

요 약 문

I. 연구개요

광공업이 발달한 현대사회에서 금속 가공은 반드시 필요한 공정으로, 이와 같은 금속 가공 과정에서 필요로 하는 것이 절삭유이다. 절삭유는 금속가공 시 마찰을 줄이기 위한 윤활작용을 하며, 마찰로 인한 열팽창 및 변형을 막기 위한 냉각작용을 한다. 절삭유는 첨가제와 사용용도에 따라 수용성과 비수용성으로 나뉘게 되며 국내 절삭유 사용량의 60% 이상이 수용성절삭유로 사용되고 있다.

수용성 절삭유 내에는 PAH, 파라핀계염소, 아질산염, 방부제 등 20~30여개의 화학물질 및 암모니아성 질소가 함유되어 있어 무분별하게 방류할 경우 수계 내 오염을 일으키므로 각별한 처리가 필요하다. 증발법, 흡착법과 같은 절삭유를 처리하는 기존처리방법은 에너지 과다사용 및 잔유폐기물 처리로 인한 2차 오염 등의 문제가 발생하고 있으며, 각 종 오염물질에 대한 배출허용기준은 점진적으로 강화되고 있는 추세이다. 따라서 기존 처리방법의 문제점 해결 및 배출허용기준 만족을 위하여 환경 친화적인 고효율 처리기술 개발이 필요한 시점이다.

최근, 짧은 운전 시간 내 높은 처리효율을 가지는 전기화학적 처리방법이 주목받고 있다. 전기화학적 처리방법은 처리공정의 유지 및 관리가 간단하고, 경제성 및 처리수질의 안정성 확보 등이 가능해 기존 처리의 문제점들을 해결 할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 전기화학적 처리방법을 이용하여 전극 종류, 전극간격, 인가전압 등 오염물질 제거에 영향을 끼치는 여러 인자를 변화시켜 최적의 처리조건을 모색하고자한다. 실험은 회분식(Batch Type)으로 전극 특성, 인가전압의 변화, 전해질 첨가 유무, 전극간격, 초기 pH를 조절하여 60분간 진행하였다. 시료는 10분 간격으로 채취하여 COD_{Mn}, COD_{Cr}, NH₄-N의 제거율 변화를 분석을 통해 절삭유의 처리 특성을 파악하였다.

II. 연구의 필요성 및 목적

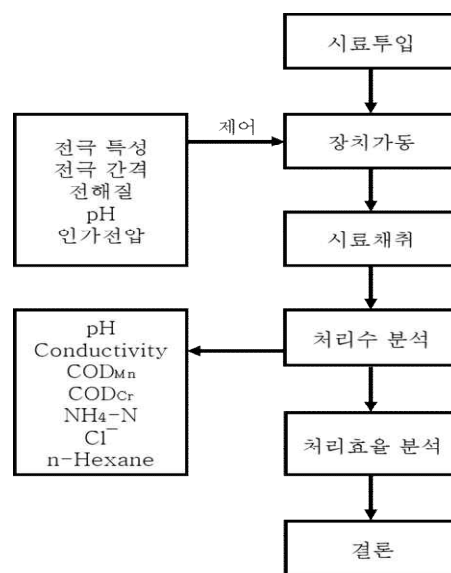
- 절삭유 내에는 20~30여개의 화학물질 및 암모니아성 질소가 함유되어 있어 무분별하게 방류할 경우 수계 내 오염을 일으켜 각별한 처리가 요구된다.
- 절삭유를 처리하는 기존 방법은 높은 처리비용과 에너지의 과다사용, 잔유폐기물 처리 등 문제가 발생하여 대체가능한 고효율 처리기술 개발이 필요하다.
- 전기화학적 처리방법은 단시간 내 높은 처리효율을 가지며 처리공정의 유지 및 관리가 간단하고 경제성 및 처리수질의 안정성확보 등이 가능하여 기존 처리방법의 문제점을 해결할 수 있다.

- 따라서 전기화학적 처리방법을 이용하여 전극, pH, 인가전압 등 여러 인자 변화를 통해 최적의 처리조건을 모색하여 환경 친화적인 저비용 고효율 처리기술을 개발하고자 한다.

III. 연구의 내용 및 범위

본 연구는 전기화학적 처리방법을 이용한 수용성 절삭유처리 기술 개발을 위해 회분식 반응조를 설계·제작하여 총 3단계에 걸쳐 연구를 진행하였으며, 세부적인 실험 추진 체계는 아래 <실험 추진 체계>와 같이 진행하였다.

- 1단계 : 절삭유의 기초 성상 파악과 기존의 처리방법의 효율 및 문제점을 분석하여 구체적인 연구목표치를 설정하였다.
- 2단계 : 전극특성 및 간격, pH, 전기전도도, 인가전압, 반응시간 등의 인자 변화를 통해 처리효율을 분석하였다.
- 3단계 : 결과 분석을 통해 최적의 처리조건을 도출한다.



<실험 추진 체계>

IV. 연구결과

1. SUS316 전극

- 전극간격을 1cm, 4cm, 7cm로 조절한 COD의 제거율 분석결과 15V에서 COD_{Mn}의 최종 제거율은 1cm 24.51%, 4cm 11.90%, 7cm 4.80%, COD_{Cr}의 경우 1cm 60.53%, 4cm 24.01%, 7cm 10.00%로 나타나 전극간격 1cm에서 COD의 제거율이 가장 높았다.
- 전극간격을 1cm, 4cm, 7cm로 조절한 암모니아성 질소의 제거율 분석결과 15V에서 최종 제거율은 1cm 31.96%, 4cm 14.16%, 7cm 11.95%로 나타나 전극간격 1cm에서 암모니아성 질소의 제거율이 가장 높았다.
- 5V, 7V, 10V, 15V의 인가전압에 따른 COD의 제거율 분석결과 COD_{Mn}의 최종 제거율은 5V 29.87%, 7V 46.24%, 10V 55.32%, 15V 67.27%, COD_{Cr}의 경우 5V 39.51%, 7V 57.14%, 10V 70.73%, 15V 85.37%로 나타나 인가전압 15V에서 COD의 제거율이 가장 높았다.
- 5V, 7V, 10V, 15V의 인가전압에 따른 암모니아성 질소의 제거율 분석결과 최종 제거율은 5V 35.19%, 7V 59.73%, 10V 74.95%, 15V 84.54%로 나타나 인가전압 15V에서 암모니아성 질소의 제거율이 가장 높았다.
- NaCl 농도를 5mM, 10mM로 조절한 COD의 제거율 분석결과 10V에서 COD_{Mn}의 최종 제거율은 0mM 55.32%, 5mM 58.32%, 10mM 66.37%, COD_{Cr}의 경우 0mM 70.73%, 5mM 79.23%, 10mM 84.49%로 나타나 NaCl 10mM에서 COD의 제거율이 가장 높았다.
- NaCl 농도를 5mM, 10mM로 조절한 암모니아성 질소의 제거율 분석결과 10V에서 최종 제거율은 0mM 74.95%, 5mM 79.89%, 10mM 87.54%로 나타나 NaCl 10mM에서 암모니아성 질소의 제거율이 가장 높았다.
- 초기 pH를 pH7, pH4로 조절한 COD의 제거율 분석결과 7V에서 COD_{Mn}의 최종 제거율은 pH7 44.95%, pH10 46.24%, pH4 75.97%, COD_{Cr}의 경우 pH7 48.65%, pH10 57.14%, pH4 91.89%로 나타나 pH4에서 COD의 제거율이 가장 높았다.
- 초기 pH를 pH7, pH4로 조절한 암모니아성 질소의 제거율 분석결과 7V에서 최종 제거율은 pH7 51.65%, pH10 59.73%, pH4 78.81%로 나타나 pH4에서 암모니아성 질소의 제거율이 가장 높았다.

2. Al 전극

- 전극간격을 1cm, 4cm, 7cm로 조절한 COD의 제거율 분석결과 15V에서 COD_{Mn}의 최종 제거율은 1cm 25.51%, 4cm 16.67%, 7cm 7.62%, COD_{Cr}의 경우 1cm 62.2%, 4cm 25.61%, 7cm 12.50%로 나타나 전극간격 1cm에서 COD의 제거율이 가장 높았다.
- 전극간격을 1cm, 4cm, 7cm로 조절한 암모니아성 질소의 제거율 분석결과 15V에서 최종 제거율은 1cm 69.61%, 4cm 38.85%, 7cm 22.68%로 나타나 전극간격 1cm에서 암모니아성 질소의 제거율이 가장 높았다.
- 5V, 7V, 10V, 15V의 인가전압에 따른 COD의 제거율 분석결과 COD_{Mn}의 최종 제거율은 5V 18.61%, 7V 40.75%, 10V 72.57%, 15V 74.46%(40분), COD_{Cr}의 경우 5V 23.26%, 7V 43.59%, 10V 90.41%, 15V 94.2%(40분)로 나타나 인가전압 15V에서 COD의 제거율이 가장 높았다.
- 5V, 7V, 10V, 15V의 인가전압에 따른 암모니아성 질소의 제거율 분석결과 최종 제거율은 5V 49.54%, 7V 73.4%, 10V 90.87%, 15V 94.58%(40분)로 나타나 인가전압 15V에서 암모니아성 질소의 제거율이 가장 높았다.
- NaCl 농도를 5mM, 10mM로 조절한 COD의 제거율 분석결과 5V에서 COD_{Mn}의 최종 제거율은 0mM 18.61%, 5mM 58.01%, 10mM 78.71%, COD_{Cr}의 경우 0mM 23.26%, 5mM 72.92%, 10mM 78.75%로 나타나 NaCl 10mM에서 COD의 제거율이 가장 높았다.
- NaCl 농도를 5mM, 10mM로 조절한 암모니아성 질소의 제거율 분석결과 5V에서 최종 제거율은 0mM 49.54%, 5mM 75.54%, 10mM 89.76%로 나타나 NaCl 10mM에서 암모니아성 질소의 제거율이 가장 높았다.
- 초기 pH를 pH7, pH4로 조절한 COD의 제거율 분석결과 5V에서 COD_{Mn}의 최종 제거율은 pH10 18.61%, pH7 56.13%, pH4 75.88%, COD_{Cr}의 경우 pH10 23.26%, pH7 84.21%, pH4 92.86%로 나타나 pH4에서 COD의 제거율이 가장 높았다.
- 초기 pH를 pH7, pH4로 조절한 암모니아성 질소의 제거율 분석결과 5V에서 최종 제거율은 pH10 49.54%, pH7 84.95%, pH4 90.41%로 나타나 pH4에서 암모니아성 질소의 제거율이 가장 높았다.
- 인가전압 10V에서 전극 특성에 따른 제거율 분석결과 최종 제거율이 SUS316 전극은 COD_{Mn} 46.24%, COD_{Cr} 70.73%, NH₄-N 74.95%, Al 전극은 COD_{Mn} 72.57%, COD_{Cr} 90.41%, NH₄-N 90.87%로 Al 전극의 제거율이 더 높았다.

3. Ti/Ir 전극

- 인가전압(15V, 20V, 25V)에 따른 COD_{Cr}의 제거율 분석결과 최종 제거율은 15V 57.14%, 20V 75.71%, 25V 71.43%(40분)로 나타나 인가전압이 증가할수록 COD_{Cr}의 제거율이 증가하였다.
- NaCl 농도(0mM, 5mM, 10mM)에 따른 COD_{Cr}의 제거율 분석결과 최종 제거율이 15V 조건에서는 57.14%, 65.71%, 68.57%(50분), 20V 조건에서는 75.71%, 70.0%(40분), 65.71%(30분)로 나타났다.
- NaCl 농도에 따른 COD_{Cr}의 제거율 분석결과 최종 제거율이 25V 조건에서는 71.43%(40분), 69.43%(30분), 68.57%(20분)로 나타나 각 인가전압 조건에서 NaCl 농도가 증가할수록 COD_{Cr}의 제거율이 증가하였다.
- 인가전압에 따른 암모니아성 질소 제거율을 분석한 결과, 최종 제거율은 반응 시간 60분에서 15V 89%, 20V 92%이며, 25V는 40분에서 90%로 인가전압이 증가할수록 암모니아성 질소 제거율은 상승하는 것으로 나타났다.
- 절삭유 내 NaCl 농도에 따른 암모니아성 질소 제거율을 분석한 결과, 15V의 경우 50분 기준으로 0mM, 5mM, 10mM 조건에서 88%, 89%, 92%로 나타났다.
- 20V에서 NaCl 농도에 따른 암모니아성 질소 제거율을 분석한 결과 실험이 중단된 30분 기준으로 0mM, 5mM, 10mM 조건에서 87%, 87%, 89%로 나타났다.
- 25V에서 NaCl 농도에 따른 암모니아성 질소 제거율을 분석한 결과 실험이 중단된 20분 기준으로 0mM, 5mM, 10mM 조건에서 80%, 84%, 85%로 나타났다.

V. 최적 처리 조건

1. 목표 제거율 도달 조건

COD_{Cr} 및 NH₄-N의 목표 제거율에 도달한 조건을 전극 별로 정리하였다. 각 전극 조건에서 공통적으로 인가전압 및 NaCl 농도가 증가할수록 대상물질의 제거율이 높아졌으나, 인가전압과 NaCl 농도가 과도하게 높은 경우 과전류 형성이 빨라져 오히려 제거율이 떨어지는 것으로 나타났다. 목표 제거율 달성 현황을 살펴보면 SUS316 전극은 11개 항목에서 목표 제거율을 통과하였으며, Al 전극은 22개 항목, Ti/Ir 전극은 9개 항목에서 목표 제거율을 통과한 것으로 나타났다.

<조건별 최종 제거율(SUS316 & Al)>

전극 인자		SUS316								Al							
		COD _{Cr}				NH ₄ -N				COD _{Cr}				NH ₄ -N			
인가전압		5V	7V	10V	15V	5V	7V	10V	15V	5V	7V	10V	15V	5V	7V	10V	15V
NaCl 농도별	0mM	39	57	70	85	35	59	74	84	23	43	90	94 (40분)	49	73	90	94 (40분)
	5mM	53		79	91	41		79	88	72		85 (40분)	★	75		92 (40분)	★
	10mM	59		84	86 (40분)	45		87	92 (40분)	78		91 (30분)	★	89		93 (30분)	★
pH별	pH4	63	91	★	★	41	78	★	★	92	94 (30분)	93 (20분)	★	90	92 (30분)	93 (20분)	★
	pH7	22	48	★	★	20	51	★	★	84	83 (40분)	88 (20분)	★	84	91 (40분)	92 (20분)	★
	pH10	39	57	70	85	35	59	74	84	23	43	90	★	49	73	90	★

Bold : 목표 제거율 충족 조건

★ : 과전류 발생

<조건별 최종 제거율(Ti/Ir)>

전극 인자		Ti/Ir					
		COD _{Cr}			NH ₄ -N		
인가전압		15V	20V	25V	15V	20V	25V
NaCl 농도별	0mM	57	75	71 (40분)	88	92	90 (40분)
	5mM	65	70 (40분)	69 (30분)	91	90 (40분)	90 (30분)
	10mM	68 (50분)	65 (30분)	68 (20분)	91 (50분)	88 (30분)	85 (20분)

Bold : 목표 제거율 충족 조건

또한, 처리시간에 따른 최적조건을 고려하였을 경우 처리시간 60분을 10분단위로 제거율 상승치를 비교한 결과, 초기 처리시간 10분에서 가장 높은 제거율 상승치를 나타내었다. 따라서 처리시간 10분에서 다른 조건 대비 더 높은 제거율 상승치를 보인 조건은 아래와 같다.

가. SUS316 전극

- 15V 10mM 처리시간 10분

나. Al 전극

- 15V 0mM 처리시간 10분, 20분
- 10V 10mM 처리시간 10분

다. Ti/Ir 전극

- 대부분의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 제거율

VI. 연구결과의 활용계획

- 고효율 처리방식으로 환경규제에 능동적인 대응 가능
- 부지설치 면적의 감소로 인한 고도처리 공정의 소형 패키지화
- 공정의 일반화를 통한 환경산업 표준화 유도 및 시장 확대
- 전기화학적 처리의 표준화를 통한 기타 난분해성 물질 처리 응용
- 수용성 절삭유의 전기화학적 산화에 대한 기초연구자료 제공