

## 교량 바닥판 보수공사에서 발생하는 콘크리트 폐수처리 방안

### Treatment of Concrete Wastewater in Repair of Bridge Deck

이 봉 학\*                      최 판 길\*\*                      김 정 기\*\*\*  
Lee, Bong-Hak                      Choi, Pan-Gil                      Kim, Jung-Ki

---

#### Abstract

As of 2003, construction waste has been produced at the level of 130,614.8 tons/day, in which the amount of waste concrete was 92,639.1 tons/day and accounted for about 66.4% of the amount of construction waste. Waste concrete is mainly produced in construction work and civil engineering work. Especially, road surface crushing method using a large amount of water requires thorough management of concrete wastewater. The aim of this study was to analyze water pollution due to concrete wastewater generated in repair of bridge deck using road surface crushing equipment and to suggest reasonable countermeasures for solve the problem. In this study, it was surveyed current conditions of produced concrete wastewater in bridge deck repair, analyzed physical features of concrete wastewater, expected effects of water pollution on inflow rivers if it is not treated, established treatment plan of water pollution by categories, and calculated capacity of each treatment process and required amount of necessary chemicals.

As a result of sampling wastewater generated in field sites and testing it at a lab scale, it was revealed that the original wastewater was produced in removing concrete from bridge deck slabs using surface crushing equipment whose pH was 12.53, CODMn was 12.910mg/L, SS was 547.0mg/L, and other heavy metals were included in extremely small quantities.

키워드 : 건설폐기물, 폐수처리

Keywords : construction waste, wastewater treatment, VES-LMC

---

#### 1. 서론

2003년 기준 건설현장에서 발생하는 건설폐기물은 하루에 130,614.8톤이 양산되며, 이 중에서 폐콘크리트의 양은 92,639.1톤에 달하여 대략 66.4%를 차지하고 있다. 폐콘크리트는 주로 건축공사와 토

목공사에서 발생된다. 건축공사로 인해 발생하는 폐콘크리트는 재개발·재건축공사, 기초굴착공사, 굴조공사, 외장공사 등에서 발생되고, 토목공사로 인해 발생하는 폐콘크리트는 도로 확·포장, 보수·굴착공사, 신설도로, 철도·지하철공사, 철도·지하철보수공사, 교량철거·설치공사, 터널굴착공사 등에서 발생된다.

폐콘크리트의 경우에는 2.8%가 매립되고 97.2%는 파쇄과정을 거쳐 대부분 도로공사 등에서 기초 잡석(성토재) 등으로 재활용되고 있다. 그러나 이

---

\* 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사

\*\* 강원대학교 대학원 토목공학과, 박사수료

\*\*\* 강원대학교 산업대학원 토목공학과, 공학석사

와 같이 파쇄 시 생성된 분말형태의 페콘크리트 가루는 우수나 지하수와 접촉하면서 자연환경에 악영향을 미칠 수 있다[1].

최근 노후화된 교량바닥판을 긴급보수하기 위한 방법으로 VES-LMC(Very-Early Strength Latex-Modified Concrete) 보수공법이 적용되고 있다. 상기의 공법은 단시간에 교량바닥판 보수작업이 종료되어 교통차단으로 인한 사용자 부담을 최소화 할 수 있다는 장점으로 인해 수요가 급증하고 있다. 그러나 이러한 긴급보수의 장점에도 불구하고 노후화된 콘크리트를 제거함에 있어 발생하는 분진과 콘크리트 폐수처리에 대한 문제가 대두되고 있어, 이에 대한 대책이 마련이 시급한 실정이다.

기존 콘크리트 폐수 처리방법은 부직포를 이용하여 여과한 후 방류하는 방식으로 부유물질 제거에는 효과가 있으나, 높은 pH 및 유기물 등은 그대로 방류되어 수생태계를 위협할 수 있다는 문제점을 안고 있다. 특히 보수면적이 넓은 경우에는 노후 콘크리트 파쇄시 대량의 콘크리트 폐수가 발생하므로, 이에 대한 대책이 시급한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 노면파쇄 장비를 이용한 교량 보수공사에서 발생되는 콘크리트 폐수로 인한 수질오염 문제를 해결하기 위한 대책방안을 제시하였다. 더불어 본 논문에서는 제시된 방법을 적용하여 방류수(처리수) 기준에 적합하도록 하는데 소요되는 약품의 사용량과 소요비용에 대해 분석하였다.

## 2. 건설폐기물 처리 및 문제점

### 2.1 건설폐기물 발생원인

구조물에 사용되는 자재의 생산에서부터 사용, 유지관리 및 폐기에 이르기까지 전과정을 구조물의 생애주기(Life Cycle)로 표현하면, 구조물 신축에서부터 폐기 및 자연으로의 복귀까지의 과정을 그림 1과 같이 표현할 수 있다.

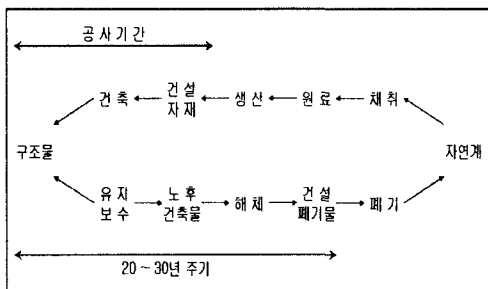


그림 1. 구조물의 라이프사이클 및 해체에 따른 건설폐기물의 발생과정[2]

이러한 구조물의 생애주기에서 건설폐기물은 구조물의 신축, 유지·보수 그리고 해체 활동에서 나타나는 건설행위의 부산물이라고 볼 수 있으며, 신축단계, 유지·보수단계 및 해체단계로 구분하여 설명할 수 있다.

#### 2.1.1 신축단계

건설공사는 설계와 시공으로 구분되는데 현장에서 직접 자재를 가공해야 하는 공정의 특성상 시공과정에서의 자재 손실은 필연적이라고 할 수 있다. 이를 고려하여 대부분의 공사현장에서 설계상의 자재 소요량에 활동률을 적용하여 공사 자재량을 산정하는데 이론상 이 활동수율이 손실되어 폐기물로서 발생된다고 할 수 있다. 토사의 경우 건물 또는 토목구조물의 기초공사 시 주로 발생하며 현장에서 성토재, 뒷채움재, 가설도로 등에 이용되기도 하지만 굴착토량이 수요량을 초과하여 발생하거나 굴착된 토사의 성질이 불량한 경우 폐기물로 배출되기도 한다. 또한 자재의 운반과정이나 보관과정에서의 파손을 막기 위한 포장재 및 현장작업에 이용되는 폐작업 도구 등도 신축단계에서 건설폐기물의 일부분을 구성한다.

#### 2.1.2 유지·보수단계

도로나 교량 등을 보수하거나 지하 매설물을 설치하기 위하여 기존 구조물을 굴착할 경우에도 공사의 규모에 해당하는 양의 부산물이 발생하게 된다. 그러나 건축물의 경우 신축이나 해체단계에 비하여 발생량은 미미한 편이다.

#### 2.1.3 해체단계

토사를 제외하고 신축시 투입되었던 자재는 해체시 폐기물로 발생되므로 대부분의 건설폐기물은 해체단계에서 발생된다고 할 수 있다. 구조물 등이 본래의 목적으로 사용할 수 없게 되기까지의 경과연수를 내용연수라 하는데 이는 물리적 내용연수, 기능적 내용연수, 사회적 내용연수, 경제적 내용연수 및 법적 내용연수로 구분할 수 있다. 물리적인 내용연수는 내구성의 관점에서 건물성능이 저하되어 사용이 불가능한 경우로서 구조내력의 부족, 콘크리트 중성화로 인한 철근의 부식, 지반의 침하 및 기초의 불량, 균열의 발생 및 재해에 따른 손상 등으로 구조내력이 저하되는 경우를 말하며, 기능적인 내용연수는 초기의 설계조건에서 얻을 수 있는 기능이 그 후 내외의 새로운 환경의 변화에 대응할 수 있는 기능이 없으므로 해서 그 효용이 저하되는 경우를 말한다.

우리나라의 철근콘크리트 구조물의 경우 물리적으로 최대 100년까지 견딜 수 있어야 하나, 60~70년대 불량자재의 사용, 설계 및 시공 상의 부실 등과 같은 물리적 요인이나 도시 내 개발 가능한 택지의 부족으로 인한 택지가격상승, 건축규제의 완화로 인한 개발가능밀도의 상향조정으로 재개발·재건축의 경제적 타당성이 좋아지는 경우 사용자가

치가 충분히 남아 있는 주책이라도 조기밀설 대상이 되는 경제적인 요인과 사회적인 요인 등의 복합적인 작용에 의하여 구조물의 해체결정이 이루어져 왔다.

## 2.2 수처리 방법

### 2.2.1 1차 처리(primary treatment)

1차 처리의 목적은 도입 폐수로부터 고형물질을 제거하는 것이다. 큰 이물질은 스크린으로 제거할 수 있으며, 분쇄 기기를 사용하여 크기를 줄일 수 있다.

무기 고형물은 침사 유로(grit channel)에서 제거하며, 유기 현탁고형물은 침강분리하여 제거한다. 전형적인 1차 처리계통에서는 유입폐수 중의 현탁고형물의 약 반이 제거된다. 이 고형물에 동반되는 BOD는 유입수 BOD의 약 30% 정도이다.

### 2.2.2 2차 처리(secondary treatment)

2차 처리(생물학적처리)는 유기물(BOD)을 제거하는 것이 주목적이다. 1차 처리 배출수는 많은 유기성 고형물이 제거되었지만, 약 40~50%의 초기 현탁고형물과 초기 용존유기물 및 무기물의 거의 전부가 남아 있다. 최종방류 기준에 부합하려면, 이러한 유기물을 상당히 감소시켜야 한다. 이 용존 유기물의 제거를 2차 처리라고 하며, 화학적, 물리적 또는 생물학적 공정으로 이루어진다.

### 2.2.3 3차 처리(tertiary treatment, 고도처리)

3차 처리(고도처리)는 2차 처리 후 남아있는 부유물질과 용존물질 제거에 필요한 추가처리로 정의되며, 방류수의 수질기준이 엄격한 곳, 또는 하수의 재이용을 목적으로 할 때 필요하다. 처리대상은 부유물질, 용해성 유기물, 무기염류, 중금속, 영양염류(질소, 인) 등의 제거에 목적이 있다. 부유물의 제거는 보통 침전을 비롯하여 약품 응집 침전, 급속 모래여과 또는 마이크로 스트레이너(micro strainer)와 같은 철망에 의한 여과 등이 있다. 용해성 유기물의 제거에 대해서는 활성탄 흡착 및 오존처리가 유효하다.

## 2.3 고형물 처리와 처분

고형물의 처리는 오랫동안 무시되어 왔으며, 가장 널리 사용되어지는 슬러지 처리방법은 혐기성 소화이다.

메탄(CH<sub>4</sub>)형성 미생물은 엄격히 말하자면 산소(O<sub>2</sub>)가 존재하는 곳에서는 작용할 수 없는 혐기성 미생물(anaerobes)이며, 그것은 온도, pH, 독성물질에 매우 민감하다. 만약 산화조의 pH가 급격히 떨어지면, 메탄형성은 중단되나 산의 형성은 계속되어 훨씬 더 많은 유기산을 만든다. 이것은 pH를 낮추는 결과를 초래하며 메탄형성 조건을 더욱더 악화시키게 된다. 대부분의 처리장에서는 1차 소화조와 2차 소화조같은 두 종류의 소화조를 가지고

있다. 1차 소화조는 뚜껑을 덮고 가열하여 혼합하면 반응속도가 증가한다. 이때 슬러지의 온도는 약 35℃가 된다. 2차 소화조는 혼합이나 가열시키지 않고, 가스 저장과 침전에 의한 슬러지를 농축시키는데 주로 사용된다. 여기서 표면에 뜨는 물은 다시 주처리장으로 재처리하기 위해 보내지며, 2차 소화조의 뚜껑은 저장된 가스량에 따라 상하로 뜨게 되어 있다.

## 2.4 VES-LMC 폐수처리상의 문제점

### 2.4.1 공사현장에 따라 폐수 발생량이 유동적

공사현장에서 발생되며 각 공사마다 투입되는 노면파쇄장비의 대수, 사용되는 물의 양, 작업시간 등이 공사현장마다 유동적이기 때문에 폐수 발생량이 변하며 처리시설을 규격화하기가 어렵다. 따라서 처리시설 용량은 가변적으로 설계하여야 한다.

### 2.4.2 폐수 발생원이 이동

노면파쇄 장비를 사용함으로써 발생하는 콘크리트 폐수는 일정한 장소에서 지속적으로 발생하는 것이 아니라, 공사현장을 따라 이동하면서 발생된다. 또한 이때 발생하는 콘크리트 폐수는 작업현장에서 직접 처리를 하여야 한다. 따라서 처리시설은 compact화하여 규모를 최소로 줄여야 하며 이동성이 좋게 설계되어야 한다.

### 2.4.3 처리시설의 운전방식 결정이 난해

도로 교량 노면에서 행해지는 본 공사는 여러 가지 현장여건에 따라 작업시간대가 달라지므로, 일정한 시간대에 일정한 량의 폐수가 발생하는 형식이 아니라 현장 여건에 따라 폐수 발생량이 달라지므로 기존의 폐수처리방식을 적용하기는 어렵다는 문제점이 있다. 따라서 회분식(Batch type)만으로 처리하기에는 다소 양적으로 많기 때문에, 회분식과 연속식(continuous type)을 병행하는 것이 바람직하다.

### 2.4.4 폐수 발생지점이 상수원보호구역과 인접

노면파쇄 장비를 이용한 노면공사는 주로 도로 교량에서 이루어진다. 따라서 수역과 인접하게 되며 주로 시 외곽지역에 위치한 교량은 청정수역과 인접한 경우가 많으므로 폐수 유출시 상수원을 오염시킬 수 있다.

## 3. 콘크리트 파쇄장비 및 폐수의 성상

### 3.1 콘크리트 파쇄장비

콘크리트 노면파쇄 장비는 파워팩(Power Pack)에서 발생하는 높은 수압을 이용하여 일정압력 이하의 노후된 콘크리트를 제거하는 장비이다. 이렇듯 높은 수압을 이용하여 노후 콘크리트를 제거하므로, 제거과정에서 파쇄된 콘크리트가 혼합된 콘크리트 폐수가 발생하게 된다. 그림 2는 노면 파쇄

장비를 나타내는 사진이고, 그림 3은 노면파쇄 및 처리 흐름을 나타낸다.

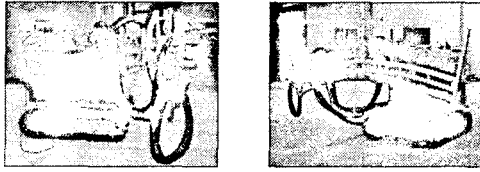


그림 2. 노면파쇄 장비

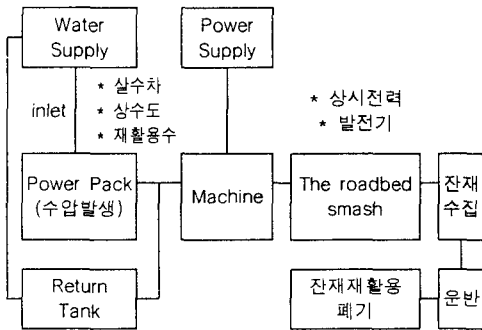


그림 3. 노면파쇄 흐름도

### 3.2 콘크리트 파쇄장비 투입현황

본 연구는 경기도와 대구광역시에 위치한 교량에서의 교량상판 보수공사를 대상으로 하였다. 보수공사에 투입된 노면파쇄 장비의 투입 대수는 4 대이며, 노면파쇄 장비 한 대당 물 사용량은 140 L/min·대, 1일 작업시간은 3~5시간으로 작업 시간동안에 발생하는 폐수 발생량은 25.2~42.0m<sup>3</sup>/일로 조사되었다. 표 1은 노면파쇄장비 투입현황과 폐수발생량을 나타낸다.

표 1. 노면파쇄 장비 투입현황

구 분	작업 현황
장비투입(대)	4
물사용량(L/min·대)	140
작업시간(hr)	3 ~ 5
폐수발생량(m <sup>3</sup> /일)	25.2 ~ 42.0

### 3.3 콘크리트 폐수의 성상

#### 3.3.1 콘크리트 폐수의 성상

유기물(BOD, COD)은 환경에 미치는 독성은 매우 낮으나, 그 분해·산화 과정에서 수중의 용존산소를 소비하여 혐기성 부패를 일으키며, 현탁물질(SS)은 하구 등에 퇴적하여 유기물이 부패하여 침전물을 생성하여, 탁함(탁도, 색도)은 수중의 광량을 감소시켜 수생생물의 생육을 저해시킨다[3].

산-알칼리는 생물저해와 동시에 시설, 기물의 부

식을 야기 시키고, 온수의 방류는 그 지역의 생물상을 변화시킬 수 있다. 표 2는 시멘트, 콘크리트, 석회공업에서 중점 처리해야할 물질이다.

우선적으로 처리해야 할 물질로 이루어진 제 1 그룹에는 COD, pH, SS, 온도 등이 있으며, 부가적으로 처리해야 할 물질들로 이루어진 제 2 그룹은 알칼리도, 크롬산염, 인산염, 아연, 아황산염, 총용존고형물 등이 있다.

표 2. 중점 처리물질[2]

산업폐수	제1그룹 (우선 처리)	제2그룹 (부가 처리)
시멘트, 콘크리트, 석회공업	COD	알칼리도
	pH	크롬산염
	SS	인산염
	온도	아연
		아황산염 총용존고형물

#### 3.3.2 콘크리트 폐수 성상 분석방법

노면파쇄시 발생하는 콘크리트 폐수 성상 분석은 Standard Method[4]와 수질오염 공정시험법[4,5]에 의거하여 분석하였다. 작업 시 발생하는 폐수를 원폐수, 살수차, 방류수에 대하여 각각 채취하여 3회 반복 실험을 수행하였다.

표 3은 콘크리트 폐수 분석 항목에 대한 분석방법과 시험기기를 나타낸다.

표 3. 시험항목과 분석방법 및 기기

항 목	분석방법 및 기기
pH	ORION 920A, pH meter
CODMn	수질오염공정시험법의 산성 KMnO <sub>4</sub> Method
NH <sub>3</sub> -N	Phenate Method
SS	Gravimetric Method, Electric Dry Oven(105°C)
Cr <sub>6</sub> <sup>+</sup>	흡광광도법 (디페닐카르바지드법)
Pb, Cd	흡광광도법 (디티존법)
Cu	흡광광도법 (디에틸디티오카르바민산법)
페놀류 함유량	흡광광도법 (4-아미노안티피린법)
Fe	흡광광도법 (페난트로린법)
Zn	흡광광도법 (진콘법)

#### 3.3.3 콘크리트 폐수 성상 분석결과

노면파쇄시 발생하는 원폐수의 성상 분석결과, 다른 항목들 보다 pH와 SS가 두드러지게 높은 농도를 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 최종방류수의 성상 분석결과 pH 12.45, CODMn 9.41mg/L, SS 0.75mg/L, Zn 0.348mg/L, 용해성 망간(Mn) 불검출, Fe 0.281mg/L, NH<sub>3</sub>-N 0.202mg/L, 페놀류 함유량 0.026mg/L, Cu 0.014mg/L, Cd 불검출, Pb 0.142mg/L, Cr<sub>6</sub><sup>+</sup> 0.015mg/L로 분석되었다. 원폐수

와 최종 방류수의 성상을 비교한 결과, 이동식 여과장치를 통과하여 방류되는 방류수 중 pH의 경우는 거의 변함이 없으며, 부유물질(SS)의 경우는 547.0mg/L에서 0.75mg/L로 99.86%가 제거되는 것으로 나타났다. 다른 항목인 중금속류의 성분은 분석오차 범위 내에 드는 것으로 나타났다.

표 4는 교량 바닥판 파쇄시 발생하는 콘크리트 폐수의 성분분석 결과를 나타낸다.

표 4. 콘크리트 폐수의 성상

분석항목	측정결과(mg/L)		
	원폐수	살수차	방류수
pH	12.53	7.24	12.45
CODMn	12.91	0.8	9.41
SS	547.0	0.6	0.75
Zn	0.462	-	0.348
용해성 망간(Mn)	불검출	-	불검출
Fe	6.279	-	0.281
NH3-N	0.227	-	0.202
페놀류 함유량	0.034	-	0.026
Cu	0.015	-	0.014
Cd	불검출	-	불검출
Pb	0.110	-	0.142
Cr6+	0.013	-	0.015

#### 4. 콘크리트 폐수 처리방안 제시

##### 4.1 콘크리트 폐수 처리공정

콘크리트 폐수의 성상 분석결과에 따라 폐수처리 방법은 저류조(침사지), 여과조(부유물질 제거) 및 pH중화조를 설치하는 방법을 고안하였다. 그림 4는 콘크리트 폐수 처리 흐름도를 나타낸다.



그림 4. 폐수 처리공정 흐름도

저류조, 여과조 및 pH중화조의 용량은 표 1을 근거로 설계하였고, 기타 조건은 아래와 같다.

- 장비 1대 당 평균 폐수 발생량 140L/분(= 0.14m<sup>3</sup>/분 = 8.4m<sup>3</sup>/hr)
- 작업시간 : 5hr/일
- 체류시간 : 10분(현장발생 폐수량과 장치규모를 고려하여 선정)
- 용적(V) = 0.14m<sup>3</sup>/분 × 10분 = 1.4m<sup>3</sup>

##### 4.2 저류조 용량설계

수위는 1.0~1.5m 범위이므로 수위를 1.0m로 선정하면 유량조정조의 면적(A, m<sup>2</sup>)은 1.4m<sup>2</sup>이 된다. 그러나 실제 현장에서는 여러 대의 장비가 동시에

작동되므로 폐수의 발생량이 증가하게 되므로 필요한 저류조의 용량도 증가하게 된다. 그림 5는 현장 콘크리트 폐수 처리에 적용된 저류조를 나타낸다.

a. 용량(V) = 0.14m<sup>3</sup>/분 × 10분 = 1.4m<sup>3</sup> 수위(H)가 1.0m라 가정하면 유량조정조의 면적(A)은 1.4m<sup>2</sup>

b. 유량조정조의 면적(A) = V/H = 1.4m<sup>3</sup> / 1.0m = 1.4m<sup>2</sup> 따라서 유량조정조의 형태를 원형으로 가정할 경우, 높이(H), 면적(A)는 각각 1.0m, 1.4m<sup>2</sup>로 설계

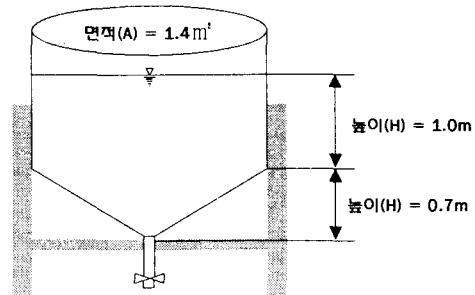


그림 5. 저류조

##### 4.3 pH 중화조 용량

화학제의 혼합에 있어서 가장 중요한 것은 처리하고자 하는 약품의 초기 혼합과 균등한 혼합여부이다. 현장에서 사용되는 화학약품은 산 종류이므로 반응시간이 빠르게 진행되어 1개의 혼합기로도 처리가 가능하다. pH 조정조의 경우 산-염기 반응(중화반응)이 빠르게 진행(수초 이내)되므로 반응조의 용량 산정에 제약은 없다. 즉, 반응조의 이동성 등을 고려하여 임의로 용량을 선택할 수 있는 것이다[6]. 본 현장에서 콘크리트 폐수의 평균 발생량이 140L/min이므로(장비 1대당 8.4m<sup>3</sup>/hr) 이를 기준으로 하여 회분식(Batch Type)과 연속식(Continuous Type) 두 가지를 고려하였다.

###### 4.3.1 회분식(Batch Type)

유량조정조와 같은 체류시간 10분에서 장비를 가동할 경우 폐수 발생량은 1.4m<sup>3</sup>이다. 현장 적용 시에는 pH 중화조에 폐수를 일정량 채운 후 이를 중화하는데 필요한 황산을 투입하여 교반 후(5초 정도) 방류하면 된다. pH 12.5의 콘크리트 폐수를 중화시키는데 필요한 황산(70%라 가정)의 양은 아래 계산식에 의해 2.05리터가 된다.

$$\frac{(5.6 \times 10^3 L) \times (10^{-15} \text{ mol/L}) \times (98 \text{ g/mol} / 2)}{(1.84 \text{ g/mL}) \times (10^3 \text{ mL/L}) \times (0.70)}$$

그림 6은 계산에 의해 산출된 회분식 pH중화조의 모식도를 나타낸다.

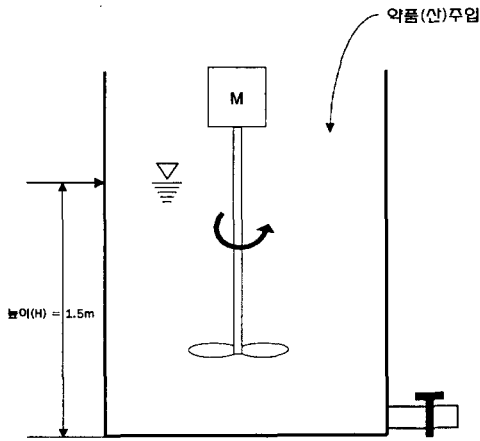


그림 6. 회분식 pH 중화조

4.3.2 연속식(Continuous Type)

장비 가동 시 폐수는 0.14m<sup>3</sup>/분 용량으로 발생한다. 이 발생폐수를 처리하기 위해 주입해야하는 농도 70% 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)의 주입속도(170mL/분)는 아래와 같이 계산된다.

$$\frac{(0.56 \text{ m}^3/\text{분}) \times (10^3 \text{ L/m}^3) \times (98 \text{ g/mol}/2) \times (10^{-1.5} \text{ mol/L})}{(1.84 \text{ g/mL}) \times (10^3 \text{ mL/L}) \times (0.70)}$$

따라서 0.56m<sup>3</sup>/분의 속도로 발생하는 콘크리트 폐수를 중화시키기 위해서 70% 황산을 170mL/분의 속도로 주입해주어야 한다. 현장에서 폐수의 발생량은 일정하게 반응조로 유입되는 것이 아니므로 계산에 의한 이론적인 산의 양을 주입하는 방식을 적용하기에는 무리가 있을 것으로 판단되어, 본 현장에서는 pH 중화조 관리가 용이하도록 pH Controller를 설치한 연속식 pH Controller 방식을 적용하였다. 그림 7은 pH Controller가 설치된 연속식 pH 중화조를 나타낸다.

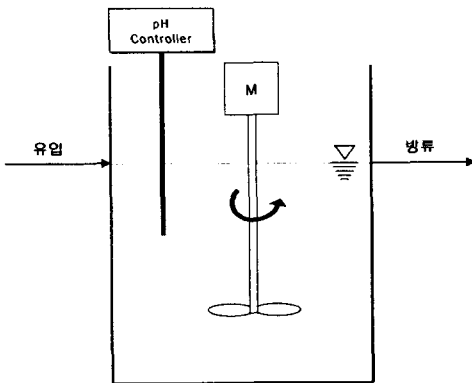


그림 7. 연속식 pH 중화조

5. 콘크리트 폐수처리 결과분석

5.1 폐수처리 약품 소요량 분석

작업시간에 대하여 pH 변화에 따른 황산, 염산, 인산 및 질산의 소요량을 제시하였다. 작업시간에 관계없이 pH 변화에 따른 약품 소요량은 pH와 관계없이 85% 인산 < 75% 인산 < 95% 황산 < 70% 황산 < 68% 질산 < 60% 질산 < 35% 염산의 순으로 나타났다. 그림 8은 작업시간 5시간에서 pH 변화에 따른 산의 소요량을 나타낸다.

pH에 따라서 소요되는 약품의 양은 차이가 있지만 pH 12.0을 기준으로 할 때, 85% 인산, 75% 인산, 95% 황산, 70% 황산으로 판단된다. 그림 8은 작업 5시간에서 pH 변화에 따른 산의 소요량을 나타내며 pH 12.0을 기준으로 약품 소요량이 급격히 증가하는 것을 알 수 있다.

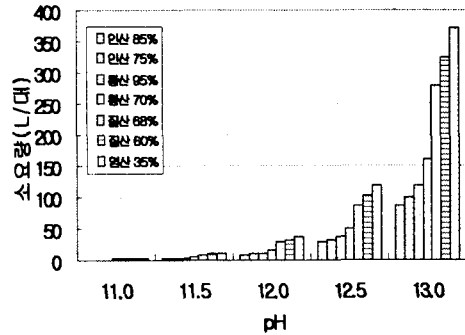


그림 8. 작업시간 5hr에서 pH 변화에 따른 산의 소요량

5.2 폐수처리 약품 소요비용 분석

5.2.1 처리 약품의 선택

그림 8에서와 같이 pH 12를 기준으로 약품소요량이 급격히 증가하므로 약품 사용량에 민감한 제품보다는 비교적 가격에 둔감한 제품을 사용하는 것이 바람직하다.

표 5는 5시간 작업시간을 기준으로 시중에 시판되는 황산을 사용하여, 노면파쇄시 발생하는 콘크리트 폐수를 처리하여 방류수 기준에 만족하도록 하기위해 소요되는 약품비용을 비교하여 나타낸 표이다.

표에서 보는 바와 같이 pH 12.0 정도까지는 황산의 종류에 따라 소요비용이 크게 차이가 나지 않고 있지만, pH 12.0보다 농도가 높아질수록 소요비용의 급격히 증가하는 것을 알 수 있다. 본 연구에서 측정된 콘크리트 폐수의 원폐수와 방류수의 pH가 12.5 범위 이므로, 이를 기준으로 각각의 제품에 대한 소요비용을 고려하면 농도 95% 공업용

황산이 적용된 경우가 소요비용 증가폭이 가장 완만하게 나타났고 총 소요비용도 적게 계산되었다. 이러한 분석은 염산, 인산 및 질산에서도 실시한 경과 공업용 약품을 사용하는 것이 가장 경제적인 것으로 나타났다. 따라서 본 논문에서는 공업용 약품에 대해 소요비용을 산출하였다.

표 5. 제품별 황산 소요비용(원)

pH	실험용				공업용
	70%	95%	95% (특급, Kanto)	95% (특급, Junsei)	
11.0	11,776	7,594	18,838	14,128	1,648
11.5	37,239	24,014	59,569	44,677	5,212
12.0	117,760	75,939	188,375	141,281	16,483
12.5	372,389	240,140	595,695	446,771	52,123
13.0	1,177,598	759,388	1,883,753	1,412,815	164,828

표 6은 시중에서 시판되는 공업용 산의 규격별 가격을 나타내는 것으로 시판되고 있는 약품 중 사용량 대비 비용부담이 적은 특성을 가지고 있다.

본 논문에서는 공업용 약품의 가격을 토대로 하여 황산, 염산, 인산 및 질산에 대한 비용분석을 실시하였다.

표 6. 약품가격(공업용)

품명	농도(%)	규격	가격(원)	비고
황산	95	25kg	19,000	
염산	35	25kg	19,000	
인산	85	30kg	57,000	
질산	68	25kg	25,000	

### 5.2.2 황산(H2SO4) 소요비용

원폐수 및 방류수의 실측치를 토대로 하면 작업시에 발생하는 콘크리트 폐수의 pH는 12.5범위로 평가된다. pH 12.5, 작업시간 5hr인 조건에서 농도 70% 황산을 사용할 경우 소요되는 약품 비용은 노면파쇄장비 1대당 372,389원이다. 본 연구에 적용된 현장에서는 4대의 파쇄장비가 운영되었으므로 소요비용은 하루에 1,489,556원으로 계산된다. 이와 같은 방법으로 농도 95% 황산을 사용할 경우에 대해 소요비용을 산출하면 하루에 960,560원으로 계산된다. 7일간 폐수처리가 이루어 졌으므로 총 소요비용은 6,723,920원으로 계산되었다.

두 가지 경우 모두 방류수(처리수)의 수질기준을 만족하지만, 경제성 측면에서 농도 95% 공업용 황산 사용이 바람직하다. 그러나 농도가 높은 황산을 사용하므로 사용상 주의를 요한다.

표 7은 pH 농도에 따른 작업시간별 공업용 황산의 소요비용을 나타낸다. pH 12.0을 기준으로 농도가 높아질 경우 소요비용이 급격히 증가하고 있다.

### 5.2.3 염산(HCl) 소요비용

염산의 경우도 황산에서와 마찬가지로 pH 12.5, 하루 작업시간이 하루에 5시간인 조건에서 35% 공업용 염산을 사용한 경우 가장 적게 소요되는 것으로 나타났고, 총 소요비용은 4,601,268원으로 계산되었다.

표 8은 pH 농도에 따른 작업시간별 공업용 염산의 소요비용을 나타내며, 황산과 비교하여 3~4배 정도 많은 비용이 소요되는 것으로 나타났다.

### 5.2.4 인산(H3PO4) 소요비용

염산의 경우는 pH 12.5, 하루 작업시간이 하루에 5시간인 조건에서, 농도 85% 공업용 인산을 사용할 경우 2,719,696원이 소요되는 것으로 평가되었다.

표 9는 pH 농도에 따른 작업시간별 공업용 인산의 소요비용을 나타내며, 기타의 약품에 비해 처리비용이 가장 적게 소요되는 것으로 나타났다.

### 5.2.5 질산(HNO3) 소요비용

염산 소요비용은 pH 12.5, 하루 작업시간이 하루에 5시간인 조건에서, 농도 68% 공업용 질산을 사용할 경우 3,445,400원으로 계산되었다.

표 10은 pH 농도에 따른 작업시간별 공업용 질산의 소요비용을 나타내며, 염산과 함께 폐수처리에 소요되는 총 약품 비용에 대략 66%를 차지하는 것으로 나타났다.

표 7. 농도 95%황산(공업용) 소요비용

pH	소요량 (mL/분·대)	소요비용(원/대)		
		1hr	3hr	5hr
11.0	3.9	330	989	1,648
11.5	12.4	1,042	3,127	5,212
12.0	39.2	3,297	9,890	16,483
12.5	124.1	10,425	31,274	52,123
13.0	392.4	32,966	98,897	164,828

표 8. 농도 35%염산(공업용) 소요비용

pH	소요량 (mL/분·대)	소요비용(원/대)		
		1hr	3hr	5hr
11.0	12.4	1,039	3,118	5,197
11.5	39.1	3,287	9,860	16,433
12.0	123.7	10,393	31,180	51,966
12.5	391.3	32,866	98,599	164,331
13.0	1,237.3	103,932	311,797	519,661

표 9. 농도 85%인산(공업용) 소요비용

pH	소요량 (mL/분·대)	소요비용(원/대)		
		1hr	3hr	5hr
11.0	2.9	614	1,843	3,072
11.5	9.3	1,943	5,828	9,713
12.0	29.3	6,143	18,429	30,716
12.5	92.8	19,426	58,279	97,132
13.0	293.4	61,432	184,295	307,158

표 10. 농도 68%질산(공업용) 소요비용

pH	소요량 (mL/분·대)	소요비용(원/대)		
		1hr	3hr	5hr
11.0	9.3	778	2,335	3,891
11.5	29.3	2,461	7,383	12,305
12.0	92.6	7,782	23,347	38,912
12.5	293.0	24,610	73,830	123,050
13.0	926.5	77,824	233,471	389,118

## 6. 결론

본 논문에서는 교량바닥판 보수 과정에서 발생하는 콘크리트 폐수처리 방안에 대하여 고찰하고, 폐수처리에 소요되는 약품의 최적비용에 대해 분석하였다. 이상에 대한 결론을 간략히 요약하면 다음과 같다.

- (1) 교량 바닥판 파쇄시 발생하는 콘크리트 원폐수의 성상은 pH 12.53, CODMn 12.910mg/L, SS 547.0mg/L, 기타 중금속류는 미량으로 분석되었다.
- (2) 최종방류수의 성상을 평가한 결과 pH 12.45, CODMn 9.41mg/L, SS 0.75mg/L로 분석되었다.
- (3) 원형 저류조로 저류조를 설계할 경우 체류시간 10분, 높이(H)와 면적(A)은 각각 1.0m와 1.4m<sup>2</sup>가 적절하며, pH 중화조는 pH Controller가 설치된 연속식(Continuous Type) 방법이 추천된다.
- (4) 작업시간에 대하여 pH 변화에 따른 황산, 염산, 인산 및 질산의 소요량은 85% 인산 < 75% 인산 < 95% 황산 < 70% 황산 < 68% 질산 < 60% 질산 < 35% 염산의 순으로 나타났다. pH에 따라서 소요되는 약품의 양은 차이가 있지만 pH 12.5를 기준으로 할 때, 비용 면에서 가장 적합한 산의 종류는 인산

85%와 황산 95%로 평가되었다.

- (5) 현재 시판되는 약품의 종류 중에서 가장 경제적인 제품은(pH 12.5, 작업 소요시간 5hr) 공업용 제품인 것으로 평가되었다.

## 참 고 문 헌

- [1] 정하덕, "악성 폐수 처리를 위한 강하경막 동결농축 기술의 성능에 미치는 영향", 한국해양대, 2005.
- [2] 환경부, "환경부공장폐수의 발생과 처리", 2003.
- [3] 柏木隆男; 打放しコンクリートの色むらに關する基礎的研究, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1995.
- [4] ASTM D 523; "Standard Test Method for SPECULAR GLOSS", 1980.
- [5] 宮本欣明; 打放しコンクリートに關する實驗的研究(その1 せき板および締固め方法が仕上がり, 強度に及ぼす影響について), 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1993.
- [6] 최종영, "코르크 폐수처리 설비에서의 처리약품 적정성 검토", 경북대, 2005.