. 3과 Fig. 4는 알칼리폐수의 중화처리 공정을 보여준다.

Fig. 5(a)는 병렬로 연결한 CO₂ 투입기이고 (b)~(d)는 중화처리 시스템을 보여준다. 최초의 CO₂투입 설비는 실내실험 결과보다 다소 보수적으로 적용하여 알칼리폐수 유입량을 처리할 충분한 CO₂ 탱크용량으로 설치하였다. CO₂ 실제 투입량도 실내실험 결과를 참고하여 다소 많은 CO₂ 투입비율(유입량:CO₂ = 3:1)로 시작하여 pH7.1까지 안정적으로 관리되는 과정을 확인하면서 점차적으

로 비율을 조정하였다. 다행히 다소 과다 투입되어도 산성화되는 부작용이 없는 것이 CO₂ 장점이라 문제는 없었지만 실제 운영중인 현장이므로 기준 이상의 알칼리폐수가 방출되면 안되기 때문에 초기에는 조금씩 조정해 나아가는데 많은 시간이 소요되었다.

3.3 현장실험 결과

3.3.1 현장별 중화처리 현황

3개 현장에서 5개월 동안 현장실험한 결과는 아래 Fig. 6 및 Table 2와 같다. 알칼리폐수의 중화처리 전 pH 평균값은 9.1~9.6 정도이고 최고값은 11.4~12.5로 나타

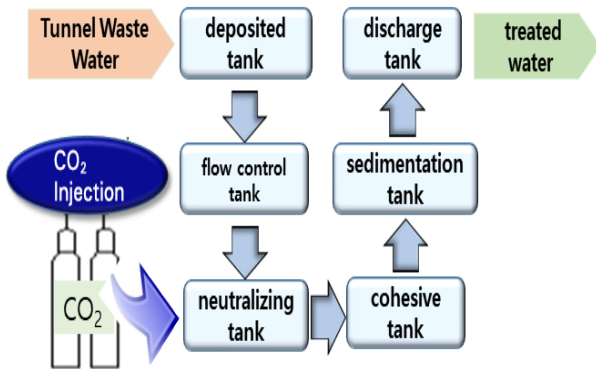


Fig. 3. Tunnel Waste Water Neutralization Process

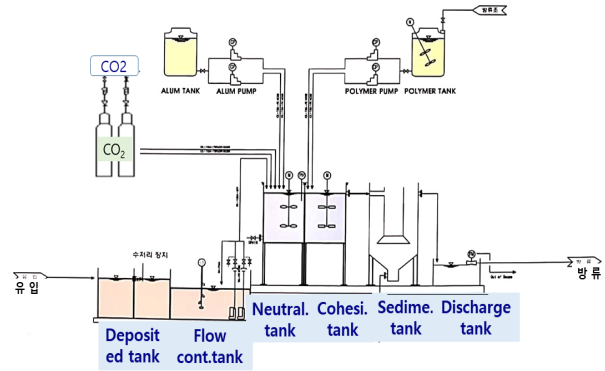


Fig. 4. Neutralized process facility by using CO₂



(a) CO₂ injection sys.



(b) CO₂ Tank



(c) pH meter



(d) Neutralization sys.

Fig. 5. facilities for neutralization using CO₂

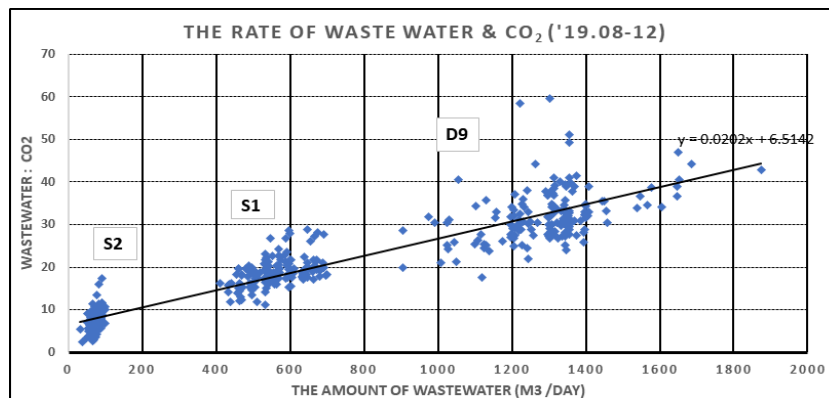


Fig. 6. Alkali wastewater volume and CO₂ injection volume

Table 2. the overview of alkali wastewater neutralizing

Index	Before PH	After PH	Incoming wastewater (m ³)	Amount of CO ₂ (kg)	Wastewater : CO ₂	Ref.
S1	9.6	7.1	563	59	19 : 1	Average of 8~12 month
S2	9.4	7.1	71	20	7 : 1	
D9	9.1	7.1	1,297	81	32 : 1	

났으며 전반적으로 중화처리 후 pH는 7.1 정도로 양호하게 이루어졌다. 현장의 알칼리폐수 유입량의 크기는 D9 현장 > S1 현장 > S2 현장 순으로 나타났다.

3.3.2 알칼리폐수 유입량과 CO₂ 투입량 비율의 변화
월별 현장별로 알칼리폐수 유입량과 CO₂ 투입량의 결과는 Table 3과 같다.

현장별로 보면 유입량이 가장 많은 D9 현장에서 pH를 조절하는데 소요된 CO₂의 사용비율이 가장 적었고 유입량이 가장 적은 S2 현장에서는 그 사용 비율이 가장 크게 사용되는 것으로 나타났다. Fig. 7에서 보면 유입량이 많을수록 CO₂ 투입비율은 감소하는 것을 알 수 있다. 이 같은 현상은 경제성 확보에 도움 움이 될 것이다. 이는 앞서 언급 한 실내실험 결과와는 다소 다른 양상을

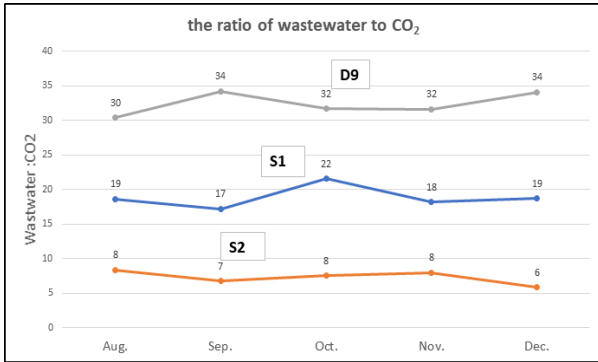


Fig. 7. Changes in the ratio of the wastewater & CO₂ volume

보여주고 있다. 그러한 이유는 현장의 여러가지 변수, 즉 유입량 크기, pH농도의 크기 탁도 및 응집제사용, 가액체 혼합 방법, 등에 의한 원인으로 보여진다.

3.3.3 실내실험과 현장실험과의 차이 비교 및 분석 방향

실내실험과 현장실험과의 차이점을 분석해보면 기존의 실내실험에서는 pH와 유입량의 크기를 변화하면서 실험을 하였지만 탁도에 따른 응집제를 사용하지 않았다. 기체와 액체의 혼합방법은 Jet loop reactor 실험장치를 사용한 반면 현장실험에서는 내부나선형 강관을 사용하였다. 한편 초기 현장의 알칼리폐수의 오염물질 농도는 COD=18mg/l, SS=1,000mg/l, T-N=1mg/l, T-P=1mg/l pH=9~10으로 3개현장 모두 비슷한 수치를 보이고 있으나 알칼리폐수 배출량은 각각 560(m³/day), 70 (m³/day), 1,300(m³/day)으로 큰 차이를 보이고 있다. 이는 비교적 양호한 수질의 터널지하수에 같은 공정의 작업수가 혼입되어 만들어진 현장 알칼리폐수의 특성으로 보인다.

pH농도의 경우 실내실험에서는 pH농도가 높을수록 CO₂ 반응효율이 좋았으나 본 3개 현장에서는 pH9~10 정도의 비슷한 수치를 보이고 있어 현장실험 결과 분석에서는 변수로서의 영향을 주지는 않았다

탁도 및 응집제의 영향은 실내실험에서는 규명된 바 없으나 현장실험에서는 탁도가 높은 편이라 CO₂와 미반

Table 3. The ratio of alkaline wastewater volume to CO₂ injection volume

Item	S1		S2		D9	
	Wastewater (m ³)	R	Waste. Water (m ³)	R	Waste. Water (m ³)	R
August	508	19 : 1	75	8 : 1	1,258	30 : 1
September	572	17 : 1	69	7 : 1	1,278	34 : 1
October	586	22 : 1	70	8 : 1	1,299	32 : 1
November	551	18 : 1	75	8 : 1	1,339	32 : 1
December	598	19 : 1	68	6 : 1	1,309	34 : 1
Average	563	19 : 1	71	7 : 1	1,297	32 : 1

(R = wastewater : CO₂)

응된 알칼리성 인자를 응집제가 줄이는 역할을 한다는 합리적 추론을 한다면 다소간의 영향이 있을 것으로 판단된다. 다만, 3개 실험현장의 탁도 역시 비슷하였고 실제 현장실험이라 인위적으로 변화를 줄 수 없는 관계로 실험변수로는 고려하지 않았다.

기체-액체 혼합은 그 방법에 따라서 효율의 차이가 많다. 기체-액체 혼합효율을 높이기 위해서는 상호 접촉면적과 시간을 크게 하거나 온도를 조절하는 방법을 사용한다. 이러한 특성을 살려 Packed Tower, agitated vessel 과 같은 기체-액체 혼합장비들이 개발되기도 하였다. 실내실험에서 사용하는 Jet loop reactor도 같은 원리를 이용한 것이다. 본 연구에서는 국내에서 많이 사용하는 내부 나선형 강관을 CO₂투입관으로 사용하여 CO₂가스와 액체의 혼합효율을 높이는 방법을 사용하였다. 효율적인 기체-액체 혼합방법은 지금도 좋은 개발 과제중의 하나이다.

이상을 종합하여 보면 pH농도, 탁도 및 응집제, 기-액체 혼합방법이 영향을 미칠 것으로 보이나 현장실험의 변수로 작용하지는 않았다. 반면에 알칼리페수 유입량은 3개현장 모두 큰 차이를 보이고 있고 각 현장의 CO₂ 투입율도 각각 다르게 나타나면서도 유입량 크기에 따라 일정한 패턴을 보이는 실험결과를 나타내고 있다. 따라서 본 연구에서는 알칼리페수의 유입량이 CO₂ 투입량 변화에 가장 큰 영향을 미치는 변수로 보고 실험결과를 분석하였다.

3.3.4 알칼리페수 유입량과 CO₂ 투입량 예측

3개 현장의 5개월 측정 DATA 결과는 Fig. 8~11과 같다.

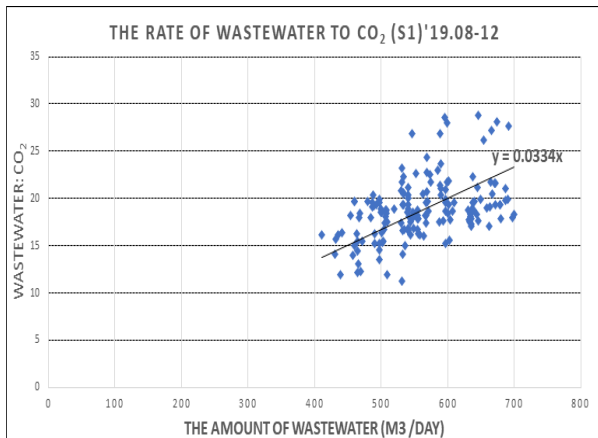


Fig. 8. CO₂ injection Volume at S1

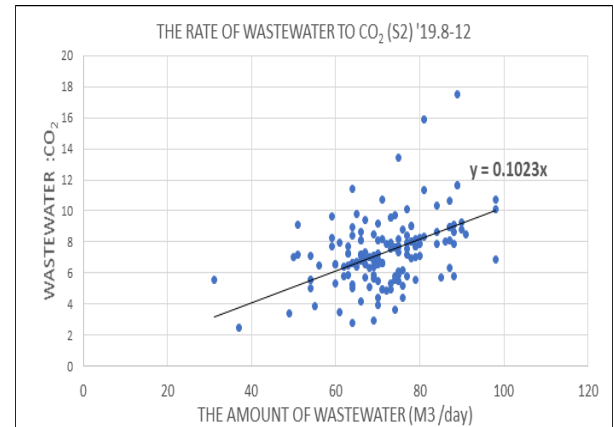


Fig. 9. CO₂ injection Volume at S2

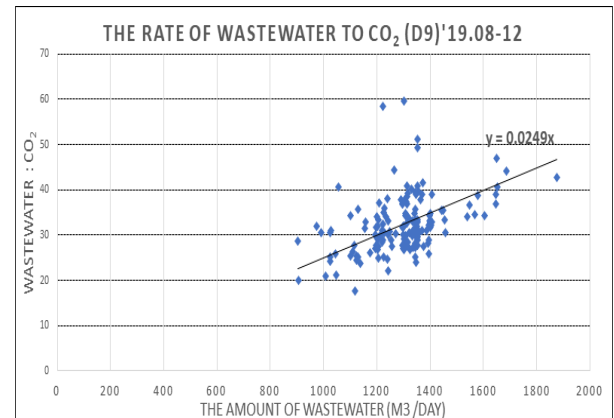


Fig. 10. CO₂ injection Volume at D9

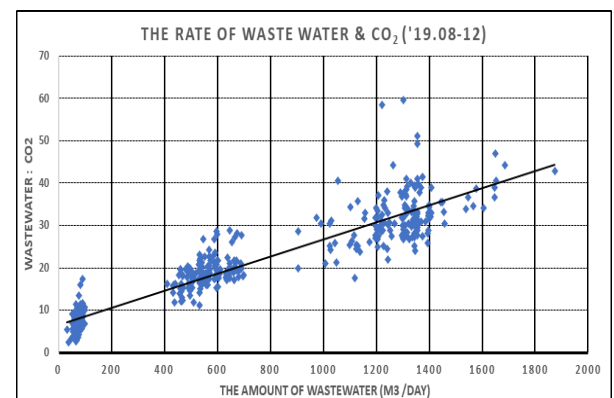


Fig. 11. CO₂ injection Volume at S1, S2, D9

Table 4. The change of index "a"

INDEX	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	average "a"	y=ax	Standard deviation
S1	0.037	0.030	0.037	0.033	0.031	0.033	y=0.033x	0.0028
S2	0.113	0.098	0.107	0.105	0.084	0.101	y=0.101x	0.0099
D9	0.024	0.027	0.024	0.024	0.026	0.025	y=0.025x	0.0012

장별 a 값의 변화 그래프는 Fig. 12와 같다. "a" 값의 변화는 비교적 안정적인 범위 내에서 움직이고 있으며 향후 DATA가 더욱 많이 축적될수록 추세선(y=ax)에 의해 신뢰성 있는 예측을 할 수 있을 것이다. 본 결과에서는 유입량이 많을수록 "a" 값은 감소하는 것으로 나타났다.

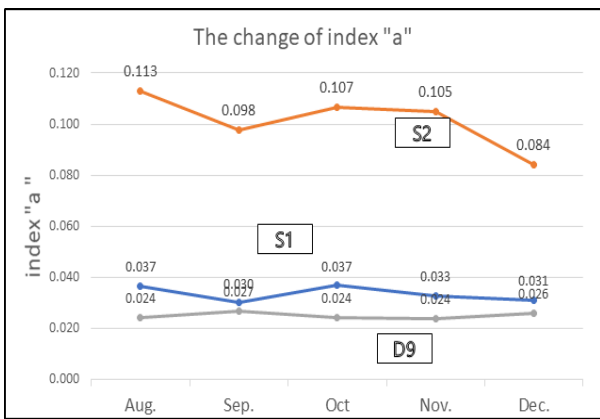


Fig. 12. The change of index "a"

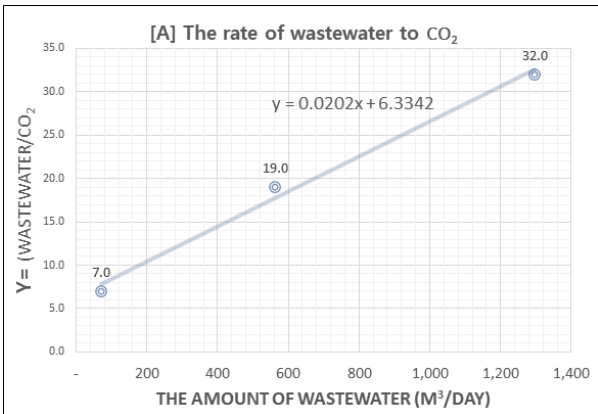


Fig. 13. The ratio of CO₂ injection according to the amount of alkaline-wastewater

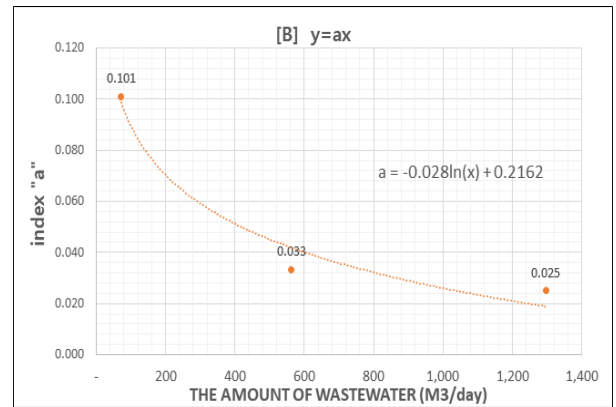


Fig. 14. Prediction of value "a" according to the amount of alkaline-wastewater

Table 5. Prediction of value "a" according to the ratio of wastewater to CO₂

INDEX		S1	S2	D9	REFERENCE
Experimental value	R	19	7	32	y=ax
	Average "a"	0.033	0.101	0.025	
Criteria [A]	R _A	17.7	7.8	32.5	y=0.0202x+6.3342
Criteria [B]	R _B	21.9	6.9	20.1	a=-0.028ln(x)+0.2162
	"a" at [B]	0.039	0.097	0.016	

3.3.5 추세선 계수 "a" 값의 추정

알칼리폐수 유입량에 따른 현장별 a 값을 예측하기 위해 Fig. 13과 같이 현장별 CO₂ 사용비율을 나타내 보았다. 그래프의 추세선으로부터 "a" 값을 추정할 수가 있을 것으로 보여진다 ([A]기준). 또한 Fig. 14에는 유입량에 따른 "a" 값을 나타내어 보고 "a" 값의 추세선을 만들어 보았다([B]기준). 각각의 추세선에서 구한 "a" 값으로 유입량 대비 CO₂ 사용량 비율을 계산한 것이 Table 5이다. 2가지 방법을 사용하는 이유는 향후 다양한 현장의 조건에 따라 실제 사용하기 좋은 표준안을 만들어 보기 위함이고 또한 신뢰도를 간접적으로 평가해 보는 데에 그 의미가 있다고 하겠다.

Table 5에서 보면 [A]기준에서 구한 값은 실제 측정값과 비교적 유사하며 [B]기준에서 구한 값은 다소 차이를 보이고 있다. 이는 향후 많은 DATA가 보완되면 점차 신뢰성 있는 기준이 될 것으로 보인다.

4. 결론 및 향후 실용화 계획

5개월 동안 3개 터널 현장에서 알칼리폐수의 중화처리에 이산화탄소(CO₂)를 적용한 결과, 중성화처리는 기술적으로 문제없이 이루어졌고 기존의 황산을 대체하는 공법으로 무리가 없을 것으로 보인다. 이는 앞서 이루어진 많은 실내실험의 결과에서도 예측할 수 있었다. 실제 현장에서 적용한 결과의 내용은 실내실험과 다소 다른 양상을 보이는 부분도 있었지만 이는 실내실험보다 현장에서의 CO₂ 사용량이 적게 소모되는 등 경제성 확보에 도움이 될 것으로 사료된다. 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 알칼리폐수를 중성화하는데 기존 사용하던 황산을 대체하여 이산화탄소(CO₂)를 사용한 결과 실제 건설 현장에서도 기술적으로 문제가 없음이 확인되었다. 또한 과다 투입시 산성화되는 위험이 없어 사용성도 좋아졌다.
- (2) 알칼리폐수의 유입량이 많을수록 중성화에 필요한 이산화탄소(CO₂) 투입비율이 감소하였고 또한 이산화탄소(CO₂) 사용량의 예측계수 “a” 값도 감소하였다. 이러한 현상은 현장 적용시 경제성 확보에 유리하다.
- (3) 알칼리성폐수 발생량이 70~1,300M³ 범위의 현장은 Fig. 13의 결과값(7:1~32:1)을 사용하여 관리할 수 있다.
- (4) 기존 황산에 비하여 이산화탄소(CO₂) 원재료 가격은 비싸지만 설비(황산탱크)규모를 줄일 수 있어 경제성 확보도 가능한 범위에 있으며 좁은 부지에서도 설치가 가능하여 활용성이 좋아졌다.
- (5) 실내 및 현장실험 결과가 다소 다른 양상을 보이는 것은 pH농도, 유입량의 크기, 탁도(SS) 및 응집제사용, 기-액체혼합방법, 등의 조정가능 범위가 각각 다르므로 인한 결과로 보여진다.
- (6) 본 실험현장에서는 나타나지 않았지만 pH농도, 탁도(SS) 등의 주요인자가 큰 차이를 보이는 현장에서도 적용이 가능하게 하기 위하여 다양한 현장실험 결과들을 빅데이터화하고 분석 가공하면 좀 더 현장 사용성이 좋아질 것이며 사용기준을 제공할 “a” 값 역시 신뢰성이 높아질 것이다. 따라서 본 연구의 향후 목표는 현장실험 데이터를 좀 더 확보하고 빅데이터 기반의 알고리즘 개발과 함께 설비자동화와 연계하여 종합기술을 완성하는데 있다.

감사의 글

본 연구성과는 에코엔텍(주)의 연구비 지원을 받아 수행된 연구의 결과입니다. 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌 (References)

1. Jee-June Song, Sung-Eun Kim, and Bae-Beom Kim (2017), “A Study on Recycling of Carbon Dioxide Alkalic Wastewater”, *J. of Korean Society of Enviromental Technology*, Vol.18, No.1, pp.33-38.
2. Dae-Yeop Kang, Mi-Ran Kim, Jun-Heok Lim, Tae-Yoon Lee, and Jea-Keun Lee (2016), “Neutralization of Alkaline Wastewater with CO₂ in a Continuous Flow Jet Loop Reactor”, *Korean Chem. Eng. Res.*, Vol.54, No.1, pp.101~107.
3. Min-Ki Son, Ho-Jin Sung, and Jea-Keun Lee (2013), “Neutralization of Synthetic Alkaline Wastewater With CO₂ in a Semi-batch Jet Loop Reactor”, *The Korean Society of Combustion*, Vol.18, No.3, pp.38-43.
4. Dae-Yeop Kang (2015), “Study on the Characteristics of Struvite Crystallization and CO₂ Absorption in Jet Loop Reactors”, Pukyong National University, a master’s thesis, pp.36-56.
5. Sang-Kyo Choi and Kwang-Sub Ko (2001), “Field Test Experience of Exhaust Gas Utilization Technology for Neutralizing the Alkaline WasteWater”, *J. of Korean Society of Enviromental Engineers*, pp.7-8.
6. Go-Eun Cha, Ho-Jin Sung, Jun-Heok Lim, Tae-Yoon Lee, and Jea-Keun Lee (2014), “CO₂ Absorption Characteristics of a Jet Loop Reactor with a Two-fluid Swirl Nozzle in an Alkaline Solution”, *Korean J. Chem. Eng.*, Vol.31, No.4, pp.701-705.
7. Kim Nor Jung, Kim Young Rae, Lim Seong II, Moon Ki Bong, Kim Rae Hyun, and Jung Sii Hyun (2005), “Process Development of Carbon Dioxide (CO₂) and Acid gas (SO_x, NO_x) Removal Contained in Combustion Exhaust gas Using Alkaline Wast-water”, Korea Institute of Energy Research, pp.E271-E276.
8. Young-Rae Kim, Jong-In Dong, Ro-Jung Kim, Sung-IL Lim, and Soo-Hyun Chung (2006), “A study on the Technology (Process) for the removal of Sulfur Dioxide in Flue Gas by Using Alkaline Waste Water”, *Korean Society of Environmental Engineers*, pp. 854-855.
9. Soo-Hyun Chung, Sang-Guk Kim, Seong-Soo Kim, Je-Kyung Woo, Ji-Soo Kim, and Jae-Kyun Lee (2001), “Development of CO₂ Separation and Industrial Utilization Technologies (Alkaline Waste Water Neutralization)”, Final report, Korea Institute of Energy Research.
10. Current status of industrial wastewater generation and treatment, Environmental Statistics Portal (2020 Ministry of Environment).

Received : May 11th, 2020

Revised : June 15th, 2020

Accepted : June 15th, 2020