제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원원장) 귀하

이 보고서를 "내오존성이 우수한 고도정수처리시설용 방수·방식재 및 시공기술 개발"과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2014. 11. 20.

주관연구기관명 : 한국건설생활환경시험연구원
주관연구책임자 : 신 홍 철
연 구 원 : 김 영 근
〃 : 조 병 영
〃 : 김 영 삼
〃 : 김 성 래
〃 : 박 지 영
〃 : 노 상 균

공동연구기관명 : (주)아 해
위탁연구책임자 : 마 영 길

위탁연구기관명 : 서울과학기술대학교
위탁연구책임자 : 오 상 근

위탁연구기관명 : 충북대학교
위탁연구책임자 : 이 종 대

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>10기술혁신
E07</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2012. 08 29
~
2013. 8. 28</td><td>단 계 구 분</td><td>3/3</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 사 업 명</td><td>중 사 업 명</td><td colspan="4">건설기술혁신사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>대 과 제 명</td><td colspan="4">내오존성이 우수한 고도정수처리시설용 방수·방식재 및 시공기술 개발</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 책 임 자</td><td rowspan="2">신 홍 철</td><td>해당단계
참 여
연구원수</td><td>총 : 35명
내부 : 34명
외부 : 1명</td><td>해당단계
연 구 비</td><td>정부 : 317,000천원
기업 : 180,000천원
계 : 497,000천원</td></tr>
<tr><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 35명
내부 : 34명
외부 : 1명</td><td>총연구비</td><td>정부 : 840,000천원
기업 : 495,000천원
계 : 1,335,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">한국건설생활환경시험
연구원/건축환경재료센터</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">(주)아해 외 3개 기관</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명 :</td><td colspan="2">상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td>공 동 연 구</td><td colspan="3">연구기관명 : (주)아 해</td><td colspan="2">연구책임자 : 마 영 길</td></tr>
<tr><td>위 탁 연 구</td><td colspan="3">연구기관명 : 충 북 대 학 교</td><td colspan="2">연구책임자 : 이 종 대</td></tr>
<tr><td>위 탁 연 구</td><td colspan="3">연구기관명 : 서울과학기술대학교</td><td colspan="2">연구책임자 : 오 상 근</td></tr>
<tr><td colspan="4"></td><td>보고서면수</td><td>148</td></tr>
<tr><td colspan="6">최근 우리나라 주요 상수원인 낙동강, 금강 등 하류 지역의 수질이 3급수 이하로 악화되고, 중금속, THM, 페놀사건, 벤진 등 각종 유기물질 오염사고가 다발하면서 국내 정수장에서는 기존정수처리공정으로는 완전히 제거가 어려운 수돗물의 맛·냄새 유발물질, 미량유기오염물질, 암모니아성 질소 등을 제거하기 위하여 생물처리, 오존처리, 활성탄처리 등의 공정을 추가한 고도정수처리시설 도입이 급속히 증가하고 있음</td></tr>
</table>

시대적 요구에 따른 먹는 물 수질 기준 강화, 수질 오염물질의 다양화, 염소처리 과정의 유해성 소독 부산물(DBPs) 발생 문제를 해결하는 방안으로 오존 처리 시설 이용이 급격히 증가되고 있으나 현재 고도 정수 처리 시설의 빈번한 유지 보수로 인하여 그 효율성이 떨어지고 먹는물 생산원가가 상승되고 있으며, 먹는물의 질적인 측면에서도 그 신뢰성 보장이 의심되는 실정임

고도정수처리시설은 용존 오존 및 기체상 오존 조건에 지속적으로 노출되어 있기 때문에 내구성이 검증되지 않은 방수·방식재를 시공하는 경우 유지 관리 비용 증가 및 먹는 물의 안전성 확보하기 어려움

현재 고도정수처리시설용 코팅 재료는 에폭시 수지 방수·방식재가 주로 사용되고 있으나, 고농도 오존 환경에서 장기 내구성 저하와 표면층 파단, 박리 현상이 발생하여 유지관리 및 위생성에 문제점을 가지고 있음. 이에 원천적으로 시설물의 안정성과 장기 내구성을 확보하기 위한 대체 소재에 대한 기술 개발이 절실히 요구됨

정수처리에 있어 효과가 입증되어 점차 증가할 것으로 예상되는 고도정수처리 시설의 안정적인 운영과 국민의 먹는물 신뢰성 향상을 위해서는 반드시 고농도 오존에서의 저항력이 있는 방수/방식의 시공기술 및 시스템 개발은 필수적임

이에 본 기술 개발 과제에서는 장기적 오존 및 수분환경에 대한 내부식성 및 자연유기물질, 생물 부착 방지 성능이 부여된 고내구성 방수·방식 시스템 개발과 시험표준개발, 평가기반 구축, 시공지침 개발을 통해 고도정수처리 시설물의 방수·방식 시공기술 확립 및 유지보수 효율성과 먹는 물에 대한 질적향상을 도모하고자 함

색 인 어 (각 5개 이상)	한글	고도산화	정수장	내오존	고내구성	시공기술
	영어	Advanced Oxidation	Water Treatment Plant	Anti-Ozone	High durability	Construction Technology

요 약 문

Ⅰ. 제 목

내오존성이 우수한 고도정수처리시설용 방수·방식재 및 시공기술개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

최근 우리나라 주요 상수원의 수질이 3급수 이하로 악화되고, 각종 유기물질 오염사고가 다발하면서 국내 정수장에서는 기존정수처리공정으로는 완전히 제거가 어려운 오염물질을 제거하기 위하여 오존처리 등의 공정을 추가한 고도정수처리시설 도입이 급속히 증가하고 있다. 시대적 요구로 먹는 물 수질 기준 강화, 수질 오염물질의 다양화, 염소처리 과정의 소독 부산물 발생 문제를 해결하기 위해 오존 처리 시설이 급격히 증가하고 있다. 그러나 현재 고도 정수 처리 시설의 빈번한 유지 보수로 인하여 그 효율성이 떨어지고 먹는 물 생산원가가 상승되고 있으며, 먹는 물의 질적인 측면에서도 그 신뢰성 보장이 의심되는 실정이다. 또한, 고도정수처리시설은 오존환경에 지속적으로 노출되어 있기 때문에 내구성이 검증되지 않은 방수·방식재를 시공하는 경우 유지 관리 비용 증가 및 먹는 물의 안전성 확보하기 어려운 상황이다. 현재 고도정수처리시설용 코팅 재료는 에폭시 수지 방수·방식재가 주로 사용되고 있으나, 고농도 오존 환경에서 장기 내구성 저하와 표면층 파단, 박리 현상이 발생하여 유지관리 및 위생상의 문제점을 가지고 있다. 이에 시설물의 안정성과 장기 내구성을 확보하기 위한 대체 소재에 대한 기술 개발이 절실히 요구된다. 정수처리에 있어 효과가 입증되어 사용이 증가할 것으로 예상되는 고도정수처리 시설의 안정적인 운영과 국민의 먹는 물 신뢰성 향상을 위해서는 반드시 고농도 오존에서 저항력이 있는 방수·방식의 시공기술은 필수적이다. 이에 본 연구개발 과제에서는 장기적 오존에 대한 내부식성이 부여된 고내구성 방수·방식재 개발과 시험표준개발, 평가기반 구축, 시공지침을 개발하여 고도정수처리 시설물의 방수·방식 시공기술 확립 및 유지 보수 효율성과 먹는 물에 대한 질적 향상을 도모하고자 한다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

1. 내오존 방수·방식재 개발

가. 고분자 사슬의 net-work 구조설계를 통한 유연성 향상 기술 개발
나. 잠재적 다관능기를 이용한 고부착성 확보 기술 개발
다. 오존 주입률 변화 조건에 대한 방수·방식재의 내구성 확보 기술 개발
라. 음용수 용출성 평가에 대한 적합성 확보

2. 내오존 방수・방식재의 성능 평가방법 개발

가. 고도처리정수시설의 다양한 환경적 열화조건 도출
나. 내오존성을 강조한 시험조건의 구체화된 정량 조건 도출
다. 고농도 오존조건에 대한 방수·방식재의 정량적 내구성평가방법 개발
라. 콘크리트 구조물에 대한 일체화 성능평가 방법개발
마. 고도정수처리시설에 적용 가능한 KS 성능 평가방법 제안
바. 정수장 환경조건에 응용 가능한 Mock-up 및 실내촉진 설비 구축

3. 고도정수처리시설의 내오존 방수·방식 시스템 개발

가. 시공 단계별 시공방법 선정 및 개발
나. 현장 적용성 검토 및 분석
다. 품질관리 및 시공 매뉴얼 작성

Ⅳ. 연구개발결과

1. 실제 고도정수처리시설 실태조사

고도정수처리장의 오존처리 시설의 경우 내오존 처리를 하고 있으며, 대표적으로 유무기 도장법이 적용되고 있다. 그러나 적용된 도막에 문제가 발생하는 것에 대하여 실제 고도정수 처리장을 대상으로 현장조사를 실시하였다. 실내 촉진처리의 개념으로 고농도의 용존오존에 대한 간이 시험에서 우수한 성능을 나타내었으나, 시공된 후 10개월 미만에서 방수·방식재의 하자가 발생하여 재시공을 실시하였다. 한강의 정수장은 상수원 수질이 비교적 양호하여 용존오존농도를 1 ppm내에서 계절별로 수온 5~25 ℃사이에서 운영한다. 하지만 상수원의 오염정도가 심각한 낙동강의 정수장은 용존오존 농도를 계절별로 최대 3 ppm까지 주입하고 있어 방수·방식재의 열화는 매우 심할 것으로 판단된다. 수도권에 위치하여 수질이 비교적 양호한 한강의 물을 취수하여 1 ppm 내에서 사용함에도 불구하고 현장에 시공된 방수·방식재는 1년 이내에 하자가 발생하여 정수시설의 운영효율성 및 안전한 음용수 확보를 위해서는 국가적인 관심이 필요하다.

2. 오존에 의한 열화 메카니즘 분석

가. 오존 수중 분해 메카니즘

수중에서 오존은 산성용액 중에서는 일부분 안정하나 온도 및 pH 상승에 따라 급속히 분해한다. 이 메커니즘은 가수분해에 의하여 Hydroperoxy radical을 생성하고 이것이 개시제가 되어 연쇄반응으로 분해한다. 생성된 Hydroxy radical은 오존분자보다 높은 산화환원전위를 가

지고 있다. 또한, Hydroperoxy radical은 오존보다 약한 산화제이나 OH radical을 생성한다. 따라서 오존의 강력한 산화력은 오존 분자의 직접반응과 오존 분해에 의해 생성되는 Free radical OH 및 HO2의 반응에 의한다. 오존의 물에 대한 용해도는 0.57 g/l로 산소의 수배~10배 정도 크며 Henry 법칙에 따른다. 수온 20℃ 물에 농도 20 mg/l의 오존가스를 주입하면 평형상태에서 수중오존농도는 5.7 mg/l 정도 된다. 오존반응 공정은 항상 직접반응과 간접적으로 생성된 OH라디칼 반응 메커니즘을 기본으로 생각할 수 있다. 이것은 수질 중에 오존의 분해반응의 결과로서 OH라디칼이 생성된다. 이러한 라디칼은 오존의 산화력 보다 더 강한 산화 메커니즘을 가질지라도 매우 짧은 기간 존재하는 화합물이다. 이것이 라디칼이 강한 산화전위를 갖기 때문이다.

나. 오존의 반응성

오존 분자구조는 결합각이 50±30°, 원자간 간격이 1.278±0.003Å이다. 그러므로 오존 결합은 단결합과 이중결합의 중간으로 보여 지며, 공명구조는 4개의 극한구조로 생각된다. 오존과 유기물 반응에서 무엇보다도 잘 알려져 있는 것은 C=C 2중 결합이나 방향을 개열시키는 반응으로 먼저 1,3-쌍극자의 환부가 반응에 의하여 1차 Ozonide를 생성한다. 이 화합물을 불안정하고 양성이온과 카보닐 화합물로 해리한다. 이 양성이온은 화합물이 불안정하고, 양성이온과 카보닐 화합물로 해리한다. 이 양성이온은 몇 개의 반응이 진행되는 수용액 속에서는 α-hydroxyalkyl hydroperoxide가 생성되고 루트(ii), 루트(iii)을 통하여 Aldehyde 또는 Carbonic acid로 분해한다.

다. 오존의 산화 분해 반응

Hoigne 등은 수중에서의 용해성 유기물과 오존의 반응은 오존에 의한 직접반응과 오존이 분해하여 생성하는 OH 라디칼에 의한 간접반응의 2가지가 있다고 주장한다. 이 2개의 반응경로는 선택성이 다르고 생성물도 다르다. OH라디칼이 수용액 중에 생성되면 Advanced 산화공정이 진행되고, 용해된 고체를 오존에 의해 직접반응 혹은 OH라디칼에 의한 간접반응에 의해 산화된다. 이와 같은 산화 반응은 물의 온도, pH와 화학조성과 같은 여러 가지 변수에 의존하여 진행된다.

3. 실내측진 오존환경 평가장비 구축

가. 국내 고도처리시설 운영 조건 분석

수도권은 한강을 식수원으로 사용하고 있으며, 관리기관의 전문가 자문회의를 통하여 조사한 바에 의하면, 국내 식수원 중에서 한강의 수질은 양호한 것으로 조사되었다. 따라서 한강에 설치되어있는 고도정수처리시설의 운영조건으로 수온은 5~25 ℃에서 처리되고, 용존 오존농도는 1 ppm 미만에서 20분 체류로 운영하고 있다. 하지만 수질오염이 심각한 낙동강을 식수원으로 사용하고 있는 대구, 부산 등의 고도정수처리시설의 운영조건은 일반적으로 2 ppm으로 한강보다 높은 조건에서 정수 처리된다. 또한 계절별 수온변화 및 오염물 유입에 따라 용존 오존농도의 변화가 매우 크며, 최대 3 ppm까지 오존수를 주입하는 경우가 발생한다. 특히, 수질오염이 심각한 우기 및 혹서기에 용존 오존농도가 급격히 높아지고 있다. 실제 고도

정수처리시설의 방수·방식재의 열화가 가장 심각한 부분은 기중 및 수중상태의 조건보다 수위의 변화가 발생하는 계면에서의 하자 발생율이 높은 것으로 조사되었다.

나. 내오존 방수·방식재 개발을 위한 오존처리 방법

본 연구에 사용한 오존처리 장비는 일정한 농도의 오존수 투입을 위하여 오존발생기에서 발생한 오존을 오존수 탱크로 투입시켜 일정농도로 오존수를 저장한다. 펌프를 이용하여 오존처리 챔버로 재투입 및 순환시켜 일정한 농도의 오존수를 유지한다. 국내 정수장에 도입된 한강의 경우 용존 오존농도는 여름철을 중심으로 1 ppm내에서 운영하고 있다. 그러나 본 연구의 시험조건은 용존 오존농도를 가속조건으로 10±0.5 ppm으로 설정하였고, 수중온도 20±2 ℃에서 2주간 진행하였다. 또한, 본 연구에서는 방수·방식재의 내오존 성능을 평가하기 위해 실제 고도정수처리시설에서 발생하는 수위변화에 따라 열화가 촉진되는 운영조건을 모사하도록 수위조절장치를 설치하여 진행하였다.

4. CNT(Cabon Nano Tube) 방수·방식재 개발

가. CNT(Cabon Nano Tubo) 방수・방식재 개발

기존의 무기물을 포함한 불소 아크릴계 코팅의 보완과 물성을 향상시키기기 위하여 CNT를 첨가하여 고분자 코팅제의 가교결합을 유도하였다. CNT 함량을 변화시키면서 최적 경화조건을 설정하여 코팅을 제조하여 실험을 진행하였다.

나. 무기물과 불소함량 변화에 따른 내오존성

무기물 50 wt %, 불소 아크릴레이트 10 wt%일 때 코팅막의 박리현상과 오존열화가 일어나지 않는 것으로 나타났다.

다. CNT 첨가에 따른 내오존성

무기물 50 wt %, 불소 아크릴계 10 wt % 에 CNT 2 wt %를 첨가 했을 때 표면경도와 접착력이 향상됨을 알 수 있었다.

라. CNT 함량에 따른 내오존성

무기물 50 wt %, 불소 아크릴레이트 10 wt% 일 때 CNT 함량을 2, 4, 6 wt % 변화시켜 코팅의 표면과 내오존성을 조사한 결과 6 wt% 일 때 보다 적은 오존 열화현상을 관찰할 수 있었다.

5. 내오존성이 우수한 도막식 방수·방식재의 개발

가. 수지합성 및 선별 시험

불소 수지, 실리콘 수지, 에폭시 수지, 폴리우레아 수지, 실리케이트 수지 등을 사용하였으며, 시험결과 불소 수지 및 실리콘 수지를 이용한 것이 상대적으로 내오존성이 우수한 것을 알 수 있었다.

나. 불소수지 함량에 따른 시험

불소수지 함량에 따른 내오존성 시험결과 불소함량이 30, 50, 80 wt % 일 때 질량감소량

및 색차가 적게 나타나 내오존성이 우수하게 나타났다. 경제성을 고려하여 불소수지 함량은 30 wt% 로 선정하였다.

다. 안료 선정을 위한 시험

촉진 오존열화 처리에 의해 청색인 시험체가 백색으로 변화하여 안료 및 첨가제의 중요성이 부각되었다. 유기안료와 무기안료 6종류에 대하여 내오존성능 시험을 진행한 결과 Phthalocyanine 계열의 유기안료는 오존에 취약하여 변색이 발생하였으며, Cobaltchromite 계열의 무기안료가 상대적으로 우수함을 알 수 있었다.

라. 방수・방식 시스템의 구성

시스템을 구성하기 위하여 기존에 현장에 사용되고 있는 바탕 조정재, 하도, 중도에 대한 부착강도 시험을 실시한 결과 바탕 조정재로 에폭시 시멘트 모르타르, 하도로 수용성 에폭시, 중도로 무용제 에폭시, 상도로 내오존 방수・방식층으로 구성하면 2.0 MPa 이상의 높은 부착강도를 얻을 수 있었다.

마. 시장성 검토

시장성 및 경제성 분석으로 일위대가를 계산한 결과 7.5만원으로 기존의 내오존 방수·방식재가 시공된 A 정수장의 계약금액인 10만원과 공공기관에서 예상하는 내오존 방수·방식재의 적정 공사비용인 8만원보다 저렴한 것으로 나타나 경제성을 확보할 수 있었다.

6. 내오존성이 우수한 부착식 방수·방식재의 개발

가. 패널의 보강섬유 및 수지 비교

부착식 패널에 사용되는 수지로서 일반 에폭시 수지와 내오존성이 우수할 것으로 판단되는 폴리에스테르 수지를 비교하였다. 섬유로서 폴리에스테르 수지에 일반 유리섬유와 본 개발제품에 사용된 현무암섬유를 함침하여 비교하였다. 시험결과 일반 에폭시 수지보다 폴리에스테르 수지가 내오존성이 우수하였고, 표면이 매끄러운 유리섬유보다 표면이 거친 현무암 섬유가 패널과의 부착성이 우수하였다. 또한, 섬유가 패널에서 탈락되었을 때 천연섬유인 현무암 섬유가 수질의 안정성에는 유리할 것으로 판단된다.

나. 접착재의 최적 CAC 함량 선정

패널의 접착재에 내오존성 및 부착성이 우수할 것으로 판단되는 CAC를 혼입하여 그 함량에 따른 내오존성능을 부착강도를 통하여 비교하였다. 그 결과 CAC 함량이 증가할수록 부착강도는 증가하는 경향을 나타내었으며, 경제성을 검토하였을 때 CAC 15 %가 최적 함량으로 분석된다.

다. 줄눈재의 최적 CAC 함량 선정

패널의 줄눈재에 내오존성 및 내수성이 우수할 것으로 판단되는 아크릴 수지를 혼입하여 그 함량에 따른 내오존성능을 부착강도를 통하여 비교하였다. 그 결과 아크릴 수지의 함량이 증가할수록 부착강도는 증가하는 경향을 나타내었으며, 경제성을 검토하였을 때 아크릴 수지 10 %가 최적 함량으로 분석된다.

7. 오존화경에 대한 장기 내구성 평가

고도정수처리시설의 콘크리트 구조물은 장기간 사용에도 안전성을 유지하여야 하는 중요 사회 간접 시설물이다. 특히, 오존투입에 의해 직・간접적으로 영향을 받게 되는 고도정수처리시설물은 그 사용에 있어 구조적인 안전성을 확보하기 위해 장기적인 내구성능을 가진 방수·방식 재료를 사용하여야 한다. 즉, 이러한 곳에 사용되어지는 내부 방수·방식재료는 시공 전·중·후 주변 환경 등에 의한 표면에서의 열화나 재료 손실 등으로 내구성능 저하 및 유해물질 발생 등의 우려가 없어야하며, 일정한 성능 기준을 만족하는 적정재료 및 공법을 선택 시공하여야 한다. 내오존 성능평가를 통해 아크릴 실리콘 및 불소변형아크릴 우레탄 방수·방식재와 에폭시 줄눈재의 오존처리에 장기간 노출 시 평가재료 모두 색상변화 정도와 열화정도가 심하게 발생되는 것을 알 수 있었다. 현재 개발된 방수·방식재의 경우 어느 정도 내오존성을 확보하고 있는 것으로 확인되고 있으나, 오존환경 하에서 장기적으로 사용 시 발생할 수 있는 색상변화와 열화에 대한 대책을 마련해야 할 것으로 판단된다.

8. Mock-up 실험

Mock-up 실험 조건은 용존 오존농도 10ppm, 시험기간 4주, 시험항목은 부착강도로 계획하여 시험을 진행하였다. 시험 중 용존 오존농도는 시험기간이 여름철에 진행되어 오존수의 온도가 27~40 ℃로 나타나 오존농도는 5~10 ppm 범위에서 변화하였다. 또한, 수중상태와 기중상태에서의 열화정도를 평가하기 위하여 오존수는 구조체 내부 1m까지 수돗물로 채운 후 시험을 진행하였고, 수중부분의 방수・방식 시스템과 기중부분의 방수・방식 시스템의 육안관찰 및 부착강도를 측정하였다. 오존처리 4주 후의 Mock-up 실험용 구조체 내부 방수・방식 시스템의 상태는 초기의 상태와 비교해서 크게 차이가 나지 않았으며, 오존에 의한 부식이 거의 진행되지 않고 광택도 어느 정도 유지하고 있는 상태를 보였다. 또한, 부착강도 시험을 실시한 결과 기중부분과 수중부분에서 모두 2.0 MPa 이상의 부착강도를 유지하고 있어 개발된 방수・방식재의 내오존성 및 전체 시스템에 대한 품질 안정성이 우수한 것으로 평가된다.

9. 현장적용 실험

가. 광주 효천 하수처리장 방수・방식재 현장적용
  적용 현장 : 광주 효천 하수처리장(신설 구조물)
  시공 면적 : 460 m^2 (오존처리조)
  공사 기간 : 2012년 11월 ~ 2012년 12월
나. 서울 우장산 배수지 부착식 방수・방식재 현장적용
  적용 현장 : 서울 우장산 배수지 (보수 현장)
  시공 면적 : 1 000 m^2 (일반배수지 - 바닥)
  공사 기간 : 2012년 9월 ~ 2012년 12월

다. 서울 화곡 배수지 부착식 방수・방식재 현장적용

적용 현장 : 서울 화곡 배수지 (보수 현장)

시공 면적 : 약 1 000 m^2 (일반배수지 바닥부분)

공사 기간 : 2012년 9월 ~ 2012년 12월

10. 내오존 방수·방식재 단체표준(안) 작성

가. 열화원인 및 열화현상

내오존 방수・방식재는 지속적인 오존과 물의 접촉 및 온도변화에 의하여 열화가 촉진되어, 방수・방식재의 파괴, 방수저하 및 부식촉진을 발생시켜 균열, 박리, 변색, 광택저하 및 부착성능 저하현상을 초래할 수 있다.

나. 오존접촉지에 사용되는 내오존 방수・방식재의 요구성능

시험항목		목적
기초 성능	부착성능	방수·방식층은 콘크리트 구체와 지속적으로 일체화가 유지되어야 하며, 지중에 건설되는 특징으로 바탕면이 습윤상태로 존재하는 경우가 많으므로 건조 및 습윤조건에서의 부착성능을 확인
	내충격성	충격에 의하여 방수·방식층은 손상을 입을 수 있으며, 손상부는 누수를 발생시키기 때문에 시공 완료 시 및 시공 중에 받을 수 있는 외부 충격에 대한 저항성능을 평가
	내투수성	정수장에 시공된 방수·방식층의 기본 성능인 방수성능을 갖고 있는지 평가
내오존 성능	겉모양	촉진오존처리 후 방수·방식층은 바탕조정층, 방청층, 내오존층으로 일반적으로 구성되는데, 각 층간의 부착성능의 차이 및 표층 열화에 의한 변색, 균열, 부풀음, 박리 등이 발생할 수 있으므로 이에 대한 평가
	질량감소량	오존에 의하여 표층 부분은 산화되어 시간의 경과에 따라 내오존층인 표층의 두께가 감소하므로 요구되는 내구연한을 확보하기 위해서는 감소량에 대한 평가
	내투수성능	촉진오존처리 후 방수·방식층의 기본 성능인 방수성능을 갖고 있는지 평가
	부착성능	촉진오존처리 후 방수·방식층의 기본 성능인 방수성능을 갖고 있는지 평가
	수질 안전성	고분자의 산화에 의해 노출면에서 발생하는 산화물에 대한 수질 안전성을 평가하여 수도의 안전성을 확보하여야 하므로 수질안전성을 평가

다. 촉진오존 열화 시험 조건 설계

정수장용 내오존 방수・방식재의 촉진 오존열화 싸이클 시험은 정수장의 운용조건을 고려하여 설계하였다. 오존접촉지에서 발생되는 주 열화요인은 오존이며, 부가적으로 온도변화 및 수분에 의하여 열화진행이 더욱 촉진된다. 시험요인 중 가장 밀접한 관계가 있는 용존 오존농도는 시험기간과 밀접한 관계가 있다. 현장조사 결과 기중 오존과 수중 오존에 동시에 노출되는 부분에서 열화가 빠르게 진행되는 것을 모사하기 위하여 기중 및 수중 상태가 반복되도록 사이클 설계를 하였다. 1년 중 정수장의 수온이 약 20 ℃ 변하는 것에 착안하여 온도사이클을 주어 내오존 방수・방식재에 온도변화를 모사하도록 설계하였다.

라. 촉진열화 시험 기간의 설계(내구성 5년 설계)

자연상태에서 얻어지는 방수방식재의 열화특성과 오존시험을 통해 나타나는 방수・방식재의 열화특성 사이의 가속계수를 구하기 위해서는 실제 사용환경에서 장기간의 옥외폭로시험을 실시하여 다양한 열화인자에 의해 발생하는 열화특성을 측정하는 것이 필수적이다. 그러나

국내에서는 내오존 방수·방식재에 대한 옥외폭로시험의 결과가 전무후무한 실정으로 이에 본 연구에서는 고도정수처리장의 운영조건과 열화를 고려하여 최종 수명 5년을 보증하는 촉진열화시험 조건을 설계하였다.

마. 시험항목 및 기준 설정

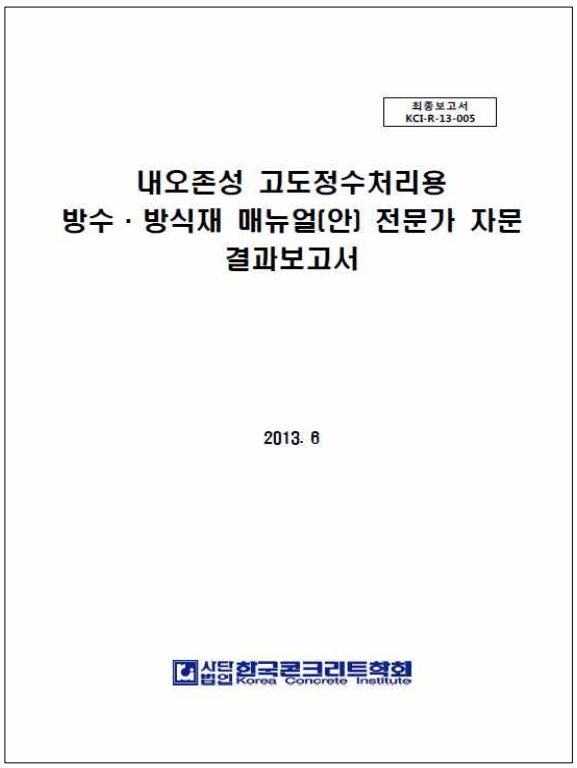
내오존성능은 외관상 문제가 없어야 하며, 내구연한 측면에서 평가할 수 있는 척도로서 질량감소량을 시험항목으로 설정하였다. 이는 내오존층이 서서히 산화되어 두께 감소가 발생되는 것에 착안하였다. 또한 방수·방식재의 기본성능인 내투수성능 및 부착성능을 내오존처리 후에도 유지되어야 하기 때문에 시험항목으로 추가하였다. 한편 방수·방식재의 산화에 의한 산화물이 발생됨으로 이에 대한 수질안전성이 확보되어야 하기 때문에 내오존처리 후 수질안전성을 확인하도록 시험항목을 설정하였다.

바. 방수·방식재의 내오존성 평가방법 개발

내오존성능 시험방법은 겉모양, 질량감소량, 부착성능, 내투수성능, 부착강도, 수질안정성을 시험항목 및 평가항목으로 설정하였으며, 각각의 시험방법은 방수·방식재의 내오존성능 시험방법 및 기준(안)에 설명하였다.

11. 시공 및 품질관리 매뉴얼(안) 작성

가. 전문가 자문 보고서

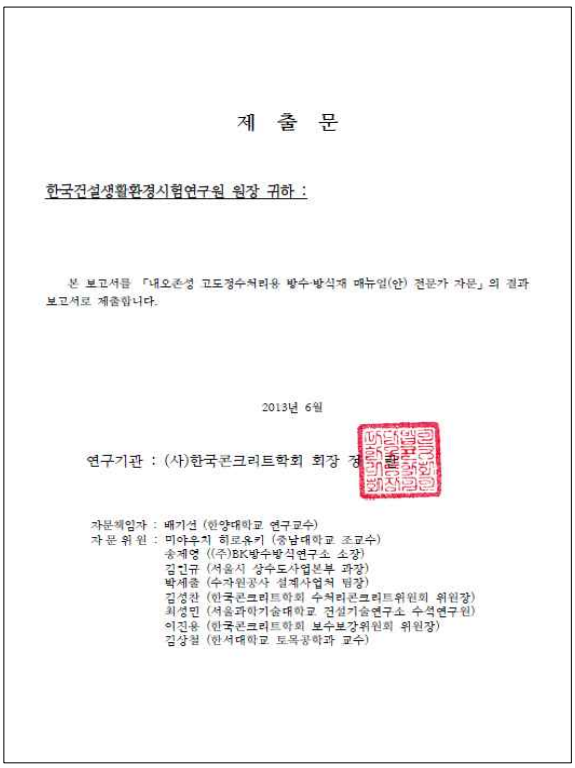


최종보고서
KCI-R-13-005

내오존성 고도정수처리용
방수·방식재 매뉴얼(안) 전문가 자문
결과보고서

2013. 6

사단법인 한국콘크리트학회 Korea Concrete Institute



제 출 문

한국건설생활환경시험연구원 원장 귀하 :

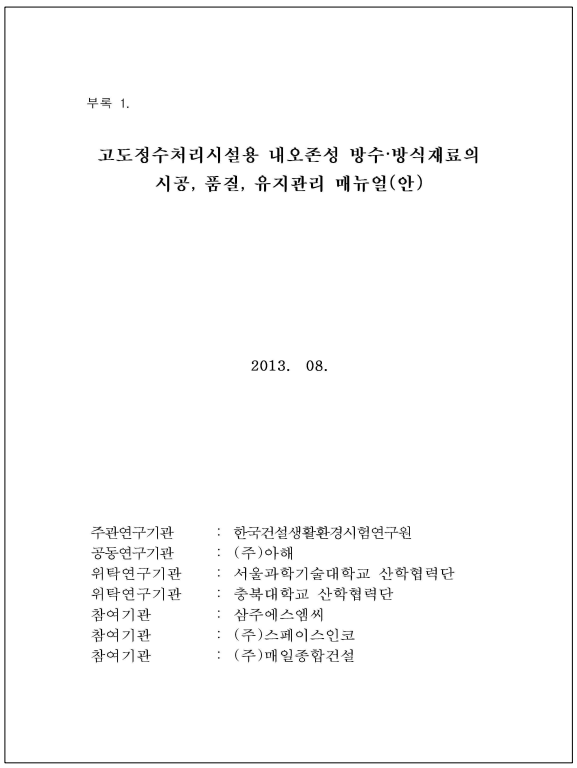
본 보고서를 「내오존성 고도정수처리용 방수·방식재 매뉴얼(안) 전문가 자문」의 결과 보고서로 제출합니다.

2013년 6월

연구기관 : (사)한국콘크리트학회 회장

자문책임자 : 배기선 (한양대학교 연구교수)
자 문 위 원 : 미야우치 히로유키 (중남대학교 조교수)
송재영 ((주)BK방수방식연구소 소장)
김진규 (서울시 상수도사업본부 과장)
박세출 (수자원공사 설계사업처 팀장)
김성찬 (한국콘크리트학회 수처리콘크리트위원회 위원장)
최성민 (서울과학기술대학교 건설기술연구소 수석연구원)
이진용 (한국콘크리트학회 보수보강위원회 위원장)
김상철 (한서대학교 토목공학과 교수)

나. 시공 및 품질관리 매뉴얼(안)

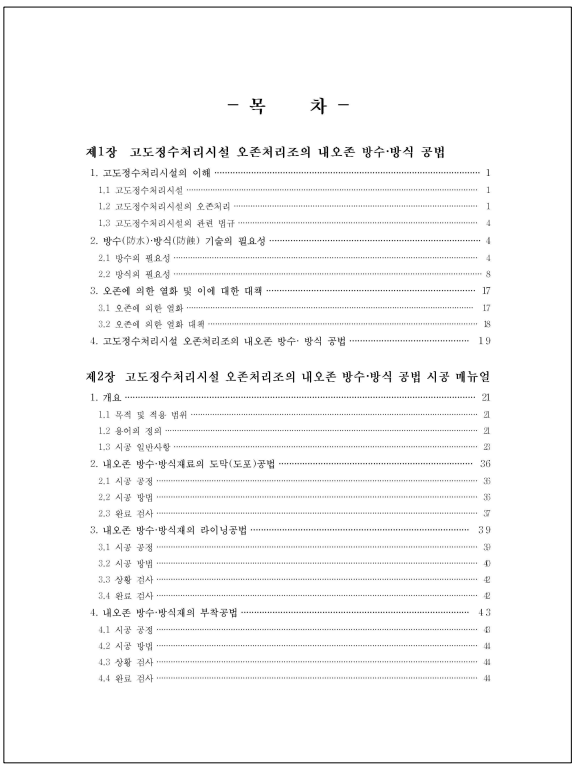


부록 1.

고도정수처리시설용 내오존성 방수·방식재료의
시공, 품질, 유지관리 매뉴얼(안)

2013. 08.

주관연구기관 : 한국건설생활환경시험연구원
공동연구기관 : (주)아해
위탁연구기관 : 서울과학기술대학교 산학협력단
위탁연구기관 : 충북대학교 산학협력단
참여기관 : 삼주에스엠씨
참여기관 : (주)스페이스인코
참여기관 : (주)매일종합건설



- 목 차 -

제1장 고도정수처리시설 오존처리조의 내오존 방수·방식 공법

1. 고도정수처리시설의 이해 ····· 1
1.1 고도정수처리시설 ····· 1
1.2 고도정수처리시설의 오존처리 ····· 1
1.3 고도정수처리시설의 관련 법규 ····· 4
2. 방수(防水)·방식(防蝕) 기술의 필요성 ····· 4
2.1 방수의 필요성 ····· 4
2.2 방식의 필요성 ····· 8
3. 오존에 의한 열화 및 이에 대한 대책 ····· 17
3.1 오존에 의한 열화 ····· 17
3.2 오존에 의한 열화 대책 ····· 18
4. 고도정수처리시설 오존처리조의 내오존 방수· 방식 공법 ····· 19

제2장 고도정수처리시설 오존처리조의 내오존 방수·방식 공법 시공 매뉴얼

1. 개요 ····· 21
1.1 목적 및 적용 범위 ····· 21
1.2 용어의 정의 ····· 21
1.3 시공 일반사항 ····· 23
2. 내오존 방수·방식재료의 도막(도포)공법 ····· 36
2.1 시공 공정 ····· 35
2.2 시공 방법 ····· 35
2.3 완료 검사 ····· 37
3. 내오존 방수·방식재의 라이닝공법 ····· 39
3.1 시공 공정 ····· 39
3.2 시공 방법 ····· 40
3.3 상황 검사 ····· 42
3.4 완료 검사 ····· 42
4. 내오존 방수·방식재의 부착공법 ····· 43
4.1 시공 공정 ····· 43
4.2 시공 방법 ····· 44
4.3 상황 검사 ····· 44
4.4 완료 검사 ····· 44

Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획

구 분	활용계획
현장적용 및 공법 실용화	▪ 고내구성 방수·방식 재료 및 시공시스템 보급 ▪ 현장 적용을 위한 방수·방식재 품질관리 및 설계/시공지침 보급 ▪ 고도정수처리 시설 방수·방식재 품질 기준(안) 마련 ▪ 내오존 방수·방식재 개발을 바탕으로 한 방수·방식 신기술 인증
기술전파	▪ 고도수처리시설 내구수명 증진을 위한 방수·방식 분야 기술 전파 ▪ 오존접촉지 노후 방식재 제거 및 보수시공 기술 전파 ▪ 다양한 건설부재 및 시공 조건별 시공기술 교류 ▪ 평가 장비 분야 기술교류 ▪ 오존 접촉 환경용 방수·방식재 평가기술 전파 ▪ 국내외 방수 및 방식협회, 수처리시설 설계분야와 기술교류 ▪ 해외진출 대형 국내외 건설사와 연계하여 기술공유
제조기술 확보	▪ 선진국 품질수준의 국내 방수·방식재 제조공정 기술 개발 ▪ 환경조건별 제품 제조기술 확립 ▪ 환경 친화적인 제품제조기술 확립 ▪ 방수·방식 분야의 사용 용도에 따른 체계적인 데이터화 가능
응용산업 육성	▪ 수처리 시설용 소재 관련 산업 발전 ▪ 신뢰성이 우수한 평가장비 관련 산업 발전

목 차

제 1장 연구개발과제의 개요 ····· 1

제 1절 연구개발과제의 필요성 ····· 1

1. 연구개발의 필요성 ····· 1

제 2절 연구의 내용 및 범위 ····· 9

1. 내오존 방수·방식재 개발 ····· 9

2. 내오존 방수・방식재의 성능 평가방법 개발 ····· 9

3. 고도정수처리시설의 내오존 방수·방식 시스템 개발 ····· 9

제 2장 국내·외 관련 기술 및 산업 동향 ····· 10

제 1절 국내 기술 및 산업 동향 ····· 10

제 2절 국외 기술 및 산업 동향 ····· 14

1. 미 국 ····· 15

2. 유럽 ····· 17

3. 독 일 ····· 17

4. 프랑스 ····· 18

5. 일 본 ····· 18

제 3절 정부지원정책 현황 ····· 22

1. 관련법령, 정부 정책 및 담당기관 ····· 22

2. 정부지원 정책사업 종류와 현황 ····· 23

제 3장 연구수행 내용 및 결과 ····· 26

제 1절 고도정수처리시설용 방수·방식재 조사 ····· 26

1. 고도정수처리시설용 방수·방식재의 요구성능 ····· 26

2. 고도정수처리시실용 방수・방식재 현황 ····· 28

3. 국내 방수·방식공법 기술개발 현황 ····· 35

제 2절 실제 고도정수처리시설 실태조사 ····· 46
1. 고도정수처리시설용 방수·방식재의 적용현황 ····· 46
2. A 고도정수 처리장 ····· 48
3. B 고도정수처리시설 ····· 51
제 3절 오존에 의한 열화 메카니즘 분석 ····· 53
1. 오존 수처리 특성 ····· 53
2. 오존처리 반응 생성물 ····· 53
3. 오존의 특성 ····· 54
4. 오존 수중 분해 기작 ····· 55
5. 오존의 반응성 ····· 56
6. 오존의 산화 분해 반응 ····· 57
7. 다른 산화제와의 공용효과 ····· 61
8. 내오존 처리 재질 평가 및 첨가제 ····· 62
제 4절 국내 방수·방식재의 내오존성능 예비평가 ····· 63
1. 시제품의 선정 ····· 63
2. 시험체 제작 ····· 64
3. 오존 처리 조건 ····· 64
4. 오존 처리조 방식·방식재의 성능평가 ····· 67
제 5절 실내촉진 오존환경 평가장비 구축 ····· 73
1. 국내 고도처리시설 운영 조건 분석 ····· 73
2. 내오존 평가장비의 개념도 ····· 74
3. 내오존 실내촉진평가 장비 구축 현황 ····· 75
4. 실내촉진 오존환경 장비 개선 ····· 76
5. 내오존 방수·방식재 개발을 위한 오존처리 방법 ····· 79
제 6절 CNT(Cabon Nano Tube) 방수·방식재 개발 ····· 79
1. 연구개요 ····· 79
2. 가교결합을 가지고 있는 자외선 경화형 코팅의 내오존성 ····· 81

제 7절 내오존성이 우수한 도막식 방수·방식재의 개발 ····· 91
1. 연구개요 ····· 91
2. 불소변성 수지 내오존 방수·방식재 개발 ····· 97
3. 개발된 도막식 방수·방식재의 목표성능 시험 ····· 111
4. 개발된 도막식 방수·방식재의 모르타르 적용 시 목표성능 시험 ····· 121
제 8절 내오존성이 우수한 부착식 방수·방식재의 개발 ····· 127
1. 연구개요 ····· 127
2. 부착식 내오존 방수·방식재 개발 ····· 129
제 9절 오존화경에 대한 장기 내구성 평가 ····· 162
1. 개요 ····· 162
2. 시험방법 ····· 162
3. 평가결과 ····· 163
4. 결론 ····· 170
제 10절 현장적용 실험 ····· 170
1. Mock-up 실험 ····· 170
2. 현장적용 ····· 173
제 11절 내오존 방수·방식재 단체표준(안) 작성 ····· 177
1. 개발 배경 ····· 177
2. 오존처리 고도정수처리장 환경 ····· 178
3. 촉진오존 열화 시험 조건 설계 ····· 182
4. 촉진열화 시험 기간의 설계(내구성 5년 설계) ····· 183
5. 시험항목 및 기준 설정 ····· 187
6. 방수・방식재의 내오존성 평가방법 개발 ····· 187
7. 방수・방식재의 내오존성능 시험방법 및 기준(안) ····· 190
제 12절 시공 및 품질관리 매뉴얼(안) 작성 ····· 202
1. 전문가 자문 보고서 ····· 202
2. 시공 및 품질관리 매뉴얼(안) ····· 217

제 4장 목표 달성도 및 관련분야의 기여도 ····· 220
1. 연구목표 달성도 ····· 220
2. 관련분야 기여도 ····· 221

제 5장 연구개발결과의 활용계획 ····· 223

제 6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 ····· 225
제1절 해외 고도정수처리시설의 현황 ····· 225
1. 덴마크 ····· 225
2. 독일 ····· 225
3. 프랑스 ····· 226
4. 일본 ····· 226
제 2절 AWWA STANDARD FOR ····· 232
제 3절 JWWA STANDARD ····· 245
1. JWWA K 135 ····· 245
2. JWWA K 143 ····· 246
3. JWWA K 149 ····· 247

제 7장 참고문헌 ····· 248

표 목 차

표 1. 전국 정수처리 방식별 시설용량(천 ㎥/일) ····· 6
표 2. 고도정수시설의 도입비용 ····· 7
표 3. 고도정수처리시설의 경제적 파급 효과 ····· 7
표 4. 국내 방수·방식재 품질기준 ····· 11
표 5. 국내 방수·방식재 KS규격의 시험항목 및 기준 ····· 12
표 6. 국내 적용 내오존 방수·방식재 종류 ····· 13
표 7. 국내 내오존 방수·방식재 관련 연구동향 ····· 14
표 8. 미국 고도정수처리시설 개요 ····· 16
표 9. 미국 ACI 515.1R규격의 정수장 방수·방식 요구성능 ····· 17
표 10. 독일 고도정수처리시설 개요 ····· 18
표 11. 프랑스 고도정수처리시설 개요 ····· 18
표 12. 국외의 고도정수처리시설 설치사례 ····· 21
표 13. 2009년 환경 예산 집행 방안 ····· 23
표 14. 재료별 분류 ····· 30
표 15. 방수·방식 기술개발 현황 ····· 36
표 16. 고도정수처리시설 방수·방식재 적용현황 ····· 47
표 17. 산화제의 산화 환원전위 ····· 56
표 18. 하이드록실 라디칼과 유기물의 반응 속도 ····· 62
표 19. 오존 열화 방지제 ····· 62
표 20. 시험 대상 ····· 64
표 21. 오존시험기 챔버 실험환경 ····· 65
표 22. 오존발생기 제원 ····· 65
표 23. 오존측정기 제원 ····· 65
표 24. 질량변화 측정 결과 ····· 67
표 25. 색차 측정값 확인 표 ····· 72

표 26. 색차 측정 결과 표 ····· 73
표 27. CNT 첨가에 따른 물리적 특성 ····· 83
표 28. 불소 아크릴레이트 함량 변화에 따른 물리적 특성 ····· 84
표 29. 불소 아크릴레이트 함량변화에 따른 코팅 물리적 특성 ····· 91
표 30. 오존처리 전·후 질량감소량 ····· 99
표 31. 색차 측정값 ····· 100
표 32. 오존처리 전·후 질량감소량 및 색차 ····· 102
표 33. 오존처리 전·후 질량감소량 및 색차 ····· 105
표 34. 오존처리 전·후 질량감소량 및 색차 ····· 108
표 35. 각 시스템별 부착강도 ····· 110
표 36. 일위대가 ····· 111
표 37. 내오존 방수·방식재의 성능평가 결과 ····· 112
표 38. 모르타르 적용 시 목표성능 ····· 121
표 39. 섬유의 특징 비교 ····· 128
표 40. 평가 계획 ····· 134
표 41. 서울특별시 부착계열 방수·방식재의 부착강도 시험항목별 평가등급 ····· 135
표 42. 건조상태 부착강도 시험결과 ····· 137
표 43. 수중 침지 후 부착강도 평가결과 ····· 138
표 44. 염산침지 후 부착강도 평가결과 ····· 140
표 45. 차염소산나트륨 침지 후 부착강도 평가결과 ····· 142
표 46. 수산화나트륨 침지 후 부착강도 평가결과 ····· 144
표 47. 습윤·건조 반복 후 부착강도 평가결과 ····· 146
표 48. 오존노출 후 부착강도 평가결과 ····· 148
표 49. 표준상태 투수성능 평가결과 ····· 150
표 50. 염산 침지 후 투수성능 평가결과 ····· 150
표 51. 차염소산나트륨 침지 후 투수성능 평가결과 ····· 151
표 52. 수산화나트륨 침지 후 투수성능 평가결과 ····· 151

표 53. 내피로성능 평가결과 ····· 152
표 54. 내충격성능 평가결과 ····· 154
표 55. 환경부고시 제2009-184호 : 수도용 자재 및 제품의 위생안전기준
공정시험방법 -줄눈재 ····· 155
표 56. 환경부고시 제2011-21호 : 먹는 물 수질공정시험기준-줄눈재 ····· 156
표 57. KS I ISO 17294-2 수질-유도결합플라즈마 질량분석기의
응용(ICP-MS)-제2부 62원소측 정-줄눈재 ····· 157
표 58. 환경부고시 제2009-184호 : 수도용 자재 및 제품의 위생안전기준
공정시험방법-부착타일 ····· 158
표 59.환경부고시 제2011-21호 : 먹는 물 수질공정시험기준-부착타일 ····· 159
표 60. KS I ISO 17294-2 수질-유도결합플라즈마 질량분석기의
응용(ICP-MS)-제2부 62원소 측정-부착타일 ····· 160
표 61. 종합 시험결과 ····· 161
표 62. 시험 방법 ····· 162
표 63. 오존처리 후 겉모양 관찰 결과 (육안관찰) ····· 163
표 64. 오존처리 후 질량감소량 시험결과 ····· 164
표 65. 색차 시험결과 ····· 166
표 66. 부착강도 시험결과 ····· 168
표 67. 투수 시험결과 ····· 169
표 68. 현장 부착강도 시험결과 ····· 173
표 69. Requirements and Failure Modes/Mechanisms Matrix ····· 180
표 70. Failure Modes/Mechanisms and Test Methods Matrix ····· 180
표 71. 정수장용 내오존 방수·방식재의 FMEA(Failure Mode &
Effective Analysis) ····· 180
표 72. 요구성능 및 시험항목 ····· 181
표 73. 연구결과의 활용계획 ····· 223
표 74. 고도정수처리시스템 (활성탄 처리시설) 개요일람 ····· 227

표 75. 고도정수처리 시스템(활성탄 처리시설) 개요일람 ····· 228
표 76. 고도정수처리시스템 (오존 처리시설) 개요일람 ····· 229
표 77. 고도정수처리시스템 (오존 처리시설) 개요일람 ····· 230
표 78. 설비관리 시스템 개요일람표 ····· 231

그림 목차

그림 1. 연구개발의 개요 ····· 2
그림 2. 고도정수처리시설용 오존처리 시설 ····· 3
그림 3. 방수·방식재 열화현상 ····· 3
그림 4. 방수·방식재의 현장 하자사례 ····· 5
그림 5. Increase of ozone facility in USA ····· 15
그림 6. 일본 고도처리시설 현황 ····· 20
그림 7. 환경부 물산업 육성 추진과제 ····· 22
그림 8. 환경부 물산업 육성 추진체계 ····· 22
그림 9. 수처리 관련 사업 추진 현황 ····· 24
그림 10. 4대강 사업관련 환경부 수질개선 계획 예산 ····· 25
그림 11. 정수지 내부 기둥 열화 ····· 26
그림 12. 염소를 이용한 정수방법 ····· 27
그림 13. 오존(O3)을 이용한 정수방법 ····· 27
그림 14. 공법별 분류 ····· 29
그림 15. 폴리 우레아 시공 전경 ····· 30
그림 16. 에폭시 수지계 방식재 ····· 31
그림 17. 하이브리드 방수·방식 공법의 개념도 ····· 37
그림 18. 코러실 공법의 개념도 ····· 38
그림 19. 나노기술의 적용 ····· 39
그림 20. 콘크리트 구조물 내에서의 흐름성 ····· 39
그림 21. 리지스콘 공법의 개념도 ····· 40
그림 22. UGA 공법의 개념도 ····· 41
그림 23. 애코플래시 공법의 개념도 ····· 42
그림 24. 메탈녹스 공법의 개념도 ····· 44
그림 25. TAG 공법의 개념도 ····· 45

그림 26. CONGLASS 공법의 개념도 ····· 46
그림 27. 정수장용 내오존 도료 현장 조사 ····· 48
그림 28 내오존 도료 ATR 이미지 ····· 49
그림 29. 내오존 도료 ATR 정성 분석 ····· 49
그림 30. 열화된 내오존 도료 ATR 이미지 ····· 50
그림 31. 열화된 내오존 도료 ATR 정성 분석 ····· 50
그림 32. 적용 방수·방식 공법 ····· 50
그림 33. B 고도정수처리시설 현황 ····· 51
그림 34. B 고도정수처리시설 오존열화 ····· 52
그림 35. 오존 처리수의 GC/MS 크로마토그래프 특성 ····· 54
그림 36. 오존 분자구조 ····· 57
그림 37. 오존의 직·간접 산화반응 ····· 58
그림 38. Dipolar cyclo 추가 ····· 58
그림 39. 오존 분해 ····· 59
그림 40. 페놀과 오존의 반응 ····· 59
그림 41. 오존 시험기 ····· 66
그림 42. 오존 챔버 모식도 ····· 66
그림 43. 각 재료별 육안관찰 결과 ····· 69
그림 44. 각 재료별 FE-SEM 결과 ····· 71
그림 45. 분광색차 측정기 ····· 72
그림 46. 실제 정수처리시설의 수위변화에 의한 심각한 방수·방식재의 열화 ····· 74
그림 47. 오존처리 장비 개념도 ····· 74
그림 48. 촉진 내오존 시험 장비 ····· 76
그림 49. 설계 초기의 오존수 탱크 및 배관 배치개선전 오존수 탱크 ····· 77
그림 50. 설계 변경 후의 오존수 탱크 및 강제 오존수 순환 모터 설치 ····· 77
그림 51. 운영시간대별 수조내부의 오존수 수위변화(1Cycle) ····· 78
그림 52. 설계 초기의 장착된 활성탄 흡착 여과방식의 Filter ····· 78

그림 53. 대용량 Fiter 교체 및 내부 부식 ····· 79
그림 54. 내오존성 코팅막의 제조공정 ····· 80
그림 55. CNT와 고분자 코팅제의 가교결합 개념도 ····· 81
그림 56. FT-IR 시험장비 ····· 82
그림 57. 내오존 시험 후 FT-IR 분석결과 ····· 82
그림 58. CNT 첨가 변화에 따른 내오존 시험 ····· 83
그림 59. 내 오존 테스트 후 CNT 첨가에 따른 FT-IR분석 결과 ····· 84
그림 60. CNT 함량 변화에 따른 내오존 시험 ····· 85
그림 61. 내오존 시험 후 CNT 함량변화에 따른 FT-IR 분석결과 ····· 85
그림 62. 내오존 시험 전·후 FT-IR 분석결과 ····· 86
그림 63. XPS 시험장비 ····· 87
그림 64. CNT 함량변화에 따른 XPS 분석결과 ····· 88
그림 65. CNT 함량변화에 따른 sputter 후의 XPS 분석결과 ····· 89
그림 66. CNT함량 변에 따른 O1s XPS분석 결과 ····· 90
그림 67. 불소변성수지의 합성 메카니즘 ····· 96
그림 68. 불소수지의 분자구조 ····· 96
그림 69. 유·무기 변성실리콘·아크릴 수지의 합성 메카니즘 ····· 97
그림 70. 오존처리 전·후 표면상태 ····· 98
그림 71. 오존처리 전·후 표면상태(400배) ····· 98
그림 72. 오존처리 전·후 질량감소량 ····· 99
그림 73. 색차 시험장비 ····· 100
그림 74. 오존처리 전·후 표면상태 ····· 101
그림 75. 오존처리 전·후 표면상태(×400) ····· 102
그림 76. 오존처리 전·후 질량감소량 ····· 103
그림 77. 오존처리 전·후 색차 ····· 103
그림 78. 오존처리 전·후 표면상태 ····· 104
그림 79. 오존처리 전·후 표면상태 (×400) ····· 105

그림 80. 오존처리 전·후 질량감소량 ····· 106
그림 81. 오존처리 전·후 색차 ····· 106
그림 82. 오존처리 전·후 표면상태 ····· 107
그림 83. 오존처리 전·후 표면상태 (×400) ····· 108
그림 84. 오존처리 전·후 질량감소량 ····· 109
그림 85. 오존처리 전·후 색차 ····· 109
그림 86. 사업화를 위한 원가분석 비교 ····· 111
그림 87. 내굴곡성 시험장비 ····· 113
그림 88. 내굴곡성 시험결과 ····· 113
그림 89. 내충격성 시험장비 ····· 114
그림 90. 내충격성 시험결과 ····· 114
그림 91. 내오존성 시험결과 ····· 115
그림 92. 내화학성 용액 침지 ····· 115
그림 93. 내화학성 시험결과 ····· 116
그림 94. 내투수성 시험장비 ····· 117
그림 95. 내투수성 시험결과 ····· 117
그림 96. 내피로성 시험체 ····· 118
그림 97. 내피로성 시험장비 ····· 118
그림 98. 내피로성 시험결과 ····· 118
그림 99. 균열대응성 시험결과 ····· 119
그림 100. 부착강도 시험장비 ····· 119
그림 101. 부착강도 시험결과 ····· 120
그림 102. 음극박리 시험장비 ····· 120
그림 103. 내굴곡성 시험결과 ····· 121
그림 104. 4주 오존처리 후의 구조체 내부 방수·방식재 상태 ····· 122
그림 105. 현장 부착강도 시험장면 및 모체 파단 형상 ····· 122
그림 106. 부착강도 시험결과 ····· 123

그림 107. 부착강도 시험결과 ····· 123
그림 108. 내충격성 시험결과 ····· 124
그림 109. 내투수성 시험결과 ····· 124
그림 110. 겉모양 시험결과 ····· 125
그림 111. 부착강도 시험결과 ····· 125
그림 112. 내충격성 시험결과 ····· 126
그림 113. 내투수성 시험결과 ····· 126
그림 114. 부착식 방수·방식재 생산 과정 ····· 128
그림 115. 오존처리 전·후 표면상태 ····· 130
그림 116. 오존처리 전·후 표면상태(×400) ····· 131
그림 117. 오존처리 전·후 질량감소량 ····· 131
그림 118. 오존처리 전·후 질량감소량 ····· 132
그림 119. 오존처리 후 부착강도 ····· 132
그림 120. 오존처리 후 부착강도 ····· 133
그림 121. 부착강도 시험체 ····· 135
그림 122. 건조로 ····· 136
그림 123. 건조상태 부착강도 시험결과 ····· 138
그림 124. 수중 침지 후 부착강도 평가결과 ····· 139
그림 125. 염산침지 ····· 139
그림 126. 염산 침지 후 부착강도 평가결과 ····· 141
그림 127. 차염소산나트륨 침지 ····· 141
그림 128. 차염소산나트륨 침지 후 부착강도 평가결과 ····· 143
그림 129. 수산화나트륨 침지 ····· 143
그림 130. 수산화나트륨 침지 후 부착강도 평가결과 ····· 145
그림 131. 습윤·건조 반복 시험기 ····· 145
그림 132. 습윤·건조 반복(1 Cycle) ····· 146
그림 133. 습윤·건조 반복 후 부착강도 평가결과 ····· 147

그림 134. 오존처리 수위반복(1 Cycle) ····· 148
그림 135. 투수성능 평가 시험체 ····· 149
그림 136. 투수성능 시험장비 ····· 149
그림 137. 내피로성능 시험체 ····· 152
그림 138. 내피로성능 시험장비 ····· 152
그림 139. 내충격성능 시험체 ····· 153
그림 140. 내충격성능 시험장비 ····· 153
그림 141. 오존처리 후 질량감소량 시험결과 ····· 165
그림 142. 색차 시험결과 ····· 166
사진 143. 만능인장시험기(U.T.M) ····· 167
사진 144. 부착 시험 현황 ····· 167
그림 145. 부착강도 시험결과 ····· 168
그림 146. 투수시험 현황 ····· 169
그림 147. 시험편 오존처리 현황 ····· 169
그림 148. Mock-up 실험용 구조체 및 내부 방수·방식 ····· 171
그림 149. Mock-up 실험 전체 구성도 ····· 172
그림 150. Mock-up 시험 장면 ····· 172
그림 151. 4주 오존처리 후의 구조체 내부 방수・방식시스템의 상태 ····· 173
그림 152. 현장 부착강도 시험장면 및 모체 파단 형상 ····· 173
그림 153. 광주 효천 하수처리장 전경 및 내부 상황 ····· 174
그림 154. 방수・방식재 현장적용 장면 및 현장 개요 ····· 174
그림 155. 서울 우장산 배수지 전경 및 내부 상황 ····· 175
그림 156. 방수・방식재 현장적용 장면 및 현장 개요 ····· 175
그림 157. 서울 화곡 배수지 전경 및 내부 상황 ····· 176
그림 158. 방수・방식재 현장적용 장면 및 현장 개요 ····· 176
그림 159. 정수처리방법에 따른 국내 정수장 분류(정수량 기준) ····· 177
그림 160. 고도정수처리시설 모식도 ····· 178

그림 161. 정수장용 내오존 방수・방식재의 열화현상(예: 도막식) ····· 179
그림 162. 수위변화 부분에서의 열화 현상 ····· 182
그림 163. 촉진오존열화시험 싸이클 조건 ····· 183
그림 164. 오존 용존 농도에 따른 질량감소량 ····· 184
그림 165. 오존에 따른 질량감소량 변화(제조사별 정리) ····· 185
그림 166. 오존농도에 따른 열화분석 ····· 185
그림 167. 고장데이터의 수명분포 검증 ····· 186
그림 168. 5년 보증 신뢰성 시험 결정 ····· 186
그림 169. 질량감소량 시험용 시험체 ····· 188
그림 170. 오존접촉지 1년경과 후 상황 ····· 189
그림 171. 초음파 세척시간에 따른 질량 변화 ····· 189
그림 172. 연구성과물의 활용 방안 ····· 224

제 1장 연구개발과제의 개요

제 1절 연구개발과제의 필요성

1. 연구개발의 필요성

가. 연구개발 개요

최근 우리나라 주요 상수원인 낙동강, 금강 등 하류 지역의 수질이 3급수 이하로 악화되고, 중금속, THM, 페놀사건, 벤진 등 각종 유기물질 오염사고가 다발하면서 국내 정수장에서는 기존정수처리공정으로는 완전히 제거가 어려운 수돗물의 맛·냄새 유발물질, 미량유기오염물질, 암모니아성 질소 등을 제거하기 위하여 생물처리, 오존처리, 활성탄처리 등의 공정을 추가한 고도정수처리시설 도입이 급속히 증가하고 있다. 시대적 요구에 따른 먹는 물 수질 기준 강화, 수질 오염물질의 다양화, 염소처리 과정의 유해성 소독 부산물(DBPs) 발생 문제를 해결하는 방안으로 오존 처리 시설 이용이 급격히 증가되고 있으나 현재 고도 정수 처리 시설의 빈번한 유지 보수로 인하여 그 효율성이 떨어지고 먹는 물 생산원가가 상승되고 있으며, 먹는 물의 질적인 측면에서도 그 신뢰성 보장이 의심되는 실정이다. 또한, 고도정수처리시설은 용존 오존 및 기체상 오존 조건에 지속적으로 노출되어 있기 때문에 내구성이 검증되지 않은 방수·방식재를 시공하는 경우 유지 관리 비용 증가 및 먹는 물의 안전성 확보하기 어려운 상황이다.

현재 고도정수처리시설용 코팅 재료는 에폭시 수지 방수·방식재가 주로 사용되고 있으나, 고농도 오존 환경에서 장기 내구성 저하와 표면층 파단, 박리 현상이 발생하여 유지관리 및 위생성에 문제점을 가지고 있다. 이에 원천적으로 시설물의 안정성과 장기 내구성을 확보하기 위한 대체 소재에 대한 기술 개발이 절실히 요구된다. 정수처리에 있어 효과가 입증되어 점차 증가할 것으로 예상되는 고도정수처리 시설의 안정적인 운영과 국민의 먹는 물 신뢰성 향상을 위해서는 반드시 고농도 오존에서의 저항력이 있는 방수·방식의 시공기술 및 시스템 개발은 필수적이다.

이에 본 연구개발과제에서는 장기적 오존 및 수분환경에 대한 내부식성 및 자연유기물질, 생물 부착 방지 성능이 부여된 고내구성 방수·방식 시스템 개발과 시험표준개발, 평가기반 구축, 시공지침 개발을 통해 고도정수처리 시설물의 방수·방식 시공기술 확립 및 유지 보수 효율성과 먹는 물에 대한 질적 향상을 도모하고자 한다.



그림 1. 연구개발의 개요

나. 연구개발의 중요성

(1) 기술적 측면

(가) 국내 내오존 방수·방식재의 연구개발의 부재

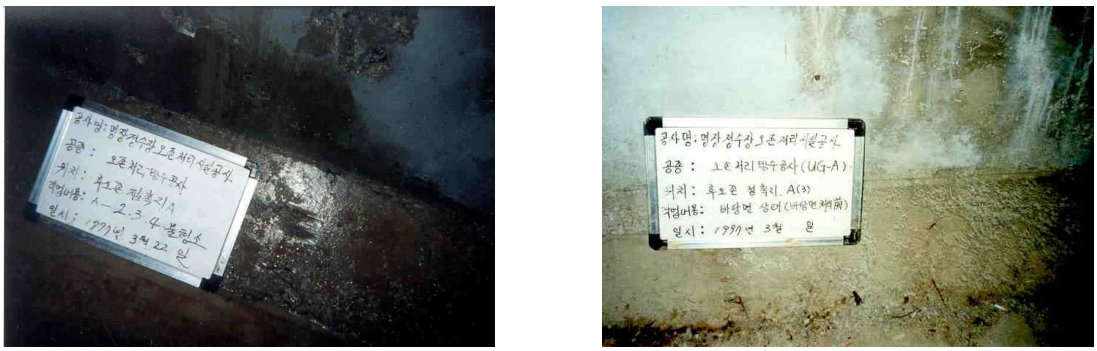
① 최근 고도산화처리시설의 확대 정책에 대한 제조업체의 인식 부족
② 기존의 부적절한 제품의 개선을 통한 신소재 개발 및 도입의 미흡
③ 고도산화처리시설의 환경설정을 배제한 재료의 성능 중심 설계
④ 대기업 등의 관련 제조업체에서 연구개발 중이나 뚜렷한 성과가 없음

(나) 기존 내오존 방수·방식재의 기술적 문제점

① 에폭시 수지 도료와 모체 침투성 방수재는 내화학성 및 높은 알칼리도에 취약
② 에폭시 방식재 : 바탕 조정재 미사용으로 핀홀, 기포 등 하자 발생
③ 습윤 환경 및 밀폐된 공간에서 방수·방식재의 급속한 열화 진행
④ 고순도 오존의 영향으로 기존 공법은 1년 정도의 내구년수 보유



그림 2. 고도정수처리시설용 오존처리 시설



(a) 후오존 접촉지 방수·방식재 용해에 의한 콘크리트 모체 노출(명장정수장)



(b) 콘크리트가 기둥 열화에 의한 골재노출 및 밸브 부식(석성배수지)



(c) 정수장 수조 내부의 방수 · 방식재 탈색(매곡정수장)

그림 3. 방수·방식재 열화현상

해외 일부 업체에서는 오존 저항성을 증가 시킨 제품을 양산하여 판매하고 있으나 국내 시공 환경에 대한 근본적인 접근이 이루어지지 않고 있어, 시설물의 빈번한 유지 보수로 인해 효율성이 저하되고 있어 처리수의 질적인 측면에서도 그 신뢰성 보장이 의심되는 실정으로 이에 대한 기술적 검토가 필요하다.

(다) 기존기술의 문제점

① 규산질계 분발형 도포방식

내식/내약품성이 약하여 UV나 활성탄 처리 시 방수재의 녹아내림과 박리현상이 심하고 모체와 약한 계면접착으로 이루어져있어 수압에 의해서도 쉽게 박리된다.

② 무기질 복합방수

주로 수성 에폭시 혹은 아크릴 에멀젼 폴리머 혼합에 의한 수경성 시멘트 모르타르로 지하구조물과 같은 습윤면에의 시공성이 우수하나 규산질계와 마찬가지로 내화학성, 방식성이 약하며, 사슬구조에 의한 경화로 지속적인 외부수압에 의해 방식층의 탈락이 우려된다.

③ 에폭시계방수

모체와의 접착력이 우수하며 내식/내약품성은 가장 우수한 편이나, 오존과 같은 강산화물에는 다른 재료들과 마찬가지로 도막의 박리 침식, 균열 등이 짧은 시간내에 발생한다. 또한 용제계를 사용할 경우 습윤면 에서의 모체와의 부착불량이나, 환경오염, 작업환경이 불량하고 내후성이 좋지 않아 외부 폭로된 곳에서의 사용이 제한적이다.

이와 같이 이들 재료들은 일반적으로 방수·방식 성능 및 콘크리트 부착강도 등의 물성이 우수한 방수·방식재이기는 하나 열악한 환경인 고도정수처리시설에 대한 적용성이 취약하고 특히, 내오존성에 대한 충분한 검증이 이루어지지 않은 상황에서 사용되고 있는 실정이다. 일부 부분적으로 내오존성 시험이 이루어지고는 있으나 규격화 및 기준이 설정되어 있지 않아, 정확한 평가에 기반을 둔 재료 성능 설계가 이루어지고 있지 않다.

따라서 이와 같은 기존의 방수·방식재의 한계를 극복하면서 우수한 내오존, 내식, 내충격성, 높은 부착강도와 같은 다양한 특성을 가지는 시스템을 개발하여, 전반적인 품질향상과 고도정수처리 환경에 부합하도록 하며, 환경친화적인 소재를 사용함으로써 깨끗한 음용수확보 및 정수처리에 대한 신뢰성을 증대 시킬 수 있는 내오존 방수·방식 시스템의 개발이 절실히 필요하다. 현재까지의 오존에 의한 내부방수·방식재의 피해 사례는 다음과 같다

① 오존에 의한 방수·방식재료의 탈색, 용해, 파단, 박리, 탈락 등의 현상이 발생하며, 그중 탈색과 용해현상이 두드러지게 발생하다.

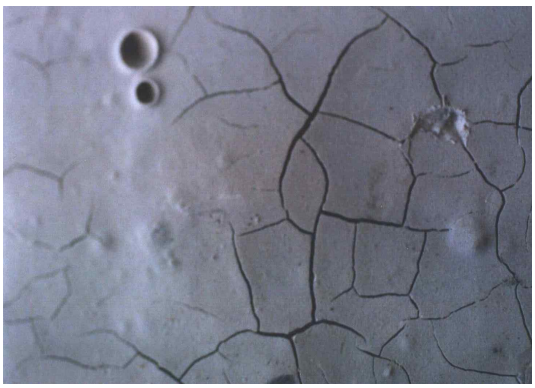
② 콘크리트까지 오존이 침투하게 될 경우 콘크리트구성 성분중의 Ca와 Mg등이 산화환원반응에 의하여 중성화 현상처럼 표면의 시멘트 성분이 녹아 규사(모래)성분만 노출된다.

③ 내오존 성능이 있는 방수·방식재라 하더라도 표면의 균열 또는 공극등으로 인하여 도막층 배면으로 오존수가 침입 될 경우 도막층의 들뜸현상으로 인하여 파단이 발생한다.

④ 오존에 의한 방수·방식재가 열화될 경우 질량의 변화가 발생되며, SEM 촬영을 통하여 표면의 열화정도를 확인 가능하다.

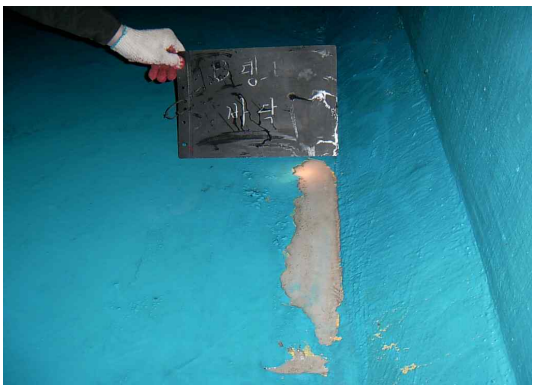
⑤ 염소 처리 후 투입된 오존의 농도에 따른 피해 정도가 다르다.





(a) 방수·방식재 균열 및 변색, 워터포켓, 상부도막층 들뜸

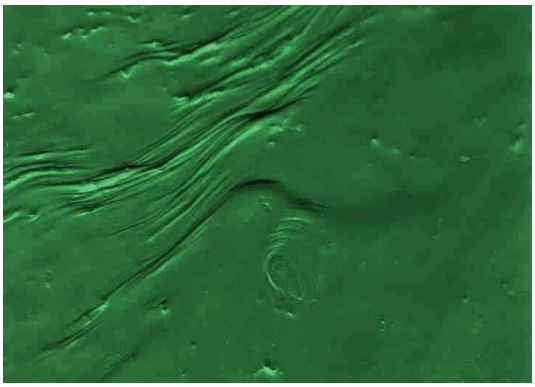




(b) 저수탱크 내부 벽면의 방수·방식층 용해 및 단락



(c) 용해에 의한 들뜸 및 박락



(d) 방수·방식재의 용해로 인한 흐름

그림 4. 방수·방식재의 현장 하자사례

(2) 경제산업적 측면

본 개발 기술은 방수·방식재의 수명을 최소 3년 이상으로 유지하는 것을 목표로 하며, 이는 기존 시스템에 비해 최소 2배 이상 성능이 향상된다. 이를 통해 유지보수비의 50 % 이상 절감하는 것을 목표로 하고 있으며, 정수장시설의 수명연장과 보수기간의 단축을 통해 시설물의 가동 유지 시간의 효율을 20 % 향상 시키는 것이 목표이다.

본 기술이 상용화 되어 전국의 정수장에 적용 될 경우 절감 효과만 연간 수백억원에 달할 것으로 기대되며, 시설물 수명의 연장과 보수 기간의 단축을 통해 생산 효율을 향상시킴에 따른 효과도 얻을 수 있어 경제성 보다 증가할 것으로 분석된다. 아래 표와 같이 전국의 정수장 시설용량은 지방상수도 22 050 천㎥/일 및 광역상수도 8 521 천㎥/일 등 전체 30 571천㎥/일에 이르고 있다.

표 1. 전국 정수처리 방식별 시설용량(천 ㎥/일)

구분	소독방식	완속여과 방식	급속여과 방식	막여과 방식	고도처리 방식	기타 방식	계
총계	443	659	22 246	11	5 197	2 015	30 571
비율(%)	1.4	2.2	72.8	0.03	17.0	6.6	100
지방상수도	443	659	15 523	7	4 909	509	22 050
광역상수도	-	-	6 723	4	288	1 506	8 521

출처 : 2008 상수도 통계, 환경부, 2009

고도정수시설의 도입 비용은 2004년 환경부 보고서에 의하면 73 520 원/㎥가 되는 것으로 조사되었다.

표 2. 고도정수시설의 도입비용

정수장	시설용량 (천㎥/일)	완공일자	설비비용 (백만원)	단위비용 (원/㎥)
화명	600	1994년 8월	16 300	27 166
두류	310	1997년 4월	26 540	85 612
매곡	800	1998년 7월	66 273	82 841
칠서	400	1998년 1월	33 520	83 800
석동	70	1999년 3월	10 567	150 957
동두천	60	1999년 4월	6 701	111 683
옥룡	28	1999년 6월	8 283	295 821
군산 제2	38	1999년 11월	6 044	159 052
명장	277	1999년 12월	22 166	80 021
회야	270	1999년 12월	22 800	84 444
범어	38	1999년 12월	6 500	173 333
원주 제2	85	2000년 3월	10 612	124 847
덕산	1 055	2001년 4월	53 700	50 900
삼계	165	2001년 4월	18 449	111 812
합계	4,196		308 455	73 520

출처 : 고도정수처리 정책방향에 관한 연구, 환경부, 2004

이를 바탕으로 전체 고도정수처리시설을 도입할 경우 예상되는 경제적 파급 효과를 산출하였다.

표 3. 고도정수처리시설의 경제적 파급 효과

전국상수도 시설용량 (천 m^3/일)	고도정수처리시설 비용		예상 내오존 방식 비용* (백만원)	유지보수비	
	단가 (원/m^3)	비용 (백만원)		단가 (원/m^3)	비용 (백만원/년)
30 571	73 520	2 247 592	67 428	2.6	29 012

*전체 공사비의 3%

한편, 현재의 국내 기술에 의해 시공된 고도정수처리시설의 경우 방수·방식제의 잦은 결함으로 인해 잦은 보수와 그에 따른 정수 효율 감소로 인한 생산 원가 상승이 문제점으로 지적

되고 있다. 2002년 부산시 상수도 총괄원가와 고도정수처리 원가 비교 분석에 의하면 부산의 3개 정수장의 경우 고도정수처리시설의 수선유지비로 연간 약 18억원 정도 사용된다. 일단위로 계산하면 4 931 507 원/일이 되며, 이들 3개 정수장의 시설용량의 합이 1 932천 ㎥/일의 규모에 이르므로 단위당 수선유지비는 2.6 원/㎥이다.

산출 근거로 역시 같은 방법으로 전체 고도정수처리시설이 도입되었을 경우를 가정하여 그 비용을 추정하면 전체적으로 년간 약 290 억원의 유지보수비용이 소요될 것으로 예상된다. 본 개발기술이 성공적으로 개발되어 수선 유지비용을 50 % 이상 절감할 경우 최소 연간 145억원의 원가절감의 효과가 예상된다. 특히, 본 기술이 도입되면 방수·방식제의 교체주기가 길어지고, 이에 따라 불필요한 보수시간이 없어지면 가동시간이 증가하는 등 시설운영 효율 20 % 이상의 향상을 기대할 수 있다.

(3) 사회문화적 측면

고도정수처리공정의 경우 앞에서 언급한 바와 같이 방수·부식과 탈락, 용출 등의 문제가 지속될 경우 이를 해결하기 위한 비용의 증가 뿐 아니라 먹는물 환경의 개선이 어려워지고 먹는물에 대한 불신이 증가하게 된다. 소규모 단위의 고도정수처리는 수질환경기준 달성, 부영양화방지, 수도수원 대책을 주목적으로 이루어지고 있으며, 생활용수의 수질기준이 더욱 강화되어 고도정수처리 요구가 더 증가되고 있다.

이와 같은 배경아래 염소소독의 THM 등 유해 부산 생성물이 생성되지 않고 소독과 동시에 탈색, 탈취, COD분해 등 수질에 따라 복합처리가 가능한 오존(O3)에 의한 고도처리 수요가 높아지고 있다. 우리나라 대부분의 정수처리장은 과거에 도입된 정수처리 기본공정인 응집침전→여과→소독 공정으로 이루어져 있다. 상수원수로서 이용되고 있는 국내의 많은 호수와 하천 등의 오염이 심화되어가고 있고 수질오염을 야기시키는 물질들도 복잡하고 다양해져 정수처리 기본공정으로는 깨끗하고 안전한 음용수를 생산하는데 충분치 않다.

(가) 국내 내오존 방수·방식재에 대한 성능기준 부재

현재 국내 고도산화처리 정수장의 오존접촉지 내부 노후시설 개량을 위한 방수·방식 공법에 대한 내오존 성능 시험기준이 없고, “유・무기질 탄성도막 복합방수·방식공법”등의 장기 내오존 성능이 검증되지 않는 공법으로 설계되고 있다. 내오존 도료 생산업체에서는 내오존 성능이 있다고 주장하고 있지만, 이를 입증하는 방법이 각 제조사마다 상이하여 성능 판단이 어렵다. 현 설계 공법이 오존 접촉 상태에서 성능을 유지할 수 있는 적합한 제품인지 여부에 대해 검증할 수 있는 성능기준 마련 필요하다.

(나) 내오존 방수·방식재 생산업체간 불평 요소 상존

국내에서 자사제품에 내오존 성능이 있다고 주장하는 제품은 5개 정도이나, 이를 객관적으

로 입증할 수 있는 시험성적이나, 품질 인증체제는 정착되어 있지 않다. 시공사에서도 내오존 성능기준이 없는 상태이므로 제조업체의 영업자료를 기초로 한 공법이 선정되어 시공하고 있는 상황이다. 자사 제품이 채택되었으나 성능 검토결과 타 공법으로 교체를 검토하는 경우 또는 자사 제품이 채택되지 않은 경우 업체간 상호 비방 등 사회적 문제요소 상존한다.

제 2절 연구의 내용 및 범위

1. 내오존 방수·방식재 개발

가. 고분자 사슬의 net-work 구조설계를 통한 유연성 향상 기술 개발
나. 잠재적 다관능기를 이용한 고부착성 확보 기술 개발
다. 오존 주입률 변화 조건에 대한 방수·방식재의 내구성 확보 기술 개발
라. 음용수 용출성 평가에 대한 적합성 확보

2. 내오존 방수・방식재의 성능 평가방법 개발

가. 고도처리정수시설의 다양한 환경적 열화조건 도출
나. 내오존성을 강조한 시험조건의 구체화된 정량 조건 도출
다. 고농도 오존조건에 대한 방수·방식재의 정량적 내구성평가방법 개발
라. 콘크리트 구조물에 대한 일체화 성능평가 방법개발
마. 고도정수처리시설에 적용 가능한 KS 성능 평가방법 제안
바. 정수장 환경조건에 응용 가능한 Mock-up 및 실내촉진 설비 구축

3. 고도정수처리시설의 내오존 방수·방식 시스템 개발

가. 시공 단계별 시공방법 선정 및 개발
나. 현장 적용성 검토 및 분석
다. 품질관리 및 시공 매뉴얼 작성

제 2장 국내·외 관련 기술 및 산업 동향

제 1절 국내 기술 및 산업 동향

최근 경북 김천의 유화공장 페놀유출사고로 인한 낙동강 수질오염이 사회적 문제로 대두되면서, 이에 따라 기존의 정수처리공정으로는 처리가 어려운 오염물질을 추가 정수하여 국내 정수처리수준 향상 및 국민이 안심하고 마실 수 있는 수돗물을 공급할 수 있는 고도정수처리시설에 대한 관심이 증대되고 있다. 국내에서는 1994. 1. 15 국무총리실 주관하에 관계부처 합동으로 수립한 「수질관리 개선대책」에 따라 원수 수질이 나쁜 전국 주요 정수장을 중심으로 고도정수처리시설 도입 설치하고 있다.

① 사업기간 : 1994년~2008년
② 총사업비 : 국고 2 280억원(2004까지 2 139억원)
③ 사업규모 : 전국 20개 정수장(한강 3, 낙동강 15, 금강 2)에 고도정수처리시설 설치 ('02년까지 17개소 완료)
④ 사업시행주체 : 지방자치단체 및 한국수자원공사

우리나라의 주요 상수원인 낙동강, 금강 등의 수질이 나빠지면서 강 하류 지역의 수질이 3급수 이하로 되어 일반적인 정수방법으로는 오염물질의 제거가 어렵고, 1989년 이후 중금속, THM, 페놀사건, 벤젠 등 각종 수돗물 유기물질 오염사고가 다발하면서 낙동강을 원수로 하는 정수장에서 우선적으로 고도정수시설이 도입된다. 현재 고도정수처리시설은 인천시 부평정수장에 입상활성탄 시설을 프랑스로부터 도입하여 수행한 실적을 시작으로, 수질오염이 심화되고 있는 낙동강 수계의 원수를 사용하는 부산 화명정수장, 덕산정수장 및 대구 매곡정수장, 두류정수장 등에 오존시설과 활성탄시설이 보급되어 있다. 2008년도 국내 정수장 전체 시설용량은 30 571천 ㎥/일이며, 이 중 고도처리시설을 갖춘 정수장의 시설용량은 5 197천 ㎥/일로 약 6.6 %를 차지하고 있다. 특히 지방 정수장으로부터 시작하여 수도권 전역으로 시설적용이 확대되어, 현재 국고 2 280억원을 투입하여 전국 20여개 고도정수 처리 시설이 설치되었으나, 시설물의 내구성 부족으로 유지관리 비용이 증가하고 있는 실정이다.

특히, 수질 오염 심화와 오염물질의 다양화 추세와 먹는 물 수질 기준 강화, 염소처리 과정에서 유해성 소독 부산물(DBPs) 발생 문제 해결 등 복합적인 수질 오염에 대응하는 방안으로 강력한 산화력이 있어 응집효율 증대 및 난분해성 유기물의 분해가 가능하고 살균, 탈색 및 탈취 등에 매우 효과적인 오존 처리 공정의 이용이 급격히 늘고 있다.

2008년 상수도 통계(환경부)에 따르면 총 506개 정수장 중 27개 정수장이 고도정수처리시설을 도입하였으며, 세부적으로 살펴보면 총 471개 지자체 정수장 중 고도정수처리시설이 도입된 정수장은 22개(약 5 %)이며, 한국수자원공사의 광역정수장은 총 35개 중 5개(약 15 %) 정수장이 고도정수처리시설을 설치하여 운영 중에 있으며, 2018년까지 9개 정수장에 추가로 고

도정수처리시설을 도입할 계획이다. 오존처리는 취수지역의 수질 오염 정도에 따라 오존 농도 및 시간이 결정되어지며, 국내에서는 낙동강 유역이 가장 높은 오존농도로 처리 되고 있다. 이와 같이 수질오염이 심각해짐에 따라 이를 처리하기 위한 오존 처리 장치의 기술 개발은 활발히 이루어지고 있으나, 고농도 오존 및 장기적 수분 환경에 노출되어 있는 고도 정수처리 시설의 방수 및 콘크리트 구조물의 내구성 증진을 위한 방수·방식재의 내구성에 대한 기술적인 검토는 아직까지 이루어지지 않고 있다. 지금까지 “정수처리 시설 콘크리트 구조물의 방수·방식재료 성능 및 시공성 평가”에 대한 연구가 한국수자원공사 주관으로 하여 2005년 실행되었으나, 이는 콘크리트 구조물의 방수에 관련된 내용으로 표면 마감재의 장기오존환경에 대한 내구성 검증에 관련된 내용은 포함되지 않는다.

표 4. 국내 방수·방식재 품질기준

구분		관련규격	서울시 상수도사업본부	한국수자원공사
콘크리트 표면도포용 흡수 방지재	종류	KS F 4930	무기계/고분자계	유기계/무기계
	부착력(MPa)	-	-	-
	두께(mm)	2.0(침투깊이)	1.9 ㎏/㎡(사용량)	0.6 ㎏/㎡(사용량)
규산질계 분말형 흡수 방지재	종류	KS F 4918	무기계/유·무기 혼합형	무기계/유·무기 혼합형
	부착력(MPa)	1.0(무기계) 0.8(유·무기 혼합형)	1.0(바닥), 0.8(벽, 천정)	1.5
	두께(mm)	-	1.5 ㎏/㎡(사용량)	2.0
에폭시 수지	종류	KS F 4921	무용제/수용성	무용제/수용성
	부착력(MPa)	1.5	2.0(바닥), 1.5(벽, 천정)	1.5
	두께(mm)	바탕조정 : 0.5~1.0 방수/방식 : 0.3~0.6	바탕조정 :1.0 방수/방식 : 0.5	바탕조정 : 1.0 방수/방식: 0.5
세라믹 메탈	종류	KS F 4929	-	무용제/수용성
	부착력(MPa)	2.5	2.0	-
	두께(mm)	-	·프라이머 : 0.04 ·방수/방식 : 0.12	바탕조정 : 1.0 방수/방식 : 0.4
폴리우레아 수지	종류	KS F 4922	-	주제+경화제
	부착력(MPa)	1.5	-	-
	두께(mm)	2.0	-	바탕조정 : 1.0 방수/방식 : 2.0

표 5. 국내 방수·방식재 KS규격의 시험항목 및 기준

시험 항목			품질 기준	
			KS F 4929	KS F 4921
겉모양			주름, 처짐, 균열, 패임(핀홀), 경화 불량, 뭉침 등이 없을 것	
물성	부착성능		표준/흡수 : 2.50 MPa 이상	표준 : 1.50 MPa 이상 흡수 : 1.20 MPa 이상
	내굽힘 성능		균열·박리가 없을 것	-
	내충격 성능		균열·박리가 없을 것	
	내투수 성능		투수되지 않을 것	
	염화이온 침투저항 성능		3 mm 이하	-
	내습 성능		녹, 부풂 및 박리가 없을 것	-
	저온·고온 반복 저항 성능		균열·박리가 없을 것	
	인장성능	무처리	인장강도 : 16 MPa 이상 신장률 : 9 % 이상	-
		알카리	인장강도비 : 85 % 이상 신장률비 : 85 % 이상	-
		산처리	인장강도비 : 85 % 이상 신장률비 : 70 % 이상	-
용출성	맛		이상이 없을 것	
	냄새		이상이 없을 것	
	색도		0.5도 이하	1도 이하
	탁도		0.2 NTU 이하	0.5도 이하
	수은		0.000 1 mg/L 이하	-
	잔류 염소 감량		0.7mg/L 이하	
	과망간산칼륨 소비량		1.0 mg/L 이하	2.0 mg/L 이하
	시안		0.001 mg/L 이하	검출되지 않을 것
	페놀		0.000 5 mg/L 이하	0.005 mg/L 이하
	아민류		0.01 mg/L 이하	검출되지 않을 것
	2,4-톨루엔디아민		0.002 mg/L 이하	-
	2,6-톨루엔디아민		0.001 mg/L 이하	-
	톨루엔디이소시아네이트		검출되지 않을 것	
	VOCs		각 기준치에 따름	

※ KS F 4929 세라믹 메탈 함유 수지계 방수·방식재
KS F 4921 콘크리트용 에폭시 수지계 방수·방식재

현재 내오존 방수방식재의 국내적용사례는 세라믹계, 세라믹메탈계, 에폭시계, 폴리우레아, 유무기질 탄성복합공법이 정수장 및 하수처리장에 시공되었으나, 내오존 성능에 대한 명확한 시험방법에 대한 기준이 부재하여 오존접촉상태에서 성능을 유지할 수 있는 적합한 제품인지 검증할 수 있는 성능기준 마련이 필요한 상황이다.

표 6. 국내 적용 내오존 방수·방식재 종류

제품명	업체명	공법개요
UGA 공법	(주)스페이스	· 유무기질 탄성복합공법 · Con'c 표면에만 적용가능 · 아크릴수지, 활성실리카 및 특수시멘트 복합층을 적층 · 도막두께 : 2.2 mm
AQ-1000 (APEX SYSTEM Ⅱ)	(주)삼원케미컬	· 에폭시 수지계 방수·방식 · Con'c 표면에만 적용가능 · 내약품성, 내화학성 우수 · 도막두께 : 1.8 mm
RECOH-SEAL	세기하이테크 건설(주)	· 세라믹 계열 도료 · Con'c 및 철재 적용가능 · 염해/중성화 방지, 내마모성 우수 · 도막두께 : 0.21 mm
OZ-STOP	(주)대진 S&C	· 세라믹 계열 도료 · Con'c 및 철재 적용가능 · 부착강도, 내마모성, 내약품성, 내자외선 등 우수 · 용제계로서 인화성 있음 · 도막두께 : 1.5 mm
CORUSEAL SYSTEM	(주)삼주 S.M.C	· 금속혼합물(AL2O3, Mn, Zn, Ti, Li)의 피막접착공법 · Con'c 및 철재 적용가능 · 강한접착력, 염해·중성화 방지 · 도막두께 : 0.12mm
CR1 (WATER SHILD)	(주)HLSECO	· 유무기 복합 바인더와 중공형 비드, 지르코늄비드로 이루어진 도료 · Con'c 및 철재 적용가능 · 내염해, 내중성화 성능 우수 · 도막두께 : 0.2 mm

또한, 2008년 한강 하류권 급수체계구축 생활용수정수장의 “내오존 방수·방식 검토 보고서”에서는 콘크리트 구조물에 적용된 내오존 방수·방식재의 내오존성, 내약품성, 내충격성에 대한 평가를 실시하였음. 그러나 콘크리트 내구성 평가에 있어 가장 중요한 구조체와의 일체화

거동, 균열 대응성, 장기적 수분환경 및 용존상태의 고농도 오존환경에 대한 정량적인 실험 데이터가 부족하여 내오존 방수·방식재의 정확한 평가가 필요하다.

고도 정수 처리 시설의 오존 처리 공정에 대한 국내외 연구 활동은 최적의 오존 처리 조건 설계, 오존처리에 의한 부산물의 제어, 오존처리 공정의 경제성 검토 등 다양한 분야에서 매우 활발히 이루어짐. 다음은 오존 접촉조에 사용되어지는 콘크리트 구조물용 내오존 방수·방식재에 대한 문헌 동향이다.

표 7. 국내 내오존 방수·방식재 관련 연구동향

구분	연구명	발행처	년도
학술 논문	오존 정수처리 음용수조 구조물에 사용하는 에폭시 수지 방수·방식재의 표면 특성 평가	한국콘크리트학회	2003
	시멘트 혼입 폴리머와 에폭시수지를 복합한 수처리 콘크리트구조물용 방수·방식재료의 성능평가에 관한 연구	한국콘크리트학회	2005
	서울시 정수장 고도 정수처리 시설 도입 필요성 검토	Journal of Korea Technological Socity of Water and Waste water Treatment	2003
	먹는물 맛 냄시 물질 제거를 위한 최적 오존 주입량 산정	대한상수도학회	2003
	정수처리에DOF(Dissolved Ozone Flotation) 시스템의 적용을 위한 최적 오존주입농도 산정	대한환경공학회	2007
	국내 정수장 고도정수처리시설 방수·방식 현황 조사	한국콘크리트학회	2011
	고도정수처리 구조물 내부방식재의 오존열화 성향	대한건축학회	2011
보고서	정수처리 시설 콘크리트 구조물의 방수·방식재료 성능 및 시공성 평가	한국수자원공사	2005
	고도정수처리시설 도입방안	환경부	2007
학위 논문	페놀 변성 폴리아민계 내오존도료를 이용한 고도정수처리장의 방수·방식 공법에 관한 연구	서울시립대학교	2003
	오존접촉시설 방수방식 기준 수립을 위한 내오존 도료 성능인증에 관한 연구	서울시립대학교	2010

제 2절 국외 기술 및 산업 동향

미국, 일본 및 유럽의 경우 맛, 냄새, 암모니아성 질소, 페놀류 THMs 생성, 조류번식 및 미량 유기물질 등에 의한 원수수질 악화로 오존, 활성탄, 생물활성탄 및 생물처리 등을 기존 정수처리공정에 단독으로 부가하거나 조합된 형태로 구성하여 운영하고 있다. 오존공정을 도입한 수처리는 1906년 프랑스 NICE 정수장에 처음 설치한 이래 유럽지역을 중심으로 운영되었

으며, 현재 약 1 100개소 정수장에 설치되어 살균소독, 병원균의 완전처리, 냄새의 제거와 물맛의 개선, 유기물의 제거 등에 계속 사용되어 시설물 설치가 증가하고 있으며 1990년대 이후 급속한 증가추세를 보이고 있다.

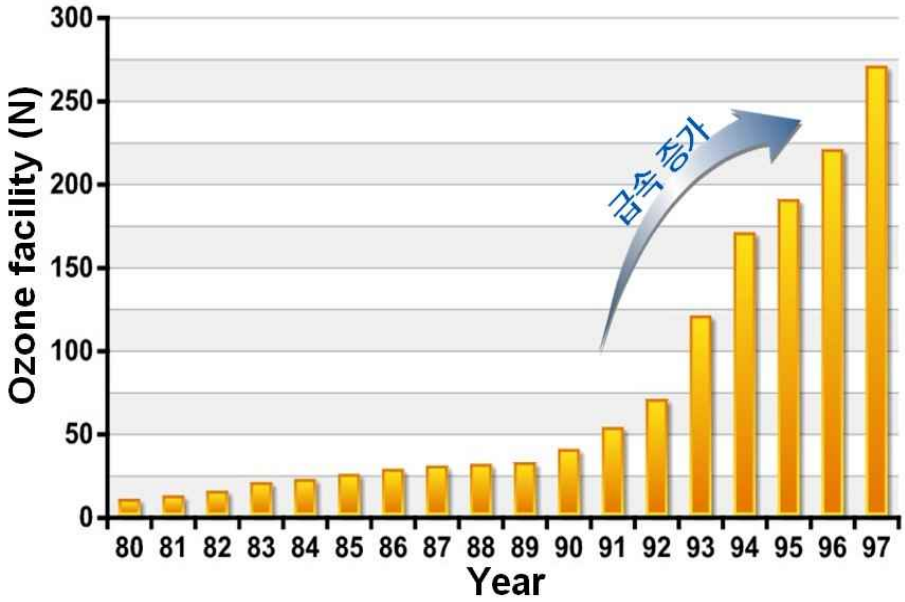


그림 5. Increase of ozone facility in USA

1. 미 국

미국에서는 오존의 응용기술에 대해 20세기 초부터 활발히 연구활동을 하기 시작하여 1980년 중반 이후 환경규제법에 의하여 오존사용이 가속화 되었다. 미국은 상수도 구조물에 적용되는 방수·방식에 대한 명확한 규격은 없으나, 미국의 수도협회 규격을 살펴보면 파이프의 경우에는 에폭시 재료를 사용하여 파이프를 코팅하는 경우에 적용하는 규격(AWWA C 210, 213)이 있으나, 콘크리트 물탱크의 경우에는 어떤 재료를 사용하여 코팅하라는 규격이 없고, 다만 물탱크에서 요구되는 성능만을 규정한 규격(AWWA D 110의 2.8항, 2.12항, AWWA D 115 2.11항)이 있다. 이러한 규격은 콘크리트 물탱크의 물과 오존에 접촉되는 코팅재의 성능은 유기계(국내의 예로 보면 에폭시, 우레아, 세라믹, 아크릴계 등이라 할 수 있음)의 기본 재료에 변형이 없어야 하며, 무독성의 소재를 사용하게 되어 있음. 이들의 일반적인 사항은 ACI 515.1R(A Guide to the Use of Waterproofing, Damproofing, Pretective, and Decorative Barrier Systems for Concrete)에 정립되어 있다. 1900년대 초기의 오존 시설은 다양한 형태로 연구되고 시행되었으나 공정효율과 이해부족 등으로 인해 사장된 경우가 많았으며, 40년대 이후 다시 본격적으로 검토되기 시작하여 1986년 안전한 먹는물에 관한 SDWAA(Safe drinking Water Act Amendment)라는 입법안이 통과되었고, EPA에서는 새로운 미생물에 대한 규제를 마련하고 강력한 소독제로서 오존을 이용하여 다른 소독제(Chlorine,Chlorine

Dioxide 및 Monochloramine)의 사용량을 줄이고 THMs 형성의 감소를 유도하기 시작한다.

현재 오존을 적용하는 플랜트에서는 보다 효과적인 먹는물 소독처리를 위해 복합적인 AOP 공정 (오존 + UV Irradiation, 오존 + Hydrogen Peroxide)을 적용하여 기존의 염소계열 소독제가 가지고 있는 THMs문제를 해결하고 있고, 효율향상을 얻었다. 상수원의 60~70%가 지하수를 사용하고 있으나, 최근에 지하수의 오염으로 유해물질이 수돗물에 검출되면서 캘리포니아주, 오하이오주 등에서 오존 또는 활성탄처리시설이 도입되고 있다. 특히, 염소가스로는 살균되지 않는 크립토스포리디움 등 병원균이 상수원수에 유입됨에 따라 오존처리시설을 강화하고 있다.

환경보호청 주도로 최적처리기술(BAT)을 선정하는 등 원수의 수질 변화에 대응하는 고도정수처리기술의 연구 개발이 적극적으로 시행되고 있다. 미국에서는 Whiting(인디아나주) 정수장이 가장 먼저 도입되었으며, 1990년대에 들어서면서 40여 곳의 오존공정이 수처리에 이용되고 있으며, 환경보호청 주도로 최적처리기술(BAT)을 선정하는 등 원수의 수질 변화에 대응하는 고도정수처리기술의 연구 개발이 적극적으로 시행되고 있다.

표 8. 미국 고도정수처리시설 개요

정수장명	특징
벨르그레이드 정수장	· 원수 : 오케초비 호수 · 처리용량 : 26 500 ㎥/일 · 전오존처리 : 3mg/L, 중오존처리 : 3 mg/L · 치리 후 총 THM 농도 : 0.025 mg/L 감소
몬로 정수장	· 원수 : 이리호, 처리용량 : 68 500 ㎥/일 · 오존 주입량 : 0.5~15 mg/L, 오존접촉시간 : 10분
Los Angles의 Aqueduct Filteration Plant	· 원수구성 : Los Angles의 Aqueduct System 75 %, Local Ground Water Wells 15 %, Metropolitan Water District 10 % · 시설용량 : 2 271 000 ㎥/일 · 오존 접촉조 최대 주입률 : 1.5 mg/L

표 9. 미국 ACI 515.1R규격의 정수장 방수·방식 요구성능

요구되는 오존환경의 정도	두께 (mm)	재료	적용되는 곳
약한 곳	1 이하	폴리우레탄, 아크릴, 에폭시, MMA, 타르 에폭시 등	· 내염수성능이 요구되는 곳 · 동결융해에 대한 저항이 요구되는 곳 · 깨끗한 물을 공급하고자 하는 곳 · 오염방지를 위한 곳 · 약산성 등의 내화학성능이 요구되는 곳
중 간	3~9	에폭시 수지 모르타르, 리에스터르 수지 모르타르, 폴리우레탄 수지 모르타르	· 버터제조장 · 식품공장 · 내마모성능이 요구되는 곳 · 약산성 등의 내화학성능이 요구되는 곳
심한 곳	0.5~6	유리섬유강화 에폭시, 유리섬유강화 폴리에스테르 PVC sheet, 네오플렌 sheet	· 유기산, 염수, 강알칼리 등의 용액에 계속적으로 접촉되는 곳
매우 심한 곳	0.5~6.75	에폭시 시스템	· 유기산, 염수, 강알칼리 등의 용액에 계속적으로 접촉되는 곳 · 산과 용매 등에 복합적으로 접촉되는 곳
	6 이상	아스팔트 막, 유리섬유강화 푸란 막	

2. 유럽

프랑스, 독일 등 유럽에서는 맛, 냄새 문제를 해결하기 위해 100여 년 전부터 오존처리를 실시하여 왔으며, 최근에는 입상 활성탄처리 시설이 도입되었고, 또한 활성탄의 수명을 연장시키기 위하여 생물활성탄처리시설(BAC)의 도입이 증가되고 있다.

3. 독 일

대부분의 정수장들이 하천 복류수를 주 원수로 사용하고 있으며, 토양여과작용에 의해 대부분의 오염물질이 제거되기 때문에 0.3~0.5 mg/L 염소주입량만으로 살균이 가능했으나, 원수 오염이 시작되어 암모니아서 질소, 유기물 부하율이 높아지면서 1960년대부터 오존과 활성탄 정수처리가 도입된다. 뒤셀도르프 암스타드 정수장은 공장지대로부터 폐수방류로 라인강 오염으로 인해 오존을 1.5 mg/L로 증가하여 처리 하고 있으며, 도네 정수장은 영양염류의 증가로 인해 적조현상이 발생하여 오존처리 공정을 도입하였다.

표 10. 독일 고도정수처리시설 개요

정수장명	특징
뒤셀도르프 암스타드 정수장	· 원수 : Rhine 강 · 처리용량 : AM stad 144 000 ㎥/일, Holthaunsen 158 400 ㎥/일, Flehe 86 400 ㎥/일 · 오존 주입량 : 1.5 mg/L · 오존접촉시간 : 5~7분
도네정수장	· 운전조건변화 - 전처리 : 10~50 mg/L 염수투입→1 mg/L 오존투입 - 중오존투입 : 2 mg/L

4. 프랑스

프랑스에서는 1990년까지 700개가 넘는 정수장에 오존시설이 설치되어 운영되고 있으며, 파리시에는 12개의 정수장이 있으며 총 처리수량은 3 000 000 ㎥/일이며, 오존용량은 500 kgO_3/hr가 넘는다. Neuilly-sur-Marne 정수장은 발생용량이 30 kgO_3/hr인 Generator를 사용하여 140 kgO_3/hr를 수처리에 이용하고 있다.

표 11. 프랑스 고도정수처리시설 개요

정수장명	특징
Mery-Sur-Oise 정수장	· 처리용량 : 270 000 ㎥/일 · 용존유기물 제거율 : 65 %에서 80 %로 증가 · Chloroform : 27~90 ㎍/L에서 5~20 ㎍/L 감소
Orly 정수장	· 처리용량 : 400 000 ㎥/일 · 오존 주입량 : 3 mg/L · 오존 발생량 : 45 kg/hr · 잔류오존농도 : 0.4 kg/L
Rouen 정수장	· 처리용량 : 50 000 ㎥/일 · 8년간 운전결과 : 철, 망간 및 암모니아성 질소 거의 100 % 제거 · 휘발성유기염소화합물 : 약 50 % 제거

5. 일 본

상수원의 부영양화에 따른 맛, 냄새물질, 유기염소화합물, 잔류농약 등의 문제가 대두되어 이에 대한 대처방안으로 70년대부터 고도정수처리에 대한 연구를 시작하여 90년 이후 본격적으로 도입이 되고 있으며 관련 기술개발도 활발히 진행 중이다. 도쿄의 경우 모든 정수장에

고도정수처리설비를 도입하기로 하고 건설이 진행되고 있는 등 고도정수처리에 많은 노력을 기울이고 있고 오사카의 경우에도 1981년 이후 원수 수질 악화로 인해 수질 개선의 필요성이 대두되면서, 1992년부터 본격적으로 도입검토를 거쳐 현재는 1998년 쿠니지마 정수장을 시작으로 니와쿠보, 토요노 등 관내 3개 정수장 모두 고도정수처리시설을 구축하였다. 하천, 저수지 등 표류수를 주된 상수원수로 사용하고 있어, 저수지의 부영양화로 맛, 냄새가 발생되고 하천의 암모니아성질소의 농도가 증가되는 등 수질문제가 발생되어 20년전부터 고도정수처리시설의 도입을 검토하여 왔다. 지자체별로 오존, 입상활성탄 및 생물활성탄처리시설에 대한 실증실험을 실시하고 있으며, 동경의 가네마찌 정수장 등에 고도정수처리시설을 설치・운영하고 있다.

일본에서 현재 일반적으로 적용되고 있는 콘크리트 수조의 도장재료 및 시공법은 일본 수도협회에서 제정된 JWWA K 143:2004[수도용 콘크리트 수조 내면 에폭시수지 도료 도장 방법] 및 JWWA K 149:2004[수도용 콘크리트 수조 내면 FRP 라이닝 재료]에 의한 재료 등으로 시공되어지고 있으며, 에폭시의 경우 JWWA K 135[수도용 액상 에폭시 수지 도료 도장 방법]에 따라 시공되어 지고 있다. 또한 JWWA K 149는 적용되는 재료의 조성, 품질, 도료 및 도막의 시험방법만을 규정하고 있고 적절한 FRP 라이닝층을 얻기 위해서는 시공관리가 중요하나 JWWA K 149에서는 이에 대한 시공방법은 기술되어 있지 않고 재료의 시공관리에 대한 중요성을 감안한 사용상의 유의점을 부속서에 기술하고 있다.

일본의 고도정수처리시설용 방수·방식 재료 및 공법의 선정은 대부분 공사 시공 이전에 발주기관 혹은 발주처에서 자체의 품질기준에 따라 본 시공에 들어가기 전에 적용 가능한 재료들을 대상으로 현장 시험 평가(방수/방식재의 성능 시험평가)를 거친 후 합격한 것을 본 공사에 적용하고 있다. 또한, 고도정수처리시설용 방수·방식 공사의 진행도 충분한 시간과 예산을 가지고 이루어지고 있다.



쿠니지마 정수장

- 고도처리 도입배경
  - 원수 수질 저하(1981년 이후)
  - 비와호 조류발생으로 이취미(곰팡이) 유발
  - 소독부산물 THMs 농도 문제
- 공정구성 : 오존 + GAC
  - 오존발생기 : 무성방전(6,400V, 500~7200Hz)
  - 배오존 설비 : 망간촉매+활성탄법
  - 오존 주입률 : 중오존(0.5mg/L), 후오존(1.0mg/L)
  - 오존 접촉시간 : 5min
  - 중오존 도입 이유 : 실험결과 목표수질(망간)에 중오존이 유리



무라노 정수장

- 고도처리 도입배경
  - 원수 수질 저하(1970년 이후)
  - 비와호 조류발생으로 이취미 유발(Anabaena sp, Oscillatoria sp)
  - 소독부산물 THMs 농도 문제
- 공정구성 : 오존 + GAC
  - 오존발생기 : 무성방전식(7,000V, 600~1,000Hz), 20g/N㎥ 오존생성
  - 배오존 설비 : 열분해법
  - GAC : 입경 1.0mm
  - 탄층고 : 2.7m



아사카 정수장

- 시설용량 : 1,700,000 ㎥/d (고도 50%, 일반 50%)
  - 공 급 량 : 1,000,000 ㎥/d(고도 800,000㎥/d, 일반200,000㎥/d)
- 급수인구 : 약 280만명
- 조직구성 : 102명(서무과 4명외에 기술직)
  - 고도처리 위탁 22명 포함(후지사)
- 고도처리 특이사항
  - GAC 후단에 모래사 여과지 추가 구성
- 고도정수처리 도입 현황
  - 1963 ~ 66 : 정수장 시공
  - 1971 : 2차례 시설확장 후 1,700,000 ㎥/d
  - 1999 ~ 2004 : 고도정수처리 공사(850,000㎥/d)



미사토 정수장

- 시설용량 : 1,100,000 ㎥/d (고도 50%, 일반 50%)
  - 공 급 량 : 800,000 ㎥/d (고도 550,000㎥/d, 일반250,000㎥/d)
- 급수인구 : 약 180만명
- 고도처리 특이사항
  - GAC 후단에 모래사 여과지 배치
    : 침전지 유출수 GAC 여과지 유입(96시간 후 역세척)
- 고도정수처리 도입 현황
  - 1953 ~ 60 : 정수장 시공
  - 1993.1995 : 2차례 시설확장 후 1,100,000 ㎥/d
  - 1999 : 고도정수처리 완공(550,000 ㎥/d)

그림 6. 일본 고도처리시설 현황

표 12. 국외의 고도정수처리시설 설치사례

구분	정수장명	도입 배경	주요 공정	효 과
일본	한신수도기업단	조류 번식, THM 발생	오존+유동상 활성탄 흡착	맛, 냄새 유발물질 제거, THM 농도 반감
	짜바시가시와이 정수장	냄새 발생, 원수의 수질 악화, PAC 처리 미흡	오존+상향류 유동상활성탄	2-MIB 100 % 제거
	오오사카현 무라노정수장	THM 발생, 원수의 수질 악화, 냄새 발생	2단계 오존+GAC	TOC 70 %, THMFP 89 %, 암모니아성질소 100 %
	오오사카시 구니지마정수장	원수의 수질 악화, 맛, 냄새 문제, THM 발생	오존+GAC	THMFP 74 %, KMnO4 소비량 80 %
	도쿄 가네마찌 정수장	원수의 수질 악화, 맛, 냄새 문제, PAC 처리 미흡	오존+GAC	THMFP 60 %, 2-MIB 100 %, NH3-N 90 %
미국	벨르글레이드 정수장	THM 발생	2단계 오존처리	TOC 80 %, THM 90 %
	몬로정수장	THM 발생, 맛, 냄새 문제	오존+GAC	맛, 냄새 문제 해결, THMFP 감소
	LA Aqueduct 정수장	맛, 냄새, 탁도문제	오존 처리	응집제, 염소 감소, 맛, 냄새 문제 해결
	신시내티 정수장	미량유기물질	GAC 처리	THM, TOC 문제 해결
	남가주Metropolitan 수도국	THM 발생, 맛, 냄새, 미생물문제	O_3/H_2O_2 AOP	맛, 냄새 물질 90 %, 미생물, THM 문제 해결
독일	암스타드정수장	THM 발생, 맛, 냄새 문제	오존+BAC	정수 수질 개선, 활성탄 수명 연장
	도네정수장	적조 발생	오존+활성탄(BAC)	유기물질 80 %, NH_3-N 100 %
	스타이럼정수장	적조 발생	오존+활성탄 (GAC+BAC)	유기물질 80 %, NH_3-N 100 %
프랑스	Mery-Sur-Oise 정수장	암모니아성질소, 미량유기물질 증가	오존+활성탄	NH3-N 80 % 유기물질 65-80 %
	Rouen 정수장	암모니아성질소, 미량유기물질 증가	2단계 오존처리+활성탄(BAC)	철, 망간, NH3-N 100 % 미량유기물질 100 %, THM 전구물질
네덜란드	로테르담정수장	조류 발생	오존+활성탄	용존 유기탄소 60 % MBAS 부분적 제거
	Andijk 정수장	페놀류 검출 조류 발생	Microstrainer+활성탄	조류 제거 DOC 제거

※ 1993년 한국건설연구원

제 3절 정부지원정책 현황

1. 관련법령, 정부 정책 및 담당기관

환경부에서는 2007년 7월에 물 산업육성을 위하여, 비전으로서 세계적 수준의 물 산업 강국 구현, 목표로서 10년 내에 20조원 규모의 산업으로 육성을 제시하고, 이를 실현하기 위한 5개년 세부추진계획을 발표하였음. 또한, 이를 달성하기 위한 정책방향으로서 ①정부·기업·소비자의 새로운 역할 분담, ②상하수도 운영기반 강화, ③역량강화를 통한 해외시장 개척으로 설정하고, 추진과제 및 추진체계를 발표하였다. 사회기반시설에 대한 민간투자를 활성화하기 위하여 시행령을 아래와 같이 제정 및 개정하여 사회기반시설 확충을 추진하고 있다. 시행령은 사회간접자본시설에대한민간자본유치촉진법에서 위임된 사항과 그 시행에 관하여 필요한 사항을 규정하기 위하여 1994. 11. 30. 대통령령 제 14419호로 제정되었고, 2005. 6. 23(사회기반시설에 대한 민간투자법 시행령)에 최종 개정되었다.



그림 7. 환경부 물산업 육성 추진과제

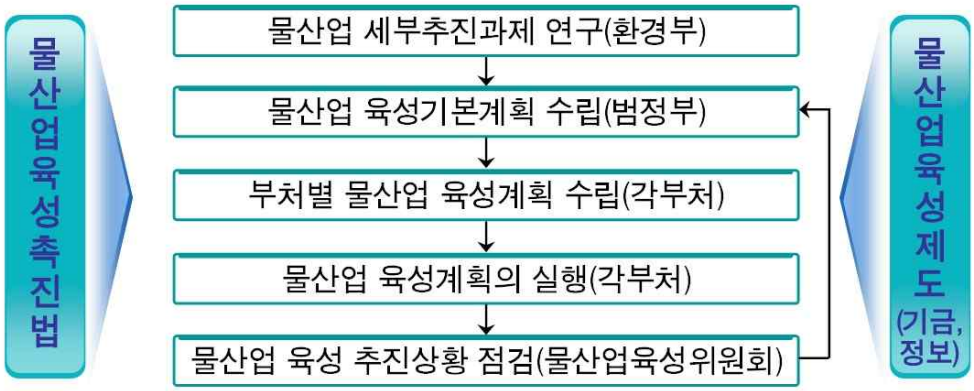


그림 8. 환경부 물산업 육성 추진체계

2. 정부지원 정책사업 종류와 현황

2009년 수질 개선관련 주요 정책 추진 방향인 4대강 살리기 사업에 따라 상수원 수질 보존과 기후변화 대응 및 녹색 상수도 시스템 구축 사업에 적용되어 환경 SOC 분야인 상수도 시설, 하수도 시설, 폐수처리 시설 등의 원천기술로 내구성과 안전성을 확보한 고도정수처리 시설용 “내오존 방수·방식재”로 활용하고자 한다. 현재 환경 예산 전체 28조 4천억 가운데 24조 6천억의 환경 SOC 사업에 책정되어 예산이 집행 중인 가운데 급수취약지역 식수원개발 및 고도정수처리시설 본격 도입으로 상수도의 품질 고도화 추진과 시설물의 장기적인 내구성 확보를 위한 안정한 시스템 구축이 절실히 요구된다.

표 13. 2009년 환경 예산 집행 방안

(단위 : 억원)

분 야		예산액	상반기집행	%	비 고
총계		28,417	18,154	63.9	
환경 SOC	소계	24,646	15,263	61.9	
	상수도 시설	3,376	2,072	61.4	조기발주 및 공사추진
	하수도 시설	16,655	10,241	61.5	“
	폐수처리시설	2,809	1,799	64.0	“
	폐기물처리시설	1,806	1,151	63.7	“
R&D	차세대환경기술개발 등	1,974	1,664	84.3	계약체결 100%
민간융자	소계	1,500	1,000	66.7	
	재활용산업육성	650	433	66.7	융자승인 100%
	환경산업육성	100	67	67.0	융자승인 85%
	천연가스보급시설	150	100	66.7	융자승인 100%
	환경개선자금	600	400	66.7	융자승인 90%
환경정보화	국가환경정보망구축 등	297	227	76.4	계약체결 100%

환경 SOC 확충을 통한 안정적, 전문적인 일자리 창출을 위한 방안으로 하수처리장 및 하수관거, 축산분뇨 및 산업폐수처리시설 등의 투자확대로 설계. 건설 및 관리에 1만여개의 안정적 일자리 마련을 위해 기틀을 다진다. 구체적으로 하천유입 오염원 정화를 위해 공공하수처리장 1 123개소 확충 및 하수관거 341개소, 2 274 km 정비(1조 9 914억원), 산업폐수공공처리시설 30개소 및 가축분뇨공공처리시설 37개소 등 환경기초시설 확대(1 605억원), 빗물에 의한 오염물질 유입 차단을 위해 「비점오염 Zero 화시범사업」추진(36억원) 등과 연관하여 안정된 일자리 창출의 구체적 현실화 한다.



[4대강 살리기 사업에 따른 상수원 수질보전]

『지표수 위주 취수방식의 단계적 전화』

- 낙동강 본류 19개 지역을 대상으로 취수가능지역 조사사업 추진
  - 대상지역 : 낙동강 본류 19개 지역
  - 예산액 : 2,766백만원
- 한강 본류구간을 대상으로 취수가능지역 조사계획 수립('10년)
  - 대상지역 : 한강본류 16개 (한강수계 12개, 남한강수계 4개소)
  - 예산액 : 4,500백만원



[기후변화 대응 및 녹색 상수도 시스템 구축]

『정수지설 부지내 태양광 발전시설 설치사업 추진』

- 정수장의 침전지 상부 및 유휴부지 등에 대한 태양광 발전 설비
  (자체 전력수급용)의 설치가능 여부 등 수요조사 실시('09.01)
- 현재 국내 정수장에는 태양광 발전설비를 10여개소 설치, 운영중

그림 9. 수처리 관련 사업 추진 현황

최근 정부가 경제자유구역 개발과 일자리 창출을 위해 SOC 사업을 대폭 확대키로 함에 따라 정부는 6개의 경제자유구역 중 인천, 부산・진해, 광양, 대구・경북 등 4개의 경제자유구역에 대해 올해 2 316억원을 투입하여 대교, 교량, 항만 등 기반시설의 구축에 나서기로 하였으며, 이러한 기반 시설은 염해 및 중성화에 대한 저항성능이 중요시 되는 구조물로서 사회간접자본 시설의 내구성 극대화를 위해 콘크리트 표면보호재 수요가 급증 할 것으로 기대된다. 제18회 세계 물의 날을 맞이하여 올해 주제는'건강한 세상을 위한 깨끗한 물'이다. 세계 65억 인구 중 26억 명이 깨끗한 물을 마시지 못할 만큼 물 문제는 인류의 숙제이며, 우리나라도 최근 10년간 집중적인 노력을 기울였으나 상수원 오염 문제를 제대로 해결하지 못하고 있는 실정이다.

따라서, 정부에서는 좋은 물 만든다는 목적으로 '물이용부담금'인 국민의 세금으로 5조원을 투자하고도 상수원 주변에서는 비가 오면 인근 가축배설물의 유입으로 인한 수질오염의 문제가 심각한 실정이고, 또한, 환경부는 물에서 분해 어려운 물질이 늘어나 정수 과정에서 발암물질 발생우려가 높아지고 있음을 파악하고 지난해 말 현재 수도권 2 000만 주민의 상수원인 팔당호 수질은 생물학적산소요구량(BOD) 기준으로 2005년 목표치 1.0 ppm(1급수)을 밑도는 1.3 ppm을 기록했다고 조사하였다.

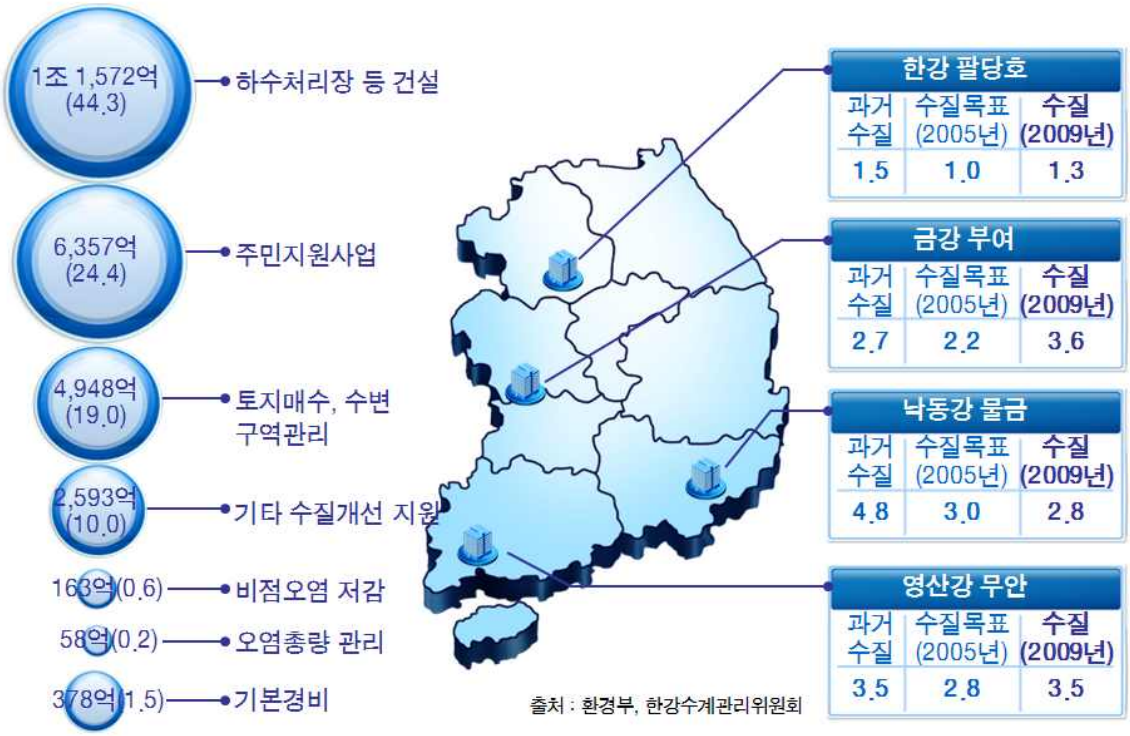


그림 10. 4대강 사업관련 환경부 수질개선 계획 예산

따라서 이들의 조사와 같이 환경부에서는 수질개선을 전제로 도입한 수질개선 대책에 대한 전면 재검토가 필요하다는 지적이 나오고 있는 실정으로 하수처리장에서 발생하는 녹조현상의 원인물질인 인을 제거하면 조류발생을 막을 수 있고 BOD, COD도 줄일 수 있어 이들의 개선을 위해서는 고도처리시설 증설의 필요성을 밝히고 있다.

제 3장 연구수행 내용 및 결과

제 1절 고도정수처리시설용 방수·방식재 조사

1. 고도정수처리시설용 방수·방식재의 요구성능

영국 의학전문지『브리티시 메디컬저널』에서 인류의 건강을 획기적으로 개선한 것이 무엇인지 인터넷으로 조사한 결과 '깨끗한 물'이 1위를 차지했을 정도로 깨끗한 물은 인류를 수인성 질병으로부터 보호하고, 또한 청결한 삶을 영위할 수 있게 한다. 따라서 깨끗한 수돗물을 공급하는 것은 도시민의 건강을 증진할 뿐만 아니라 수돗물의 브랜드가치를 높이기 위한 가장 중요한 과제 중 하나이다.

특히 수돗물에 대한 도시민의 요구는 한층 더 높아져서 안전성만을 요구하던 시대에서 마시기 좋은 맛있는 물을 원하고 있다. 이렇게 높아지는 도시민의 요구를 만족시키기 위해서는 수돗물에 대한 인식을 바꾸는 것이 가장 중요하다. 현재 수돗물에 대한 인식은 지방자치단체의 노력으로 많은 성과를 거두고 있지만 아직도 수돗물을 직접 마시는 사람은 3 %에 불과하고, 수돗물을 음용하지만 40 %는 끓여서 먹고, 57 %는 대용음료를 마시는 것으로 조사 되었다. 이러한 시대적 요구에 부응하기 위한 노력으로 정부 및 지방자치단체에서는 먹는 물 생산 시설의 새로운 구축(건설)과 정수(淨水) 처리 기술의 개선을 위하여 노력하고 있다. 국민에게 깨끗한 먹는 물을 생산 공급하는 시설은 국가보호 기반시설로써 철근콘크리트 구조물로 구축되어지고, 정수처리(淨水處理) 방법은 기존의 염소 처리 방식과 함께 오존(O_3) 처리 방식(高度水 淨水處理 方式)을 새롭게 도입하여 적용하고 있다. 여기서 건설공학적 측면에서 고려할 때, 이러한 상수도 시설은 국가보호기반 시설물로써 장기적 안전성을 확보하여야 하며, 효율적 운영 환경 체계를 구축하고, 경제적 유지관리 기술이 확보되어지도록 하는 것이 건설 산업 분야의 주요한 과제이다. 즉, 먹는 물을 생산하는 상수용 정수 처리 시설은 침전지, 여과지, 염소 처리조, 오존 처리조, 정수지, 배수지 등의 시설물로 구성되어지며, 정수 처리를 위해 사용하는 화학 약품(염소 등), 오존(O_3)의 영향으로 부터 구조체가 취약하지 않도록 보호 조치를 강구하여야 한다.

따라서 먹는 물을 생산하는 상수도 시설은 염소, 오존 등을 이용한 살균처리 기술도 중요하지만, 정수 처리 기반 설비인 철근 콘크리트 구조물이 화학약품으로부터 안전성 확보(보호)도 중요한 기술로 부각되고 있다. 즉, 정수처리 기술의 변화는 곧 기반 시설인 콘크리트 수조 구조물의 내부 방수·방식에 대한 성능 향상 및 기술 변화를 요구하게 되었다.



그림 11. 정수지 내부 기둥 열화

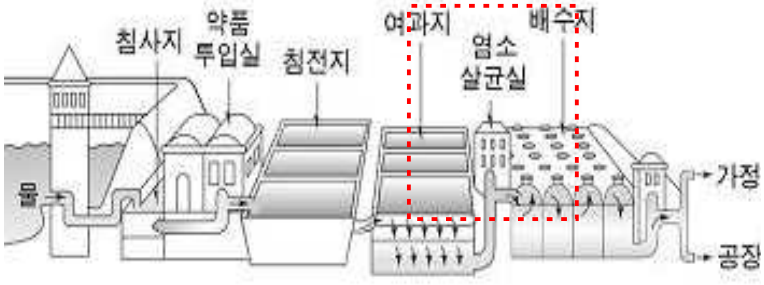


그림 12. 염소를 이용한 정수방법

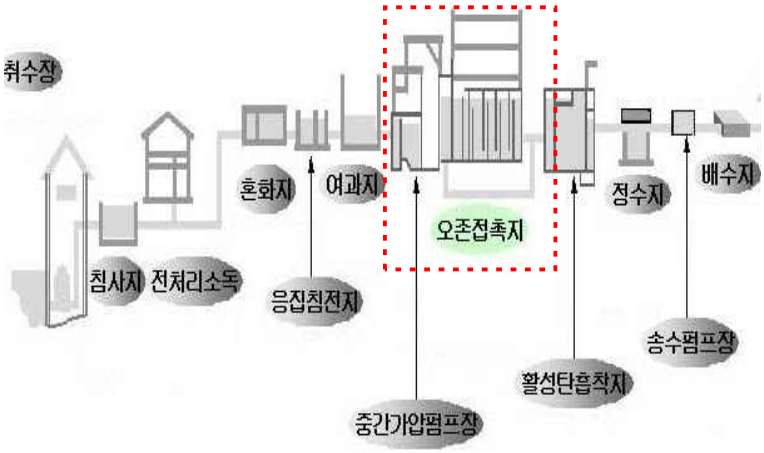


그림 13. 오존(O_3)을 이용한 정수방법

그러나 지금까지 국내의 상수도 시설에 있어서는 콘크리트 수조 구조물에 대한 방수·방식공사의 목적, 설계단계에서의 재료 선정, 시공과정에서의 품질관리, 사용과정에서의 유지관리에 명확한 개념 정립이 미약하였고, 이로 인한 설계 및 관리상의 지침 미비는 콘크리트 수조 구조물의 안전과 내구수명에 영향을 줌으로써 사회적으로 많은 논란의 대상이 되어 왔다. 또한 기 시공되어 가동 중인 각 정수 시설 및 배수지의 적용 사례를 보아도 대상 수조 구조물 및 부위에 대한 정확한 환경 분석 없이 방수·방식 설계가 이루어져 왔다. 특히 우리나라에서는 그동안 외국의 사례를 무조건 받아들여 적용하려고 함으로써 고도정수처리 도입으로 인한 방수·방식의 필요성이 전문 기술자들 사이에서도 상반된 견해가 있었고, 기술 발전의 저해 및 실무 적용에 있어서도 많은 혼선을 빚고 있는 실정이었다.

가. 설계의 변천

1970년대 중반까지 국내 정수장, 배수지등 저수조 방수시공은 시멘트 액체방수, 우레탄계 기타 레진계(에폭시수지 등) 등으로 사용되어 왔으나, 에폭시수지 공법의 많은 문제점이 발견

되어 1980년 규산질계 침투성 도포방수재로 대체 시공하기 시작한 후 상당수 수조구조물이 규산질계 침투성 도포방수재로 시공되었다. 서울특별시의 대형 상수관계 구조물도 1985년 중반부터 규산질계 침투성 도포방수재로 사용되기 시작된 것으로 알려져 있다. 이후 90년대 후반들어 개선된 에폭시 지계 방수·방식재가 사용되기 시작하였으나 에폭시 수지계 방수·방식재의 박리·박락, 경화불량 등의 하자 사례가 많이 나타남에 따라 새로운 접근이 시도되어져 왔다.

나. 현재의 구조물 상태

현재 상수도 구조물은 에폭시 수지계 및 각종 규산질계 침투성 도포방수재, 도막방수재 등으로 방수·방식 코팅되었으나, 수년이 경과한 현재의 상태로는 각 공법의 자재에 대한 경년변화(노화, 부식, 열화 등)와 시공과정의 부실, 구조체의 부실, 설계 관리상의 부실(토류벽 미방수) 등으로 유지관리에 어려움을 겪고 있는 실정이다. 현재 정수장, 배수지에서는 최악의 경우 구조물이나 일부 방수의 결함에 의해 수조에 만수가 되었을 때는 일부 수조의 물이 외부로 누출되고 만수가 안된 경우는 외부 지하수가 수조 내부로 유입될 수도 있다. 앞으로 시민에게 보다 좋은 식수를 공급하기 위하여 각 공정 단계별 오염원을 제거하여야 한다. 그 중 타 공정에 관계되는 것은 차치하고 방수·방식분야에 대한 개선책을 제시하면 아래와 같다.

① 구조물의 수명 설정
설계 당시 구조물의 사용수명을 몇 년으로 할 것인가?
방수/방식의 수명은 몇 년으로 하며, 몇 년마다 재보수 할 것인가?
즉, 구조물의 사용 수명을 우선 결정한 후 이에 적합한 방수/방식공법을 채택하는 것이 기본이나 현재까지 이에 대한 개념이 정립이 되어있지 않으며 다만 하자 발생 시 보수에 대한 책임 년한(3년)만 규정하고 있다.
② 방수/방식설계 지침 설정
정수시설의 각 시설물별 환경조건
각 시설물의 환경조건에 적합한 방수/방식재료 및 공법선정
③ 방수/방식공사 시방서 및 품질기준 제정
시공상의 유의사항
시공방법 및 양생관리
품질기준(시험・평가)작성

2. 고도정수처리시실용 방수・방식재 현황

구조물의 방수・방식 공사는 시행목적에 따라 콘크리트의 누수방지를 위한 방수도장과 철근콘크리트 또는 시설장비의 부식을 방지하기 위한 방식도장으로 구분할 수 있고, 이외에도 습기방지를 위한 방습도장, 심미적 관점에서의 구조물 마감처리를 위한 마감도장 등이 있다.

각 마감방법별 적용 대상을 알아보면 다음과 같다.

① 방수도막(Water Proofing Barrier)

음용수의 누출이나 외부수 유입 방지를 위한 도막으로서 음용수를 수용하는 수조구조물과 수로, 공동구 등의 외부에 적용한다.

② 방습도막(Damp Proofing Barrier)

물의 접촉이 없는 곳에서 습기의 발생을 막기 위해 행하는 방수의 일종으로서 각종 기계실 펌프실, 배관실, 건축물 지하실 등이 적용대상 이다.

③ 방식도막(Protective Barrier)

구조물 방식을 위한 도막으로서 생물·화학적 적용에 의한 철근 콘크리트의 파괴 및 구조적 안정상태의 손실을 방지하기 위해 실시하며 복개 또는 밀폐된 구조물로서 내산성이 요구되는 곳에 적용한다.

④ 마감도막(Decorative Barrier)

심미적인 관점에서 콘크리트 표면의 상태와 색상을 안정시키기 위한 도막과 미관상의 처리수 청수 효과를 고려한 유색도막으로 심미적 효과를 요구하는 수조구조물에 적용한다. 또한 방식 재료를 시공공법에 따라 구분하면 크게 도막계열, 부착계열, 라이닝계열 등의 3가지로 구분될 수 있다.

⑤ 도막계

에폭시수지계 방식, 폴리우레아수지계 방식, 세라믹수지계 등

⑥ 시트계

폴리에스테르계 시트 방식, 스테인레스계 시트 방식 등

⑦ 타일계

강화유리계 방식, 자기타일계 방식, 스테인리스패널계, 고분자수지패널계 방식 등

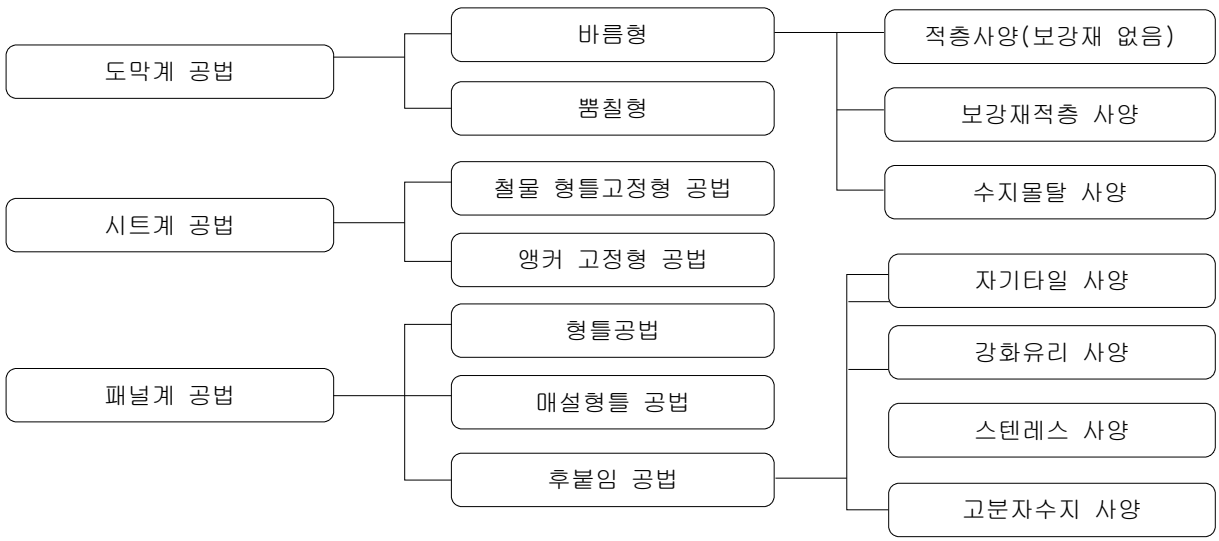


그림 14. 공법별 분류

또한 콘크리트 구조물에 적용하는 각 방식공법의 특성에 맞도록 사용되는 재료를 계열별로 다음과 같이 구분할 수 있다.

표 14. 재료별 분류

도막식	시트식	접착식
폴리우레아 수지	폴리에틸렌계 시트	자기질 타일
에폭시 수지		스테인레스 패널
비닐에스테르 수지		
실리콘 수지	스테인레스계 시트	강화유리 패널
폴리에스테르 수지		고분자 수지계 패널
아크릴 수지		

도막식 방수방식공법 재료로서 콘크리트 보호를 위하여 주로 사용되는 재료에 대해 크게 4가지 재료로 구분되며 특징은 다음과 같다.

① 폴리우레아수지계 방수·방식재

폴리우레아수지계 스프레이 도막 방수·방식공법은 이소시아네이트 프리폴리머와 폴리아민의 2성분을 현장에서 스프레이 건으로 고압분사 후 약 10~20초면 경화하여 콘크리트 표면에 방수·방식층을 형성하는 공법으로 천장면 이나 벽면에 시공이 용이하며 시공후의 양생기간이 요구되지 않는 가장 우수한 방수방식 공법중 하나이다.




그림 15. 폴리 우레아 시공 전경

② 에폭시수지계 방식재

화학적 저항성(내알카리성, 내산성, 내수성)을 나타내는 동시에 가스, 물, 용액에 대해 불투

과성의 환경차단 성능이 우수한 피복층을 형성. ACI350R-83에서 환경차단성이 필요한 경우 금속에 적용하는 피복재료를 사용할 수 있다고 규정하고 있다.




그림 16. 에폭시 수지계 방식재

③ 침투성 방수재

미국의 ACI 515.1R-79, 일본의 JASS 8 에서는 수압면 또는 반대면의 방수 피복 공법으로 규정, 콘크리트의 조직에 침투하여 화학적으로 반응, 산화되어 불용성의 결정체를 생성하며 모세관 공극을 치밀하게 만들어 콘크리트의 투수성을 감소시킨다. 소성재료이므로 조인트 등 거동이 있는 부위에서의 설계·시공은 주의 해야 한다.

④ F·R·P 방식재

다염기산과 다가알코올을 축합하여 얻어지는 불포화 폴리에스테르를 스티렌 단량체에 용해해서 촉매, 촉진재를 가하여 중합가교시킨 열경화성 액상 불포화 폴리에스테르수지를 유리섬유에 함침시켜 경화시킨 플라스틱 강화 유리섬유이며, 각종 물리적 성능 및 방수·방식성능이 우수한 재료이다.

현재 국내에서 적용되고 있는 방수·방식재는 다음과 같이 크게 4계열로 분류할 수 있다.

① 시멘트계

유기결정체 생성 분말형 침투 도포 방수재, 규산질계 액상 침투성 도포방수재, 시멘트 혼입 폴리머계 방수재 등

② 수 지 계

폴리우레아 수지 방수·방식재, 에폭시수지계 방수·방식재, 불포화 폴리에스텔 방수재, 비닐에스텔 방수재, F·R·P 공법 등

③ 아스팔트계

아스팔트계 방수재, 개량아스팔트계 시트 방수재, 고무 아스팔트 시트 방수재 등

④ 기타

합성고분자계 시트 방수재 등

상기 공법 중 수지계 방수공법 및 고무 아스팔트 방수공법은 내산성 및 내약품성이 양호하

여 방수와 방식에 모두 효과적이나 시멘트계 방수는 부식 환경(산성 환경)에 상당히 취약할 수 있기 때문에 사용전에 화학 환경과의 적합성을 반드시 확인한다. 구조물 방수 및 방식공법의 선정에 있어서 고려되어야 할 사항 중, 특히 중요한 것은 필요 개소의 특성에 맞는 효과적인 공법의 선택과 경제성 평가에 있으며, 이와 같은 목적을 달성하기 위해서는 방수·방식을 필요로 하는 구조물의 제반조건에 대한 정확한 이해와 사용제품의 기술적 특성 및 설계사양에 대한 충분한 검토가 선행되어져야 한다. 국내에서 사용되고 있는 대표적인 방수·방식재료 및 공법에 대한 특성 및 성능, 시공방법, 기술적 장·단점, 소요공사비 등에 대해 알아보면, 지금까지 일반적으로 알려진 방수·방식재료에 대한 방수·방식의 개념은 단순 방수만을 목적으로 하는 곳은 콘크리트 모체와 재료성분이 비슷하고 시공성 면에서 유리한 시멘트계 방수재를 사용하고, 방식을 요하는 곳이나 방수·방식을 동시에 요하는 곳에서는 내약품성이 뛰어난 수지계 방수재로 Coating 또는 Lining하는 것이 바람직하다.

가. 도막식 방수·방식재

(1) 개 요

최종 방수·방식층이 에폭시수지계 등으로 마감되는 방수·방식공법을 통칭하며, 중간 과정에서는 폴리머 모르타르, 세라믹 메탈계 도막 등이 시공될 수 있다. 페인트의 일종이므로 도막두께가 얇기 때문에 도막상태가 균일하게 되기 위해서는 콘크리트 표면의 바탕조정이 충분한 상태가 되어야 한다. 즉 모래알의 돌출이나 핀홀 등이 있는 경우 에어포켓, 워터포켓 등으로 인하여 하자가 발생한다.

(2) 콘크리트 바탕의 상태

모든 도막자재는 바탕과의 완벽한 부착을 요구하며 특히 에폭시수지의 경우는 바탕과의 부착이 완벽할 때 그 성능을 발휘한다. 따라서 콘크리트 바탕이 완벽하게 건조되어야만 시공 품질의 확보가 가능하다. 일부 에폭시수지는 수용성으로 유성 에폭시보다는 처리가 용이하나 이 역시 콘크리트 표면 또는 내부의 물기를 흡수하여 경화되는 것이 아니며, 제품자체에 포함된 수분만이 접착 경화에 영향을 주지 않으므로 동 제품을 시공할 경우에도 모체가 완벽하게 건조되어야 한다.

(3) 세균발생

워터포켓이 발생하여 하자가 생긴 경우 워터포켓 내에 박테리아 세균번식이 가능할 수 있다. 상기 조건을 충족하기 위하여 일반적으로 액체방수를 선행하여 쇠흙손 마감한 후 표면에 에폭시를 도포하는 공법이 사용되나, 이 공법은 결과적으로 시멘트 액체방수 공법의 성능, 효

과 이상은 기대할 수 없다.

(4) 밀폐된 공간에서의 작업성

유성 에폭시는 시공 시 화기 및 유독성으로 밀폐된 공간에서의 작업이 원활하지 못하나 수용성 에폭시수지 또는 무용제 에폭시수지의 경우는 작업 가능하다.

(5) 공정기간

국내 구조물 공사는 그 모체 완성공정이 동절기를 제외한 3월~11월 중에 진행되므로 대부분 우기 및 결로현상기간에 방수 시공이 이루어지므로 표면 습도 발생으로 완전건조가 곤란하다. 과거 심한 경우 가스버너 등을 이용하여 표면을 건조시키고 도포하는 경우도 있었으나 이는 지극히 표면만을 변칙적으로 건조키는 것으로 2회 이상 도포할 경우 결로 처리가 불가능하다.

나. 부착식 방수·방식재

(1) 개　요

자기질 타일, 스테인레스 타일, 강화유리 타일 등이 주재료로 사용되는 방수·방식공법으로써 일반 타일 시공과 마찬가지로 접착제와 줄눈재에 의해 패널을 부착하는 방식이다. 타일의 두께와 접착제 층의 두께로 최종 두께가 결정되며, 주재료로 사용되는 타일자체의 방수·방식성능이 뛰어나지만 줄눈재, 접착제에 대한 검증이 필요한 공법이다.

(2) 콘크리트 바탕의 상태

타일재 시공은 접착제의 부착력에 의존하며, 도막재에 비해 면밀한 바탕조정 및 처리는 요구되지 않는다. 또한 대부분의 접착제가 시멘트 모르타르계를 사용하므로 콘크리트 바탕면의 수분 영향으로부터 비교적 자유로운 특성이 있다. 그러나 시멘트계의 부착력이 대부분 약한 경우가 많음으로 이를 고려하여 접착제를 선정할 필요가 있다. 또한 접착제를 시공하는 과정에서 요철을 주어 시공하는데 이러한 요철은 타일의 높이 조절 및 재료량 절감에는 효과적이지만 타일 배면에 인위적인 공극을 형성시키므로 배면 누수 시 타일층 전체에 누수가 타고 흐를 수 있으므로 이에 대한 검토가 필요하다.

(3) 세균발생

자기질 타일, 스테인레스 타일, 강화유리 등의 재질은 흡수율이 매우 적고, 자체 강성이 뛰어나 자체에 워터포켓이 발생하여 하자가 생길 확률은 매우 적으며, 세균발생율 또한 매우 낮은 편이다. 하지만 타일 배면에 형성된 공간에 유입된 누수에 의해 박테리아 세균번식이 가능할 수 있다. 또한 강화유리공법의 경우 강화유리면과 배면 도막재 사이에 들뜸이 발생할 소지가 있어 사용재료의 품질관리 및 적합성을 면밀히 검토할 필요가 있다.

(4) 밀폐된 공간에서의 작업성

타일계 방수/방식재의 시공을 위해 사용되는 접착제 및 줄눈재는 대부분 무용제계 제품을 사용하므로 대부분 유기용제를 사용하는 에폭시계에 비해 밀폐된 공간에서의 작업이 원활하다.

(5) 공정기간

도막계와 비교하여 상대적으로 바탕면에 대한 습기영향을 덜 받으며, 접착제의 건조기간을 제외하면, 도막재에 비해 공정수와 시공기간이 비교적 짧은 편이므로 공기단축에 효과적인 공법이다.

다. 시트식 방수·방식재

(1) 개　요

시트계 방수/방식공법은 폴리에틸렌 시트, 스테인레스 시트 등이 사용되는데 대부분 콘크리트바탕에 고정철물과 고정용 지지대 등에 의해 절연된 상태로 시공되는 특성이 있으며, 이음부는 열융착 또는 용접으로 처리한다.

(2) 콘크리트 바탕의 상태

시트계 방수/방식공법은 콘크리트 바탕면과 절연되어 시공되므로 콘크리트 바탕면 상태에 전혀 지장을 받지 않는다. 다만 시공 후 콘크리트 바탕면에 문제가 발생한 경우 구조물의 유지관리를 위한 확인이 어려우므로 시공 전에 바탕처리를 완벽하게 할 필요가 있다.

(3) 세균발생

타일계 방수·방식재와 마찬가지로 시트 자체의 하자율과 세균 발생율은 매우 낮은 편이지만 시트 배면에 형성된 공간에 유입된 누수에 의해 박테리아 세균번식이 가능할 수 있다.

(4) 밀폐된 공간에서의 작업성

폴리에틸렌 시트의 경우 단순 열풍융착이므로 밀폐 공간에서의 작업에 크게 문제가 없지만, 스텐레스 시트의 경우는 용접작업 시 유독성 가스가 발생할 확률이 있으므로 적정한 환기대책이 반드시 필요하다.

(5) 공정기간

도막계와 비교하여 상대적으로 바탕면에 대한 습기영향을 덜 받으며, 타일계와 같은 접착제의 건조기간도 없으므로 도막재 및 타일계에 비해 공정수와 시공기간이 짧아 공기단축에 효과가 큰 공법이다. 단 스테인레스 시트의 경우 현장가공이 쉽지 않으므로 적용 현장에 대한 사전 치수 조사가 면밀하게 이루어진 후 공장에서 제작해야 원활한 시공이 가능하다.

3. 국내 방수·방식공법 기술개발 현황

국내 방수·방식 공법은 크게 도막식, 시트식, 시트식+도막식 및 부착식으로 나눌 수 있으며, 국내에서 개발된 기존개발 현황은 다음과 같이 분류할 수 있다.

표 15. 방수·방식 기술개발 현황

분류	공법명	업체	특징
도막식	하이브리드 방수·방식 공법	(주)삼성건업	하이브리드 프리폴리머계 방수모르타르와 하이브리드 세라믹수지계 방식피복재를 이용한 복합균열정항성능, 습윤면 부착성능 및 내환경성능 향상
	Coruseal 공법	삼주S.M.C	구조물을 열화시키는 유해요소의 침투가 어려운 구조를 가진 금속혼합물 성분을 이용하여 외부의 열화인자로부터 구조물을 보호
	OMC 공법	(주)선한M&T	오가노메탈 화합물과 폴리아민-우레탄 코폴리머를 이용한 복합공법
	리지스콘 공법	한토산업(주)	나노미터 크기의 세라믹과 고분자 수지가 하이브리드 결합된 방수·방식 공법
시트식	UGA 공법	(주)스페이스	침투성 무기질과 유기질 탄성 복합공법으로 내산성이 탁월하여 상하수도 오존처리조 피복용 공법
시트식 + 도막식	에코플래시 공법	리플래시기술(주)	접착보강핀을 열화된 콘크리트를 제거한 단면에 설치하고, 습윤환경에 부착성을 확보할 수 있는 세라믹피복재와 내식저항성이 우수한 도막재료를 복합공법
	리코시스템 공법	세기하이테크건설(주)	탄성 고분자 복합소재를 이용한 방수·방식 기능의 친환경 표면보호공법과 시멘트 모르타르 보강용 섬유의 균등 분산 시스템을 이용한 단면보수공법의 복합공법
부착식	메탈록스 공법	한성엠씨	금속성고광택유약 표면 자기질 판넬+재유화형 분말수지 첨가 모르타르 접착재를 이용한 수처리 구조물의 표면처리 공법
	TAG 공법	리플래시기술(주)	타일 배면의 돌기를 형성시켜 타설된 모르타르와 타일의 부착력을 높였으며, 타일사이에 사용하는 씰 재료는 내화학성 및 내투서성이 높은 특수소재를 적용한 공법
	CONGLASS 공법	베토코리아	내부에 유체를 저장하는 저수구조물 등의 내부 마감용으로써 유리의 접착층을 일체시킨 유리타일 구조를 이용한 라이닝마감 공법

가. 도막식

(1) 하이브리드 방수·방식 공법

(가) 공법의 개요

혼성섬유 보강재(T-Binder)를 혼입한 하이브리드 프리 폴리머계 방수모르타르와 하이브리드 세라믹수지계 방식피복재를 이용하여 복합균열정항성능과 습윤면 부착성능, 내환경성능 및 환경차단성능을 갖는다.

(나) 공법의 특징

① 습윤면 부착성 향상

친수성의 프리폴리머는 습윤면에서 침투성과 소수성 하이브리드 화학결합에 의해 우수한 부착성능을 발휘하여 안정된 방수·방식층을 형성한다.

② 미세균열에 대한 저항성

콘크리트의 재료적 한계인 균열에 대한 방수·방식재의 저항성능을 발휘할 수 있도록 바탕조정재와 방식 피복재의 혼성보강섬유인 T-Binder를 혼입하여 복합균열 저항성을 부여한다.

③ 친환경소재 사용

하이브리드 프리폴리머 피복층은 인체에 유해한 BPA(Bisphenol-A)와 BADGE (Bisphenol-A Diglycidylether) 등의 잔류량을 극소화시킨 BPA 프리형 프리폴리머 수지를 사용하여 환경호르몬 배출이 없는 친환경 제품으로 시공 시 유기용제에 의한 중독이나 화재의 위험성이 적다.

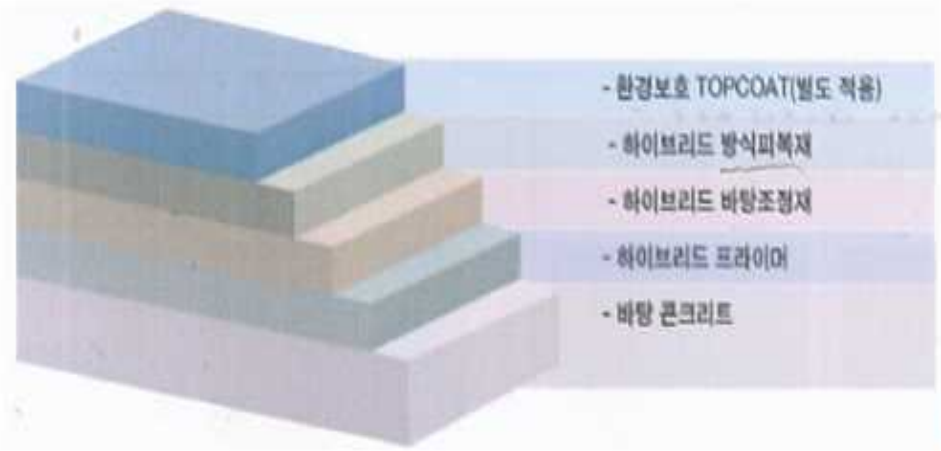


그림 17. 하이브리드 방수·방식 공법의 개념도

(2) Coruseal 공법

(가) 공법의 개요

금속혼합물 피막접착공법으로 구조물을 외부 유해인자로부터 보호하기 위하여 콘크리트 표면에 강력접착제와 금속혼합물을 복합하여 상온에서 접착시키는 공법이다. 금속물성의 도료로 적용부위에 강인한 도막을 형성시켜 얇은 피막으로도 오랜 내구성을 발휘하며, 구조물을 열화시키는 유해요소의 침투가 어려운 구조를 가진 금속혼합물 성분으로 외부의 열화인자로부터 구조물을 보호한다.

(나) 공법의 특징

금속혼합물 피막은 내식성이 높은 산화알미늄에 내염 및 내마모성이 좋은 망간(Mn), 아연(Zn), 규소(Si), 티타늄(Ti) 및 리튬(Li) 등의 초미세분말의 금속혼합물과 강력한 복합수지를 혼합사용한 공법으로 습윤상태에서도 강력한 접착성의 확보가 가능하다.

① 내구년한 증대

금속피막으로 형성된 강인한 도막은 방수성, 부착성, 내충격성, 내후성, 균열대응성, 내피로성, 내화학성, 수질안전성, 내오염 및 방식성 등 구조물을 보호하는 각종 성능을 가지고 있어 구조물의 유지보수 기간을 길게 하여 도막의 내구성 및 구조물의 내구연한을 증대시킨다.

② 공기단축 및 비용절감

2회 코팅으로 강인한 도막을 얻을 수 있어 공사기간 단축 및 그에 다른 비용을 절감할 수 있으며, 희석제를 사용하지 않아 균일한 품질확보가 가능하다.

③ 우수한 내마모성

표면이 매끄러워 마찰이 적으며, 마모 저항성이 우수하여 다량의 고압 또는 반복적 유수의 흐름이 있는 환경의 구조물에 기대수명을 증가시킨다.

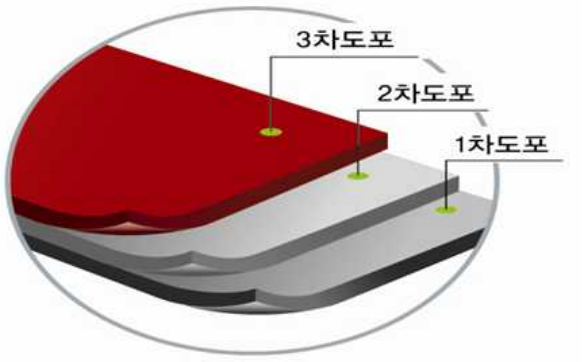


그림 18. 코러실 공법의 개념도

(3) OMC 공법

(가) 공법의 개요

오가노 메탈(유기금속) 화합물과 폴리아민-우레탄 코폴리머를 이용한 구조물 내부의 방수·방식 복합공법이다. 콘크리트에서 생기는 작은 빈 공간(Void)의 배면에 침투하여 방수층을 형성함으로서 빈 공간에서 생기는 누수를 막을 수 있다.

(나) 공법의 특징

오가노 메탈 화합물과 폴리아민-우레탄 코폴리머를 이용한 방식공법으로써 나노크기의 오르가노 메탈 화합물이 콘크리트 모체에 깊숙이 침투하여 수분을 차단하고, 표면에 방수층이 손상되더라도 방수성능의 유지가 가능하다. 폴리아민-우레탄은 기존의 우레탄의 단점을 보완한 변성 우레탄으로 우레탄에 폴리아민을 가교반응 시켜 접착강도, 내수성, 내열성, 내알카리성을 극대화시켜 폐수처리장이나 하수처리장 등 내약품성을 요구하는 곳에 유리하며, 고강도의 무기공을 성성하여 갈라짐이나 부스러짐이 생기지 않는다.

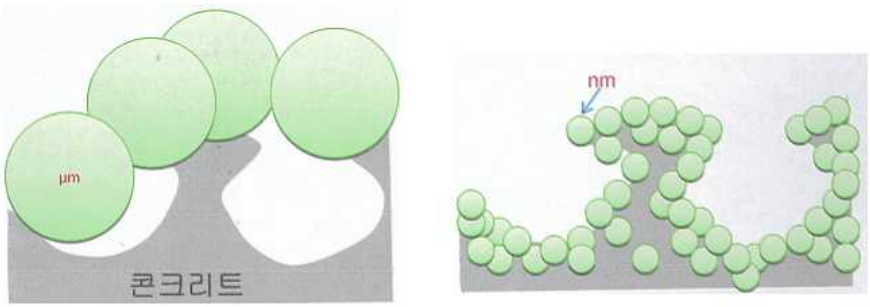


그림 19. 나노기술의 적용

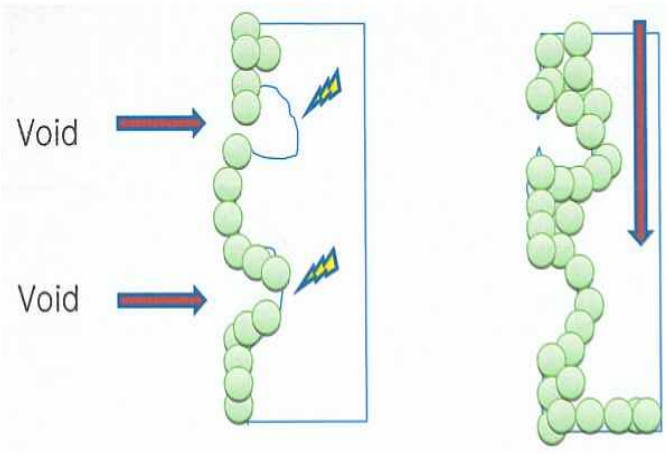


그림 20. 콘크리트 구조물 내에서의 흐름성

(4) 리지스콘 공법

(가) 공법의 개요

나노미터 크기의 세라믹과 고분자 수지가 하이브리드 결합된 방수·방식재로서 최상의 부착력과 내화학성, 내오염성 및 친환경성을 갖춘 초내구성 재료이며, 침투식 방수를 1차로 하여 그 위에 도막식 방수·방식을 수행하여 방수와 방식효과를 장시간 발휘한다.

(나) 공법의 특징

나노세라믹 고분자 수지계 표면보호재를 이용한 콘크리트 구조물 방수·방식공법은 방수성능을 기반으로 부식인자의 차단성능과 내약품성의 극대화를 위한 나노세라믹계 도료로서 세라믹 첨가 반응에 의한 콘크리트와의 접착력을 강화하여 박리의 원인을 제거한 기술이다. 세라미계 도료가 콘크리트 표면에 코팅되면 내부 수분이 경계영역으로 이동되어 첨가된 세라믹과 장기간에 걸쳐 수화반응을 진행하여 콘크리트와의 접착력을 증대시킨다.

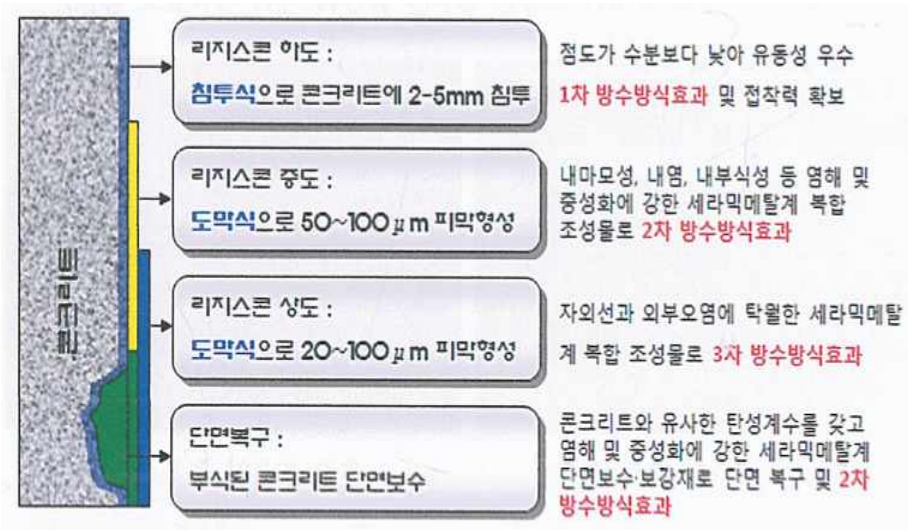


그림 21. 리지스콘 공법의 개념도

나. 시트식

(1) UGA 공법

(가) 공법의 개요

침투성 무기질과 유기질 탄성 복합공법으로 콘크리트 배면으로부터의 내수압성이 높고 콘크리트 표면의 중성화를 방지해 줄 수 있는 내산성이 탁월하여 상하수도 오존처리조 피복용으로 개발된 공법이다.

(나) 공법의 특징

아크릴계 수지, 활성실리카와 특수 시멘트를 사용한 폴리머 시멘트 모르타르(PCM)의 복합층을 용도에 따라 적층시킨 복합형 침투성 탄성 시멘트 혼입 폴리머계 방수·방식공법이다. 배면수압에 대한 내투수압성이 우수하며, 내오존성이 뛰어난 폴리머를 사용하여 상수도의 고도수 처리에 적합한 공법이다. 또한, 내마모용 아크릴 수지의 보호층은 활성탄과의 마찰로 인한 콘크리트 마모를 원천적으로 방지하여 준다.

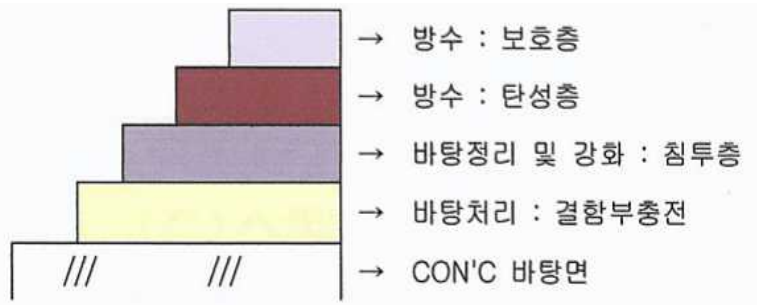


그림 22. UGA 공법의 개념도

다. 시트식+도막식

(1) 애코플래시 공법

(가) 공법의 개요

접착보강핀을 열화된 콘크리트를 제거한 단면에 설치하고, 내산성 및 균열저항성이 우수한 파인 플라이애시 및 삼산화규산칼슘 세라믹 섬유가 혼입된 모르타르를 건식 이송하여 건에서 혼합분사 시공하여 단면 복구한 다음 습윤환경에 부착성을 확보할 수 있는 세라믹피복재와 내식저항성이 우수한 도막재료의 복합공법이다.

(나) 공법의 특징

① ERH-프라임

다공화된 콘크리트의 표면을 치밀화하여 중성화 방지기능과 중성화된 기존 콘크리트의 알칼리 성능회복 기능과 부착성을 향상시킨다.

② ERH-모르타르

내화학성, 염해 및 중성화 저항성이 우수하며, 마이크로 세라믹 섬유를 첨가하여 균열저항성, 강도증진, 리바운드 저감 및 분진이 발생하지 않는다.

③ ERH-CE 세라믹피복재

특수 미립폴리머시멘트를 주성분으로 구성 습윤환경에서의 시공이 원활하고, 콘크리트 모체의 보호 및 방식 기능을 가지고 있으며, 코트재료의 부착성능을 향상시킨다.

④ ERH-코트

강한 결합력을 형성하여 부착성이 우수하며, 내오염성 및 내화학성이 우수하다.



그림 23. 애코플래시 공법의 개념도

(2) 리코시스템 공법

(가) 공법의 개요

탄성 고분자 복합소재를 이용한 콘크리트 및 강구조물의 염해, 중성화 방지 및 방수·방식 기능의 친환경 표면보호공법과 시멘트 모르타르 보강용 섬유를 균등하게 분산시키는 시스템을 이용한 단면보수공법의 복합공법이다.

(나) 공법의 특징

① 표면보호공법

나노 고분자 합성을 통한 오염방지 기술로 구조물의 열화를 차단하는 공법으로서 고강도 특수가공 탄성 복합수지로 결합된 세라믹 분말을 상온에서 구조물 표면에 도포하는 기술이며,

구조물 표면보호를 위하여 탄성 복합 수용성 바인더의 UV 차폐층을 형성한다.

② 단면보수공법

콘크리트 구조물의 미세 기공에 1 ㎛ 이하의 칼슘실리케이트 수화물 형성으로 조직을 치밀하게 하고, 전이온도가 낮은 에멀젼을 사용하여 동절기에도 유연성과 탄성을 유지한다. 또한, 내부 공기층을 폐합시킨 구형의 미립자가 모르타르 내부를 밀실하게 채운다.

라. 부착식

(1) 메탈록스 공법

(가) 공법의 개요

금속성 고광택유약 표면을 갖는 자기질 판넬과 재유화형 분말수지가 첨가된 모르타르 접착재로 구성된 수처리 구조물의 표면처리 공법으로 판넬은 표면조도가 높아 유기물부착을 방지하고 접착재는 판넬을 철근콘크리트 모재에 부착시키는 접착역할과 방수기능을 동시에 갖고 있다. 또한, 열화된 콘크리트 표면을 제거하는 바탕처리, 바탕처리된 콘크리트 표면에 접착재를 도포하는 접착재 도포, 도포된 접착재 위에 고광택 메탈판넬을 접착하는 판넬 접착단계, 판넬과 판넬사이에 줄눈을 충전하는 줄눈형성단계로 이루어진다.

(나) 공법의 특징

접착력이 우수한 접착재와 내수성, 내마모성, 내화학성 및 방오성능이 우수한 금속성 고광택유약 판넬을 이용하여 장시간의 담수 과정에서도 판넬이 콘크리트 벽면과 분리되거나 판넬 표면에서 열화가 진행되지 않는 콘크리트 수조를 제공한다. 접착재 성분을 모르타르와 혼합하여 사용하기 때문에 콘크리트수조의 건조 공정 없이 즉각적인 표면보수가 가능하고, 환경호르몬 등의 유해물질이 배출되지 않는 콘크리트 수조를 제공하는 탁월한 효과를 나타낸다.

① 메탈록스 판넬(Metalox-PNL)

자기질소지 표면위에 금속성고광택유약을 시유하여 고온에서 소성하게 되는데 금속성고광택유약 표면은 매끄러운 조도를 유지하고 있어 마찰력이 최소화 된다. 따라서 수중에 존재하는 유기물을 포함한 물때 등의 부착을 방지한다. 판넬의 크기는 400×400×9 mm로 제작한다.

② 메탈록스 접착재(Metalox-BD)

판넬이 철근콘크리트 모재에 잘 고정될 수 있도록 하기위해 고부착성과 투수방지 성능을 동시에 발휘한다. 아울러 유연한 성질을 갖추고 있어 모재의 수축 팽창 시 발생되는 응력을 흡수하여 판넬이 쉽게 탈락되는 것을 방지한다. 접착재는 수경성 무기바인더인 시멘트와 유기바인더의 재유화형분말수지가 혼재된 유·무기 복합재로서 접착 및 방수성을 동시에 갖는 것

으로 시멘트 및 규사가 혼합된 분말에 기능성을 갖게 하기 우해 유화형분말수지(VAE), 증점제(HMC), 셀롤로즈 등을 첨가하여 제조한다.

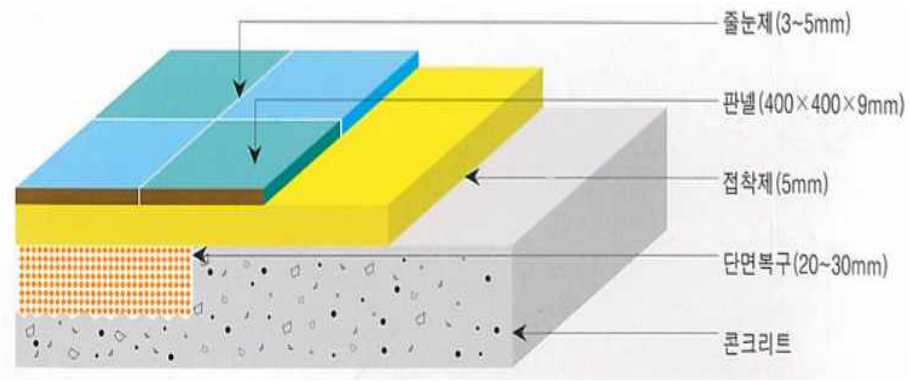


그림 24. 메탈녹스 공법의 개념도

(2) TAG 공법

(가) 공법의 개요

기존 부착공법에서 진행하는 단순 물리적 보수가 아니라 표면강도 시험을 통해 연화된 바탕면을 강화 후 타일 공법을 적용하여 부착성능의 기본이 되는 바탕면을 강화하여 높은 부착성능을 확보하였다. 타일의 경우 배면의 돌기를 형성시켜 타설된 모르타르와 타일의 부착력을 높였으며, 각 타일사이에 사용하는 씰 재료는 백시멘트가 아닌 내화학성 및 내투수성이 높은 특수소재를 적용한 공법이다.

(나) 공법의 특징

구성재료는 기존 바탕면의 열화로 연화된 콘크리트에 실리케이트 수화물을 형성시켜 강도를 보완하는 표면강화제와 2차적인 방수·방식 성능을 발휘하는 모르타르로 구성되어 있다. 타일공법에 가장 많은 하자요인은 줄눈재의 부식으로 인한 균열발생이나 다공화로 물이 침투하여 타일의 배면을 들뜨게 하는 하자가 많이 발생한다. 따라서 본 공법에서 사용하는 씰 재료는 유·무기 합성재료로 모르타르와 타일의 Si와 배면결합을 형성하고 표면에는 유기발수 기능과 내화학성을 가짐으로 장기적인 유지관리가 가능하다.

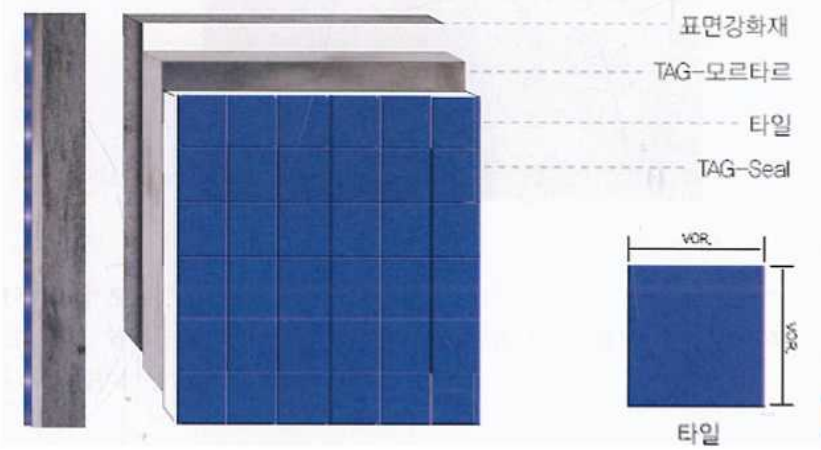


그림 25. TAG 공법의 개념도

(3) CONGLASS 공법

(가) 공법의 개요

내부에 유체를 저장하는 저수구조물 등의 내부 마감용으로써 유리의 접착층을 일체시킨 유리타일 구조를 이용한 라이닝마감 공법이다. 즉, 습식시공이 가능한 CONGLASS를 이용하여 콘크리트 벽체에 압착시공으로 콘크리트 수조의 표면처리를 마감하는 공법이다. 접착력이 우수한 접착제와 내수성, 내마모성 및 내화학성이 우수한 유리타일을 이용하여 장시간의 담수과정에서도 안전하여 들뜸이나 부풀음 등의 표면 손상이 없고 유해물질의 염려가 없는 유리의 위생적인 특성으로 음용의 적용 시 깨끗하고, 환경호르몬이 배출되지 않는 콘크리트 수초의 표면처리 공법이다.

(나) 공법의 특징

각종 도료를 이용한 피막을 형성하는 공법의 경우 수돗물 자체의 소독약제나 배수지 청수 및 살균 시에 사용되는 세척소독제 및 오존 등에 의하여 도료가 콘크리트 벽체로부터 탈락되어 수질의 오염성과 위생상의 문제가 야기된다. 그러나 본 공법은 수밀성 재질인 유리에 벽체와의 접착을 용이하도록 침투성 방수재와 배합된 무기질의 젤리성 접착층으로 구성되어 유해물질을 배출시키지 않으며, 습식공법에 적합하다.



그림 26. CONGLASS 공법의 개념도

제 2절 실제 고도정수처리시설 실태조사

1. 고도정수처리시설용 방수·방식재의 적용현황

본 현장조사는 현장별 운용계획 즉 상수도 시설 내부 청소일정, 방수·방식재의 보수공사, 구조물 보수·보강공사 등의 현황을 파악하여 현장일정에 맞추어 실시하였다.

(1) 도막식

부착강도 저하에 따른 박리·박락, 균열, 워터포켓 손상이 구간별 발생 되었으며, 배수지별 내측 벽체(도류벽)에서 구간별로 다수의 철물주변 부식이 발생된 것으로 확인되었다. 상부 슬래브 하면은 배수지별 일부 구간별로 철물주변 부식발생, 물방울 맺힘 등이 발생된 것으로 조사되었다.

(2) 부착식

배수지별 방수/방식재 시공이 완료된 현장과 시공 중인 현장을 순차적으로 조사한 결과 시간의 경과에 따른 방수/방식재의 손상이(줄눈부 열화) 발생되었으며, 배면부 접착제에 형성된 요철부 등으로 누수의 이동현상 및 배면 들뜸 현상, 배면 마감처리재 재료분리, 줄눈부 부식 및 백화현상, 부분부착 및 내부 누수이동 등의 손상이 구간별로 발생된 것으로 조사되었다.

(3) 시트식

조사결과 PE 시트 접착부는 접착제를 이용하여 대부분의 방수제가 양호하게 연결된 것으로 조사되었으나, 환기구 상부 노출구간의 접착불량 및 상부 슬래브 하면 물방울 맺힘 현상이 조

사되었다. 또한 스테인레스 시트공법(용접식)은 배수지 벽체 내측에 평상시 담수가 되지 않는 배수지 상단 노출부 용접 부위에서 배수지마다 미소하게 녹이 발생하였다.

표 16. 고도정수처리시설 방수·방식재 적용현황

순번	시설명	위치	준공년도		조사위치	방수·방식재의 종류	조사 결과 (부착강도 품질 기준 1.5 MPa)
			시설물	방식공사			
1	아차산	광진구 구의동	1993년	2007년	2지	에폭시 수지계	벽체 : 2.58 MPa 바닥 : 0.93 MPa
2	번동	강북구 미아동	1988년	2007년	1지	에폭시 수지계	벽체 : 1.84 MPa
3	만리동	마포구 아현동	1952년 1972년	2005년 2004년	3지	에폭시 수지계, 바닥(무방식)	(측정부위 보수 난항으로 측정불가)
4	응암	은평구 응암1동	1991년	2007년	1, 2지	에폭시 수지계, 바닥(무방식)	벽체 : 1.09 MPa
5	보광	용산구 한남동	2006년	2006년	1지	에폭시 수지계, 바닥 (무방식),일부도류벽→ 강화유리 및 스테인레스 패널 시범시공	(측정부위 보수 난항으로 측정불가)
6	낙성대	관악구 봉천7동	1990년	2007년	1지	에폭시 수지계	(측정부위 보수 난항으로 측정불가)
7	백련	서대문구 홍은3동	2000년	2009년	2지	자기질 타일계(바닥), 에폭시 수지계(벽체, 기둥, 슬래브)	(측정부위 보수 난항으로 측정불가)
8	우장산	강서구 화곡동	1987년	2006년	2지	에폭시 수지계(벽체,기둥), 바닥, 슬래브 (무방식)	(측정부위 보수 난항으로 측정불가)
9	온수2	구로구 온수동	1986년	2009년	1지	P.E 시트계	(재료의 특성상 측정불가)
10	월곡	성북구 하월곡동	2001년	2009년	2지	1지 : 에폭시 수지계 2지 : 무방식	(운용중 상태로 측정불가)
11	영등포 정수장 정수지	영등포구 양화동	2009년	2009	2지	스테인레스 시트계(천정, 벽체, 기둥), 강화유리 패널계 (바닥)	(측정부위 보수 난항으로 측정불가)
12	뚝도 정수장 여과지	성동구 성수1가	-	2008년	2계열 7지	세라믹 메탈계	(측정부위 보수 난항으로 측정불가)
13	봉현	관악구 봉천동	2006년	2006년	1, 2지	용접식 스테인레스 시트계	(재료의 특성상 측정불가)
14	진관	은평구 진관동	2009년	2009년	1, 2지	용접식 스테인레스 시트계	(재료의 특성상 측정불가)

(4) 무방식

각 현장의 바닥 및 슬래브 하면에서 주로 시공이 이루어지고 있었으며, 일부구간 바닥 및 슬래브 하면의 무방식 배수지의 경우 일부구간 거북등 모양의 균열이 발생된 것으로 확인되

었고, 방수/방식재를 사용하지 않은 배수지의 경우 콘크리트 표면마모, 표면 열화현상(시멘트 성분 쉽게 긁혀짐), 철물에서 발생된 녹 흡착현상, 폼타이 철물주변에 구간별 녹 발생 등의 손상이 대부분의 구간에서 발생된 것으로 확인되었다. 바닥부 콘크리트 표면은 전 구간에 걸쳐 표면마모가 발생되어 구간별로 슬러지가 적치되어 있었다.

2. A 고도정수 처리장

고도정수처리장의 오존 처리 시설의 경우 시설물의 방·부식을 위하여 내오존 처리를 하고 있으며, 대표적으로 유무기 도장법이 적용되고 있다. 그러나 적용된 도막에 문제가 발생하는 것에 대하여 A 고도정수 처리장을 대상으로 현장조사를 실시하였다.

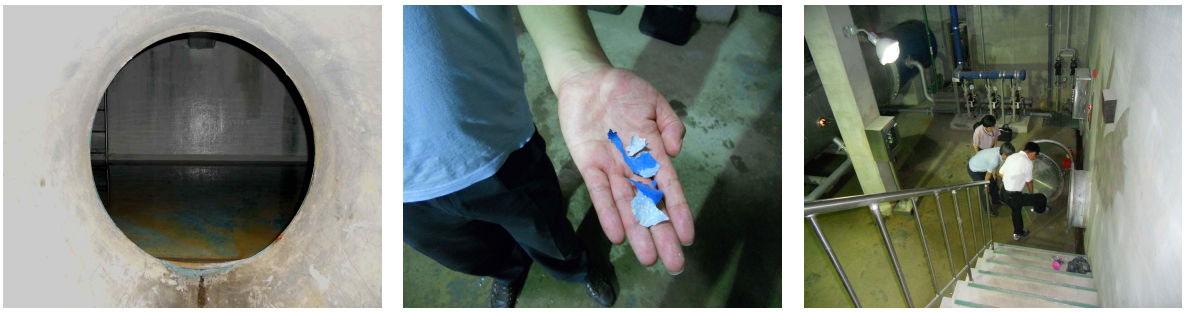


그림 27. 정수장용 내오존 도료 현장 조사

오존 접촉지는 밀폐구조로 되어 있으므로 내부에서 사진 촬영이 쉽지 않았으나 육안 관찰 결과 도막의 열화현상으로 대표적인 탈색과 백아화가 뚜렷하게 관찰되었으며 크랙과 박리가 발생된 모습이 관찰되었다. 특히 박리된 도막이 정수처리 과정에서 문제를 발생시키는 주요소임이 육안으로도 관찰되었다.

가. 고도정수처리장 오존 처리 공정 조사

호소생태계 건전성의 가장 중요한 지표의 하나인 총인(T-P)의 농도가 연평균 0.044 ㎎/L로 3등급 수질을 보였으며, 특히 호소부영양화 현상이 집중적으로 발생하는 7월부터 10월까지의 평균 농도는 0.062 ㎎/L로 4등급 수질을 보였다.(팔당호 기준) 한강 수계에 속하는 A 정수장의 오존 처리는 상기시기에 약 3~5개월 정도 가동이 되며, 용존 오존 농도는 0.2~0.5 ppm으로 수행되고 있다.

나. 실태조사 도막의 열화 경향

실태조사에 보인 도막의 이력 사항은 알 수 없었으며, 정밀분석을 위하여 재취된 시료중 도

막이 양호한 부분과 탈착된 도막에 대하여 IR 분석을 실시하였다. ATR 이미지와 ATR 라이브러리 검색 결과를 보면 사용된 도막은 에폭시수지로 분석되었다.

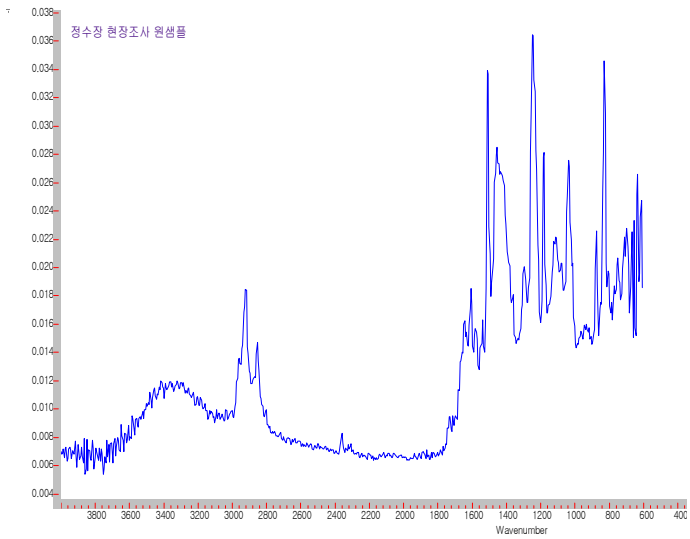


그림 28 내오존 도료 ATR 이미지

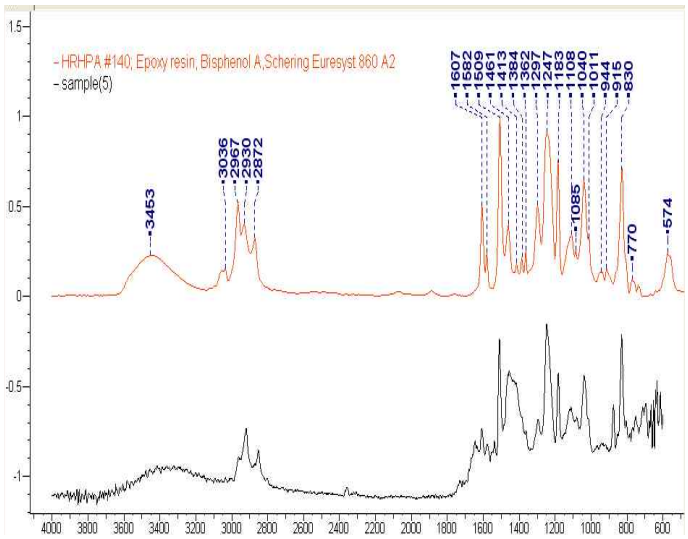


그림 29. 내오존 도료 ATR 정성 분석

또한 열화가 발생한 시험편에 대하여 동일한 분석을 실시한 결과 다음과 같이 분석되었다.

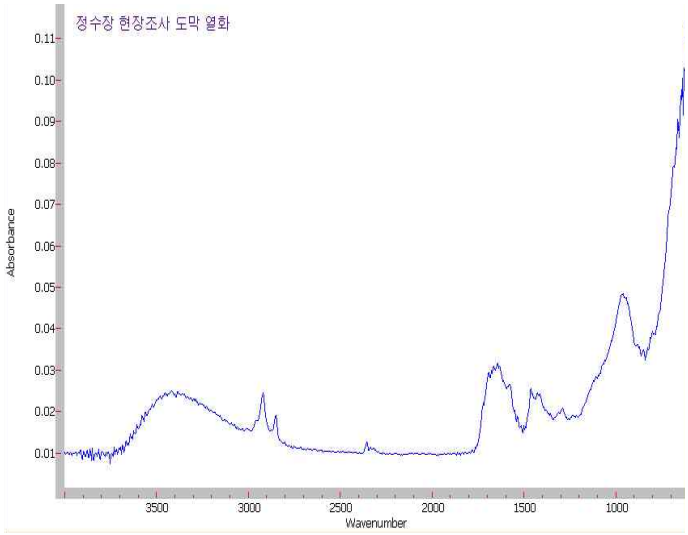


그림 30. 열화된 내오존 도료 ATR 이미지

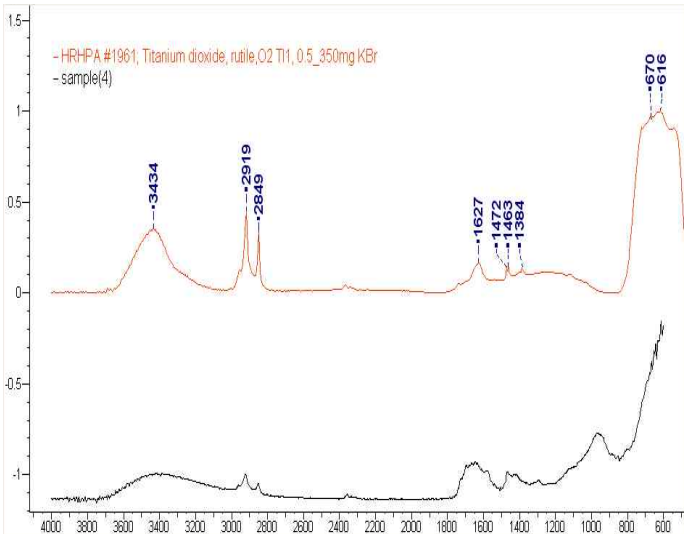


그림 31. 열화된 내오존 도료 ATR 정성 분석

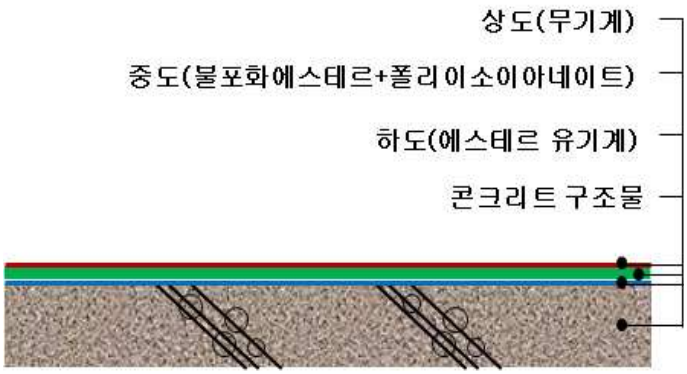


그림 32. 적용 방수·방식 공법

3. B 고도정수처리시설

B 고도정수처리시설에 적용한 5개의 공법을 대상으로 고농도 10 ppm에 320시간으로 용존오존 처리하여 방수·방식공법 중 외관상의 문제가 없는 공법을 선정하고, 2010년 5월에 공사하여 10개월간 오존접촉조 시설을 운영한 2011년 3월에 내오존성능 검증을 위하여 정수장의 물을 모두 제거한 후 현장 확인을 실시하였다.



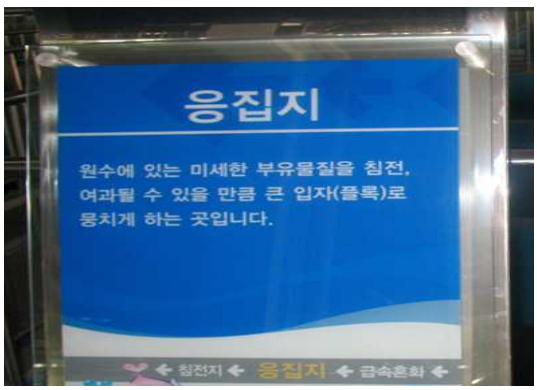
(a) B 고도정수처리시설 전경



(b) B 고도정수처리시설 측면



(c) 오존접촉조 안내



(d) 응집지 안내



(e) 오존접촉조 입구



(f) 방수방식재의 박리

그림 33. B 고도정수처리시설 현황



(a) 방수방식재의 박리



(b) 방수방식재의 변퇴색



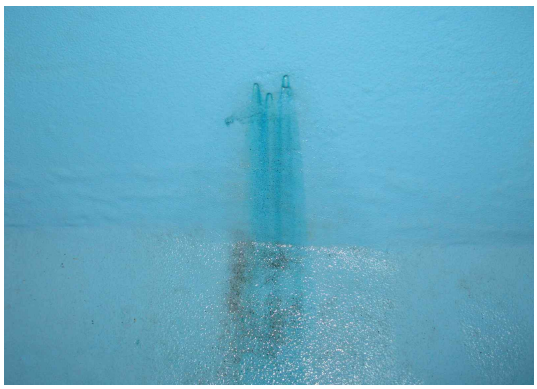
(c) 외부 오염물질의 침전



(d) 균열부위의 외부 오염물질



(e) 방수방식재의 부풀음 발생



(f) 외부 오염물질 침투

그림 34. B 고도정수처리시설 오존열화

실내 촉진처리의 개념으로 고농도의 용존오존에 대한 간이 시험에서 우수한 성능을 나타내었으나, 시공된 후 10개월 미만에서 위의 그림과 같이 방수·방식재의 하자가 발생하여 재시공을 실시하였다. 따라서 국내의 내오존 방수·방식재의 성능을 검증하고 사용하였지만 열화가 발생하여 정량적인 평가방법 개발 및 방수·방식재의 품질향상이 필요하다. 한강수계의 경우는 상수원 수질이 비교적 양호하여 용존오존농도를 1 ppm내에서 계절별로 수온 5~25 ℃사이에

서 운영하지만, 상수원의 오염정도가 심각한 낙동강수계의 정수장은 용존오존농도를 계절별로 최대 3 ppm까지 주입하고 있어, 방수·방식재의 열화는 매우 심할 것으로 판단된다. 위의 2개소 정수장은 모두 수도권에 위치하여 수질이 양호한 한강수계의 물을 취수하여 1 ppm 내에서 사용함에도 불구하고 현장에 시공된 방수·방식재는 1년 미만으로 하자가 발생하여 정수시설의 운영효율향상 및 안전한 음용수 확보를 위해서는 국가적인 관심이 필요하다.

제 3절 오존에 의한 열화 메카니즘 분석

1. 오존 수처리 특성

1886년 프랑스에서 오존을 수처리에 적용하는 첫 시도가 있었다. 1906년 니스의 Bon Voyage(1.9만 ton/일)의 정수장에 실용화된 이후 수처리에 관한 오존처리특성 연구가 발전되어 왔다. 1916년에 오존 이용 정수장은 49개소, 그 중 29개가 프랑스에 있다. 또한, 1940년에는 119개소 1977년경에는 Rice의 보고에서는 1 000개 정도가 되었다. 1977년 조사결과에 따르면 오존처리 정수장의 1 000개 중 반수 이상이 프랑스에 있으며, 주로 오존이 1차 멸균용으로 사용되고 있고, 다른 반수는 소독 이외에 탈색, 탈취, 철 및 망간의 산화를 목적으로 이용되고 있다. 근래에 국내 생활용수 공급을 위한 정수처리 공정 중 고도정수처리 기술로서 오존처리 기술을 선택하면서 다음과 같은 수 처리 분야에서 오존처리 주요목적을 분류할 수 있다.

① 세균, 바이러스 및 조류 등의 살균(殺菌), 살조(殺藻) 및 소독
② 착색성분 대책으로서의 탈색
③ 착취성분 대책으로서의 탈취 및 맛의 개선
④ 유기물 및 무기물의 산화분해
⑤ 유독물 및 유해물의 무해화
⑥ 난분해성 물질의 생물 분해 용이화
⑦ 응집조작의 개선

오존의 이용은 앞으로 널리 이용될 것이나, 동시에 오존처리에 갖는 해결될 점, 예를 들면 경제성 문제와 반응 생성물의 위험성, 오존가스 자체의 독성 및 취급의 어려움에 대하여 하루빨리 해결해야 할 것이다. 오존이용에 관하여 현재 주목받고 있는 분야는 용수처리 공정에서 이용뿐만 아니라 산업배수처리, 식품처리 분야, 실내대기오염 분야 및 의학분야에서 그 활용도가 넓어지고 있다.

2. 오존처리 반응 생성물

수처리 공정에서 오존의 이용이 쉽게 받아들여지지 않은 이유는 별도로 오존을 도입할 필

요가 없는 것과 또 하나는 유기물의 강력한 산화분해로 인한 유해물질의 생성이다. 이 의미는 오존처리에 따르는 부차적 반응 생성물질의 내용에 주목이 집중되고, 그러한 독성을 환경 변이원성의 시각에서 조사하는 연구가 진행되고 있다. 오존 중간반응 생성물로서 케톤과 알데하이드류가 생성되는 것으로 알려져 있다. Legube 등은 2차 처리수를 오존처리할 때 생성되는 반응 생물군을 GC/MS 크로마토그래프로 나타냈다. 처리 후 상당히 많은 각각의 피크의 높이가 낮아지고, 방향족 대부분과 단순 불포화화합물이 소멸하는 것을 알 수 있었다. 이와 같이 오존처리로 불포화 화합물은 포화 화합물로 변하고, 소수성 물질은 친수성화 한다. 오존의 유기물질 변환 능력은 수 처리에서 처리가 곤란한 난분해성 유기물을 분해하기 쉬운 물질로 만드는 능력으로 파악되어 오수의 전처리로서 주목을 받고 있다.

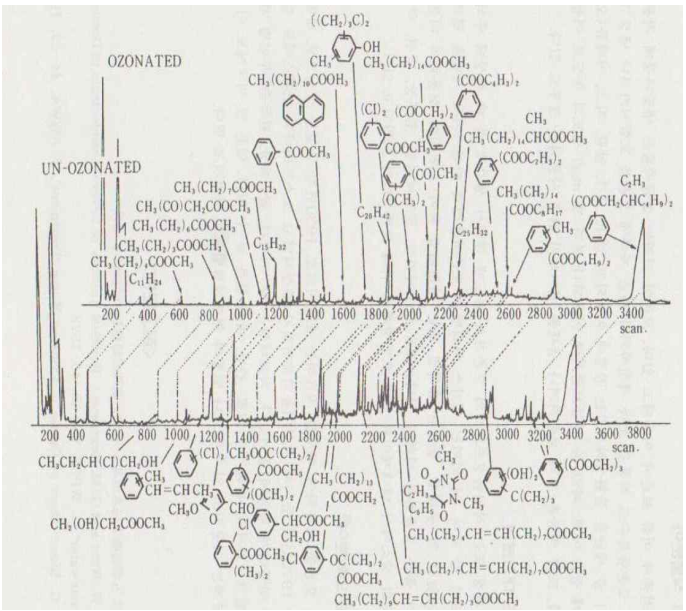


그림 35. 오존 처리수의 GC/MS 크로마토그래프 특성

3. 오존의 특성

오존은 산소의 불안정한 동위체로서 분자식 O3로 표시되며 분자량은 48이다. 밀도는 2.14 kg/m^3(0℃, 1 atm), 녹는점은 -192.7±2℃(760 mmHg) 및 끓는점은 -119.9℃(760 mmHg)이며, 상온에서는 두꺼운 층으로 청색을 띄고 있다. 일반적으로 무색의 기체로 자극적인 냄새를 가지고 있으며, 공기 또는 산소와 혼합되어 농도가 희박한 상태로 존재하고 있다. 오존의 표준생성 자유에너지는 높고 역반응이 자발적으로 진행되며 모든 온도에서 오존은 산소로 분해된다. 오존이 산화제로서 작용할 때는 생성물로서 산소를 만드는 반응과 유기오존화합물을 형성하는 것과 같이 3개의 O가 모두 반응하여 최종적으로 생성되는 물질의 중량에 첨가되는 반응이 있다.

$3/2O_2 \rightarrow O_3 \triangle G^\circ = 39.0$ kcal/mol

4. 오존 수중 분해 기작

수중에서 오존은 산성용액 중에서는 일부분 안정하나 온도상승 및 pH상승에 따라서 급속히 분해한다. 이 메커니즘은 복잡하여 가수분해에 의하여 Hydroperoxy radical을 생성하여 이것이 개시제가 되어 다음과 같은 연쇄반응으로 분해한다.

$O_3 + H_2O \rightarrow HO_3^+ + OH^-$
$HO_3^+ + OH^- \rightarrow 2H\dot{O}_2$
$O_3 + H\dot{O}_2 \rightarrow H\dot{O} + 2O_2$
$O_3 + H\dot{O} \rightarrow H\dot{O}_2 + O_2$
$H\dot{O}_2 + H\dot{O}_2 \rightarrow H_2O_2 + O_2$
$H\dot{O} + H\dot{O}_2 \rightarrow H_2O + O_2$
$H\dot{O} + H\dot{O} \rightarrow H_2O_2$

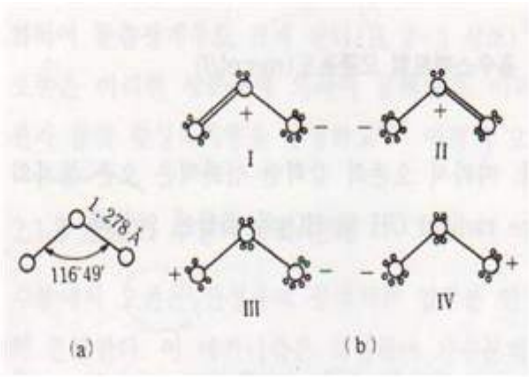
위의 반응에서 생성된 Hydroxy(OH) radical은 오존분자보다 높은 산화환원전위를 가지고 있다. 또한, Hydroperoxy radical은 오존보다 약한 산화제이나 이것은 OH radical을 생성한다. 따라서 오존의 강력한 산화력은 오존 분자의 직접반응과 오존 분해에 의해 생성되는 Free radical OH 및 HO_2의 반응에 의한다. 오존의 물에 대한 용해도는 0.57 g/l(20℃)로 산소의 수배~10배 정도 크며 Henry 법칙에 따른다. 수온 20℃ 물에 농도 20 mg/l의 오존가스를 주입하면 평형상태에서 수중오존농도는 5.7 mg/l 정도 된다. 오존반응 공정은 항상 직접반응과 간접적으로 생성된 OH라디칼 반응 메커니즘을 기본으로 생각할 수 있다. 이것은 수질 중에 오존의 분해반응의 결과로서 OH라디칼이 생성된다. 이러한 라디칼은 오존의 산화력 보다 더 강한 산화 메커니즘을 가질지라도 매우 짧은 기간 존재하는 화합물이다. 이것이 라디칼이 강한 산화전위를 갖기 때문이다.

표 17. 산화제의 산화 환원전위

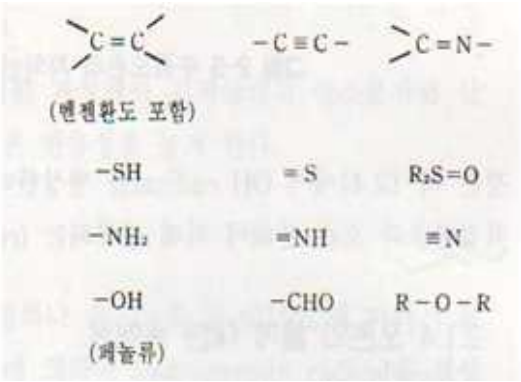
Substance	Potential(V)
Fluorine (F)	2,87
Hydroxyradical(OH)	2,86
Oxygen atom(O)	2,42
Ozone molecule(O_3)	2,07
Hydrogen peroxide(H_2O_2)	1,78
Chlorine(Cl)	1,36
Chlorine dioxide(ClO_2)	1,27
Oxygen molecule(O_2)	1,23

5. 오존의 반응성

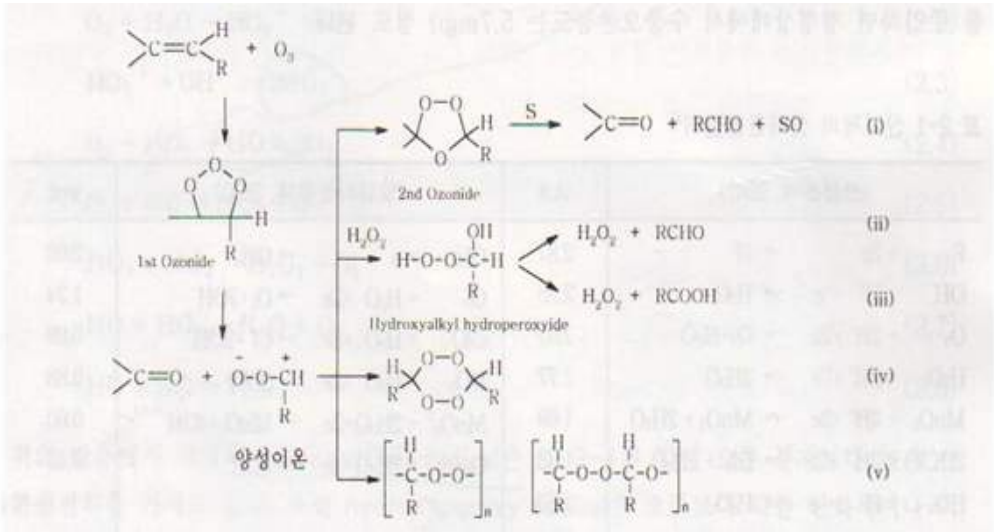
오존 분자구조는 결합각이 116, 50±30°, 원자간 간격이 1.278±0.003Å이다. 그러므로 오존 결합은 단결합과 이중결합의 중간으로 보여 지며, 공명구조는 4개의 극한구조의 혼성상태로 생각된다. 오존과 유기물 반응에서 무엇보다도 잘 알려져 있는 것은 C=C 2중 결합이나 방향 환을 개열시키는 반응으로 먼저 1,3-쌍극자의 환부가 반응에 의하여 1차 Ozonide를 생성한다. 이 화합물을 불안정하고 양성이온과 카보닐 화합물로 해리한다. 이 양성이온은 Schem 1이 화합물은 불안정하고, 양성이온과 카보닐 화합물로 해리한다. 이 양성이온은 몇 개의 반응이 진행되는 수용액 속에서는 α-hydroxyalkyl hydroperoxide가 생성되고 루트(ii), 루트(iii)을 통하여 Aldehyde 또는 Carbonic acid로 분해한다. 아래 그림에서는 오존에 대해 활성이 있는 관능기류를 나타냈다. 오존과 무기물 반응은 오존 산화 전위가 높으므로 모든 금속에서 쉽게 일어날 수 있다.



(a) 오존 분자



(b) 2중 결합의 오존분해



(c) Scheme Ⅰ 2중결합의 오존 분해

그림 36. 오존 분자구조

6. 오존의 산화 분해 반응

Hoigne 등은 수중에서의 용해성 유기물과 오존의 반응은 오존에 의한 직접반응과 오존이 분해하여 생성하는 OH 라디칼에 의한 간접반응의 2가지가 있다고 주장한다. 이 2개의 반응경로는 선택성이 다르고 생성물도 다르다. OH라디칼이 수용액 중에 생성되면, Advanced 산화공정(AOP)이 진행되고 이러한 독특한 공정은 용해된 고체를 오존에 의해 직접반응 혹은 OH 라디칼에 의한 간접반응에 의해 산화된다. 오존의 산화공정은 아래 그림 개념적으로 제시되었다. 이 그림은 오존에 의한 직접 산화반응과 프리 OH라디칼과 같은 이차 산화제에 의한 간접적인 반응으로 구성된다. 이와 같은 산화 반응은 물의 온도, pH와 화학조성과 같은 여러 가지 변수에 의존하여 진행된다. 오존 산화반응에서 OH라디칼의 역할을 결정하기 위하여 Rc 값이 사용된다. Rc는 오존과 OH라디칼의 반응속도 비를 나타낸다.

$Rc = [OH]/[O_3]$

오존이 물에 용해되면, Rc값은 10^{-6}에서 10^{-8}사이에서 변한다. 오존공정이 진행되는 동안 이차 산화공정에서 이 값은 10^{-8}정도의 값을 가질 것이다.

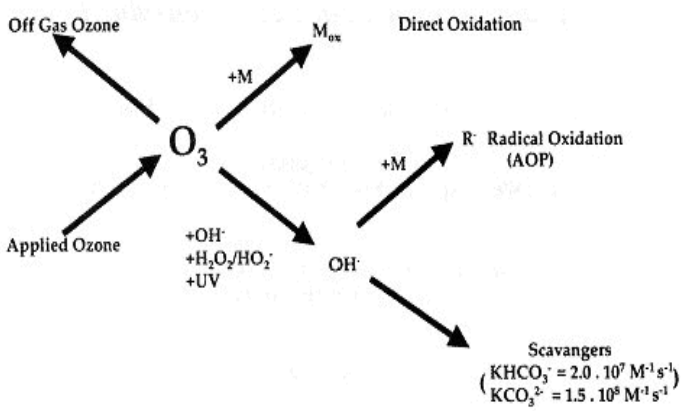


그림 37. 오존의 직·간접 산화반응

가. 오존의 직접산화반응

오존이 수용액 중에 알려진 구조를 기초로 산화반응 동안 1,3-dipole, Electrophilic agent와 Nucleophilic agent의 3가지 반응할 수 있다. 이러한 3가지 형태의 반응은 유기 불순물이 포함된 용액에서 보통 발생한다. 3가지 반응 메커니즘에 대하여 다음과 같이 소개된다.

① Cyclo addition (Criegee mechanism)

결과적으로 극성구조이다. 오존분자는 이중 삼중결합을 가진 골격 화합물과 1-3 dipole cyclo addition을 경험한다. 이것은 아래 그림에서와 같이 Ozonide(I)이라 불리는 화합물을 형성한다. 물과 같은 양성자 용액에서 오존나이드는 일차적으로 알데히드와 케톤 혹은 Zwitter로 분해되고, 궁극적으로 Hydrogen peroxide 와 카복실 그룹으로 분해된다.

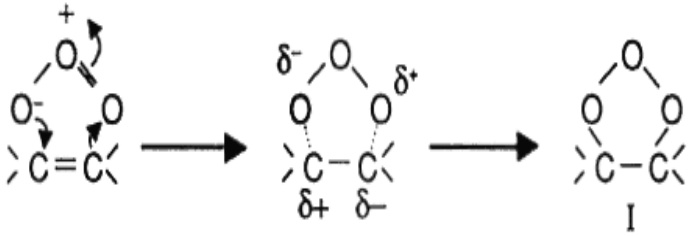


그림 38. Dipolar cyclo 추가

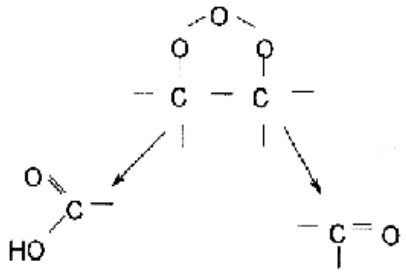


그림 39. 오존 분해

② Electrophilic reaction

Electrophilic reaction은 높은 전자 밀도를 가진 분자 용액이나 높은 수준의 아로마틱 화학물을 갖는 용액에서 주로 일어난다. OH 와 NH_2 와 같은 전자 도너에 의해 대치된 아로마틱 화합물 오소와 파라위치의 탄소화합물에서 높은 전자 밀도를 갖는다. 결과적으로 이러한 위치에서 아로마틱 화합물은 오존과 적극적으로 반응한다. 아래 그림은 오존과 페놀사이에 반응의 한 예를 보여주고 있다. 페놀그룹은 상대적으로 빠르게 오존과 반응한다.

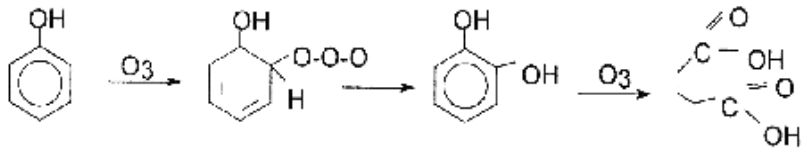


그림 40. 페놀과 오존의 반응

③ Nucleophilic reaction

Nucleophilic reaction은 주로 전자가 부족하거나 COOH 와 NO_3 와 같은 전자 retreating 그룹을 포함하는 탄소 화합물에서 주로 발생한다. 전자 반발쌍에서 반응속도는 매우 낮아진다. 이중결합과 반응성이 있는 아로마틱 그룹과 아민을 가진 유기물과 빠르게 반응하는 동안 오존에 의해 유기물의 직접적인 산화는 매우 선택적인 반응 메커니즘을 나타낸다. 오존은 중성 형태보다는 이온화 되거나 용해된 유기화합물과 빠르게 반응한다. 대부분의 음용수에 있는 무기화합물에 대하여 반응속도는 상대적으로 빠르다. 무기 화합물의 산화에 대한 주요 반응 메커니즘은 무기화합물에 오존의 여분의 산소 원자를 전달하는 것에 의해 결정된다. 무기화합물의 반응속도는 이온화와 해리된 화합물에서 더욱 크다. 요약적으로 유기물의 오존산화공정은 선택적이고 부분적인 반면에 대부분의 무기화합물은 빠르고 완전하게 산화된다.

나. 간접 산화 반응

오존 직접 산화반응과 다르게 OH-라디칼 반응은 주로 선택적이다. 오존산화의 간접반응은

복잡하고 주로 다음 단계를 따라서 발생한다.

① Initiation
발생하는 첫 번째 반응은 Initiator 형태에 의해 가속된 오존 분해 반응이다. 이 것은 OH 분자와 다음과 같이 반응한다.

반응 1 : $O_3 + OH^- \rightarrow O_2^{\bullet -} + HO_2^{\bullet}$

여기서 라디칼은 pKa=4.8의 산/염기 평형값을 갖는다. 이 값 위에서 라디칼은 반응 2와 같이 슈퍼 옥사이드 라디칼을 형성하기 때문에 더 이상 나누어지지 않는다.

반응 2 : $HO_2^{\bullet} \rightarrow O_2^{\bullet -} + H^+$ (pKa = 4,8)

② Radical chain-reaction
OH-라디칼이 형성되는 동안 라디칼 체인 반응이 반응 3, 4가 같이 일어난다.

반응 3 : $O_3 + O_2^{\bullet -} \rightarrow O_3^{\bullet -} + O_2$
반응 4 : $O_3^{\bullet -} + H^+ \rightarrow HO_3^{\bullet}$ ($pH < \approx 8$)

형성되는 OH-라디칼은 다음 반응 메커니즘 5, 6에 따라서 오존과 반응한다.

반응 5 : $OH^{\bullet} + O_3 \rightarrow HO_4^{\bullet}$
반응 6 : $HO_4^{\bullet} \rightarrow O_2 + HO_2^{\bullet}$

마지막 반응이 일어나는 동안 HO_2 라디칼이 형성되고 반응 2에서처럼 반응이 반복된다. 결과로서 체인반응이 전개되고, 프로모터에 의해 유지된다. 프로모터는 OH 라디칼을 슈퍼 옥사이드 라디칼로 변형하는 물질이다.

다. 확산율 속도와 반응율 속도의 특성

오존의 반응기작에는 확산율 속도와 반응율 속도로 분류할 수 있다. 확산율 속도 기작을 보면 화학반응에 의한 오존의 소비속도는 기상에서의 오존의 흡수속도 보다 빠르다. 따라서 수중의 오존농도는 무시할 수 있을 만큼 낮다. 이 반응기작은 다음의 조건중의 하나 또는 그 이상 만족시킬 때 성립한다.

① 오존이 물질이동계수 KLa가 작고,
② 용질의 반응활성이 크고,

③ 반응용질의 농도가 높고,
④ 물이 강 알칼리 성이고,
⑤ 오존처리가 UV와 병용하여 사용될 때 등이다.

또한, 반응율속도는 수처리에 의한 오존의 이용과 같이 수중의 오존농도가 상당한 레벨로 유지되면 용질의 제거속도는 KLa, gas 유속, 유입오존 농도, 시간, 반응기의 수용량, 용질의 화학반응성 및 헨리정수(H)에 의해 측정되는 용질의 휘발성 및 물의 화학적 조성에 의해 결정된다. 특히, 반응성이 낮은 용질의 제거는 휘발성이 증가하면 상당히 개량된다.

7. 다른 산화제와의 공용효과

오존은 강한 산화제라고 말해지고 있지만, 그 능력에는 한계가 있으며 많은 포화 유기물은 실제상으로 산화 분해될 수 없는 경우가 있다. 이런 경우, 오존의 산화능력을 높이기 위해서 보조적인 수단을 사용하는 것이 오존 반응의 촉진에 유효하다. 자외선이나 방사선을 쪼이면서 오존 반응을 한다든지, 과산화수소를 더해가면서 오존 반응을 하는 것이 여기에 속한다. 과산화수소를 첨가하는 오존 반응은 대부분의 종류의 유기화합물이 완전하게 산화 분해될 수 있다. 이 경우의 과산화수소의 역할은 라디칼(Radical)의 생성 원으로, 여기에서 만들어진 라디칼을 반응 개시제로 하여 라디칼 연쇄반응에 의해 유기물이 몇 단계인가의 분해반응을 거쳐 탄산가스와 물로 완전 분해된다. 첨가된 과산화수소는 우선 물속에서 수소 이온과 하이드로퍼옥시 이온으로 해리된다. 하이드로퍼옥시 이온(HO_2)은 오존과 반응하여 하이드록실(HO) 라디칼을 생성한다, 첫 번째의 과산화수소 해리는 평형반응에서 pH가 높은 쪽이 해리를 진행시킨다. 그와 함께 이 반응의 pKa는 11.6으로 알려져 있으며, pH 5 이하에서는 충분한 하이드록실 라디칼을 발생시킬 수 없다. 두 번째 반응의 속도는 106 M/s 정도로 알려져 있다.

$H_2O_2 \rightarrow H^+ + HO_2^-$
$HO_2^- + O_3 \rightarrow H\dot{O} + \dot{O}_2^- + O_2$
$H\dot{O} + RH \rightarrow \dot{R} + H_2O$
$\dot{R} + O_3(O_2) \rightarrow$ 산화생성물

하이드록실 라디칼은 직쇄의 유기물에서 수소 빼내기 반응에 의해 유기 라디칼을 만들며, 방향족 화합물에서는 부가반응에 의해 만찬가지로 유기 라디칼(RHOH)을 만들고, 이 유기 라디칼이 오존 또는 산소와 반응해서 산화 생성물을 준다. 여러 가지 유기물과 하이드록실 라디칼의 반응은 모두 107~1 010 ℓ/mol·sec로 매우 큰 반응 속도 정수가 얻어지고 있다. 또한, 실험적으로도 오존과 전혀 반응하지 않는 초산마저도 완전히 분해되는 것으로 알려졌다.

표 18. 하이드록실 라디칼과 유기물의 반응 속도

물질	k(ℓ/mol ·sec)
페놀(C_6H_5OH)	1.4×1 010
프로필알코올($CH_3CH_2CH_2OH$)	2.7×1 010
초산(CH_3COOH)	8.5×1 010
개미산(HCOOH)	2.8×1 010
말레익산($HCCOOH_2$)	4.7×1 010
메탄(CH_4)	2.4×1 010
에탄(C_2H_6)	1.2×1 010

8. 내오존 처리 재질 평가 및 첨가제

오존처리 설비에서 사용하는 재질은 내산화성 또는 내오존성의 것으로 하는 것인 당연하지만 더욱이 경제성 기계적 강도도 고려하여 선정할 필요가 있다. 내 오존성 무기재질로서는 알루미늄(Type 25, 36, 24S, 61, EC), 스텐레스(Type 302, 304, 316, 410, 416), 동(Type10-20), 텅그스텐, 티탄, 델루늄 및 백금 등이 있지만 사용면에서 오존발생기, 오존반응조, 각종 배관재로서(Type 304, 316) 스텐레스가 널리 이용된다. 또한, 가공재료로서 SiO_2-AlO_3를 주성분으로 한 자기 유리 또는 콘크리트가 내오존 재료로서 반응조 또는 산기장치 등에 사용된다. 수지 또는 합성고무는 오존처리 설비기기, 코팅재 및 패킹재로서 보완이 필요하다. 강도실험결과, 용출시험결과, 사용실적을 가만하면 실리콘, 테프론 및 폴리에틸렌이 우수하다. FRP수지 또한 내오존 재료로 충분히 사용가능하여 타르계 에폭실 수지에 대하여도 3~4년마다 도장을 새로 하면 적용가능하다. 또한, 비교적 오존 농도가 낮은 부분이 있으면 가형제가 들어가지 않고, 열화방지제를 첨가한 하이파론 고무 또는 네오플렌 고무 등은 상당히 장기간의 사용에 견딜 수 있다.

표 19. 오존 열화 방지제

(a)	PP'Diamino diphenyl methane
(b)	NN'dinonyl p-phenylene diamine
(c)	NN'Dioctyl p-phenylene diamine(UOP288)
(d)	NN ; Di(2,6dimethylheptyl) p-phenylene diamine
(e)	NN'Di(1'methyl octyl) p-phenylene diamine
(f)	N-Cyclohexy-N'-phenyl-p-phenylene diamine
(g)	6-Ethoxy-1,2-dihydro-2,2,4 trimethyl-quinoline

모든 고분자재료는 빛, 열 및 혹한환경에 의해서 가공중이나 사용 중에 분해가 일어나므로 실제로 제품화하기 위해서는 그 취약성을 보완하고, 특성을 살리기 위해 용도에 따라 보조재료인 첨가제를 사용해야 한다. Polyoelfin에 중합 또는 첨가되는 여러 첨가제들 중에는 가소제, 안정제, 중진제, 강화제, 가교제, 발화지연제, 발포제 및 향균제 등의 여러 가지가 있다. 이 중에서 안정제로 사용되는 것은 산화방지제, 자외선 흡수제 및 열 안정제 등이 있다. 그러나 Hydroperoxide는 고온에서 불안정하여 다시 두 개의 라디칼을 형성하며, 라디칼의 증가로 인해 반응은 더욱 가속된다. 이때 Poly ethylenes, Rubbers 및 Unsaturated polymers는 Cross-linking이 우세한 반면 Polypropylene은 Chain scission이 우세한 경향을 보인다. 이 두 가지 경우 모두 자유 라디칼 메커니즘에 의한 노화가 생기게 된다. 가교와 절단의 두 가지 노화과정은 가역적으로 일어나고, 체인이 절단될 때 분자량은 감소하며, Melt flow가 커지고 Toughness가 증가한다. 반대로 가교가 일어나면 분자량이 증가하며 Melt flow가 감소하고 취성이 증가한다. 생성된 자유 라디칼의 메커니즘에 의한 노화를 방지하기 위해서 라디칼 반응이 더 이상 일어나지 못하도록 첨가제(Antioxidants 등)를 이용하여 제거해야 한다. 산화방지제의 주된 기능은 열적산화로부터 고분자 기질을 보호하는 것이다. 이것은 고분자 제품의 열적공정, 제작, 저장 및 응용에 이르기까지 필요한 것이다.

산화방지제는 Primary산화방지제와 Secondary산화방지제로 분류되는데 primary 산화방지제는 크게 Hindered phenols과 Secondary arylamine의 두 종류로 나누어지며, 반면에 Secondary산화방지제는 유기 인이나 유기 Thio compound를 포함한다. Primary와 Secondary 산화방지제가 같이 사용될 때 산화에 대한 전체적인 효과가 증가하는 상승효과를 보이기도 한다. 첨가제의 추출성 및 휘발성, 이행성의 문제를 해결하기 위하여 고분자와 첨가제의 상용성 증대를 통하여 해결하고자 하는 연구가 많이 진행되었다. 이와 같은 연구의 주류는 크게 첨가제의 분자량을 크게 하는 것과 고분자의 사슬에 첨가제를 화학적으로 그래프트 시켜 고분자량화 하는 것과 두 가지 방법이 있다. 실제로 공업적으로는 이 두 가지 방법을 혼용하여 쓰는 것이 보통이다. 전자의 경우 가장 간단한 구조의 산화방지제인 BHT에 다양한 치환제들을 치환시켜 사용하는 것이 좋은 예이다. 이렇게 함으로써 첨가제의 추출성과 이행성을 감소시킬 수 있다. 그러나 산화방지제의 효능은 분자량의 증가에 따라서 선형적으로 증가하지는 않는다.

제 4절 국내 방수·방식재의 내오존성능 예비평가

1. 시제품의 선정

국내 고도정수처리시설에 적용중인 방수·방식재를 대상으로 관련 표준을 준용하여 시험을 실시하였고, 서울시 상수도 사업본부 내부지침 1등급 이상(부착강도 무처리 1등급 조건인 2.82 N/㎟ 이상)의 재료에 한하여 국내 오존 처리시설에서 적용중인 재료를 대상으로 선정하였으며, 그 종류는 아래 표와 같이 5종류의 방수·방식재를 선정하여 평가 진행하였다.

표 20. 시험 대상

구분	종류	색상	수량	시험체 제작
A 재료	에폭시 수지계	파란색	각 6 개	210*70*2 ㎜ 유리시편 상부 도포 ※ 도포되는 시료의 두께는 KS F 4921에 따른다.
B 재료	폴리우레아 수지계	갈색		
C 재료	세라믹 메탈 함유 수지계	파란색		
D 재료	세라믹 메탈 함유 수지계 + 불소수지계	파란색		
E 재료	세라믹 메탈 함유 수지계 + 불소수지계	파란색		

상기 재료 중 D와 E재료는 동일한 재료이지만 구성성분 중 조색을 위한 안료의 성분이 다른 재료로서 육안상 색이 약간 상이하지만 성능은 동일한 재료이다.

2. 시험체 제작

시험체 제작에 있어 유리시편은 두께 2 mm, 양면이 평평한 것을 210×70 mm크기로 잘라 각 6개씩 준비하며, 절단면을 매끄럽게 한다. 이것을 세제 등으로 씻은 후 물로 충분히 닦아 건조시킨다.

시험편의 도포는 KS F 4921 콘크리트용 에폭시 수지계 방수·방식재의 6.1.4 시험방법에 따라 도료의 도막두께는 건조 도막 두께가 0.5 mm 이상이 되도록 도포하고, 중복 바르기를 할 경우에는 제조자가 지정하는 중복 바름 간격을 따른다. 도포 시 조건은 KS A 0006에 규정하는 표준상태 인 온도 25±2 ℃, 습도 50±5 % 로 한다.

3. 오존 처리 조건

오존 처리 시험 조건은 5±0.5 ppm, 200시간 노출을 적용하였다. 이는 현재 한국수자원공사 오존처리 정수시설 내부 방수·방식재의 촉진열화 기간 기준으로 제시되어있다. 오존처리수조는 약 90×70×120 cm의 스테인레스 챔버로 제작하였고, 내부 상세도는 아래 그림과 같다. 오존처리 수조 내부의 환경은 아래 표와 같이, 수조 내에 물을 담아 오존 농도를 용존 오존 상태에서 5±0.5 ppm이 되도록 하였고, 챔버 내 수중 온도는 10±2 ℃ 범위로 하였으며, 방수·방식재가 도포된 시험체를 챔버 내 수중과 공기중에 200시간 정치하였다.

표 21. 오존시험기 챔버 실험환경

구 분	시 험 조 건	비 고
챔 버 크 기	90㎝(L)×70㎝(W)×120㎝(H)	※ 챔버 내부의 실험수는 시험완료시까지 순환시킨다.
실 험 수	수도수	
침적수두(m)	0.8	
용존 오존 농도(ppm)	5±0.5	
수온(℃)	10±2	
오존 노출 시간	200시간	

표 22. 오존발생기 제원

Descriptions	Values
Feed Gas	Air
Norminal Production	20 g/hr
Norminal Ozone Conc.	5~150 g/㎥
Air flux	3.0 ~ 3.5 ℓ/m
Cooling type	Air Cooled
Module Pressure	0~2 ㎏/㎠

표 23. 오존측정기 제원

Descriptions	Values
Display range	0~200.0 ppm
Sensor	Membrane-covered polaro-graphic sensor
Precision / Repeatability	±0.01 PPM or 0.3 % of F.S.
Response time	90 % in 60seconds



(a) 오존 시험기 전경 (b) 오존 발생장치 (c) 오존 측정장치

그림 41. 오존 시험기

본 시험에 사용된 오존 발생장치는 시간당 최대 20 ppm의 오존을 발생시킬 수 있으며, 국내 제품을 사용하였다. 용존 오존 측정기는 미국 ATI사의 Q45h-64모델로 측정범위는 0 ppm에서 최대 200.0 ppm까지 측정할 수 있는 장치이며, 수중의 pH와 온도를 동시에 확인 할 수 있는 장치이다. 해당 장치는 측정 센서의 화학적 전해질 전극방식으로 측정되며, 정확도가 높아 실제 국내 고도정수처리시설에 적용되고 있는 동일한 장치이다.

시험의 조건은 다음 그림과 같다.

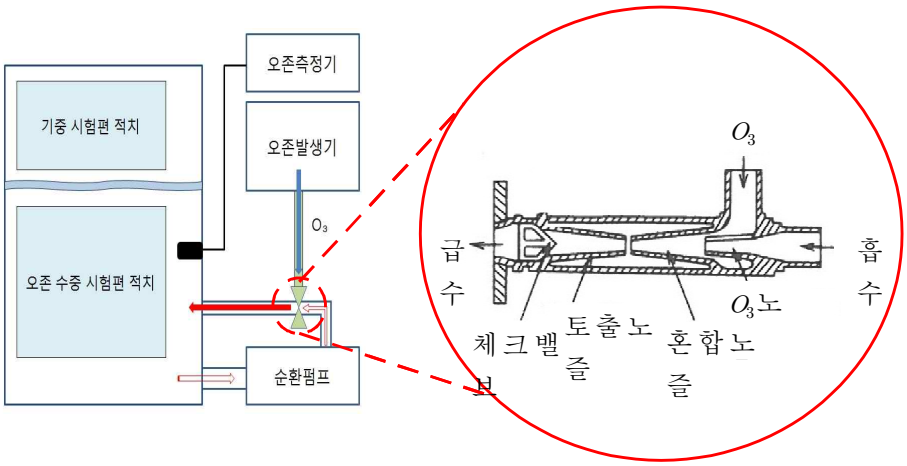


그림 42. 오존 챔버 모식도

오존기체 용해 방식은 다양한 방법이 있으나 선행 연구자들이 적용한 산기방식에 비하여 30 % 이상의 효율이 있다고 알려진 Side Stream 방식을 적용, 용존오존의 농도를 항시 유지할 수 있는 조건으로 진행하였다.

Side Stream 방식은 챔버 내부의 오존수의 농도를 일정하게 유지하기 위해 순환펌프로 물

을 순환시키면서 인젝터를 통해 오존기체가 토출수압에 의해 빨려 들어가면서 물에 용해되는 방식으로 실시간으로 오존 농도를 측정하면서 오존 농도를 일정하게 유지할 수 있다.

4. 오존 처리조 방식·방식재의 성능평가

가. 질량변화

각각의 시험편에 대하여 무처리, 기중오존, 용존오존 조건에서 5±0.5 ppm, 200시간 오존 노출 전후의 질량을 측정하여 각각의 시험편의 질량 변화량을 측정한다. 이때, 표면의 열화되어 씻겨져 나가는 도막층에 대하여 초음파 세척을 통해 제거한 후 질량 측정을 한다. 초음파 세척을 하는데 있어 세척수는 증류수 또는 정제수를 사용하며, 세척하는 시간은 5~10초 정도를 초음파 세척한다. 한 재료군의 세척이 끝날 때마다 세척수를 교체하여 사용해야 한다. 세척수를 교체하지 않고 사용할 경우 표면에서 떨어져 나온 다른 재료군의 성분들이 표면에 엉겨 붙을 수 있으며, 질량변화에 영향을 줄 수 있다. 초음파 세척을 하는 이유는 열화되어 본래의 성능을 확보하지 못하는 부분을 제거하고, 본래의 성능을 발휘 할 수 있는 건전한 부위만을 대상으로 확인하기 위함이다.

A재료의 경우 기중과 용존오존에서 각각 1.41 g, 1.78 g감소하였다. 이는 5개의 재료 중 가장 큰 질량 감소를 나타내고 있으며, 오존에 대한 저항성이 부족한 것으로 확인되었다. 기중오존에 비해 용존오존에서 약 0.37 g정도 질량감소가 증가한 것을 확인하였다. B재료의 경우 기중과 용존오존에서 각각 0.76 g, 1.01 g감소하였다. 질량변화 차이는 용존오존에서 약 0.25 g 더 감소한 것을 확인하였다. C재료의 경우 기중과 용존오존에서 각각 1.06 g, 1.53 g감소하였다. 질량변화 차이는 약 0.47 g 차이가 났으며, 이 역시 용존오존에서의 질량 감소가 크게 나타났다. D재료의 경우 기중과 용존오존 모두 0.01 g 감소한 것으로 확인 되었다. E재료의 경우 기중에서 0.01 g, 용존에서 0.10 g 감소한 것을 확인 할 수 있었다. D와 E재료는 나머지 3개의 재료보다 질량 감소가 큰 폭의 차이로 적게 나타났다. 이는 불소코팅으로 인하여 오존에 의한 열화에 저항한 것으로 판단되며, 질량변화 측정을 통하여 오존에 대한 저항 성능을 정량적으로 판단할 수 있는 것으로 판단된다. 질량 변화에 대한 시험 결과는 다양한 재료에 대하여 추가적인 실험을 통해 중량 감소 허용기준을 선정해야 할 것으로 판단된다.

표 24. 질량변화 측정 결과

구분		A 재료	B 재료	C 재료	D 재료	E 재료
질량변화(g)	기중오존	1.41	0.76	1.06	0.01	0.01
	용존오존	1.78	1.01	1.53	0.01	0.10

나. 육안관찰

각각의 시험편에 대하여 무처리, 기중오존, 용존오존 조건에서 5±0.5 ppm, 200시간 오존 노출 후 시험체의 겉모양을 육안으로 관찰하고, 그 상태를 평가 한다. 즉, 오존처리 후 방수·방식재 표면에 색상변화, 광택변화, 용해, 주름, 처짐, 균열, 핀홀 등의 현상이 나타났는지의 유무를 확인한다. 1차 확인은 오존 폭로 후 오존 챔버에서 꺼내자마자 표면을 면봉으로 살짝 문질러 표면의 용해 여부를 확인한다. 2차 확인은 KS A 0065을 준용하여 시감측색방법으로 무처리 시험체와 오존 시험체를 동시에 비교 대조하여 육안관찰을 한다. 이때 시험체 대조를 위한 관찰작업 환경은 확산조명이 되어야 하며, 조도는 1000lx 이상 균제도 0.8 이상인 것이 바람직하고, 작업면의 색은 무광택이며 명도 V가 5인 무채색으로 해야 한다. 관측자의 관찰방향은 45°방향에서 관찰한다.

육안관찰 결과는 A, B, C 재료의 표면은 하얗게 탈색이 된 것을 확인 할 수 있었다. A 재료의 경우 표면의 대부분이 탈색이 되어 부풀어 올랐으며, 손에 묻어나고 건조 후 표면의 열화된 층이 부스러진 것을 확인 할 수 있었다. B 재료의 용존오존 노출 후 표면의 탈색은 확인 되지 않았지만 오존 챔버 내의 용존오존 수의 순환으로 인하여 표면의 용해가 심하게 나타나 손에 묻어날 정도로 열화가 진행된 것을 확인하였다. C 재료는 탈색과 부풀음으로 바탕체인 유리와의 경계면에서 박리가 발생된 것을 확인하였다. D와 E 재료는 오존보다 강한 불소로 코팅이 되어있어 육안상 이상 유무를 확인 할 수 없었다.

앞에서 언급된 내용과 같이 수중기를 함유한 기중오존에서 표면의 열화정도가 더 심할 것으로 예상했으나 실질적으로 순환되는 오존수에 의해 용존오존 시험체 표면의 열화가 더 심한 것을 확인 할 수 있었다. 이러한 오존수의 영향에 저항 할 수 있는 능력을 지닌 방수방식재의 개발이 필요할 것으로 판단되며, 육안상 탈색, 변색, 부풀음, 용해, 박리 등의 열화현상이 발생하지 않는 조건을 품질기준으로 정하여야 할 것으로 판단된다. 육안관찰방법이 내오존 성능을 확인 할 수 있는 관능적 방법으로써 적정한 것으로 판단된다.

구분	무처리	기중오존	용존오존
A 재료			
	광택	광택소실, 탈색 및 상도용해	광택소실, 탈색 및 상도용해
B 재료			
	광택	광택소실, 탈색 및 상도용해	광택소실 및 상도용해
C 재료			
	무광택	탈색 및 부풀음	탈색 및 박리
D 재료			
	광택	이상 없음	이상 없음
E 재료			
	광택	이상 없음	이상 없음

그림 43. 각 재료별 육안관찰 결과

다. FE-SEM

주사전자현미경(FE-SEM)은 최근에 개발된 것으로 초점이 맞추어진 전자선을 표본의 표면에 주사한다. 주사된 전자선이 표본의 한점에 집중되면 1차전자만 굴절되고 표면에서 발생된 2차전자는 검파기에 의해 수집되어 표본을 입체적으로 관찰할 수 있다. 각각의 시험편에 대하여 무처리, 기중오존, 용존오존 조건에서 5±0.5 ppm, 200시간 오존 노출 후 건조시킨 각 시험체에서 시험편을 채취하여 전계방사형 주사전자현미경을 이용하여 1,000배율로 표면을 관찰하였으며, 오존처리 전후의 공극 변화 및 표면 열화 상태를 비교 분석한다.

A 재료의 경우 기중오존에서 표면의 균열과 요철이 발생되었고, 용존오존에서 기중오존의 균열보다 더 많은 미세균열이 발생하였고, 요철은 더욱 많아진 것을 확인하였다. B 재료의 경

우 기중오존 시험편 표면의 요철이 심하게 발생되어 표면이 하얗게 나타날 정도로 열화가 심하게 발생되었으며, 용존오존 시험편의 표면에서는 분화구 모양의 요철이 발생된 것을 확인하였다. C 재료는 기중오존에서 조직의 형태가 지반의 융기 또는 침하의 형태로 나타나는 것을 확인 하였다. 용존오존에서 표면은 기중오존의 표면보다 더 심한 잔 균열과 조직 분화가 발생된 것을 확인하였다. D 재료는 무처리, 기중오존, 용존오존 시험체 모두 이상이 없었다. E 재료는 무처리와 비교했을 때 기중오존 시험체에서 표면에 소량의 하얀 점들이 생긴 것을 확인할 수 있었으며, 용존오존 시험체에서는 기중오존에서 보다 많은 하얀 점들이 발생된 것을 확인 할 수 있었다.

고배율 육안관찰을 통해 조직의 열화정도를 확인할 수 있었다. 이는 FT-IR(미량분석)측정방법을 대신하여 사용 가능한 것으로 판단되며, D, E재료의 결과와 같이 표면 균열 및 요철이 발생되지 않는 상태를 품질기준으로 설정하는 것이 적합한 것으로 판단된다. 본 시험을 통해 내오존 성능을 확인할 수 있는 정성적인 판단 방법으로 적정한 것으로 판단된다.

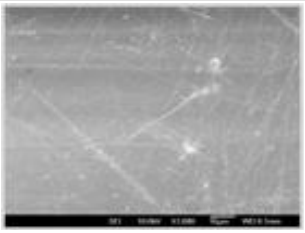
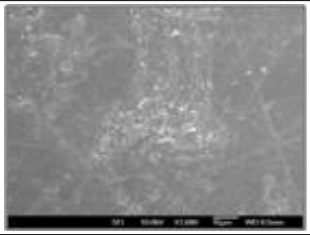
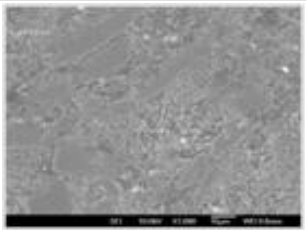
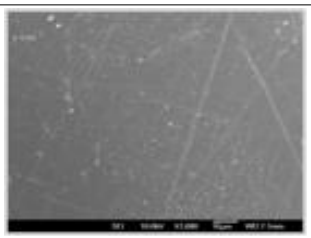
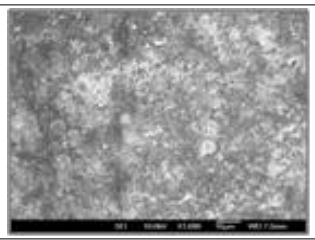
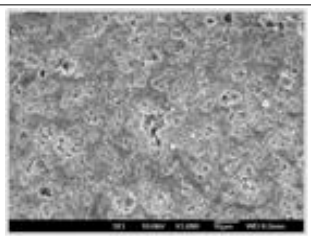
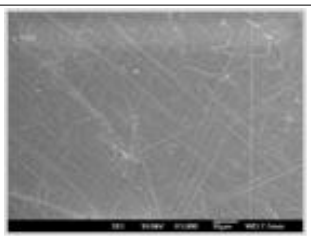
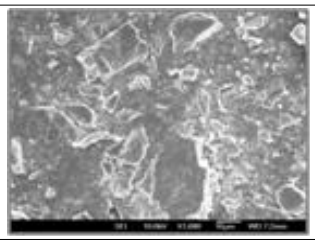
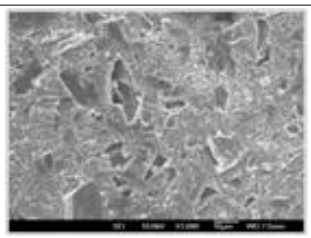
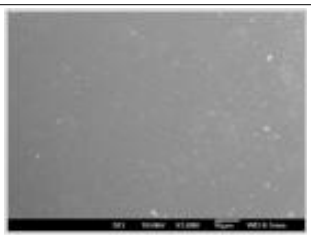
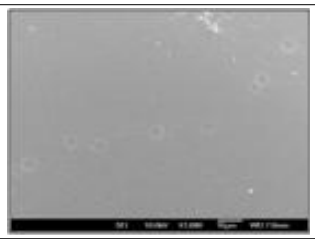
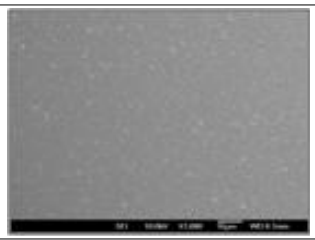
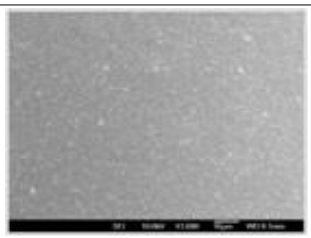
구분	무처리	기중오존	용존오존
A 재료			
	-	표면요철, 균열 발생	표면요철, 균열 발생
B 재료			
	-	표면요철, 균열 발생	표면요철, 균열 발생
C 재료			
	-	표면요철, 균열 발생	표면요철, 균열 발생
D 재료			
	-	이상 없음	이상 없음
E 재료			
	-	표면 흰점발생	표면 흰점발생

그림 44. 각 재료별 FE-SEM 결과

라. 색차

각 시료별로 유리시편에 도막층을 형성하고 일정 양생기간이 지난 시편에 대하여 무처리,

기중오존, 용존오존 조건에서 5±0.5 ppm, 200시간 오존 노출 전후 측정한 색차 값 차이를 확인하여 사람의 눈에 인지하기 어려운 범위까지의 시편 표면색의 변화를 소수점 둘째자리까지 측정하여 정량적으로 확인한다. 측정한 결과는 SpectraMagicaNX 프로그램을 통해 분석하였다.

표 25. 색차 측정값 확인 표

구 분	지수명칭	+값	-값
L*	명도지수	밝아짐	어두워짐
a*	색조지수	Red 에 가까워짐	Green 에 가까워짐
b*	색조지수	Yellow 에 가까워짐	Blue 에 가까워짐



그림 45. 분광색차 측정기

A 재료의 경우 오존노출 전·후의 색 변화가 나타난 것을 육안관찰을 통해 확인할 수 있다. 이것을 수치로 환산하여 확인해 보았을 때, 기중오존에서 ΔL^*는 +2.16, Δa^*는 -1.51, Δb^*는 +3.12 만큼, 용존오존에서 ΔL^*는 +5.31, Δa^*는 -1.94, Δb^*는 +7.79 변화하였다. 이는 시험체의 표면색이 백색화, 녹색화, 노란색화 된 것을 의미한다. 이것을 정량적 수치인 ΔE^*ab로 환산하여 기중오존에서 4.08, 용존오존에서 9.62 만큼 변화된 것을 확인 할 수 있었다.

B 재료의 경우 기중오존에서 ΔL^*는 +8.30, Δa^*는 -2.11, Δb^*는 +10.51 만큼, 용존오존에서 ΔL^*는 -10.05, Δa^*는 -1.58, Δb^*는 +11.25 변화하였다. 용존오존에서 ΔL^*값이 역전이 되었는데 열화로 인해 백색화 된 부분이 챔버내 순환 수로 인해 씻겨 지면서 색의 명도 값이 역전된 것으로 판단되며, 시험체의 표면색이 녹색화, 노란색화 된 것을 확인 할 수 있었다. ΔE^*ab을 확인해 본 결과 기중에서 13.56, 용존오존에서 15.17 만큼 색이 변한 것을 확인 할 수 있었다.

C 재료의 경우 기중오존에서 ΔL^*는 +5.80, Δa^*는 -2.16, Δb^*는 +6.15 만큼, 용존오존에서 ΔL^*는 +9.19, Δa^*는 -2.14, Δb^*는 +10.28 변화하였다. 시험체의 표면색이 백색화, 녹색화 노란색화 된 것을 확인 할 수 있었으며, ΔE^*ab값은 기중오존에서 8.73, 용존오존에서 13.95만큼 변색된 것을 확인 할 수 있었다.

D와 E 재료의 경우 A, B, C 재료와는 상당한 차이 나타난 것을 확인할 수 있었다.

색차측정은 육안관찰, FE-SEM을 통해 확인한 내용을 좀더 구체적으로 수치화하여 나타내주는 정량적 측정방법으로써 적합한 것으로 판단되며, ΔE^*ab를 기준으로 2.0 까지를 허용치로 두어 품질기준으로 채택해도 적정할 것으로 판단된다. 또한 슈미트 해머와 같은 비파괴 시험방법으로 방수방식재의 열화정도 확인을 하는데 적합한 시험방법이라 판단된다.

표 26. 색차 측정 결과 표

재료군	상태	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*ab
A 재료	무처리	0.07	-0.32	0.08	0.33
	기중오존	2.16	-1.51	3.12	4.08
	용존오존	5.31	-1.94	7.79	9.62
B 재료	무처리	-0.31	-0.28	0.21	0.47
	기중오존	8.30	-2.11	10.51	13.56
	용존오존	-10.05	-1.58	11.25	15.17
C 재료	무처리	0.06	-0.25	0.10	0.27
	기중오존	5.80	-2.16	6.15	8.73
	용존오존	9.19	-2.14	10.28	13.95
D 재료	무처리	-0.08	-0.07	0.09	0.14
	기중오존	-0.16	-0.12	0.11	0.26
	용존오존	-0.17	-0.45	0.28	0.60
E 재료	무처리	-0.05	0.01	-0.01	0.05
	기중오존	0.12	0.27	0.22	0.37
	용존오존	0.14	0.34	0.80	0.88

제 5절 실내촉진 오존환경 평가장비 구축

1. 국내 고도처리시설 운영 조건 분석

수도권은 한강수계를 식수원으로 사용하고 있으며, 관리기관의 전문가 자문회의를 통하여 조사한 바에 의하면, 국내 식수원중에서 한강수계의 수질은 양호한 것으로 조사되었다. 따라서 한강수계에 설치되어있는 고도정수처리시설의 운영조건은 계절별 수온변화는 5~25 ℃에서 처리되고, 깨끗한 수질을 바탕으로 용존오존농도는 1 ppm미만×20분 체류로 운영하고 있

다. 하지만 수질오염이 심각한 낙동강수계를 식수원으로 사용하고 있는 대구, 부산 등의 고도정수처리시설의 운영조건은 일반적으로 2 ppm으로 다소 한강수계보다 높은 조건에서 정수처리된다. 또한 계절별 수온변화 및 오염물 유입에 따라 용존오존농도의 변화가 매우 크며, 최대 3 ppm까지 오존수를 주입하는 경우가 발생하며, 특히 수질오염이 심각한 우기 및 혹서기에 용존오존농도가 급격히 높아지고 있다. 실제 고도정수처리시설의 방수·방식재의 열화가 가장 심각한 부분은 기중 및 수중상태의 조건보다 수위의 변화가 발생하는 계면에서의 하자 발생율이 높은 것으로 조사되었다.



그림 46. 실제 정수처리시설의 수위변화에 의한 심각한 방수·방식재의 열화

2. 내오존 평가장비의 개념도

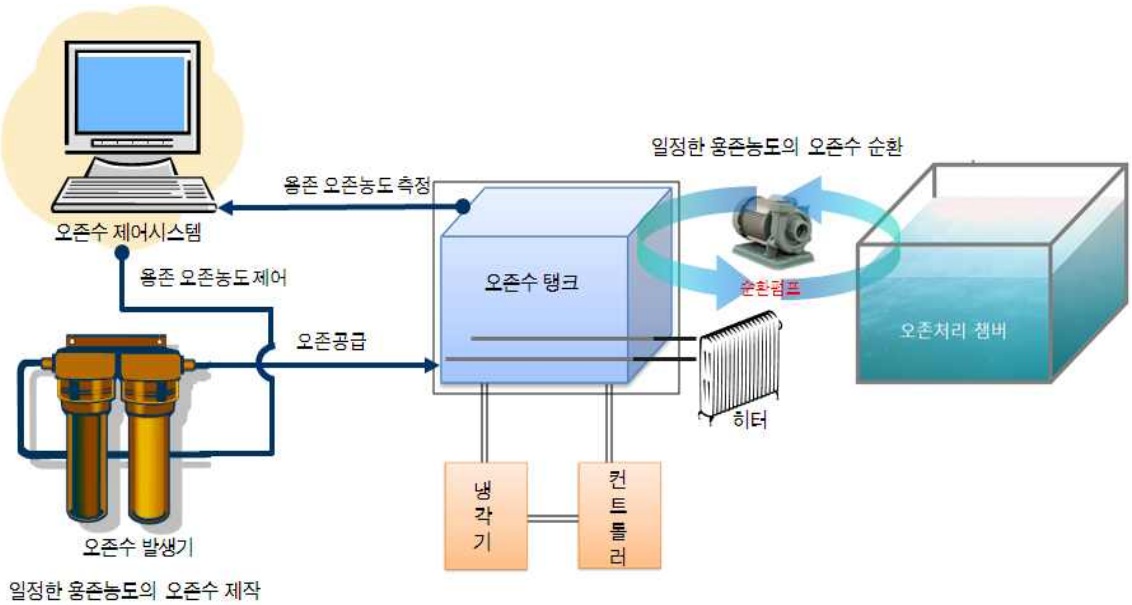
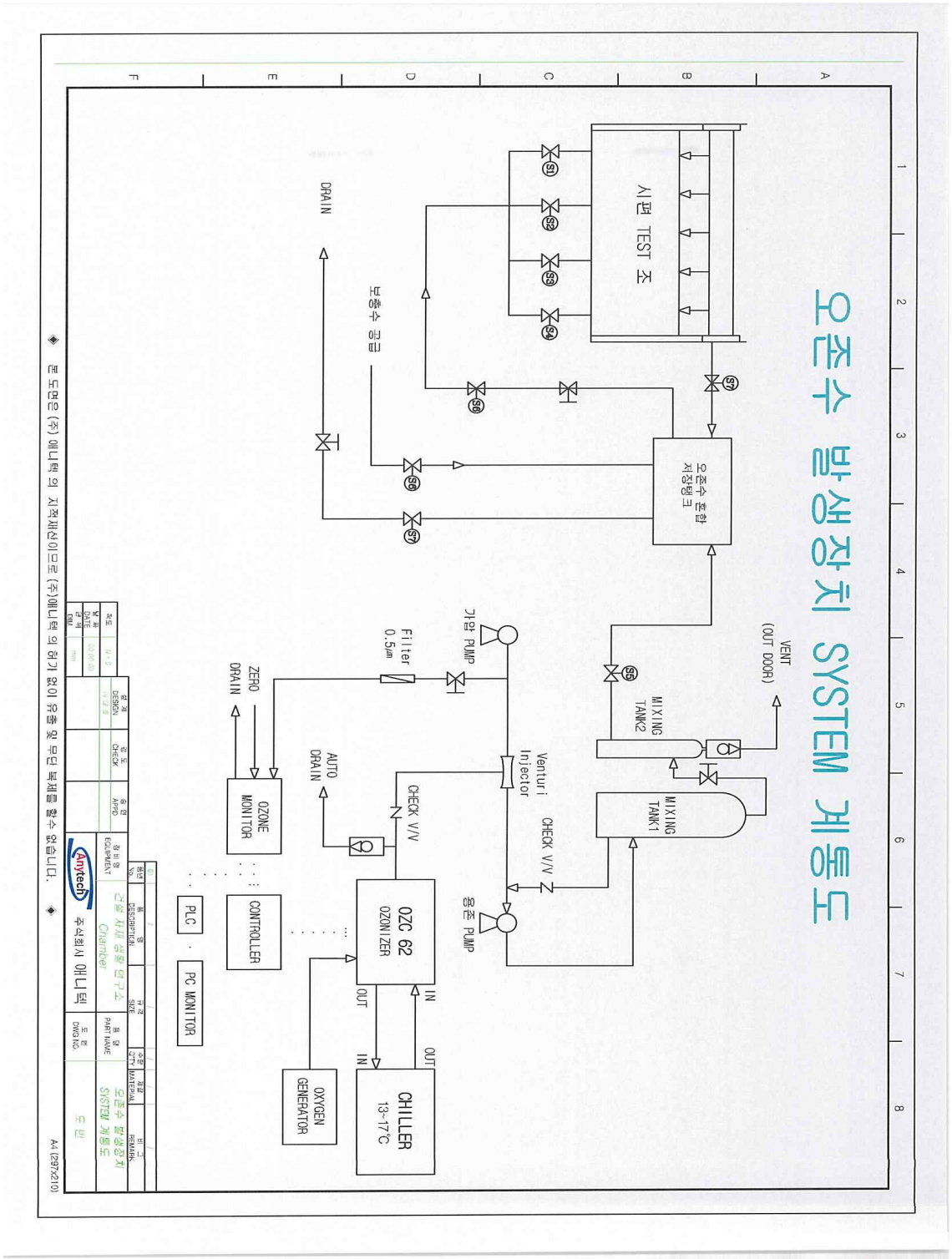


그림 47. 오존처리 장비 개념도

3. 내오존 실내촉진평가 장비 구축 현황





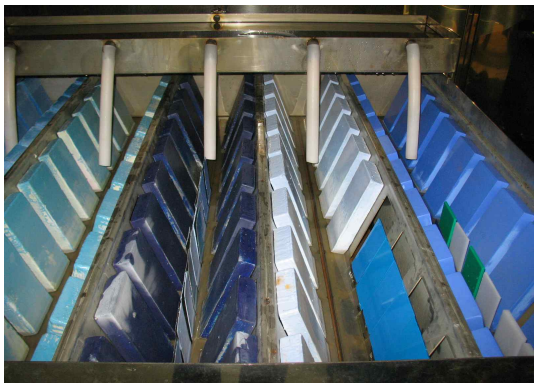
(a) 제어장치



(b) 오존 발생기



(b) 시험체 챔버



(b) 챔버 내부 시험체 거치

그림 48. 촉진 내오존 시험 장비

4. 실내촉진 오존환경 장비 개선

가. 수위조절에 따른 일정한 용존오존농도 유지

실제 고도처리시설에서 발생하는 수위변화에 따라 열화가 촉진되는 조건을 모사하기 위하여 수위조절장치를 설치하였으나, 부적절한 배관 배치상태에서 시스템을 운영하였을 경우 약 3시간정도 운영 시 챔버 내부에서 오존수가 정체되어서 수조내부의 용존오존농도가 급격히 하락하는 문제점이 발생하였다.




그림 49. 설계 초기의 오존수 탱크 및 배관 배치개선전 오존수 탱크

다음 그림의 점선으로 표기하여 나타낸 일정한 오존수 투입을 위한 저장탱크와 그림 하단의 펌프 2대를 추가로 설치 변경하여 우선적으로 일정농도의 오존수를 저장하고 신규 생성된 오존수를 그림 하단의 우측의 펌프를 이용 챔버 내부로 재투입 및 순환시켜 일정한 농도의 오존수를 챔버 내부로 공급하는 방향으로 개선하였다.



그림 50. 설계 변경 후의 오존수 탱크 및 강제 오존수 순환 모터 설치

다음 그림에서와 같이 실제 정수장의 운영 조건을 모사하여 수위변화를 조절하여 실내 촉진 열화조건을 Cycle을 구축하여 내오존성능 평가방법에 반영하여 방수·방식재의 성능을 검증하고자 하였다.

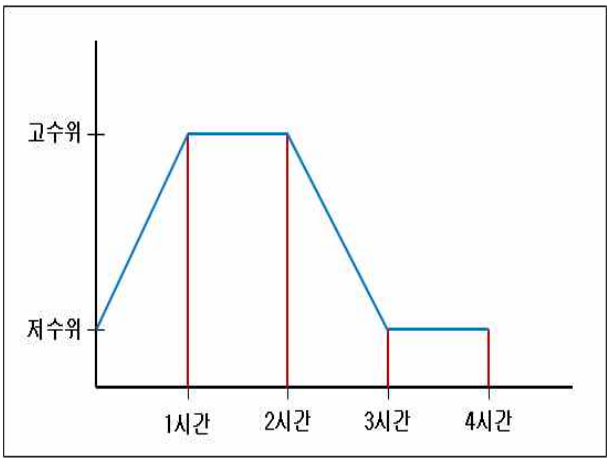


그림 51. 운영시간대별 수조내부의 오존수 수위변화(1Cycle)

나. 일정한 용존오존농도 유지를 위한 Filter 방식 변경

시험체에 도장된 방수/방식재가 고농도 용존오존에 열화되어 박리 및 탈락된 조각들이 수중의 부유물로 발생하여 다량의 sludge 형태로 오존수 탱크에 재순환되는 과정에서 여과되지 못하여 Filter의 효율성 저하가 발생하였다. 또한 Filter의 용량이 너무 작아서 연속 운영 시 단시간 만에 Filter의 입구가 막혀 오존수가 오존농도 측정기 내부로 유입 시 일정한 오존농도의 측정을 방해하는 현상이 발생하였다.



그림 52. 설계 초기의 장착된 활성탄 흡착 여과방식의 Filter

하기의 그림과 같이 Filter의 막힘 문제점을 개선하고자 기존 필터 위치배관라인에 오존농도 측정기쪽으로 대형 Filter 2개를 설치 변경하였으나, 오존수에 의한 Filter 내부의 부식이 발생되었다.

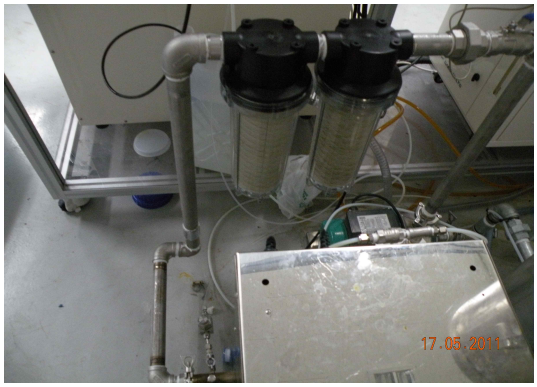



그림 53. 대용량 Fiter 교체 및 내부 부식

초기 설계 및 2차 필터 설치 변경시 발생한 Filter 내부가 부식된 문제점을 개선하고자 Filter의 용량을 증가시키고 내오존성 우수한 Sus mesh Filtr로 교체하였다. 따라서 초기 Filter보다 막힘 현상 발생시간을 연장시키며 오존으로부터 Filter 자체의 부식을 방지해줌으로서 오존농도 생성을 일정하게 유지할 수 있게 개선되었다. 또한 실제 고도정수처리시설의 운영조건을 정량적으로 모사하고자 계절별 기후조건에 따라 변화되는 수온을 5~40 ℃까지 일정하게 조절할 수 있는 오존수 탱크 챔버를 설치 및 보완하여 내오존 실내촉진평가방법에 반영하고자 한다.

5. 내오존 방수·방식재 개발을 위한 오존처리 방법

본 연구에 사용한 오존처리 장비는 일정한 농도의 오존수 투입을 위하여 오존발생기에서 발생한 오존을 오존수 탱크로 투입시켜 일정농도로 오존수를 저장하고, 펌프를 이용하여 오존처리 챔버로 재투입 및 순환시켜 일정한 농도의 오존수를 유지한다. 국내 정수장에 도입된 한강수계의 경우 용존오존 농도는 여름철을 중심으로 1 ppm내에서 운영하고 있다. 그러나 본 연구의 시험조건은 용존오존 농도를 가속조건으로 10±0.5 ppm으로 설정하였고, 수중온도 20±2 ℃에서 2주간 진행하였다. 또한, 본 연구에서는 방수·방식재의 내오존 성능을 평가하기 위해 실제 고도정수처리시설에서 발생하는 수위변화에 따라 열화가 촉진되는 운영조건을 모사하도록 수위조절장치를 설치하여 진행하였으며, 고수위는 오존수에 완전히 침지되는 환경이고, 저수위는 기중오존에 노출되는 환경을 모사한 것이다.

제 6절 CNT(Cabon Nano Tube) 방수·방식재 개발

1. 연구개요

본 연구에서는 기 개발된 무기물과 불소 아크릴계 코팅 액이 가지고 있는 고분자 가교결합

을 강화시키고, 내오존성 시험결과에서 일부 나타난 박리현상을 저감시켜서 표면적 특성을 향상시키기 위하여 Canbon nano tube(이하 CNT)를 첨가하였다. CNT와 무기물과의 상호간에 가교구조를 강하게 형성하여 내오존성 시험 후 발생 되는 박리현상을 저감 시키고, 기존의 물리적 결합 특성을 보다 한층 향상시키는 효과를 가져 올 수 있다. 내 오존성 코팅 용액은 졸-겔 법을 이용하여 금속 알콕사이드와 실란 커플링제를 전구물질로 하여 불소 아크릴레이트, CNT와 자외선 경화형 다관능 모노머를 첨가 하여 코팅액을 제조 하여 합성된 코팅용액의 다양한 물성분석, 내오존성을 진행하였다. 자외선 경화용으로 제조된 코팅제는 CNT의 함량을 2 ~6 wt%으로 달리하여 제조하였으며, 유기물로는 2, 3 관능형 모노머 및 올리고모를 혼합하여 사용하였다.

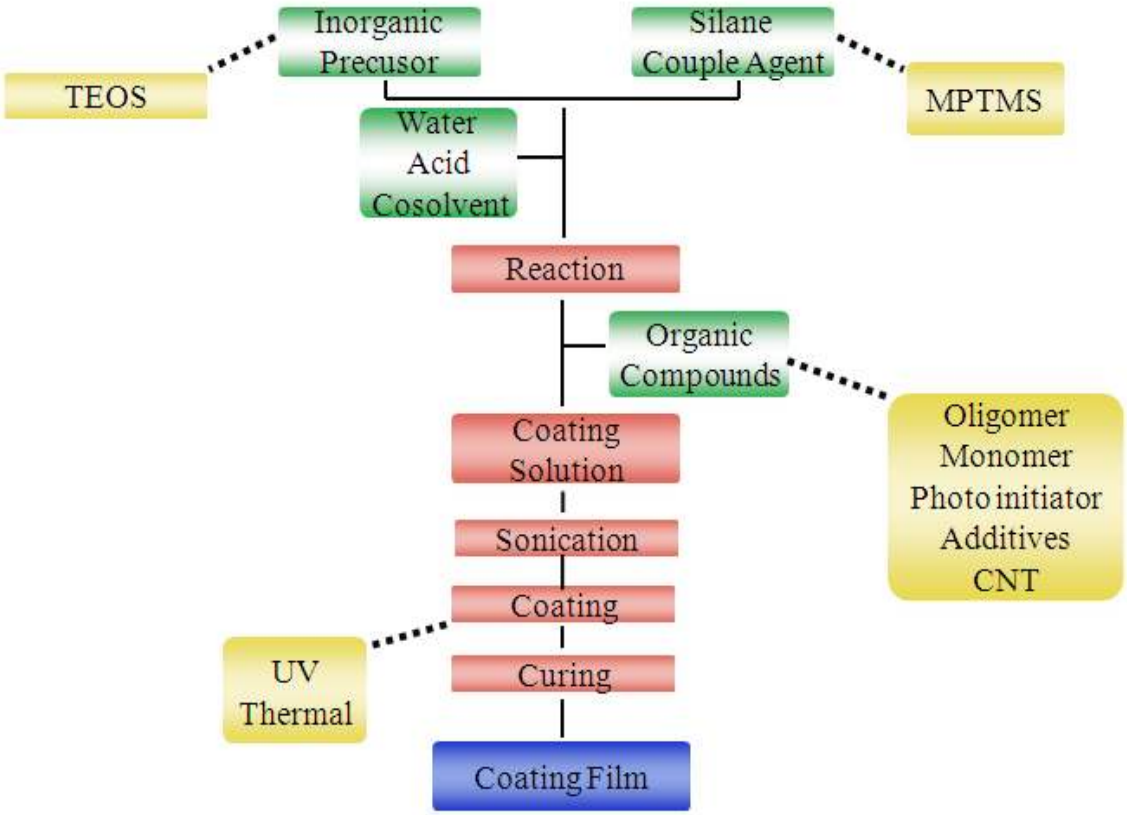


그림 54. 내오존성 코팅막의 제조공정

오존 열화시험기에 각각 조성별로 코팅된 기판을 넣어 코팅 막의 변화를 내 오존성 전후에 살펴보았다. 오존 열화시험기의 오존 농도는 10 ppm에서 2주간 실험을 수행하였고, 표면특성은 FT-IR, ATR-IR, XPS를 사용하여 분석하였으며, 코팅 기판의 투과도는 UV-Visible spectrophotometer를 사용하여 상온에서 측정하였다. 표면경도는 연필경도 측정기를 사용하여 9H-6B의 강도를 갖는 분석용 연필을 45°로 끼우고 1 kg의 하중을 가해 일정한 속도로 밀어 측정하였으며 접착력의 분석은 ASTM D 3359-B에 근거하여 측정하였다.

2. 가교결합을 가지고 있는 자외선 경화형 코팅의 내오존성

기존의 무기물을 포함한 불소 아크릴계 코팅 액의 단점 보완과 물성 성능을 향상시키기기 위하여 CNT를 첨가하여 고분자 코팅제의 가교결합을 유도하고, CNT 함량변화를 변화시키면서, 최적 경화조건을 설정하여 코팅을 제조하여 실험을 진행하였다.

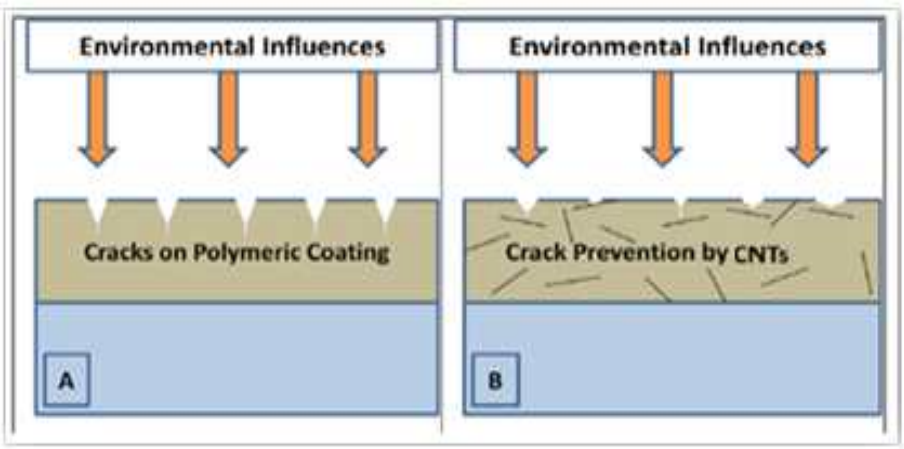


그림 55. CNT와 고분자 코팅제의 가교결합 개념도

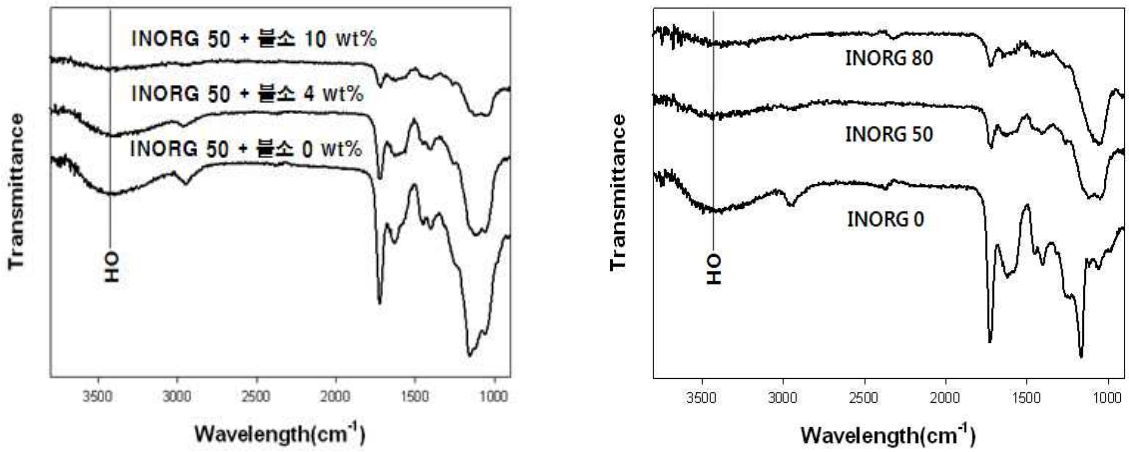
가. 무기물과 불소함량 변화에 따른 내오존성

무기물을 50 wt%이고 불소 아크릴레이트의 함량을 변화시키면서 내 오존성 코팅막의 특성 실험은 불소 아크릴레이트 함량이 10 wt%일 때 코팅막의 박리현상과 오존열화가 일어나지 않는 것으로 나타났다. 무기물의 함량을 변화 시키고 불소 아크릴계 함량을 10 wt%로 하여 표면경도와 접착력은 조사한 결과 기재가 유리일 경우는 같은 특성을 갖는 무기물이므로 무기물의 함량이 높을수록 표면경도와 접착력이 높게 나타났으며, 기재가 스테인레스일 경우 접착력이 급격히 떨어지는 실험결과를 얻었다. 특히, 불소 아크릴계 10 wt% 일 때, 무기물의 함량이 80 wt%은 경우, 무기물과 유기물의 결합력이 상대적으로 약하고, 또한, 스테인레스와의 접착력이 낮아 내오존성 시험 후에 표면과 일부 결합이 약한 부분의 오존열화와 코팅막이 박리되어 시험체 표면이 산화되는 경향을 보였다. 불소 단량체를 10 wt% 포함된 무기물의 함량이 50 wt%인 코팅제에서는 상대적으로 결합력과 기재와 접착력이 좋아 시편의 표면이 산화되지 않는 결과를 얻었다. 일반적으로 무기물의 함량이 많아지면 내오존성이 향상되지만, 반면에 무기물의 함량이 증가할수록 스테인레스와 접착력이 좋지 않아 오존시험 중 코팅의 열화와 박리가 이루어져 그 틈새로 오존용액이 침투하여 시편 표면이 산화가 일어나는 것으로 판단된다. 이와 같은 현상을 개선하기 위하여 CNT를 첨가하여 코팅제의 고분자 결합력을 증대하고, 기재의 부착력을 높일 수 있다. 불소 아크릴레이트와 무기물 조성의 변화에 따른 FT-IR 분석 결과는 실질적으로 코팅 막은 무기물의 함량과 불소 아크릴레이트가 증가할수록 OH기가 적게 나타나는 것으로 보아 내오존성이 우수한 것으로 나타났다.

본 시험의 평가방법 중 FT-IR(퓨리에 변환 적외선 분광계)는 적외선 영역의 빛의 파장을 변화시키면서 시료에 조사하여 그 물질 고유의 흡수 투과 및 반사율을 측정하여 IR spectrum을 측정할 수 있다. 퓨리에 변환 라만분광계는 Scattering을 이용하므로 시료 전처리 작업이 필요 없고, detector 변화 없이 신속하게 Anti-stokes range내의 spectrum을 얻을 수 있다.



그림 56. FT-IR 시험장비



(a) 불소 아크릴 레이트 조성변화 (b) 무기물 조성변화

그림 57. 내오존 시험 후 FT-IR 분석결과

나. CNT 첨가에 따른 내오존성

불소 아크릴계를 10 wt%로 하여 무기물의 함량이 80 wt%일 때와 불소 아크릴계를 10 wt% 무기물 50 wt%에 CNT 2wt%를 첨가 했을 때 코팅 막의 특성은 아래의 표와 같이 유리의 경우에도 표면경도와 접착력이 탄소나노튜브를 첨가하였을 때 향상 되었으며, 특히, 스테인레스의 경우 접착력이 확연히 향상됨을 알 수 있었다. 또한, 투과도도 CNT의 함량에 크

게 영향을 받지 않고 90 %이상을 유지됨을 알 수 있었다. 내오존성은 오존 농도가 10 ppm인 수중에서 168시간과 336시간 동안 실험을 한 경우 코팅 막의 변화를 확인한 결과 무기물만 80 wt% 첨가된 경우 시편의 표면에서 박리되며 오존에 의해 시편의 표면이 산화된 것을 확인 할 수 있었으며, CNT를 첨가한 시편에서는 168시간 지난 뒤에는 오존의 열화현상과 박리현상이 관찰 할 수가 없었고 336시간에는 오존의 약간의 열화 현상을 확인 할 수 있었다. 내오존성 시험결과 오존 산화반응에 의해 생성되는 OH(3400~3500 cm^{-1})기는 거의 변화가 없는 것으로 나타나고, 또한, 케톤기 피크도 2주 동안 내 오존 성 테스트를 했음에도 불구하고, 상대적으로 작아 CNT를 첨가한 경우 우수한 내오존성을 갖고 있음을 알 수 있었다.

표 27. CNT 첨가에 따른 물리적 특성

구분	연필강도	접착력	투과도
INORG 80	4H	5B	90 %
INORG 80 + CNT 2 wt%	9H	5B	90 %



(a) INORG 50(168시간)

(b) INORG 50 + CNT 2wt%(168시간)

(c) INORG 50 + CNT 2wt%(336시간)

그림 58. CNT 첨가 변화에 따른 내오존 시험

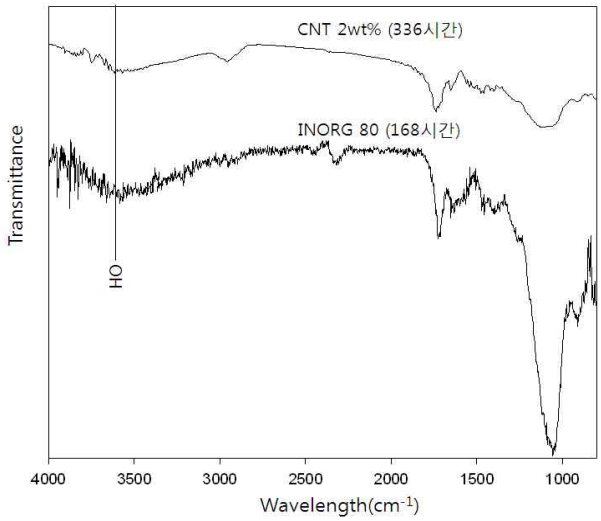


그림 59. 내 오존 테스트 후 CNT 첨가에 따른 FT-IR분석 결과

다. CNT 함량에 따른 내오존성

무기물의 함량이 50 wt%, 불소 아크릴레이트 함량 10 wt% 일 때 CNT 함량 변화에 대한 코팅의 표면 특성과 내오존성을 조사하였다. CNT 함량변화에 따른 연필 강도 접착력을 나타내었다. CNT 2 ~ 6 wt% 일 때 모두 우수한 물리적 표면 특성을 갖고 있음을 알 수 있었고, 투과도 역시 높게 나타났다. CNT 함량에 따른 내 오존 평가는 CNT 함량이 2, 4 wt% 일 때 코팅막의 시편에 336시간 오존 처리 후 박리 현상이 나타났고, 6 wt% 일 때는 보다 적은 오존 열화 현상을 관찰 할 수 있었다. CNT 함량변화에 따른 FT-IR분석 결과는 CNT 6wt%일 때 오존 산화반응의 최종 산물인 카복실 그룹의 OH기와 케톤기가 가장 적은 것으로 확인 되었다. 이로써 CNT 6wt% 일 때 상대적으로 CNT 2, 4 wt% 일 때보다 우수한 내오존성을 가지는 것으로 확인된다. 내오존성 시험 전·후의 FT-IR분석 결과는 오존시험 후 OH기와 케톤기 피크의 크기가 확연히 증가함을 알 수 있었고, 이로부터 오존열화가 진행됨을 알 수 있었다. 또한, CNT 함량에 따른 분석결과 시편의 관찰과 동일하게 FT-IR분석 결과도 OH기와 케톤기 피크 크기도 CNT함량이 6 wt% 일 때 가장 작게 나타나 이와 같은 실험결과를 뒤 받침하고 있다.

표 28. 불소 아크릴레이트 함량 변화에 따른 물리적 특성

구분	연필강도	접착력	투과도
CNT 2 wt%	9H	5B	90 %
CNT 4 wt%	9H	5B	90 %
CNT 6 wt%	9H	5B	89 %



(a) CNT 2wt%　　(b) CNT 4wt%　　(c) CNT 6wt%

그림 60. CNT 함량 변화에 따른 내오존 시험

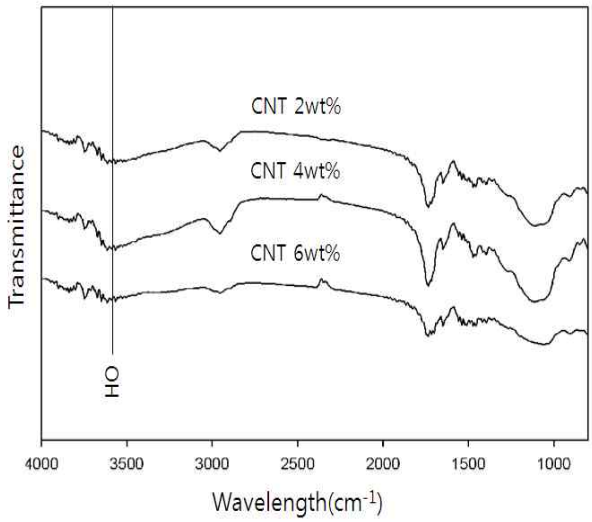
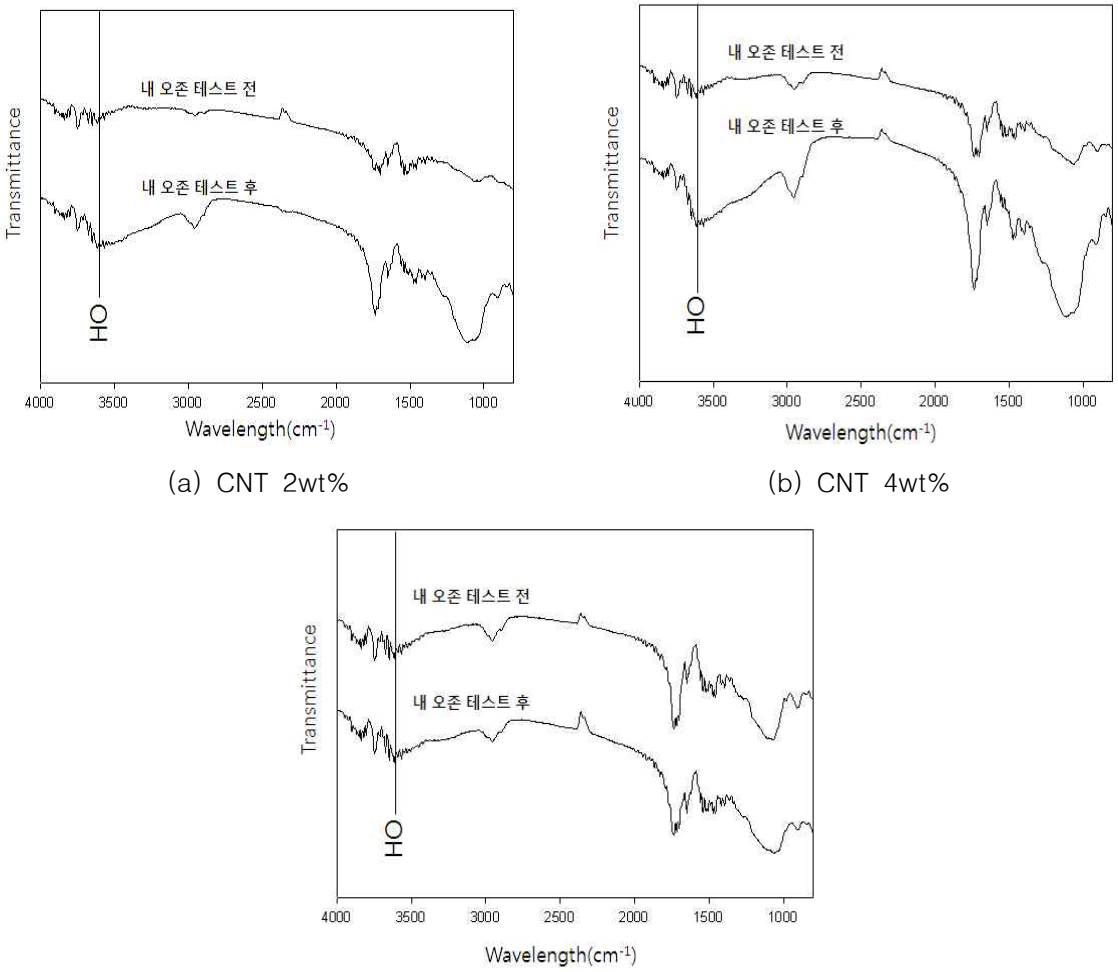


그림 61. 내오존 시험 후 CNT 함량변화에 따른 FT-IR 분석결과



(a) CNT 2wt%

(b) CNT 4wt%

(c) CNT 6wt%

그림 62. 내오존 시험 전·후 FT-IR 분석결과

본 시험의 평가방법 중 XPS(광전자분광기,X-rayPhotoelectron Spectroscopy)는 시료의 표면에 특성 X-선을 입사하고, 이때 방출하는 광전자의 에너지를 측정함으로써 시료표면의 조성 및 화학적인 결합상태를 알 수 있다. 에너지원으로 X-선을 사용함으로써 절연체에 적용이 가능함으로 도체 및 반도체 절연박막의 분석에 있어 큰 장점을 가지고 있다. 또한 이온빔으로 표면을 식각하여 깊이에 따른 분포도를 측정할 수 있다.

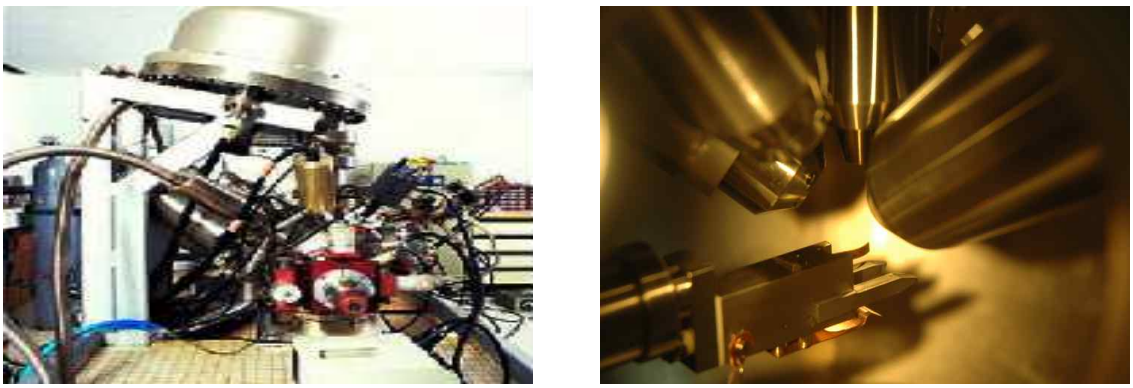
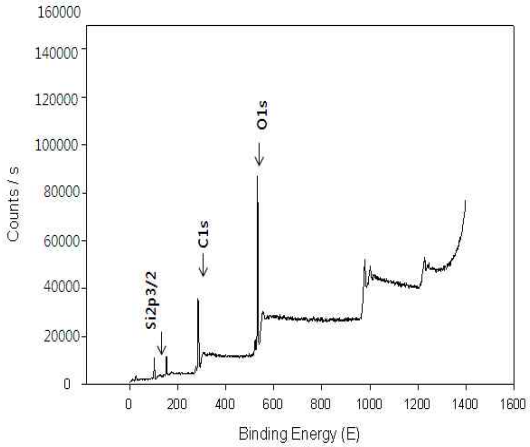


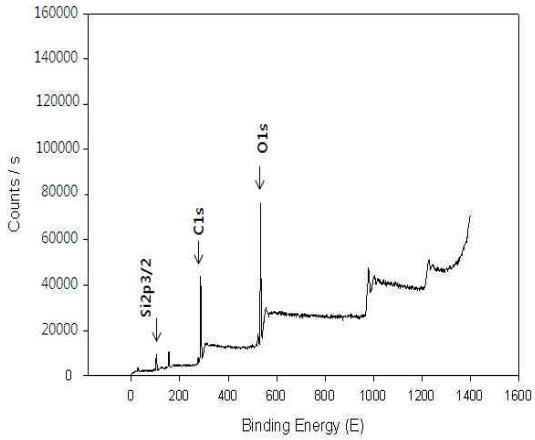
그림 63. XPS 시험장비

오존열화 현상을 분석하기 위하여 XPS로 분석한 전체 스팩트롬 결과 내오존성 시험 전의 경우 스퍼터로 표면을 제거한 것과 그렇지 않은 것이 동일하여, 코팅막의 특성이 균질함을 알 수 있었다. 그러나 내오존성 시험 후 오존의 열화에 의해 코팅이 얇아져 스퍼터로 표면을 제거하였을 때 스테인레스가 들어나는 결과를 얻었다. 일반적으로 코팅의 두께가 약 200 ~ 500 nm인 것을 감안하면 2주간 오존 시험을 하였을 때 100 nm 정도의 박막이 남아있음을 알 수 있었다. 이와 같은 결과로부터 물론 정밀한 실험을 보완해야 하겠지만 코팅 두께에 따른 오존 농도에 대한 열화속도를 예측할 수 있을 것 으로 사료된다. CNT 조성에 따른 O1s성분에 대한 피크는 오존 시험 전·후 OH기가 생성됨을 알 수 있고, CNT 함량이 6 wt%일 때 가장 안정적인 분석결과를 보여주고 있다. 이것으로부터 CNT 첨가는 고분자 가교결합을 강화시키고, 표면경도와 스테인레스와 결합력도 향상시켜 오존에 대한 열화저항이 큰 것으로 판단된다.

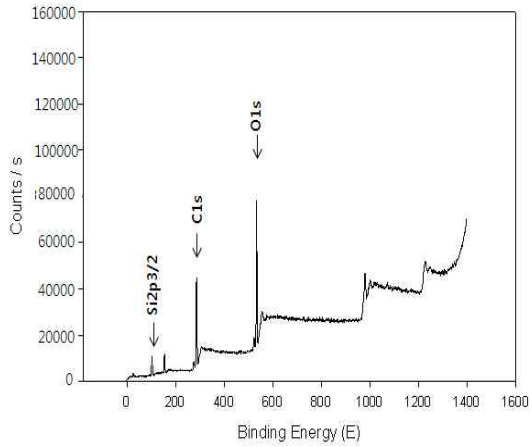
내오존 시험 전



(a) CNT 2 wt%

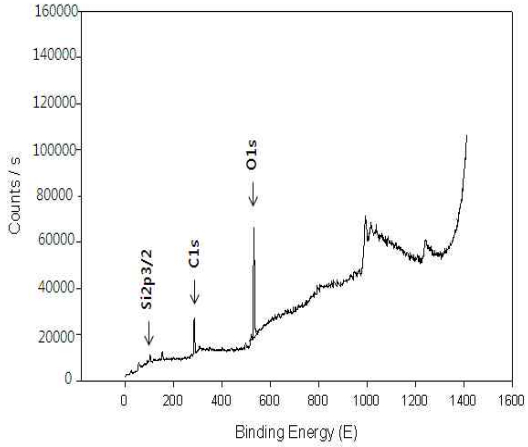


(b) CNT 4 wt%

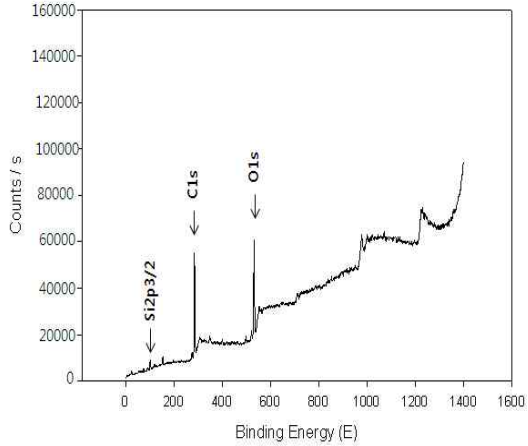


(c) CNT 6 wt%

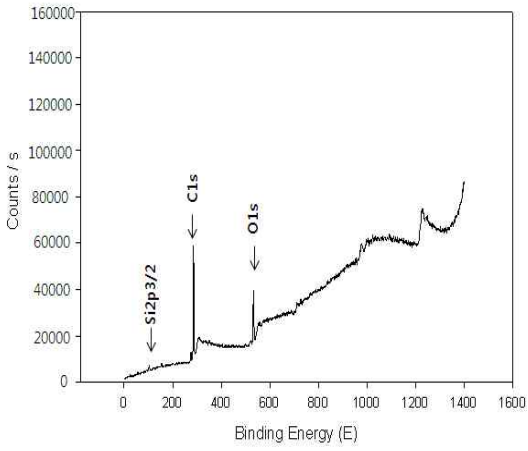
내오존 시험 후



(a) CNT 2 wt%



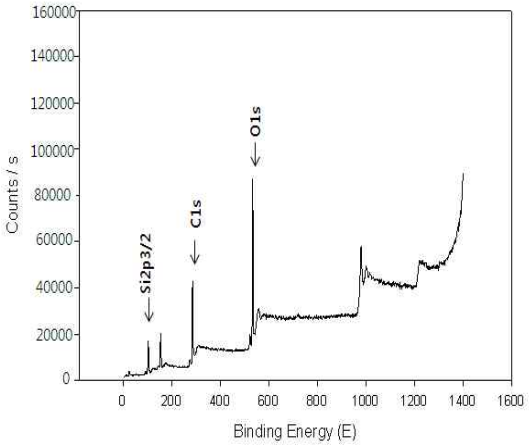
(b) CNT 4 wt%



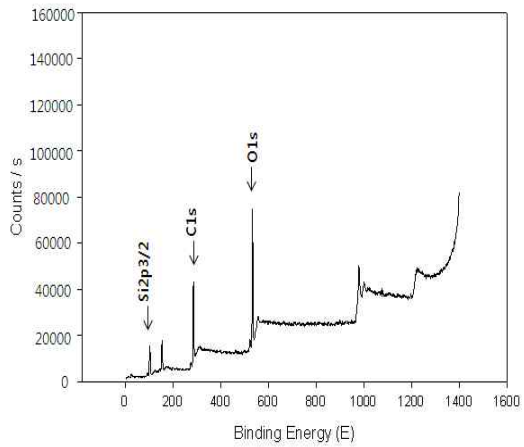
(c) CNT 6 wt%

그림 64. CNT 함량변화에 따른 XPS 분석결과

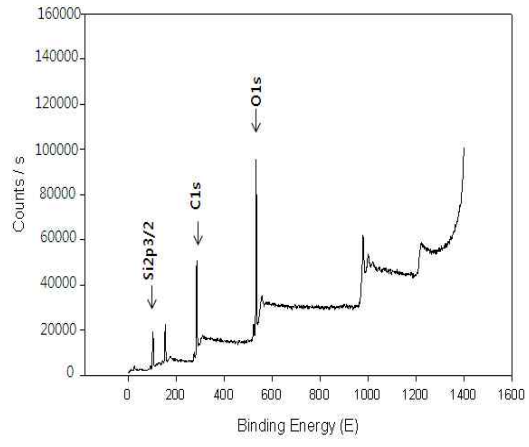
내오존 시험 전



(a) CNT 2 wt%

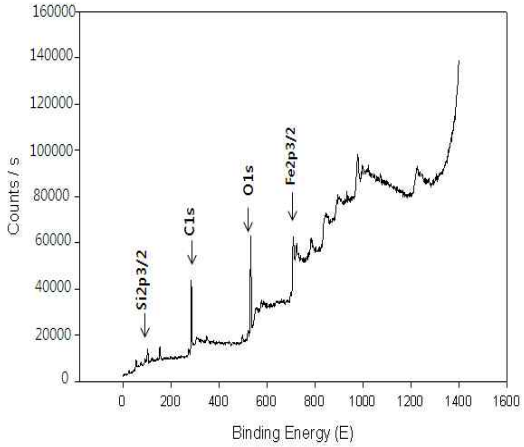


(b) CNT 4 wt%

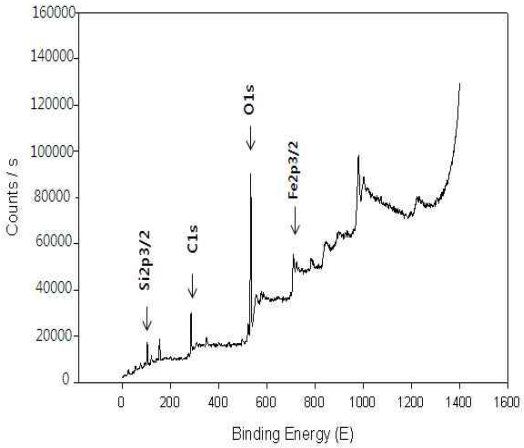


(c) CNT 6 wt%

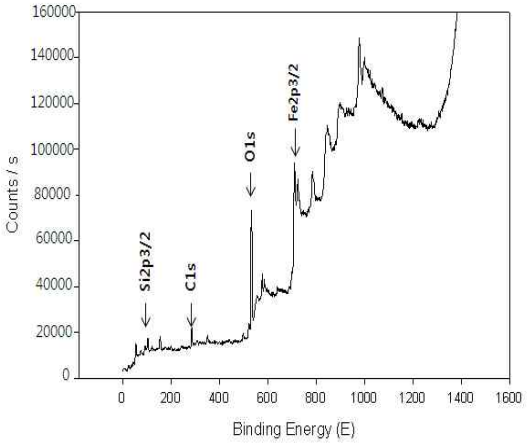
내오존 시험 후



(a) CNT 2 wt%



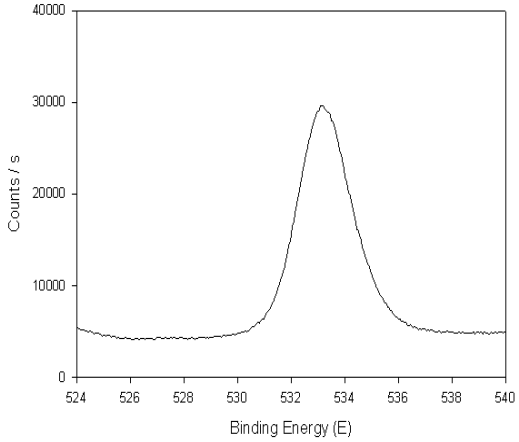
(b) CNT 4 wt%



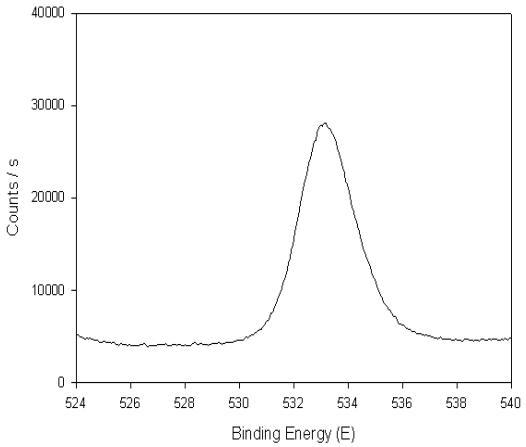
(c) CNT 6 wt%

그림 65. CNT 함량변화에 따른 sputter 후의 XPS 분석결과

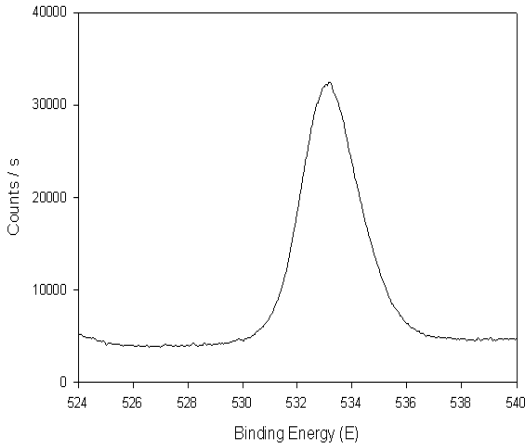
내오존 시험 전



(a) CNT 2 wt%

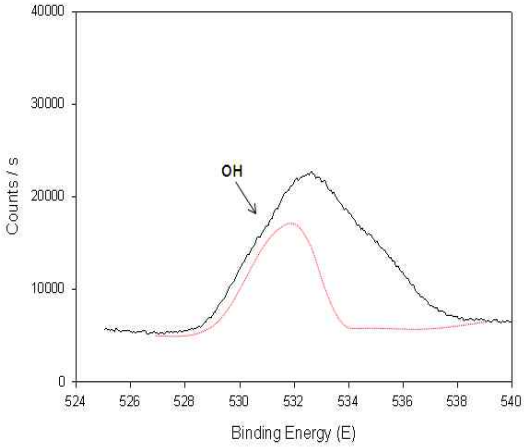


(b) CNT 4 wt%

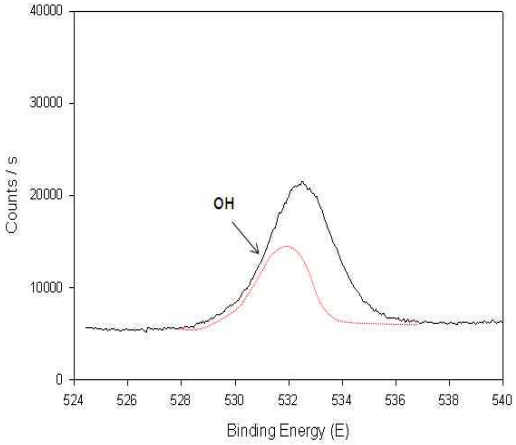


(c) CNT 6 wt%

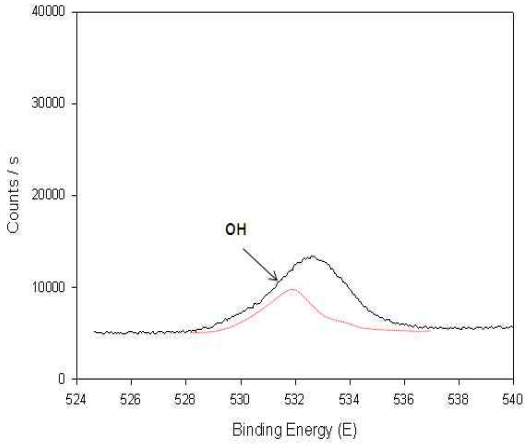
내오존 시험 후



(a) CNT 2 wt%



(b) CNT 4 wt%



(c) CNT 6 wt%

그림 66. CNT함량 변에 따른 O1s XPS분석 결과

라. 계면활성제 첨가에 따른 내오존성

CNT의 분산도를 높여 더 높은 무기물과의 가교결합을 유도하기 위하여 계면활성제를 첨가하였다. CNT와 계면활성제의 비를 1:2로 하였고, 계면활성제와 CNT 분산을 더욱 높이기 위하여 초음파로 5분 동안 처리하였다. 계면 활성제를 첨가 하였을 때 코팅의 물리적 특성으로 10 ppm에서 2주간 내오존성 시험 결과 코팅의 내오존성이 좋지 않은 결과를 얻었으며, 코팅액의 분산성을 향상시키기 위하여 다양한 특성의 분산제에 대한 실험이 필요하다고 분석된다.

표 29. 불소 아크릴레이트 함량변화에 따른 코팅 물리적 특성

구분	연필강도	접착력	투과도
CNT 2 % + 계면활성제(1:2)	9H	5B	90 %
CNT 4 % + 계면활성제(1:2)	9H	1B	90 %
CNT 6 % + 계면활성제(1:2)	9H	0B	89 %

2차년도에 진행한 무기물의 함량변화(0, 50, 80 wt% 단, 불소 아크릴레이트 함량 10 wt% 고정), 불소 아크릴레이트 함량변화(불소0, 4, 10 wt%)에 따른 내오존성을 검토한 결과로 도출된 무기물 함량 50 wt%, 불소 아크릴레이트 함량 10 wt% 의 조건에서 가장 우수한 내오존성을 나타내었지만 부풀음, 들뜸 현상이 발생하여 이를 개선하기 위해 3차년도에서는 CNT 첨가 및 함량에 따른 내오존성 시험을 진행하였다. 결과적으로 CNT 첨가에 의해 표면경도 및 부착력이 증가하였으며, 시험범위내에서의 최적의 CNT 함량은 6 wt% 가 우수한 내오존성을 가진 것으로 나타났다.

제 7절 내오존성이 우수한 도막식 방수·방식재의 개발

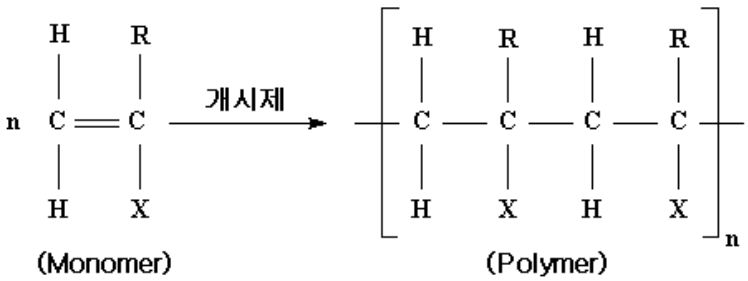
1. 연구개요

오존의 강력한 산화력에 대한 내 오존 도료의 제조를 위해 분자 구조가 치밀하고, 분자구조 내에 이중결합이 없는 포화구조를 갖는 수지가 유리하지만 내수성, 작업성 및 기타 물성 등을 고려하여 수지를 선정해야 하기 때문에 어려움이 따른다. 이에 본 연구에서는 비교적 내오존성이 우수한 수지를 검토하여 적정한 수지를 선정하고, 배합비 및 합성 공정 최적화에 관한 시험을 진행하였다. 일반적으로 내오존성이 우수한 불소 수지나 실리콘 수지의 경우 원료의 확보가 쉽지 않고, 가격이 비싸기 때문에 불소 수지 및 실리콘 수지의 변성을 통해 가공이 우수하며, 가격이 저렴한 수지를 합성하고자 하였다. 이를 위해 2,2,2 Trifluoroethyl methacrylate(3FMA) 불소 아크릴 레이트와 Silicone acrylate (ACR Di-10)에 OH 말단의 관능성 아크릴 모노머를 도입하는 합성연구를 진행하였다. 본 연구에서는 분자구조 내의 불소와

실리콘 함량 및 종류에 따른 물성을 확인하여 최적의 불소 및 실리콘 함량을 조사하였고, 물성을 확보하기 위한 최적의 불소함량을 조사하여 기본 수지의 성분을 결정하고자 합성시험을 진행하였다. 내오존 도료를 위한 수지의 제조를 위해 불소 및 실리콘 아크릴레이트에 MAA(methacrylic acid) 등을 도입하고 라디칼 부가 중합을 통해 추가적인 비닐계 모노머를 분자쇄에 도입하여 공중합체 아크릴 수지를 합성하였고, 현재 도료 수지합성에 상용화되어 있는 아크릴 모노머의 종류와 양에 따른 수지 특성을 확인하였다. 최종 도막은 가교 결합에 의한 치밀한 구조를 얻을 수 있도록 합성된 구분자 구조에 OH 관능기를 도입하였다. 이는 최종 도료 도포 후 도막 물성의 양호한 결과를 얻기 위해서는 자연 건조형의 도료는 우수한 부착력과 방식성을 얻기가 곤란하므로 가교결합에 의한 경화형 수지를 제조하기 위함이다. 이를 위해 2-HEMA의 관능성 아크릴계 모노머를 도입하여 경화 시 HMDI 등의 지방족 Isocynate를 통해 분자 구조 내에 -NCO기가 도입되도록 수지를 설계하였다. 본 연구는 수지 변성을 통해 최적의 내 오존성 및 도막 물성을 나타내는 기본 수지를 제조하고 합성 공정을 최적화하는데 목적이 있으며, 불소계 및 실리콘계 아크릴레이트에 아크릴 도로에 사용되는 여러 가지 모노머를 첨가하여 원하는 물성을 갖는 고분자를 제조, 내오존 도료에 사용할 목적으로 실험을 진행하였다.

가. 아크릴수지 중합의 이론적 고찰

Acryl 수지가 형성되는 과정은 C=C 결합을 가진 많은 Monomer 가 중합 개시제 (Initiator)에서 생긴 Radical(자유기)의 공격을 받아 2중 결합이 끊어지면서 -C-C-C-와 같이 긴 탄소고리를 만들면서 중합되어 가는 것이다.

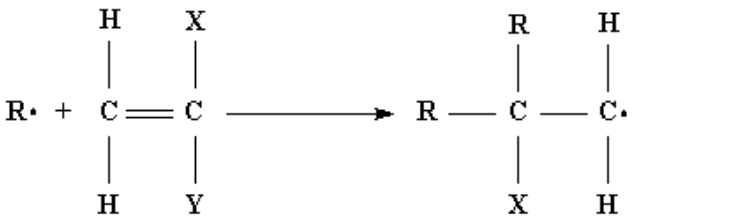


이것은 부산물 생성이 없는 부가 반응(Addition plymerization)이며, 촉매 화학적으로는 라디칼 중합과 이온중합 두 가지가 있는데 본 연구는 라디칼 중합을 이용하여 수지를 합성하였다. Radical 은 Free Radical(자유기)이라고 하여 어떤 분자의 전자배열에서 제일 외곽에 있는 전자가 한 쌍을 이루지 못하고 한 개, 즉 부대전자(不對電子, Unpaired electron)로 있는 구조를 말하며, 따라서 Free Radical 은 매우 활성이 강하여 반응을 잘 일으킨다. 이런 Radical에 의한 반응을 Radical 반응이라고 한다. Radical 중합에 의해서 수지가 되는 과정은 개시반응(Initiation), 성장반응(Chain propagation), 정지반응(Termination)으로 나눌 수 있다. Vinyl계

Monomer의 Radical 중합 방법에는 Radical의 발생원에 따라 열 중합(Thermal polymerization), 열분해성 개시제에 의한 중합, 광중합 개시제에 의한 중합(Photo polymerization) 전자선(Electro beam, EB)에 의한 중합, Redox 개시제에 의한 중합이 있는데, 본 연구에서는 열분해성 개시제에 의한 합성을 진행하였다. 열분해성 개시제는 적당한 열을 받으면 쉽게 분해되어 Free radical(자유기)이 생기는 물질이다. 과산화 물질이 많이 이용되며, Benzoyl peroxide 는 그 대표적인 것이다. 과산화물외에 AIBN(Azo bis isobutyl nitril)도 자주 사용되는데 당사 제품 개발과 관련한 시험 결과 도막 물성을 고려하여 AIBN을 사용하여 합성을 진행하였다. 개시제와 Monomer가 공존하는 System에서 System이 열을 받으면 먼저 개시제가 분해되어 Radical이 생긴다.

$$I \xrightarrow{\text{열}} R\cdot + R\cdot$$

이 Radical 에 있는 부대전자(Unpaired electron)는 기회만 있으면 다른 물질로부터 결합이 약한 전자를 빼앗아 쌍을 이루어 안정화되고, 전자를 빼앗긴 분자는 그 자신이 Radical이 된다. Acryl Monomer 에는 C=C 와 같은 2중 결합이 있고, 이중 하나는 σ결합이고, 하나는 π결합이다. 결합 Energy는 σ결합이 85 ㎉ 이고, π결합이 46 ㎉ 로 π결합 쪽이 σ결합보다 약하므로 π결합은 개시제 Radical 의 공격을 받아 전자 하나를 빼앗겨서 끊어지고 Monomer Radical 상태로 된다.



이것을 간략히 표시하면

$$R\bullet + M \longrightarrow RM\bullet$$

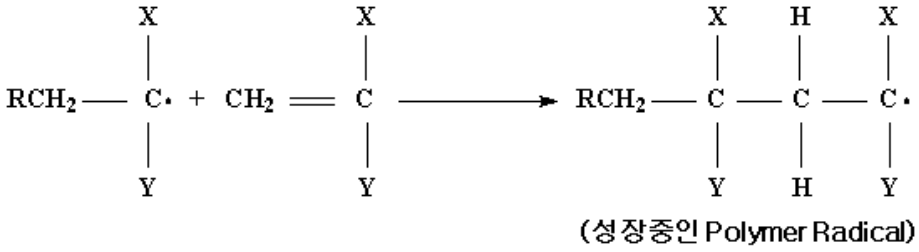
이것이 Radical 반응의 개시 반응이다. 개시제의 Radical 에 의해서 Monomer Radical 이 한번 생기면 이것이 반응의 씨(Species)가 되어 Monomer와 연쇄적으로 반응하여 급속히 분자가 성장되어 간다.

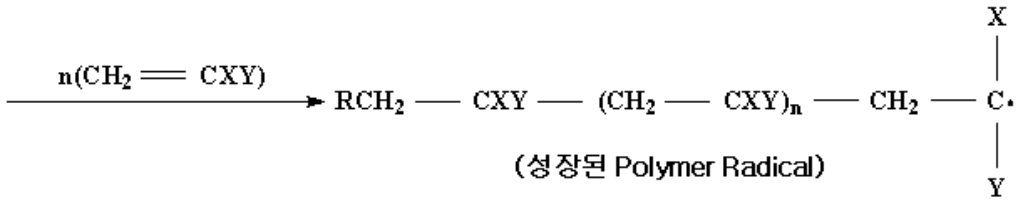
$$RM\cdot + M \longrightarrow RMM\cdot$$

(Monomer Radical) (Monomer) (성장중인 Polymer Radical)

$$RMM\bullet + nM \longrightarrow RMM_{n+2}\bullet$$

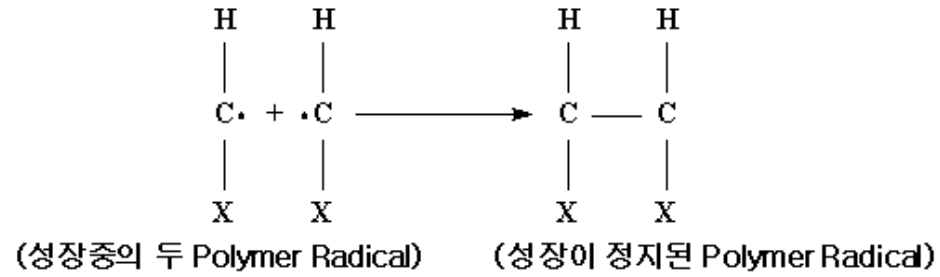
구체적으로



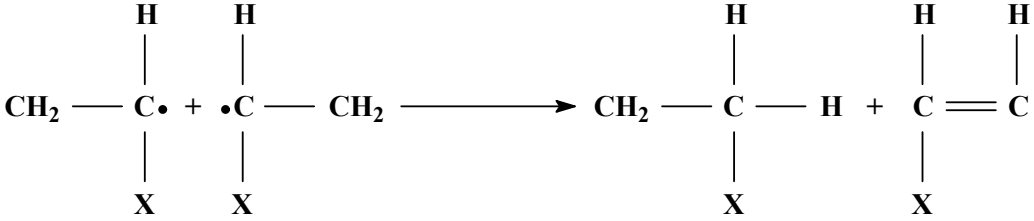


Monomer 가 Polymer로 되어 가는 성장 반응 중 생성 Radical이 소멸되는 반응이 일어나서 성장이 중지되는 반응이 있는데 이것을 정지반응이라고 한다. 정지반응은 다음의 두 가지 형태로 일어난다.

재결합(Coupling)



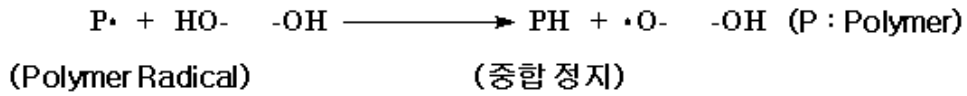
불균화(Disproportionation)



이와 같이 Radical 이 소멸되어 불활성인 Polymer 가 되므로 성장은 정지된다. 이때, 불균화 정지 반응을 하면 Polymer 의 한 끝에 2중 결합이 생기는 분자가 하나 생긴다. 성장이 중지된 Polymer 의 양 끝 또는 한쪽 끝에는 개시제가 분해되어 생긴 최초의 Radical 조각 R 이 붙어 있다.



만약, 인위적으로 중합을 정지시킬 필요가 있을 때는 Hydroquinone 의 Alcohol 용액을 투입하면 된다.





연쇄 이동은 성장 중의 Polymer 의 Radical이 Monomer 이외의 다른 성분으로 이동하는 반응이며, Polymer 로 볼 때는 일종의 정지 반응이다. 따라서 연쇄 이동 반응의 결과는 성장 중인 Polymer 가 성장이 중지되고 다른 Radical 이 생기는 결과가 되기 때문에 Polymer 분자의 수는 많아지나 분자량은 크게 성장하지 못하므로 결과적으로 저분자량의 수지가 되는 것이다. 또 중합 반응은 연쇄 이동으로 새로 시작되기 때문에 전체적인 중합 속도에는 영향을 주지 않는다.

나. 아크릴 불소수지

불소수지는 물이나 공기가 도막 내에 침투하는 것을 방지하고 치밀한 피막을 형성하기 때문에 내후성, 내수성, 내약품성, 내열성에 우수하고 오존이 발생 시키는 OH radical의 산화력에 견딜 수 있다. 불소수지는 화학적으로 매우 높은 안정성을 지니고 있어 내후성이 탁월하며 산, 알카리 등의 부식인자에 매우 강한 특징을 발휘 한다. 그 이유는 불소수지의 분자 구조를 보면 명확히 알 수 있다. 불소수지는 분자쇄의 구조가 3차원 나선형 구조로 되어 있어 탄소-탄소 결합의 주변을 불소 원자가 틈없이 막아주고 있어 외부의 자극에 의한 분자쇄 파괴를 보호하고 있다. 따라서 오존이나 OH radical, 염소 등이 소재 표면까지의 침투를 최대한 차단함으로서 우수한 소재 보호의 기능을 보유한다.

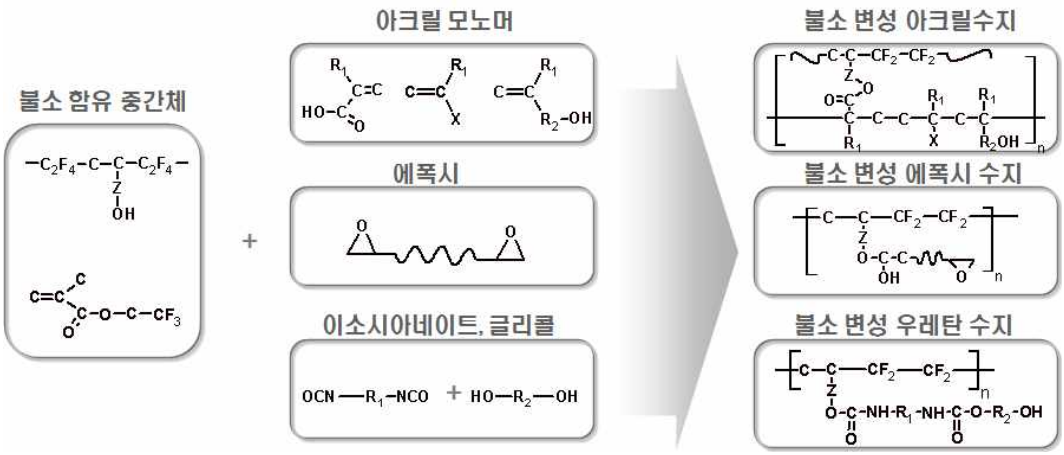


그림 67. 불소변성수지의 합성 메카니즘

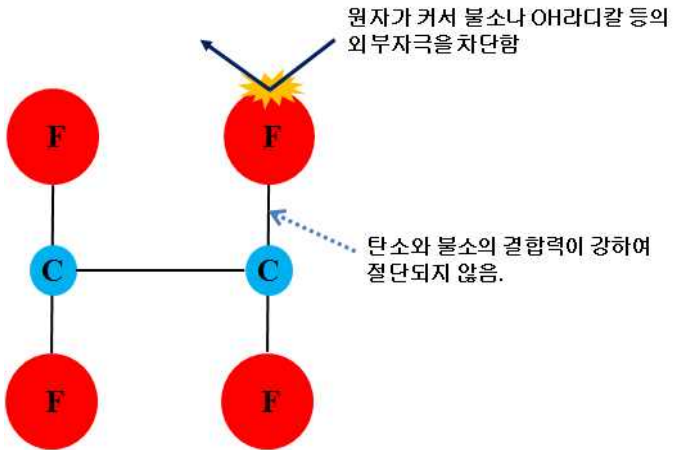


그림 68. 불소수지의 분자구조

탄소와 불소의 결합 에너지('C-F' 결합 에너지는441 KJ/mol, 'C-H'결합에너지414 KJ/mol, C-C결합에너지 347 KJ/mol가 높아 사슬의 파괴를 막아 줄 수 있으며 불소의 경우 전기음성도가 매우 크고 산화전위가 2.87 V로 오존(2.07 V)보다 크기 때문에 공유 결합된 전자를 강하게 끌어당겨 분자간 결합을 공고히 하고 결합 해리에너지가 매우 높으므로 쉽게 분해되지 않아 강한 안정성을 지니고 오존에 의한 산화가 되지 않는다. 이러한 이유로 불소수지는 일반적인 합성수지에 비해 내산성, 내열성, 내약품성, 내저온성, 전기절연성 및 고주파 특성이 매우 뛰어나 약품성이 높은 비극성(소수성)의 표면을 지니게 되어 내오염성, 비점착성 및 마찰특성도 우수하다. 불소수지는 이러한 특성 때문에 화학공업, 전기·전자공업 기계공업은 물론 우주·항공 산업까지 매우 폭넓게 사용 되고 있다. 그러나 불소수지는 가격이 높고, 가공성이 좋지 않으며, 원료 수급의 문제로 인해 일반적인 도료에 많이 적용되지 못하고 있다. 이에 본 연구에서는 아크릴에 변성을 통해 보다 가공성과 가격이 저렴한 수지를 개발하고자 합성 시험을 진행 하였다.

다. 아크릴 실리콘수지

실리콘 아크릴 도료는 유무기 복합 도료로써 도막경도를 넓은 범위 내에서 쉽게 조정이 가능하여 다양한 소재에 적용이 가능한 수지이다. 실리콘 수지는 내후성, 내약품성이 우수하고 내산성이 우수해 고도의 성능을 요구하는데 사용된다. 내열성이 뛰어나고 전기 절연성이 뛰어나기 때문에 전기 부품 등에 많이 사용된다. 실리콘 수지는 불소 수지에 비해 비교적 가공이 용이하고 가격이 저렴하기 때문에 이에 대한 많은 연구가 진행 되어 왔다.

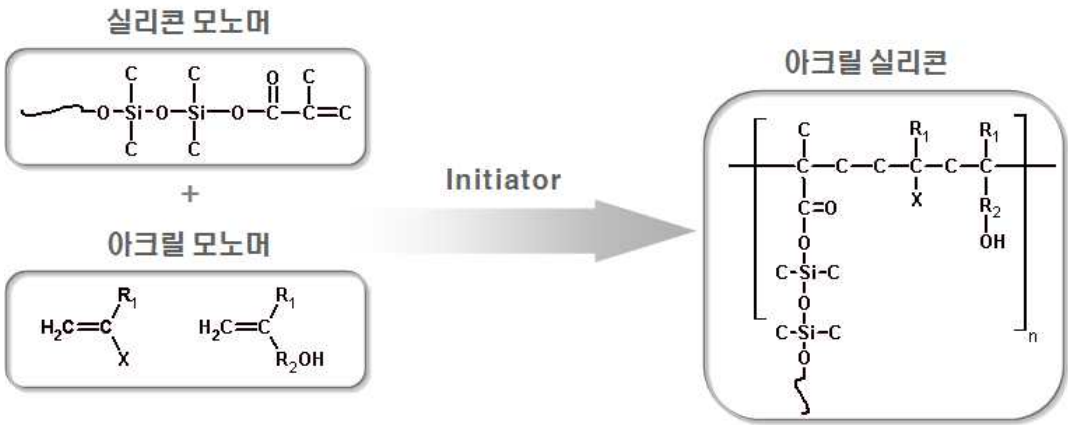


그림 69. 유·무기 변성실리콘·아크릴 수지의 합성 메카니즘

2. 불소변성 수지 내오존 방수·방식재 개발

가. 최적 수지 선정

통상적인 아크릴레이트 합성법을 근거로 불소, 실리콘, 에폭시 및 로진 등의 기능성 수지를 변성시켜 내오존이 우수한 수지를 합성하였다. 먼저, 1차 용제 투입 후 반응온도까지 승온시킨 후 배합설계별 개시제를 충분이 혼합한 후 일정한 온도를 유지하여 1차 반응을 실시한다. 충분히 반응이 유지되었을 시 잔여 개시제 및 용제 반응기를 투입한 후 2차 반응을 실시한다. 이때 기능성 원재료를 사슬의 백본이나 곁사슬에 반응시켜 변성을 실시한다. 이 후 반응을 종료하고, 냉각시켜 내오존성이 우수한 수지를 합성하였다. 이때 사용한 기능성 원재료는 불소변성 수지군, 실리콘변성 수지군, 에폭시변성 수지군, 폴리우레아변성 수지군, 에폭시변성 수지군, 실리케이트변성 수지군 등을 사용하였으며, 시험결과 불소변성 수지 및 실리콘변성 수지를 이용한 것이 상대적으로 내오존성이 우수한 것을 알 수 있었다.

구분	기존 방수·방식재				내오존 방수·방식재				
	에폭시A	우레아	우레탄	하이브리드	우레탄 아크릴레이트	라디칼 아크릴레이트	우레아 우레탄	불소변성	불소변성
무처리									
1주									
2주									

그림 70. 오존처리 전·후 표면상태

구분	기존 방수·방식재				내오존 방수·방식재				
	에폭시	우레아	우레탄	하이브리드	우레탄 아크릴레이트	라디칼 아크릴레이트	우레아 우레탄	불소변성	불소변성
무처리									
1주									
2주									

그림 71. 오존처리 전·후 표면상태(400배)

표 30. 오존처리 전·후 질량감소량

구분	주요성분	질량감소량(g/㎡)	
		1주	2주
기존 방수·방식재	에폭시	25.81	46.29
	하이브리드	72.29	108.00
	우레아	59.81	95.14
	우레탄	172.95	254.38
내오존 방수·방식재	우레탄 아크릴레이트	16.86	26.10
	라디칼 개시형 아크릴레이트	16.00	20.86
	우레아 우레탄	18.48	25.33
	불소변성 합성	3.81	6.48
	실리콘 변성	49.81	71.33

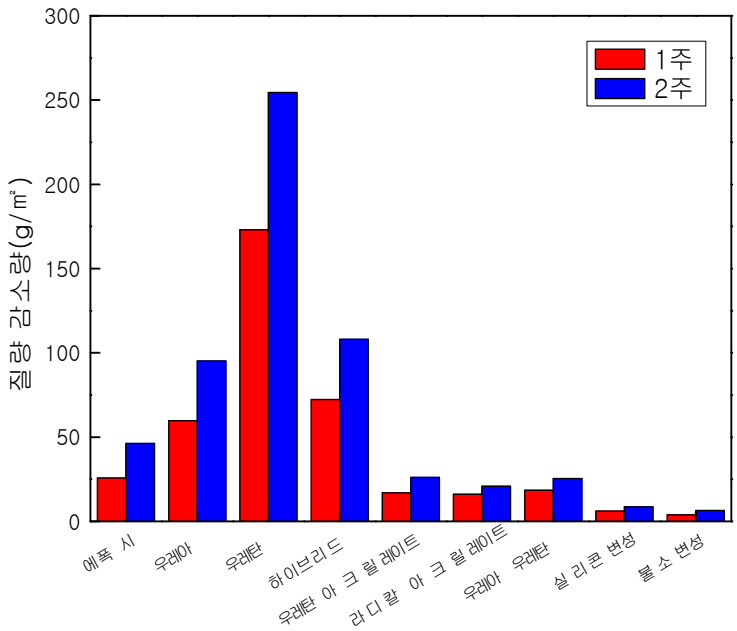


그림 72. 오존처리 전·후 질량감소량

나. 최적 불소변성 수지 함량 선정

수지의 종류 및 기능성 원재료의 내오존성을 분석한 결과를 바탕으로 불소변성 수지를 합성 하였고 불소변성 수지 함량별로 10~100 % 로 분류하여 최적의 수지함량을 조절하는 실험을 하였다. 기능성 모너머는 불소수지, 에스터기를 포함하는 아크릴레이트 수지를 적절히 배

합 하였다. 아울러 바인더를 이용하여 도료화시키는 실험을 병행 실시하였다. 바인더, 희석제, 안료 및 첨가제로 구성되는 기본도료를 분산장치를 이용하여 분산, 제조 하였으며, 시공 시 작업성, 면상태, 경화시간, 가사시간, 경도 및 스크래치성 등을 고려하여 설계하였다.

본 시험의 평가방법 중 색차는 사람의 10도 시야에 기초한 물체색을 측정하는 방법으로 사람의 눈으로 분간하기 어려운 미미한 색변화를 측정하는 것으로서 건축물 및 건축재료 등의 표면색 변화를 색차측정기기를 이용하여 시험편의 열화 정도에 따른 색 변화를 수치로 나타내어 열화정도를 측정하기 위함이다. 본 시험에서는 분광 측색 방법(KS A 0063, 0066, 0061)에 따라 CIELAB 측정방법에 의거 L*, a*, b*로 나타내었다.

표 31. 색차 측정값

구 분	지수명칭	+값	-값
L*	명도지수	밝아짐	어두워짐
a*	색조지수	Red 에 가까워짐	Green 에 가까워짐
b*	색조지수	Yellow 에 가까워짐	Blue 에 가까워짐

색상 변화를 직접적으로 관찰할 수 있는 데이터는 DE*값을 기준으로 하며, 통상적인 기준치는 아래와 같다.

0~0.5 : 색차 거의 없음
0.6~1.0 : 극히 적은 색차
1.1~1.5 : 색차는 느껴지나 일반적으로 통용
1.6~2.0 : 상당한 색차
2.0 이상 : 지극히 큰 색차



그림 73. 색차 시험장비

시험결과 2주 후 질량감소량이 가장 적은 시험체는 A30 시험인 것을 알 수 있었다. 오차와 실험상 오류를 감안하고 재현성 실험을 실시한 결과도 동일한 결과를 얻을 수 있었다. 상기 실험을 통하여 최종 기능성 모너머의 함량, 종류 및 Tg를 결정하였으나 ㎡당 질량 감소량이

10~13 g으로 만족할만한 결과에는 미치지 못하였으며, 내오존성 시험 후 백화현상이 발생하여 청색의 시편이 백색으로 변하는 경향을 볼 수 있었다. 이러한 현상은 유기 및 무기 안료의 색상변화 및 오존에 의한 산화현상으로 해석할 수 있으며, 도료의 내오존성을 확보하기 위해 바인더 및 수지의 내오존성 외에 안료 및 첨가제의 내오존성이 중요한 요소임을 알 수 있었다.

구분	불소변성 수지 10 %	불소변성 수지 30 %	불소변성 수지 50 %	불소변성 수지 80 %	불소변성 수지 100 %
무처리					
1주					
2주					

그림 74. 오존처리 전·후 표면상태

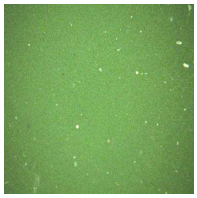
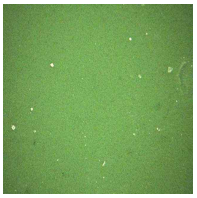
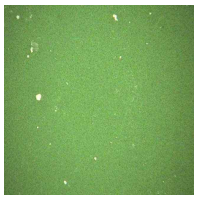
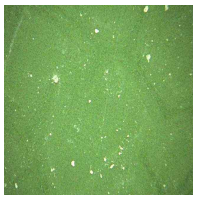
구분	불소변성 수지 10 %	불소변성 수지 30 %	불소변성 수지 50 %	불소변성 수지 80 %	불소변성 수지 100 %
무처리					
1주					
2주					

그림 75. 오존처리 전·후 표면상태(×400)

표 32. 오존처리 전·후 질량감소량 및 색차

구분	질량감소량(g/㎡)		색차							
	1주	2주	1주				2주			
			DL*	Da*	Db*	DE*	DL*	Da*	Db*	DE*
10 %	10.28	20.57	42.94	-16.5	17.85	2.4	0.31	-0.31	2.44	6.69
30 %	10.47	13.04	42.98	-16.74	18.27	2.16	0.57	-0.79	2.37	5.51
50 %	7.42	19.04	43.19	-17.05	18.78	1.33	0.23	-0.58	1.46	1.22
80 %	9.80	15.20	43.35	-17.5	19.65	0.82	0.42	-0.88	1.28	1.18
100 %	7.71	14.66	43.46	-17.75	19.99	-0.13	0.85	-1.81	2	0.26

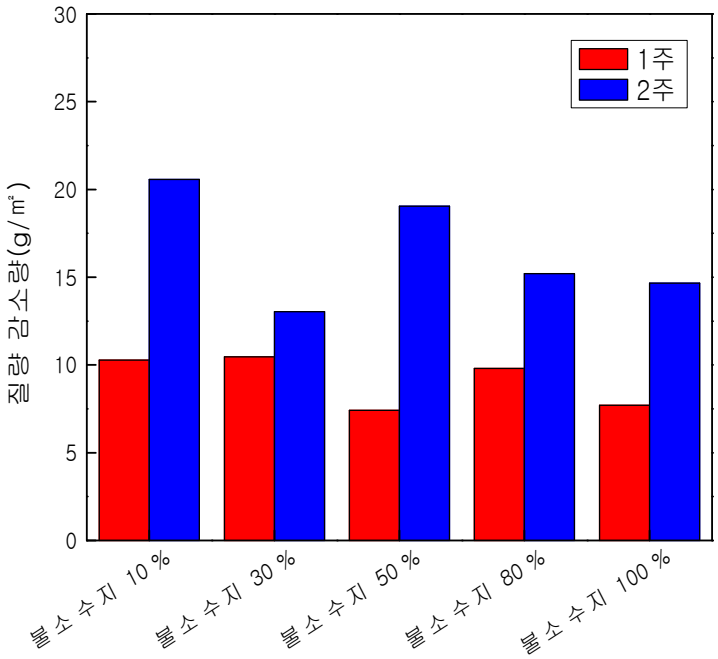


그림 76. 오존처리 전·후 질량감소량

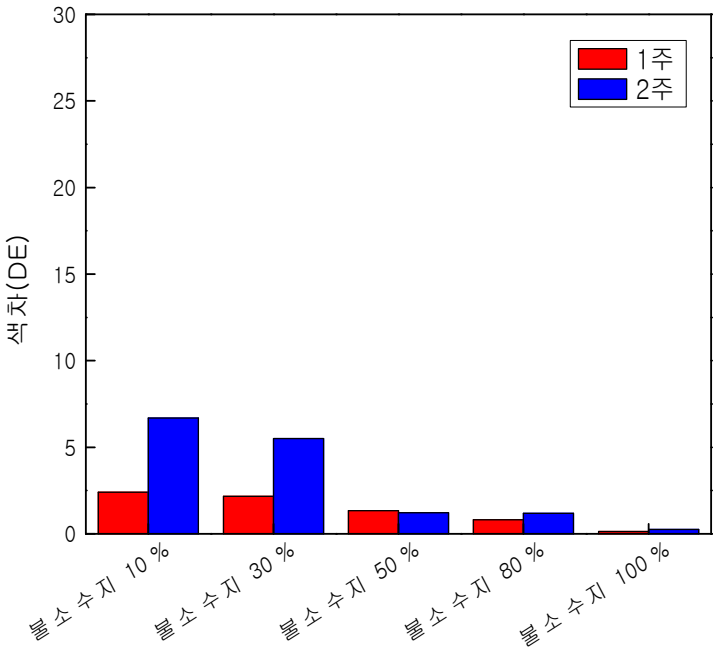


그림 77. 오존처리 전·후 색차

다. 최적 안료 선정

상기의 시험결과를 바탕으로 오존에 강한 안료 및 첨가제를 적용한 실험결과

Phthalocyanine 계열의 유기안료는 오존에 취약하여 변색이 발생하였으며, Cobaltchromite 계열의 무기안료가 상대적으로 우수함을 알 수 있었다. 일련의 실험을 근거로 최종 제품을 얻을 수 있었으며, 본 제품은 고분자 사슬에 실리콘, 불소기를 포함하고, 기능성 모노머를 함유하여 내오존성이 우수하다. 또한, 경도가 높고, 내스크래치성 등의 표면물성이 우수하여 내수, 내염수, 내알칼리 및 내산성이 우수하다.

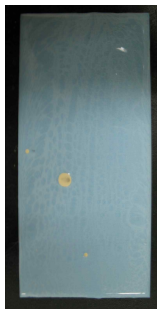
구분	Phthalo Cyan 유기안료	Blue 유기안료	Cobalt Chromite Blue 무기안료	Blue 무기안료	Cobalt Blue 무기안료
무처리					
1주					
2주					

그림 78. 오존처리 전·후 표면상태

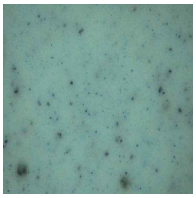
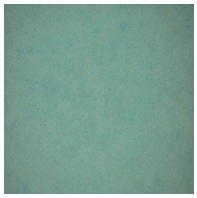
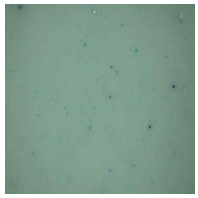
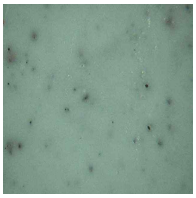
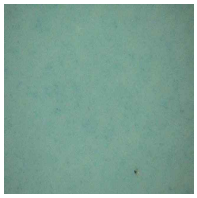
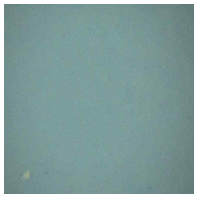
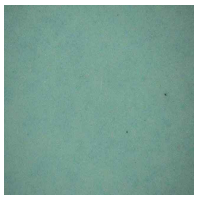
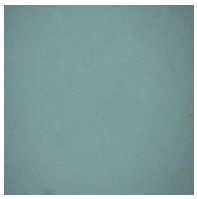
구분	Phthalo Cyan 유기안료	Blue 유기안료	Cobalt Chromite Blue 무기안료	Cobalt Blue 무기안료	Blue 무기안료
무처리					
1주					
2주					

그림 79. 오존처리 전·후 표면상태 (×400)

표 33. 오존처리 전·후 질량감소량 및 색차

시험편	질량 감소량(g/㎡)		색차							
	1주	2주	1주				2주			
			DL*	Da*	Db*	DE*	DL*	Da*	Db*	DE*
Phthalo Cyan 유기안료	10.48	13.05	2.16	0.57	−0.79	2.37	5.51	2.01	−2.69	6.45
Blue 유기안료	5.71	5.52	3.53	2.48	4.49	6.22	4.48	3.09	7.01	8.87
Cobalt Chromite Blue 무기안료	4.38	3.14	0.01	0.12	0.49	0.51	0.21	0.13	1.04	1.07
Cobalt Blue 무기안료	8.10	0.48	−0.06	−0.28	0.43	0.52	−0.03	−0.49	1.42	1.51
Blue 무기안료	8.38	4.48	1.33	1.38	2.49	3.14	2.03	1.97	4.75	5.53

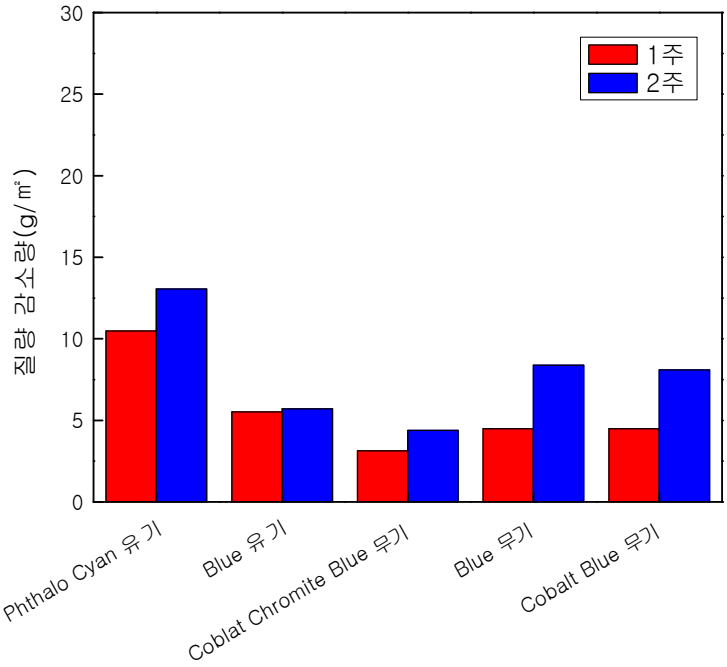


그림 80. 오존처리 전·후 질량감소량

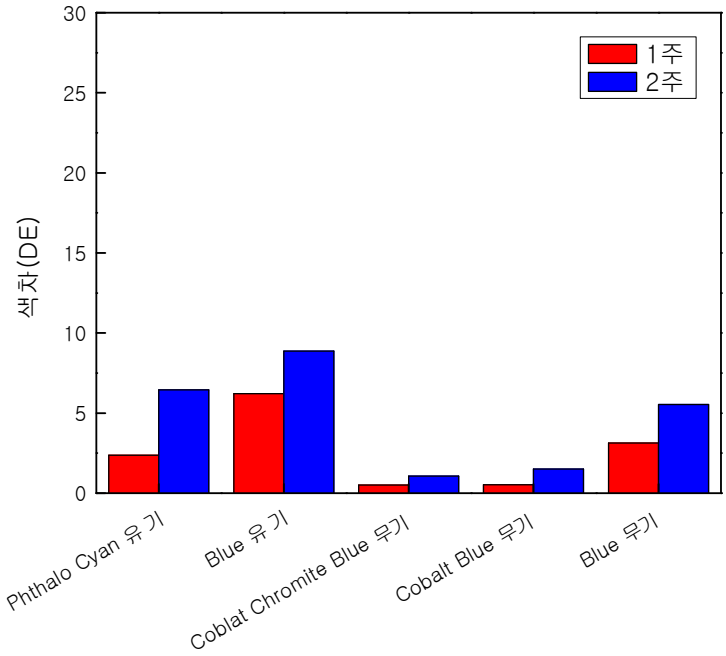


그림 81. 오존처리 전·후 색차

라. 오존환경 장기 내구성 시험

상기의 시험결과를 바탕으로 촉진 오존환경에 대한 8주간의 장기 내구성 시험을 위해 가장

우수한 결과를 나타낸 불소수지 비율 및 무기안료를 조합하여 시험체 2종류를 만들고, 일본에서 시판매되는 내오존 방수·방식재 1종류를 선택하여 비교하였다. 그 결과 2주간의 처리와 비교하여 광택이 소실되고, 부분적인 변색이 발생하는 등 오존에 대한 열화는 다소 심하였다. 또한 개발된 시제품을 일본사 제품과 비교하면 색차 및 질량감소량에서 큰 차이 없이 유사한 성능을 발휘하는 것을 확인할 수 있었다.

구분	일본사 제품	불소수지 60 %	불소수지 70 %
무처리			
4주			
8주			

그림 82. 오존처리 전·후 표면상태

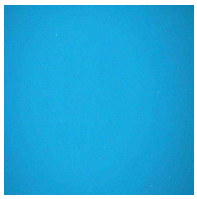
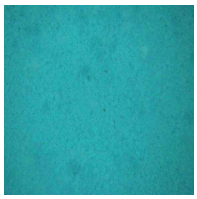
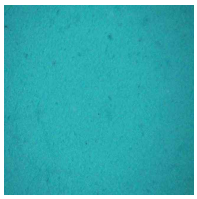
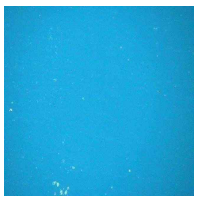
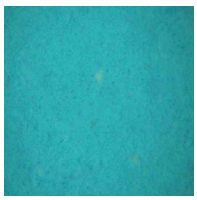
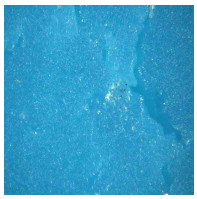
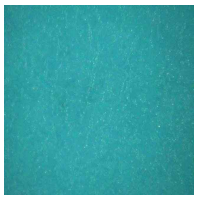
구분	일본사 제품	불소수지 60 %	불소수지 70 %
무처리			
4주			
8주			

그림 83. 오존처리 전·후 표면상태 (×400)

표 34. 오존처리 전·후 질량감소량 및 색차

시험편	질량 감소량(g/㎡)		색차							
	4주	8주	4주				8주			
			DL*	Da*	Db*	DE*	DL*	Da*	Db*	DE*
일본사 제품	4.45	10.99	-0.25	-0.45	-0.52	1.73	-1.31	0.44	0.48	2.46
불소수지 60 %	4.42	13.07	-0.15	-0.78	0.61	3.00	0.46	-0.09	-1.24	2.33
불소수지 70 %	4.12	10.41	0.88	0.2	0.55	2.06	-0.4	-0.31	1.27	2.36

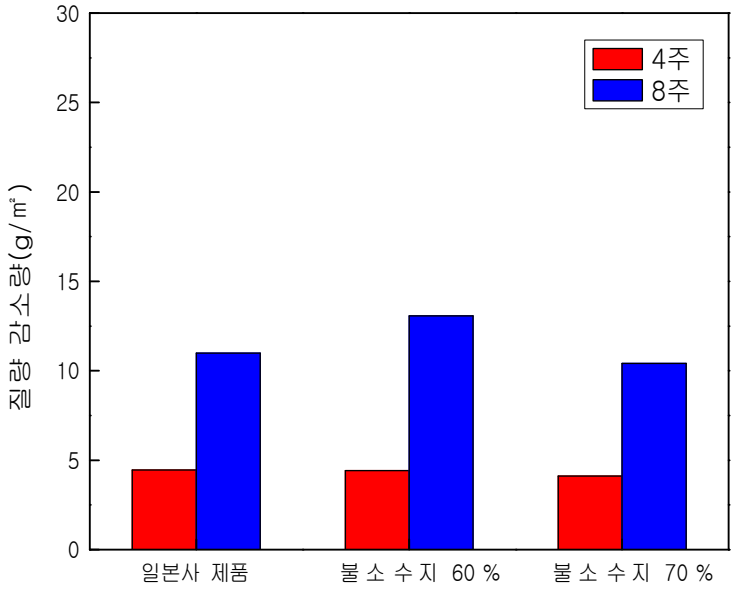


그림 84. 오존처리 전·후 질량감소량

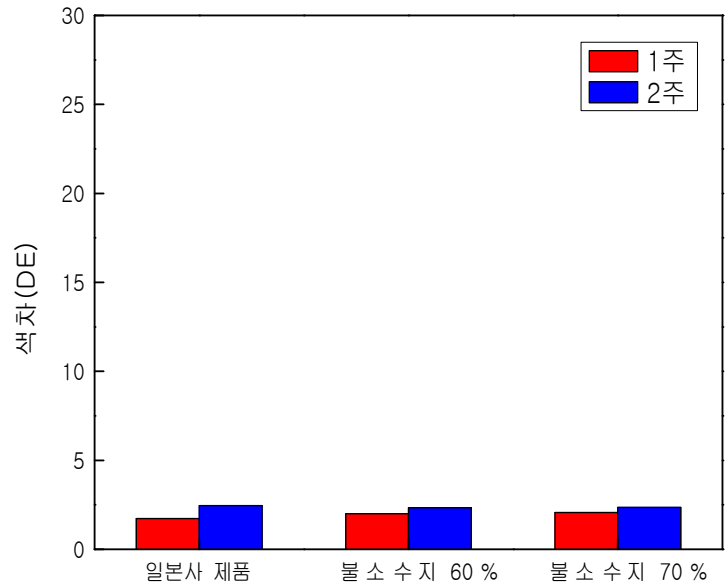


그림 85. 오존처리 전·후 색차

마. 도장 시스템의 구성

일련의 연구를 통하여 내오존성이 우수한 도료를 개발하였지만, 고도정수시설에 적용하기 위해서는 최적의 시스템을 구축하여 물성 보강 및 적용성 평가가 필요하다. 먼저, 하도(프라이머)에 대한 부착성능 시험을 실시하였다. 시험결과 바탕 조정재로 에폭시 시멘트 모르타르, 하도로 수용성 에폭시를 사용한 경우가 목표 부착성능인 2.0 MPa를 상회하여 하도로서 수용

성 에폭시를 선정하였다.

표 35. 각 시스템별 부착강도

구분	바탕 조정재	하도	중도	부착강도(MPa)	비고
1	아크릴 시멘트 모르타르	수용성 에폭시	무용제 에폭시	0.96	모체·바탕 조정재 계면탈락
2	에폭시 시멘트 모르타르	수용성 에폭시	무용제 에폭시	2.18	모체 파괴
3	에폭시 시멘트 모르타르	실리케이트	무용제 에폭시	0.85	바탕 조정재·하도 계면탈락
4	에폭시 시멘트 모르타르	규산질계 침투	무용제 에폭시	1.23	바탕 조정재·하도 계면탈락

따라서 최종 개발된 내오존성이 우수한 실리콘 불소변성 우레탄 아크릴레이트를 상도로 적용하여 부착강도를 측정한 결과 2.2 MPa 이상의 결과를 나타내었다.

하도 : 콘크리트의 공극을 채우고 계면의 부착력을 증진시키기 위해 하도를 사용한다. 수용성 에폭시를 사용하여 모체 콘크리트에 충분히 스며들어 모체와 바탕 조정재의 부착을 원활하게 하고, 수용성 제품을 사용하여 모체의 수분과 친화력을 지녀 콘크리트 공극이나 표면에 침투성을 극대화시킨다.

바탕 조정재 : 바탕을 균일하게 하고 중도와 하도의 부착강도 향상 및 완충작용을 하며, 모체에서 올라오는 수분을 차단하기 위한 용도로 바탕 조정재를 사용한다. 바탕조정재는 에폭시 시멘트 모르타르를 사용하는데 흙손바름공법을 이용하여 모체인 콘크리트와 중도인 에폭시 방수층에 접착력을 좋게 하고 중간층 역할을 하게 된다.

중도 : 외부 충격과 작용하는 힘으로부터 도막을 보호하기 위하여 무용제 에폭시 방수층을 사용한다. 용출물질이 없고, 친환경성을 지니고 있어 일반 정수장에서 사용가능한 재질이며, 경도와 인장강도가 우수하여 도막을 보호하는 역할을 한다.

상도 : 내오존성을 확보하기 위하여 실리콘 불소계열의 우레탄 아크릴 레이트 코팅재가 사용된다. 오존에 의한 변색이 없으며, 도막의 박리가 일어나지 않아 오존으로부터 도막을 보호하는 역할을 한다.

바. 일위대가

시장성 및 경제성 분석으로 일위대가를 계산한 결과 7.5만원으로 기존에 내오존 방수·방식재가 시공된 영등포 제2 정수장의 계약금액인 10만원과 수자원 공사에서 제시한 내오존 방수·방식재의 적정 공사비용인 8만원보다 저렴한 것으로 나타나 경제성을 확보할 수 있었다.

3차년도에 LCC관점에서 기존공법과의 경제성 검토를 실시하여 보다 구체적인 데이터를 제시할 계획이다.

표 36. 일위대가

구분	단위	단가(원)	수량/m^2	금액/m^2(원)	비고
수용성 하도	Kg	6,700	0.1	670	1회 도포
에폭시 시멘트 모르타르	Kg	5800	0.25	14,500	2회 도포
무용제 에폭시 중도	Kg	14500	0.6	8,700	2회 도포
실리콘 불소 변성 아크릴레이트	Kg	50,000	0.5	25,000	
도장공	인	105,730	0.12	12,687	
보통 인부	인	75,608	0.18	13,609	
합 계				75,166	

※ 사단법인 한국 물가 협회 “물가 정보지”



그림 86. 사업화를 위한 원가분석 비교

3. 개발된 도막식 방수·방식재의 목표성능 시험

앞서 평가한 결과를 바탕으로 가장 우수한 결과를 나타낸 것을 바탕으로 시제품을 제작하여 그 성능을 평가하였다. 그 결과 모든 시험항목에 대하여 그 목표치를 상회하는 물성을 확인하였다.

표 37. 내오존 방수·방식재의 성능평가 결과

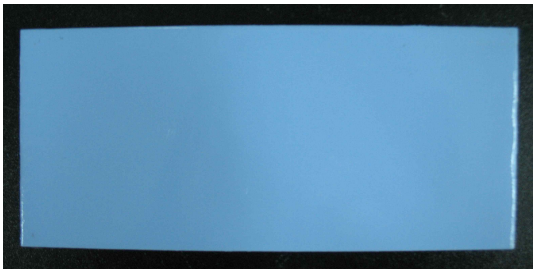
구분	시험항목			단위	목표치	측정치
1	내굴곡성				균열이 없을 것	균열 없음
2	내충격성				이상이 없을 것	이상 없음
3	내오존성능 (배오존 및 수위변화 포함)		무게변화율	%	5 이하	0.7
4	내화학성	pH (1, 4, 10, 13, 50일)	무게변화율	%	5 이하	0.6
			길이변화율	%	5 이하	0.2
		HCl (5 %, 50일)	무게변화율	%	5 이하	0.7
			길이변화율	%	5 이하	0.2
		NaClO (1 %, 50일)	무게변화율	%	5 이하	0.5
			길이변화율	%	5 이하	0.1
		NaOH (5 %, 50일)	무게변화율	%	5 이하	0.5
			길이변화율	%	5 이하	0.1
		디젤유 (50일)	무게변화율	%	5 이하	0.1
			길이변화율	%	5 이하	0.1
5	내투수성			-	투수되지 않을 것	투수되지 않음
6	내피로성			-	이상이 없을 것	이상 없음
7	수질시험기준			-	적합	적합
8	균열대응성			-	이상이 없을 것	이상 없음
9	부착강도		표준상태	MPa	2.0 이상	2.4(밑판파괴)
			흡수상태		2.0 이상	2.2(밑판파괴)
10	내마모성			mg	80 이하	50
11	음극박리시험			mm	5 이하	1

가. 내굴곡성

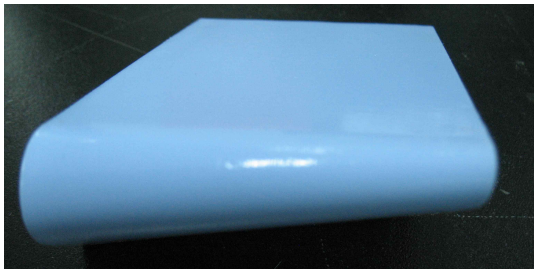
내굴곡성 시험은 약 150×100×0.2 mm 크기의 주석판 2매에 상온에서 완전경화가 일어난 시험체를 굴림대 위에서 180°로 완전히 구부린 즉시 도포면을 검사하였을 때, 시험편 2매 모두 균열이 생기지 않으면 '이상 없음'으로 판정한다.



그림 87. 내굴곡성 시험장비



내굴곡성 시험 전



내굴곡성 시험 후

그림 88. 내굴곡성 시험결과

나. 내충격성

시험체를 연강판(약 200×100×4mm)에 1회 도장하여 7일 동안 방치한 후 시험편을 듀폰식 내충격 시험기로 사용하여 추의 낙하 높이 300 mm, 추의 무게는 약 500 g, 충격용 원형 펀치의 반지름 및 충격 흡수용 고정대의 반지름을 (6.35±0.03) mm로 시험하여 도장면에 지나친 손상을 주지 않도록 주의하여 시험편을 꺼내어 1시간 방치한 후 도면의 손상을 “이상 없음”으로 판정한다.

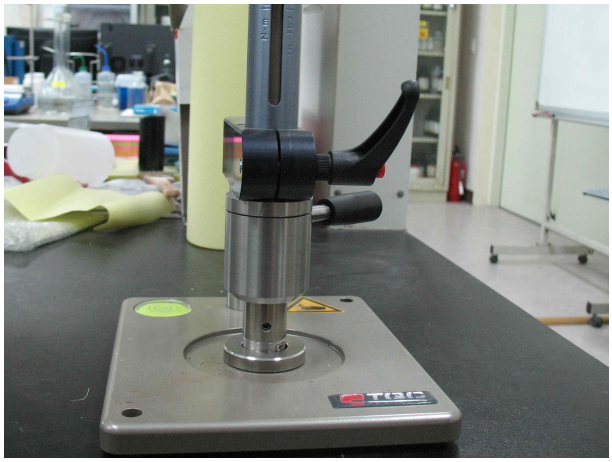
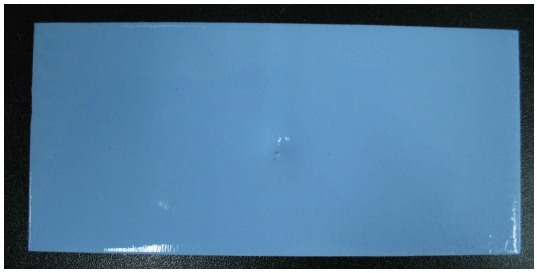


그림 89. 내충격성 시험장비



내충격성 시험 전



내충격성 시험 후

그림 90. 내충격성 시험결과

다. 내오존성

내오존성 시험은 용존오존 농도를 가속조건으로 10±0.5 ppm으로 설정하였고, 수중온도 20±2 ℃에서 2주간 진행하였으며, 실제 고도정수처리시설에서 발생하는 수위변화에 따라 열화가 촉진되는 운영조건을 모사하도록 수위조절장치를 설치하였다. 일정한 농도의 오존수 투입을 위하여 오존발생기에서 발생한 오존을 오존수 탱크로 투입시켜 일정농도로 오존수를 저장하고, 펌프를 이용하여 오존처리 챔버로 재투입 및 순환시켜 일정한 농도의 오존수를 유지한다.



내오존성 시험 전



내오존성 시험 후

그림 91. 내오존성 시험결과

라. 내화학성

내화학성 시험은 규정된 1급 시약을 사용하며, pH 1, pH 4, pH 10, pH 13, 염산 5 %, 차아염소산 1 %, 수산화나트륨 5 %의 수용액 및 디젤연료유를 사용한다. 시험편은 처리전의 무게와 길이를 기록하고 상기에서 제조된 수용액에 시험편을 장기간 50일 동안 완전 침지 시킨 후 꺼내어 흐르는 물에 세척하고 음지의 상온에서 24시간 수분을 건조시킨다. 그 이후 각각의 시험편의 무게와 길이를 측정하여 이들의 변화율(%)을 계산한다.

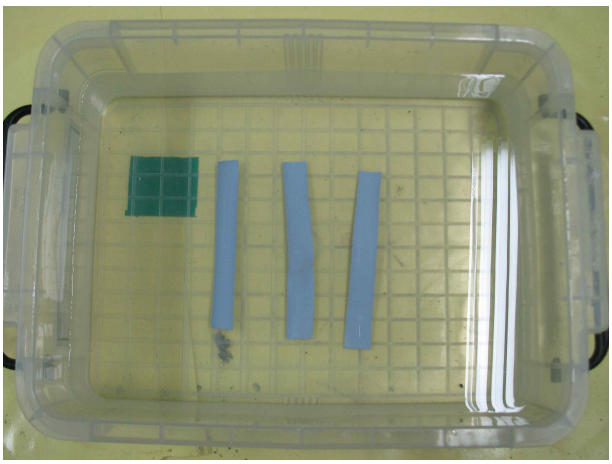


그림 92. 내화학성 용액 침지

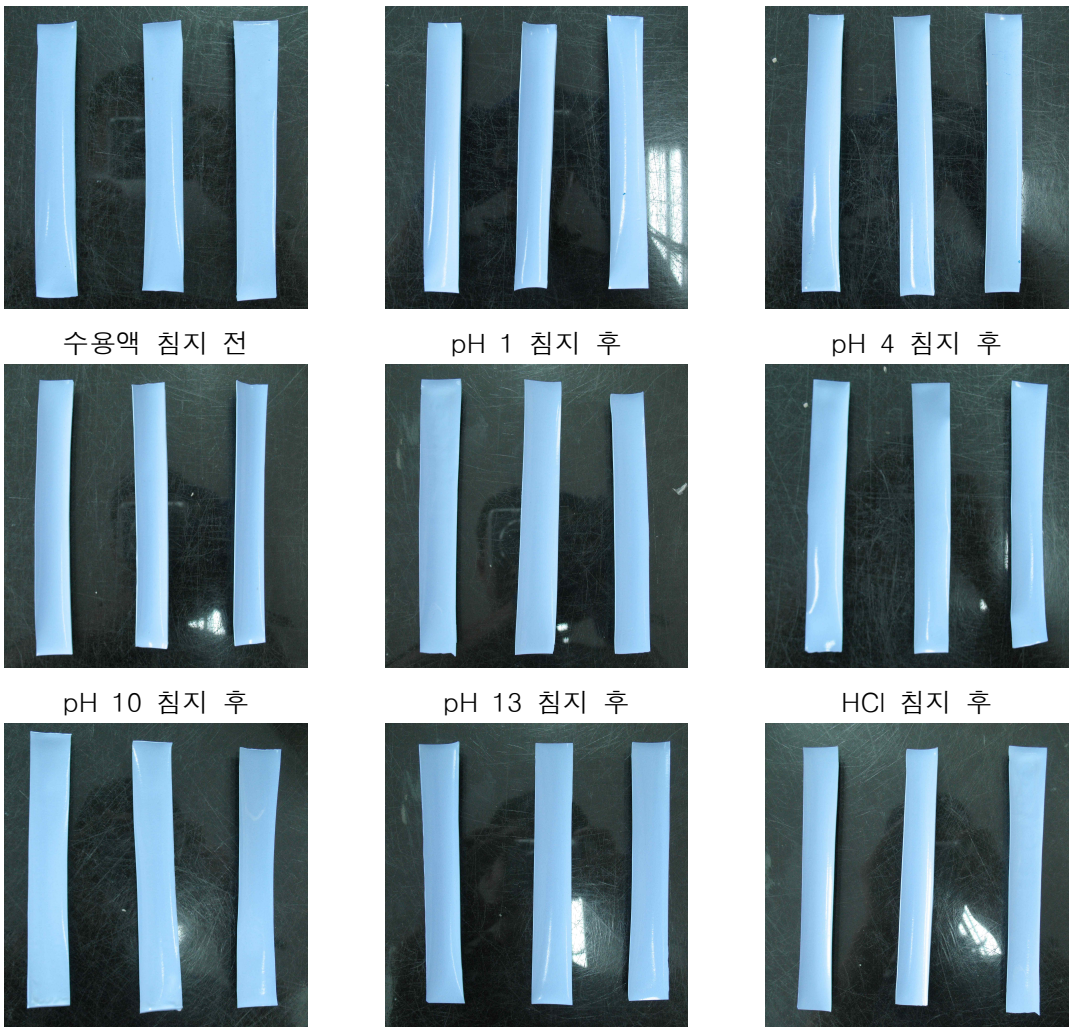


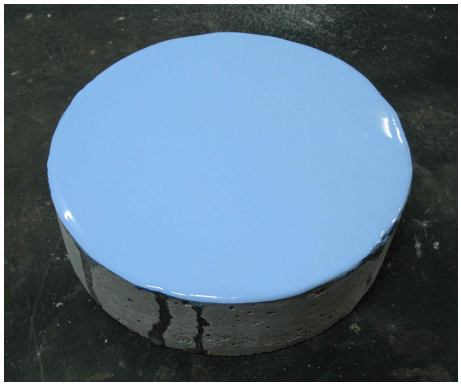
그림 93. 내화학성 시험결과

마. 내투수성

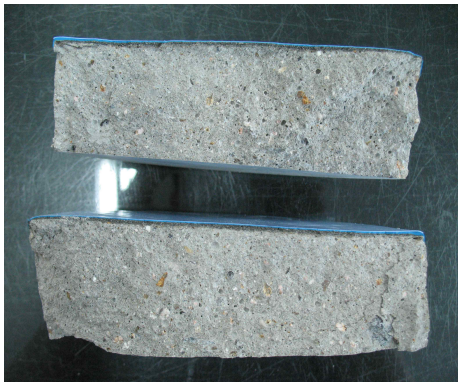
내투수성 시험은 Φ150×40 mm의 모르타르 바탕체에 방수·방식재를 2 mm의 두께로 도장하여 사진에서와 같이 시험체를 시험판에 고정시킨 후 0.3 MPa의 수압을 3시간 가한다. 수압을 가한 후 시험 장치로부터 시험체를 해체하여 거름종이로 약 10초 동안 가볍게 닦은 후, 시험체 중앙부를 2분할하여 방수/방식층 아래의 콘크리트 밑판 모든 시험체에 물이 침투되어 젖어 있는지를 확인한다.



그림 94. 내투수성 시험장비



내투수성 시험 전



내투수성 시험 후

그림 95. 내투수성 시험결과

바. 내피로성

피로시험은 아래 그림과 같은 시험체의 양 끝단에 스페이스를 놓고 손가락으로 절단부를 가볍게 눌러 도막에는 손상이 가지 않게 균열을 발생시킨 후 피로 시험기에 고정하고, 온도 -10℃에 1시간 이상 보관한다. 그 다음으로 이 온도에서 바탕판의 균열부에 0.5 mm에서 2.5의 확대 축소를 5회/min의 속도로 2 000회 반복한 후 균열 나비를 2.5 mm 확대한 상태에서 도막의 표면을 육안으로 관찰하여 구멍 뚫림, 찢김 및 파단의 유무를 조사하여 “이상 없음”으로 판정한다.

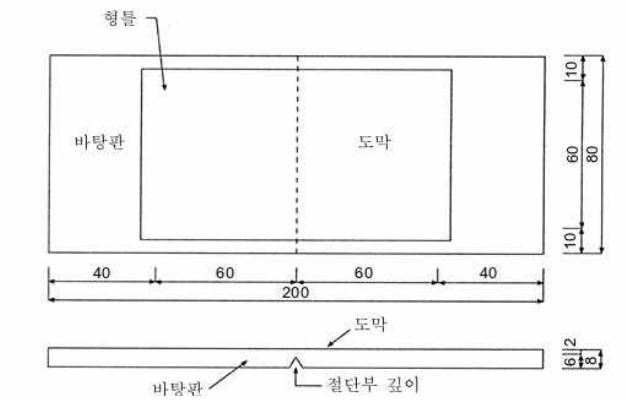
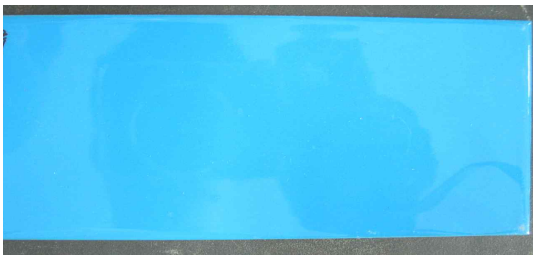


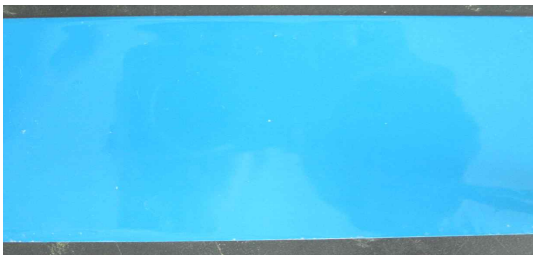
그림 96. 내피로성 시험체



그림 97. 내피로성 시험장비



내피로성 시험 전



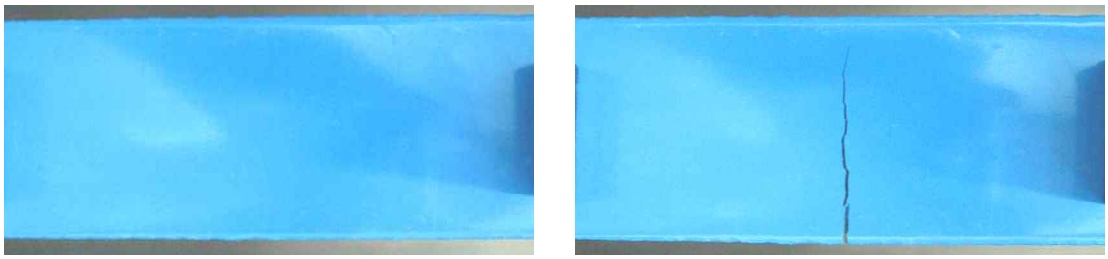
내피로성 시험 전

그림 98. 내피로성 시험결과

사. 균열대응성

균열대응성 시험은 콘크리트 구조물의 균열시 발생하는 표면보호재의 대응성을 확인하기 위하여 실시하였다. 시험체는 내피로 시험과 동일하게 제작하고, 내피로 시험기를 사용하여 인장속도0.5 mm/min로 서서히 신장하여 방수·방식재 표면의 균열이 발생하는 길이를 측정한

다. 서울시 상수도사업본부의 고도정수처리시설용 전문시방서를 인용하면, 균열대응성에 대한 기준치는 0.4 mm로 명시되어 있으며, 본 연구개발제품은 약 2.5배의 균열대응성능을 확보하였다.



균열대응성성 시험 전　　균열대응성성 시험 후

그림 99. 균열대응성 시험결과

아. 부착강도

부착강도 시험은 70×70×20 mm 크기의 시험용 밑판 위에 방수·방식재를 들뜸이나 공극이 없도록 균일하게 도포하고, 양생기간 동안 양생한다. 그 후 40×40 mm 크기의 상부 인장용 지그를 에폭시로 부착하여 충분히 경화되면 지그 주변을 따라 시험용 밑판이 닿을 때까지 홈을 내고 시료면에 대해 수직방향으로 10 mm/min의 하중속도로 인장력을 가해 최대인장하중을 구한다.

$$\text{부착성능}(MPa) = \frac{T}{A}$$

여기서 T : 최대 인장 하중(N)

A : 시험편체의 면적(㎟)

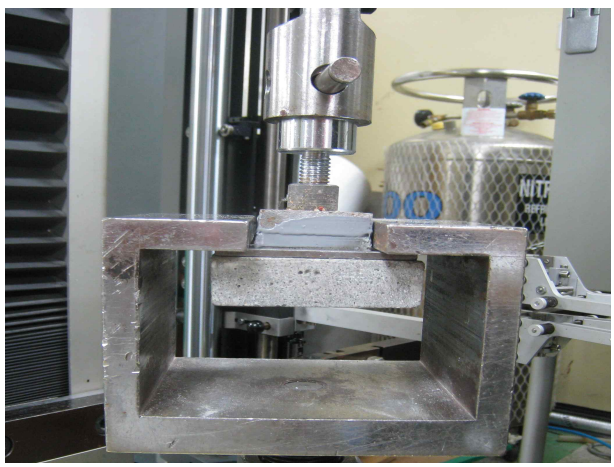
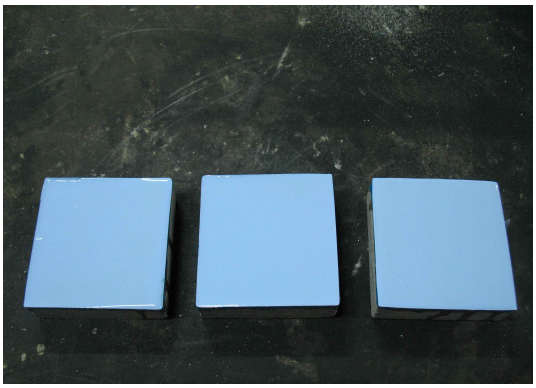
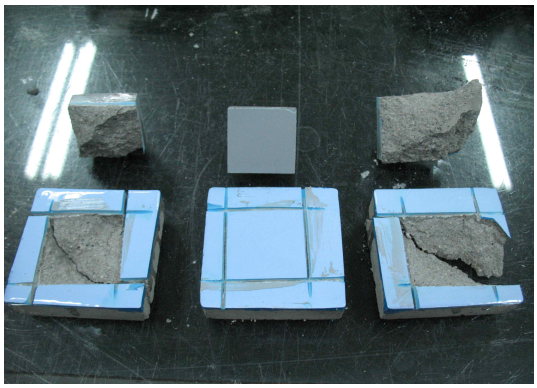


그림 100. 부착강도 시험장비



부착강도 시험 전



부착강도 시험 전

그림 101. 부착강도 시험결과

자. 음극박리 시험

음극박리 시험은 음극분극에 노출되었을 때 피복의 박리손상에 대한 저항성을 평가하기 위한 것으로「KS D 3589 압출식 폴리에틸렌 피복강관」의 규정에 따라 실시하였다. 80×80×2 mm 크기의 강판에 시제품을 도포한 후 드릴을 사용하여 중앙에 지름 6 mm의 구멍을 강판이 나올 정도로 최대한 얕게 뚫는다. 안지름 50 mm의 플라스틱 관을 시험체에 실리콘으로 고정시킨 후 염화나트륨 3 % 수용액을 채워 넣고, -1.5 V의 전압으로 4주간 유지시킨 후 박리된 길이를 측정하였다. 시험결과 박리된 길이는 1 mm 정도로 양호한 결과를 나타내었다.

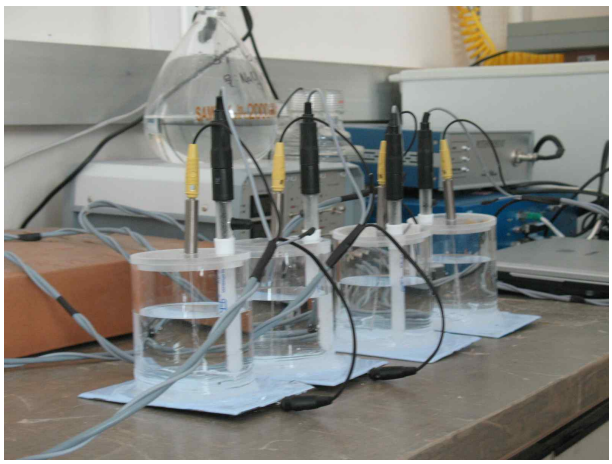
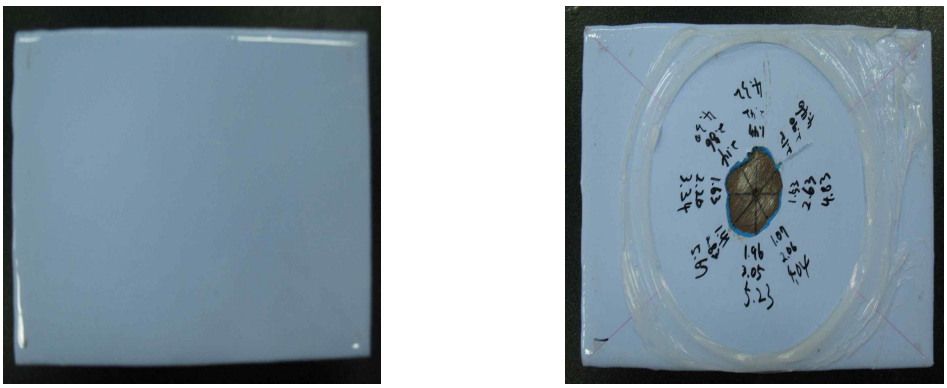


그림 102. 음극박리 시험장비



음극박리 시험 전　　음극박리 시험 후

그림 103. 내굴곡성 시험결과

4. 개발된 도막식 방수·방식재의 모르타르 적용 시 목표성능 시험

개발된 시제품을 모르타르에 도포하여 그 성능을 평가하였다. 그 결과 모든 시험항목에 대하여 그 목표치를 상회하는 물성을 확인하였다.

표 38. 모르타르 적용 시 목표성능

구분	시험항목		단위	개발목표치	측정치
1	Mock-up test	부착강도	MPa	2.0 이상	2.2(밑판파괴)
2	기초물성	표준상태		2.0 이상	2.4(밑판파괴)
		흡수상태		2.0 이상	1.8(밑판파괴)
3		내충격성	-	균열 없을 것	이상없음
4		내투수성	-	투수되지 않을 것	투수되지 않음
5	내오존성	겉모양	-	이상없음	이상없음
6		부착강도	MPa	1.5 이상	1.7
7		질량감소량	g/m^2	20 이하	13
8		내투수성	-	투수되지 않을 것	투수되지 않음
9		위생안전기준	-	적합	시험 중
10		수질시험기준	-	적합	시험 중

가. Mock-up test

(1) 부착강도

Mock-up test의 부착강도 시험은 1 800×1 800 ×1 800 mm의 콘크리트 구조체 내부에 본 연구과제를 통하여 개발된 불소아크릴레이트 수지를 사용하여 두께 50~100 ㎛도포하여 시험체를 제작하였다. 시험결과 기중부분과 수중부분에서 모두 2.0 이상의 부착강도를 유지하고 있어 개발된 방수·방식재의 내오존성 및 전체 시스템에 대한 품질 안정성이 우수한 것으로 평가된다.



그림 104. 4주 오존처리 후의 구조체 내부 방수·방식재 상태



부착강도 시험 전



부착강도 시험 후

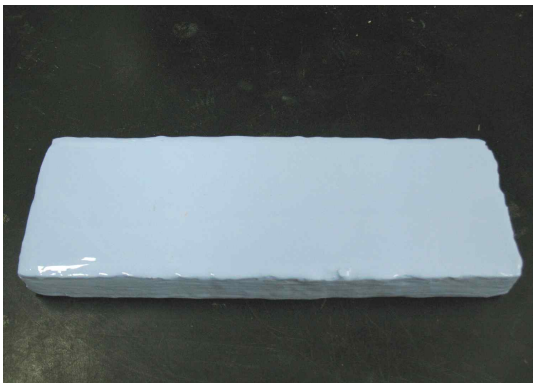
그림 105. 현장 부착강도 시험장면 및 모체 파단 형상

나. 기초물성

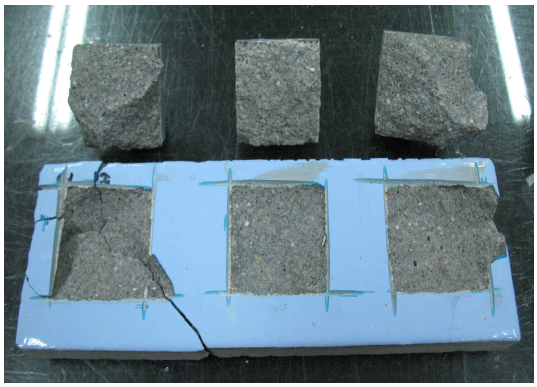
(1) 부착강도-표준상태

표준상태의 부착강도 시험은 200×70×20 mm의 시험용 모르타르 밑판에 시제품을 도포하였

으며, 시험을 위한 시험장비 및 시험방법은 「3. 개발된 도막식 방수·방식재의 목표성능 시험, 아. 부착강도」와 동일하게 실시하였다. 시험결과 부착강도는 2.4 MPa로 목표를 상회하는 결과를 나타내었다.



부착강도 시험 전

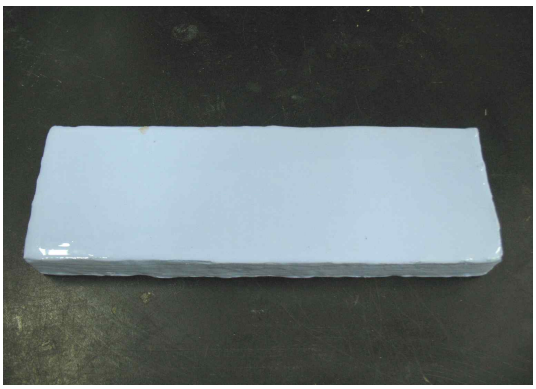


부착강도 시험 전

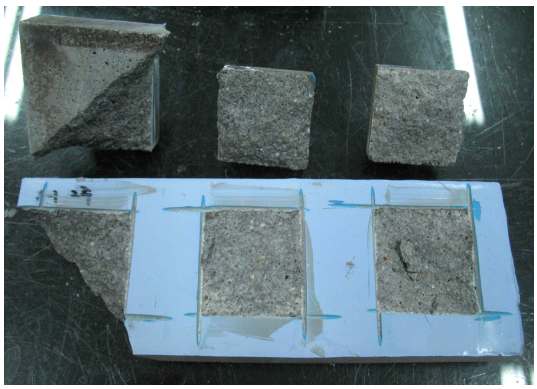
그림 106. 부착강도 시험결과

(2) 부착강도-흡수상태

흡수상태의 부착강도 시험은 200×70×20 mm의 시험용 모르타르 밑판을 24시간 동안 수중에 침지시키고 밑판의 표면의 물기를 제거한 후 시제품을 도포하였으며, 시험장비 및 시험방법은 「3. 개발된 도막식 방수·방식재의 목표성능 시험, 아. 부착강도」와 동일하게 실시하였다. 시험결과 부착강도는 2.2 MPa로 목표를 상회하는 결과를 나타내었다.



부착강도 시험 전

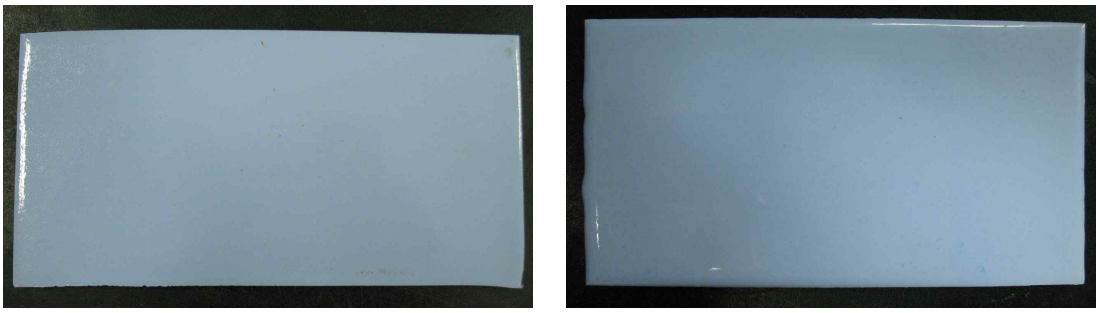


부착강도 시험 전

그림 107. 부착강도 시험결과

(3) 내충격성

내충격성 시험을 위한 시험장비 및 시험방법은 「3. 개발된 도막식 방수·방식재의 목표성능 시험, 나. 내충격성」과 동일하게 실시하였다. 시험결과 도면의 손상은 나타나지 않았다.

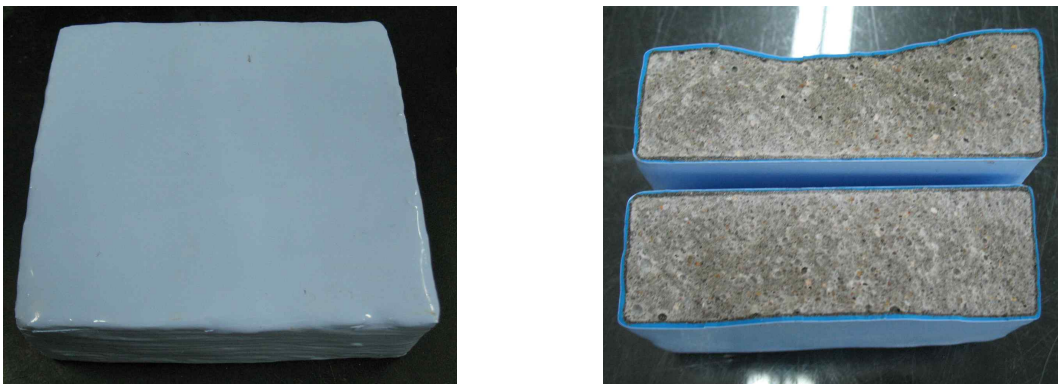


내충격성 시험 전　　내충격성 시험 후

그림 108. 내충격성 시험결과

(4) 내투수성

내투수성 시험은 100×1000 mm의 모르타르 밑판에 제품을 도포하였으며, 시험을 위한 시험장비 및 시험방법은 「3. 개발된 도막식 방수·방식재의 목표성능 시험, 마. 내투수성」과 동일하게 실시하였다. 시험결과 물이 침투되지 않은 결과를 나타내었다.



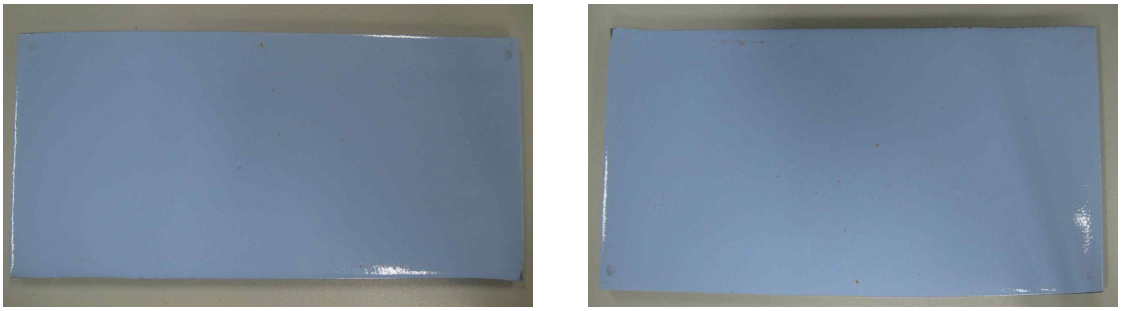
내투수성 시험 전　　내투수성 시험 후

그림 109. 내투수성 시험결과

다. 내오존성

(1) 겉모양

겉모양은 200×70×20 mm의 시험용 모르타르 밑판에 시제품을 도포하였으며, 오존처리 전·후 균열, 부풀음 및 박리 등의 이상유무를 관찰하였다. 시험결과 외관은 이상 없는 양호한 결과를 나타내었다.

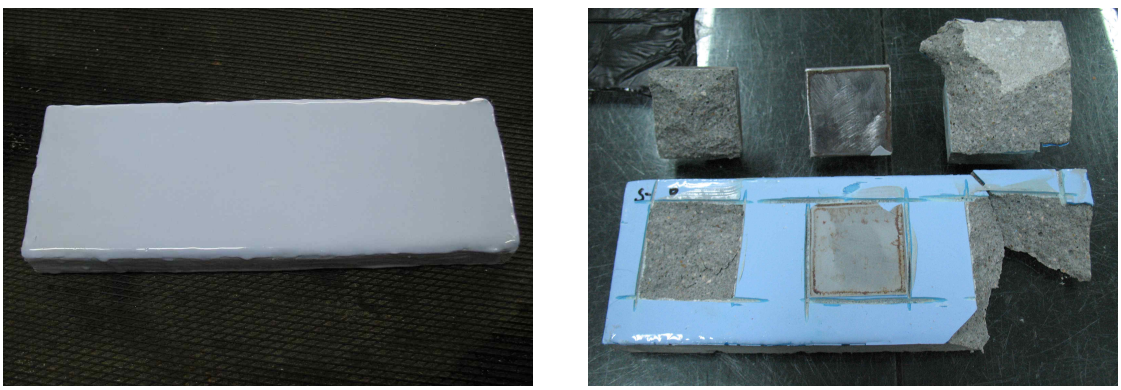


오존처리 전　　오존처리 후

그림 110. 겉모양 시험결과

(2) 부착강도

흡수상태의 부착강도 시험은 200×70×20 mm의 시험용 모르타르 밑판에 시제품을 도포하여 시험장비 및 시험방법은 「3. 개발된 도막식 방수·방식재의 목표성능 시험, 다. 내오존성 및 아. 부착강도」와 동일하게 실시하였다. 시험결과 부착강도는 1.7 MPa로 목표를 상회하는 결과를 나타내었다.



부착강도 시험 전　　부착강도 시험 전

그림 111. 부착강도 시험결과

(3) 질량감소량

내충격성 시험을 위한 시험장비 및 시험방법은 「3. 개발된 도막식 방수·방식재의 목표성능

시험, 나. 내충격성」과 동일하게 실시하였다. 시험결과 도면의 손상은 나타나지 않았다.


내충격성 시험 전


내충격성 시험 후

그림 112. 내충격성 시험결과

(4) 내투수성

내투수성 시험은 100×1000 mm의 모르타르 밑판에 제품을 도포하였으며, 시험을 위한 시험장비 및 시험방법은 「3. 개발된 도막식 방수·방식재의 목표성능 시험, 마. 내투수성」과 동일하게 실시하였다. 시험결과 물이 침투되지 않은 결과를 나타내었다.


내투수성 시험 전

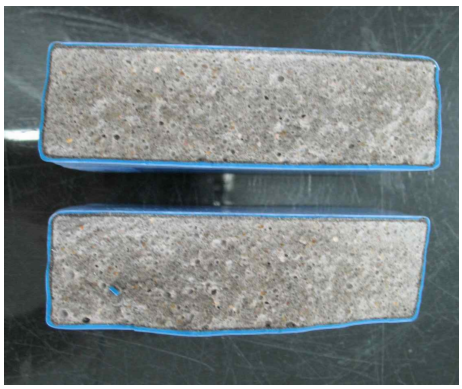

내투수성 시험 후

그림 113. 내투수성 시험결과

(5) 위생안전기준 및 수질시험기준

위생안전기준 및 수질검사기준은 「환경부고시 제2009-184호 : 수도용 자재 및 제품의 위생안전기준 공정시험방법」의 규정에 따라 43항목과 「환경부고시 제2011-21호 : 먹는 물 수질공정시험기준」의 규정에 따라 29항목 및 「KS I ISO 17294-2 수질-유도결합플라즈마 질량분석기의 응용(ICP-MS)-제2부 62원소측정 : 2010」의 규정에 따라 실시하였다. 시험결과는 현재 한국수도환경연구원에 의뢰하여 시험 중에 있다.

제 8절 내오존성이 우수한 부착식 방수·방식재의 개발

1. 연구개요

일반적으로 부착식 방수·방식재는 재료적으로 유리판, 타일, 스테인레스 및 섬유판으로 나눌 수 있다. 기존의 유리판 및 타일의 경우 보강효과와 시공성 때문에 실제 구조물에 폭넓게 적용되어 왔지만, 무거운 중량과 부식에 취약하여 시공성과 유지관리적 측면에서 문제점이 있다. 특히, 강판의 과도한 자중으로 인해 시공시에는 중장비가 필요하고. 스테인레스의 경우 용접작업 등으로 인한 화재의 위험도 상존하여 부식을 막기 위해 별도의 방청도장이 필요하며, 통기성 결여로 인한 밀폐현상으로 수처리 구조물과 보강재의 계면에서 발생되는 부착력의 약화 등 내구성에 문제점이 있다.

섬유판은 주로 탄소섬유, 유리섬유, 아라미드섬유 등의 섬유강화복합소재를 이용한 보강공법으로 운송비가 저렴하고, 취급이 용이하며, 빠르고 간편한 시공성, 우수한 내구성 때문에 지속적으로 증가되어 왔다. 그러나 탄소섬유는 제품의 가격이 매우 고가이기 때문에 적용이 용이하지 않으며, 전도체로서 고압전류가 흐르는 곳에서는 사용이 적합하지 않은 등의 문제가 있다. 또한, 유리섬유는 가격이 탄소섬유에 비해 상대적으로 저렴한 특성이 있고, 저탄성재료로서의 이점이 있으나, 유리섬유의 제작, 재단 및 시공 시 유리분진에 의하여 시공성이 문제가 있으며, 내화성이 떨어질 뿐만 아니라 폐기 시 환경에 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며, 최근에는 발암가능성 물질로 분류되어 그 사용이 제한되고 있다. 한편, 아라미드섬유의 경우에는 기계적, 역학적 성능이 유리섬유나 탄소섬유에 비하여 현저히 떨어지므로 최근에는 그 사용이 감소하고 있는 실정이다. 섬유판은 재료적 물성은 우수하나 보강대상 구조물과의 부착성능을 에폭시 접착제에만 의존할 수밖에 없는 메커니즘으로 단부박리 등 부착성능의 한계가 있고 이러한 부착성능의 한계를 해결하기 위하여 별도의 보강철물이 필요하며, 이 공법 또한 전면시공으로 인한 통기성의 결여, 유지관리의 어려움 등의 문제점이 있다. 한편, 현무암 섬유는 천연 현무암을 용융하고 방사하여 섬유화한 것으로 우수한 인장강도, 내열성, 탄성, 흡음성을 보유하고 있으며, 그 특징은 다음 표와 같다.

따라서 본 절에서는 기존의 섬유를 친환경 소재인 현무암 섬유로 대체하여 기계적 물성을 향상시키고, 안전한 음용수를 확보하였으며, 오존에 의한 산화력에 저항성이 우수한 수지를 선정하여 부착식 방수·방식재를 개발하였다.

표 39. 섬유의 특징 비교

성 질		단 위	현무암 섬유	유리 섬유	실리카 섬유
적용가능온도		℃	−260~900	−60~400	−170~1100
녹는점		℃	1 450	1 050	1 550
열전도도		W/(m.K)	0.031~0.038	0.034~0.04	0.034~0.04
인장강도		MPa	2 500~4 800	2 400~3 400	2 000~4 200
신율		%	3.1	4.7	1.2
탄성율		GPa	89	77	66
열팽창계수		ppm/℃	8.0	5.4	0.05
선팽창계수		$\times 10^{-6}$/K	5.5	5	0.5
화학 저항성 (무게손실)	H_2O	%	0.2	0.7	0.1
	2N NaOH	%	5.5	6.0	5.0
	2N HCl	%	2.1	3.9	1.6



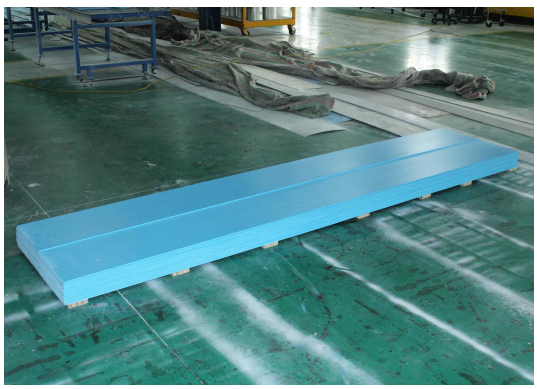
(a) 현무암 섬유 함침



(b) 패널 압출



(c) 패널 절단



(d) 패널 생산

그림 114. 부착식 방수·방식재 생산 과정

가. 패널의 내오존성 확보 방안

패널에 내오존성이 양호할 것으로 판단되는 폴리에스테르 수지 조성물에 Cycloaiphatic compound를 첨가하여 오존에 대한 내구성을 부여하였다. 또한, 패널의 보강섬유로 기존에 유기섬유 대신 친환경 소재인 현무암 섬유를 사용하여 수질의 신뢰성을 확보하였다. 내오존성이 양호할 것으로 판단되는 폴리에스테르 수지는 포화 2염기산, 불포화 2염기산 및 글리콜을 폴리 축합반응을 해서 얻은 폴리에스테르를 스티렌 등의 비닐 모노머에 용해한 것으로 그 장점은 다음과 같다.

① 점도가 낮아 작업성이 용이
② 보강재에 대한 함침성과 접착성 우수
③ 상온에서 고온까지 광범위한 조건하에서 경화
④ 경화할 때 부생성물을 발생시키지 않음
⑤ 경화된 수지는 양호한 기계적·전기적 성질, 내수성, 내약품성
⑥ 열경화성 수지 중에서 비교적 저렴

나. 접착재의 내오존 확보 방안

접착재의 내오존성 향상을 위해 CAC를 혼입하고, 패널과의 접착력을 부여하기 위해 재유화형 분말수지를 합성하였다. 또한, 오존으로 인한 부착력 저하를 방지하기 위해 Cycloaliphatic compound를 첨가하였다.

다. 줄눈재의 내오존 확보 방안

내오존성 향상을 위해 줄눈재에 아크릴 수지와 MMA 수지를 합성하였는데, 아크릴 수지는 아크릴산, 메타크릴산 등의 에스터로 부터의 중합체를 말하며, 유기물에 강하여 도료 및 접착재로 각광받고 있으며, 그 장점은 다음과 같다.

① 투명성이 뛰어나고, 내후성 우수
② 경도가 높고, 표면광택이 우수
③ 산에 잘 견기고, 성형성이 양호
④ 전기절연성이며, 주형 성형이 가능

2. 부착식 내오존 방수·방식재 개발

가. 패널의 보강섬유 및 수지 비교

부착식 패널에 사용되는 수지로서 일반 에폭시 수지와 내오존성이 우수할 것으로 판단되는 폴리에스테르 수지를 비교하였고, 섬유로서 폴리에스테르 수지에 일반 유리섬유와 본 개발제품에 사용된 현무암섬유를 함침하여 비교하였다. 그 결과 일반 에폭시 수지보다 폴리에스테르 수지가 내오존성이 우수하였고, 표면이 매끄러운 유리섬유보다 표면이 거친 현무암 섬유가 패널과의 부착성이 우수하였다. 또한, 섬유가 패널에서 탈락되었을 때 천연섬유인 현무암 섬유가 수질의 안정성에는 유리할 것으로 판단된다.

구분	에폭시 수지	폴리에스테르 수지	유리 섬유	현무암 섬유
무처리				
1주				
2주				

그림 115. 오존처리 전·후 표면상태

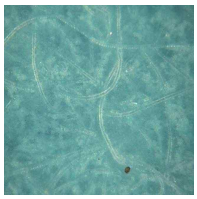
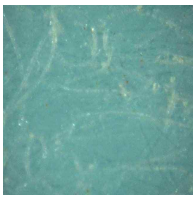
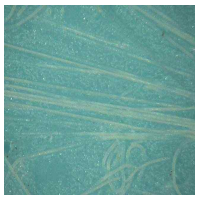
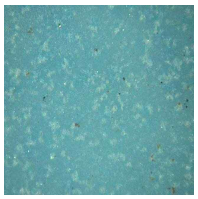
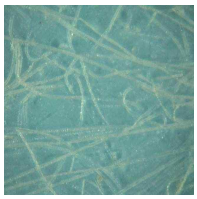
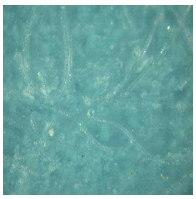
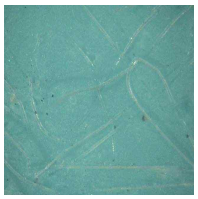
구분	에폭시 수지	폴리에스테르 수지	유리 섬유	현무암 섬유
무처리				
1주				
2주				

그림 116. 오존처리 전·후 표면상태(×400)

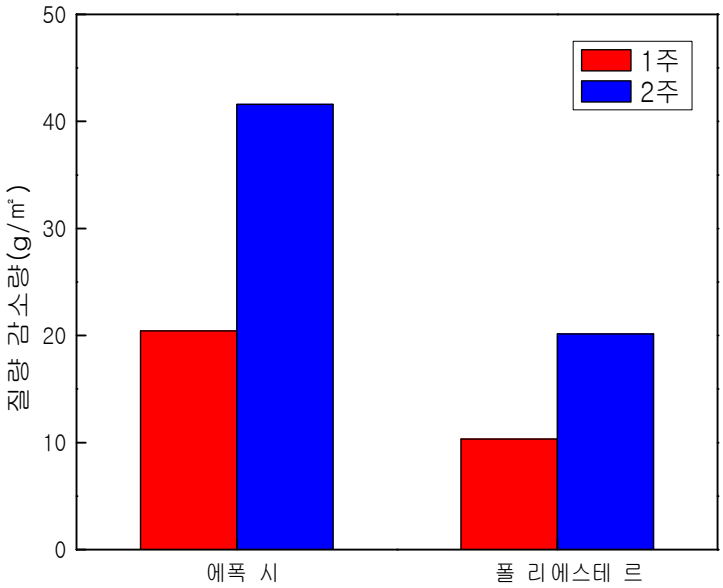


그림 117. 오존처리 전·후 질량감소량

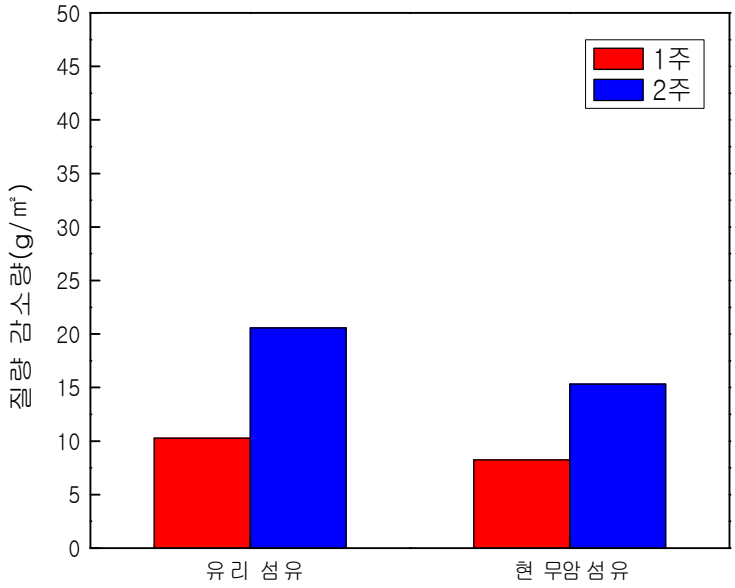


그림 118. 오존처리 전·후 질량감소량

나. 접착재의 최적 CAC 함량 선정

패널의 접착재에 내오존성 및 부착성이 우수할 것으로 판단되는 CAC를 혼입하여 그 함량에 따른 내오존성능을 부착강도를 통하여 비교하였다. 그 결과 CAC 함량이 증가할수록 부착강도는 증가하는 경향을 나타내었으며, 경제성을 검토하였을 때 CAC 15 %가 최적 함량으로 분석된다.

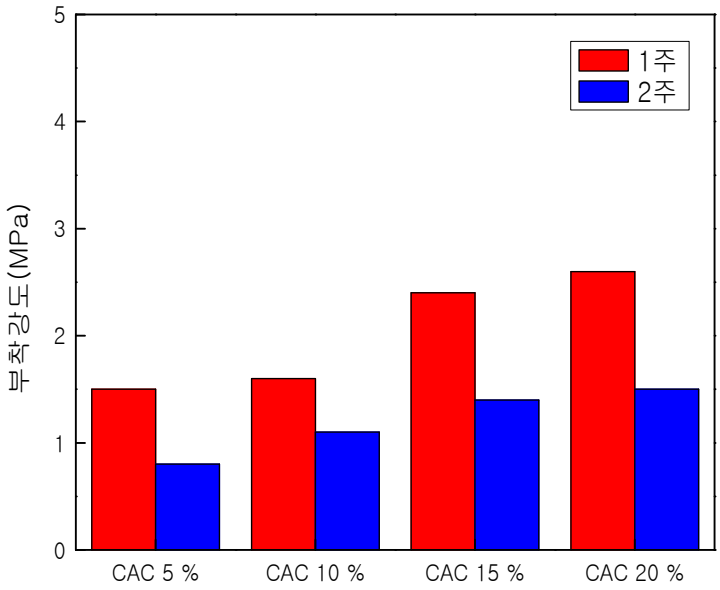


그림 119. 오존처리 후 부착강도

다. 줄눈재의 최적 CAC 함량 선정

패널의 줄눈재에 내오존성 및 내수성이 우수할 것으로 판단되는 아크릴 수지를 혼합하여 그 함량에 따른 내오존성능을 부착강도를 통하여 비교하였다. 그 결과 아크릴 수지의 함량이 증가할수록 부착강도는 증가하는 경향을 나타내었으며, 경제성을 검토하였을 때 아크릴 수지 10 %가 최적 함량으로 분석된다.

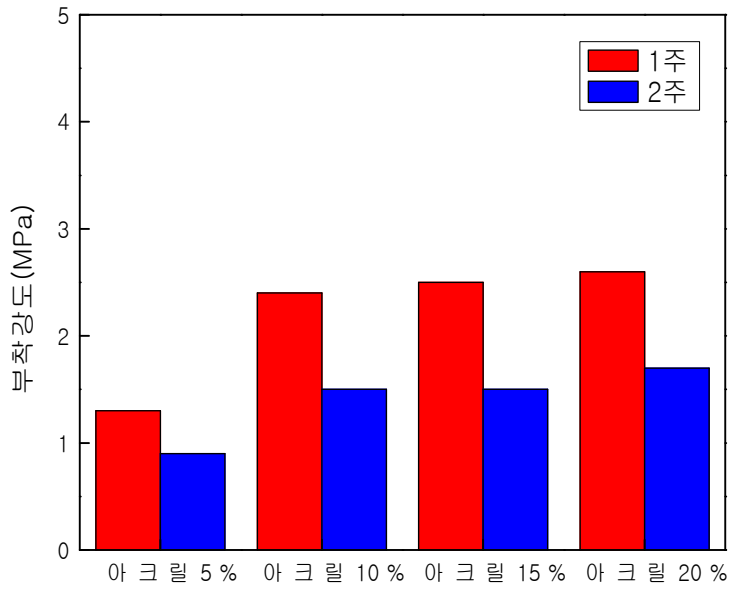


그림 120. 오존처리 후 부착강도

3. 개발된 부착식 방수·방식재의 목표성능 시험

앞서 평가한 결과를 바탕으로 시제품을 제작하여 그 성능을 평가하였다. 부착식 상수도 시설물 내부 방수·방식공법의 성능을 평가하기 위해 서울시상수도사업본부 내부지침의 「상수도 시설물 내부 방식 성능평가 시험항목 및 목적, 시험방법 : 2010」 규정을 적용하여 다음 표와 같이 시험항목을 설정하여 평가를 계획하였다.

표 40. 평가 계획

시험항목			시험체 구분				
			접착재	줄눈재	패널	접착재+패널	접착재+패널+줄눈재
부착성능	일 반	건조상태		○		○	
		수중침지		○		○	
	내화학성	염산 침지		○		○	
		차아염소산나트륨 침지		○		○	
		수산화나트륨 침지		○		○	
	내후성	습윤·건조 반복		○		○	
		오존노출		○			
투수성능	일반		○	○			
	내화학성	염산 침지					○
		차아염소산나트륨 침지					○
		수산화나트륨 침지					○
내피로성능				○			
내충격성능			○			○	
수질 안정성	환경부고시 제2009-184호			○	○		
	환경부고시 제2011-21호			○	○		
	KS I ISO 17294-2 : 2005			○	○		

아래 표는 「서울특별시 상수도 시설물 내부방식 공법 선정 세부평가 및 기술심의 운영기준(안) : 2010」에 따른 부착강도 시험항목별 평가등급을 나타낸 표이다. 부착강도 평가결과를 실시한 후 아래 표를 통하여 평가등급을 부여하였다.

표 41. 서울특별시 부착계열 방수·방식재의 부착강도 시험항목별 평가등급

(단위 : MPa)

시험항목		5등급	4등급	3등급	2등급	1등급
일 반	건조상태	1.50 미만	1.50 이상	1.75 이상	2.30 이상	2.82 이상
	수중침지	1.20 미만	1.20 이상	1.39 이상	2.0 이상	2.62 이상
내화학성	염산 침지	1.20 미만	1.20 이상	1.39 이상	1.7 이상	2.01 이상
	차아염소산 침지	1.20 미만	1.20 이상	1.39 이상	1.9 이상	2.41 이상
	수산화나트륨 침지	1.20 미만	1.20 이상	1.39 이상	1.9 이상	2.42 이상
내후성	습윤·건조 반복	1.20 미만	1.20 이상	1.48 이상	1.9 이상	2.31 이상

가. 부착강도

부착강도 시험은 「KS F 4921 콘크리트용 에폭시 수지계 방수·방식재 : 2006」의 규정에 따라 70×70×20 mm 크기의 시험용 밑판 위에 접착재+접착타일 및 줄눈재를 들뜸이나 공극이 없도록 균일하게 도포하고, 각 시험항목에 따라 시험체 처리방법 및 양생기간 동안 양생한다. 그 후 40×40 mm 크기의 상부 인장용 지그를 에폭시로 부착하여 충분히 경화되면 지그 주변을 따라 시험용 밑판이 닿을 때까지 홈을 내고 시료면에 대해 수직방향으로 10 mm/min의 하중속도로 인장력을 가해 최대인장하중을 구한다.

$$\text{부착성능}(MPa) = \frac{T}{A}$$

여기서 T : 최대 인장 하중(N)

A : 시험편체의 면적(㎟)



그림 121. 부착강도 시험체

(1) 건조상태 부착강도

건조상태의 부착성능은 건조환경 하에서의 시공상태 재현을 위해 시험용 밑판을 온도 80±2℃의 건조로에서 48시간동안 완전히 건조된 상태에서 접착재+접착타일 및 줄눈재를 도포하여 7일, 14일 및 28일간 기건양생한 후 부착강도 시험을 실시하였다. 시험결과 접착재+부착타일은 양생기간이 길어질수록 부착강도가 증가하였고, 줄눈재는 양생기간과 상관없이 양생기간 7일 이후 부착강도는 일정하였다. 평가등급으로 양생기간 28일 기준 접착재+부착타일은 1등급, 줄눈재는 2등급을 나타내었다.



그림 122. 건조로

표 42. 건조상태 부착강도 시험결과

시험체 구분	양생기간	부착강도(MPa)	등급	탈락상태
접착재+부착타일	7일	2.0	3등급	
	14일	2.6	2등급	
	28일	2.9	1등급	
줄눈재	7일	2.4	2등급	
	14일	2.4	2등급	
	28일	2.4	2등급	

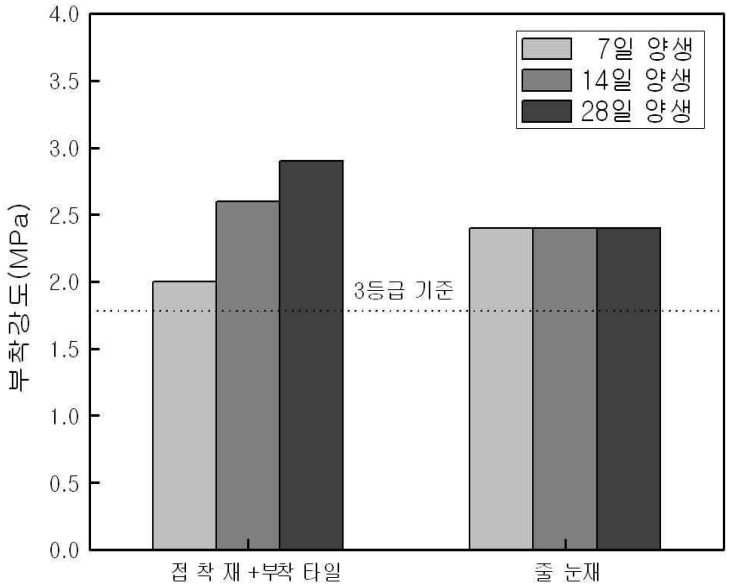


그림 123. 건조상태 부착강도 시험결과

(2) 수중침지 후 부착강도

수중침지 후 부착강도는 장기침수에 따른 구조물의 보호 및 재료의 저항성능을 파악하기 위하여 시험용 밑판에 접착재+접착타일 및 줄눈재를 도포하여 28일 동안 기건양생하여 제작된 시험체를 수중에 28일 동안 침지한다. 침지가 끝난 후 시험체를 꺼내 표면을 말린 후 부착강도 시험을 실시하였다. 시험결과 평가등급은 접착재+부착타일은 3등급, 줄눈재는 1등급을 나타내었다.

표 43. 수중 침지 후 부착강도 평가결과

시험체 구분	침지기간	부착강도(MPa)	등급	탈락상태
접착재+부착타일	28일	1.7	3등급	
줄눈재	28일	2.7	1등급	

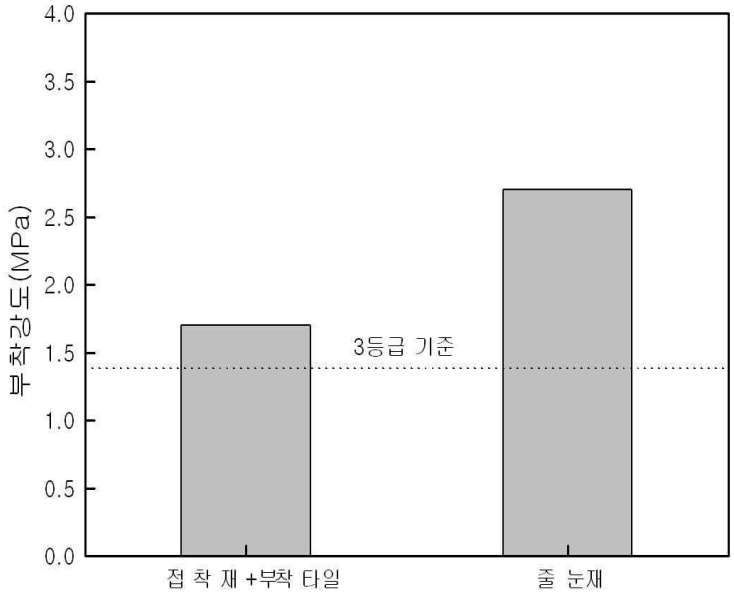


그림 124. 수중 침지 후 부착강도 평가결과

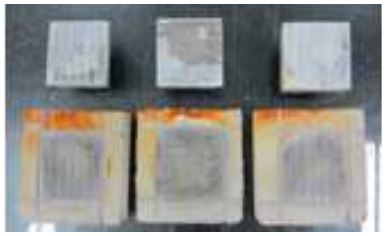
(3) 염산침지 후 부착강도

염산침지 후 부착강도는 시험용 밑판에 접착재+접착타일 및 줄눈재를 도포하여 28일 동안 기건양생하여 제작된 시험체를 「KS M ISO 6353-2 R-13 화학분석용 시약 : 2002」에 의해 제조된 5 %의 염산 시약에 7일, 14일 및 28일 동안 침지한다. 침지가 끝난 후 시험체를 흐르는 물에 충분히 씻고 표면을 말린 후 부착강도 시험을 실시하였다. 시험결과 접착재+부착타일 및 줄눈재는 염산침지 기간이 길어질수록 부착강도가 감소하였다. 평가등급으로 침지기간 28일 기준 접착재+부착타일은 2등급, 줄눈재는 3등급을 나타내었다.



그림 125. 염산침지

표 44. 염산침지 후 부착강도 평가결과

시험체 구분	침지기간	부착강도(MPa)	등급	탈락상태
접착재+부착타일	7일	2.0	1등급	
	14일	1.9	2등급	
	28일	1.9	2등급	
줄눈재	7일	1.7	2등급	
줄눈재	14일	1.5	3등급	
	28일	1.4	3등급	

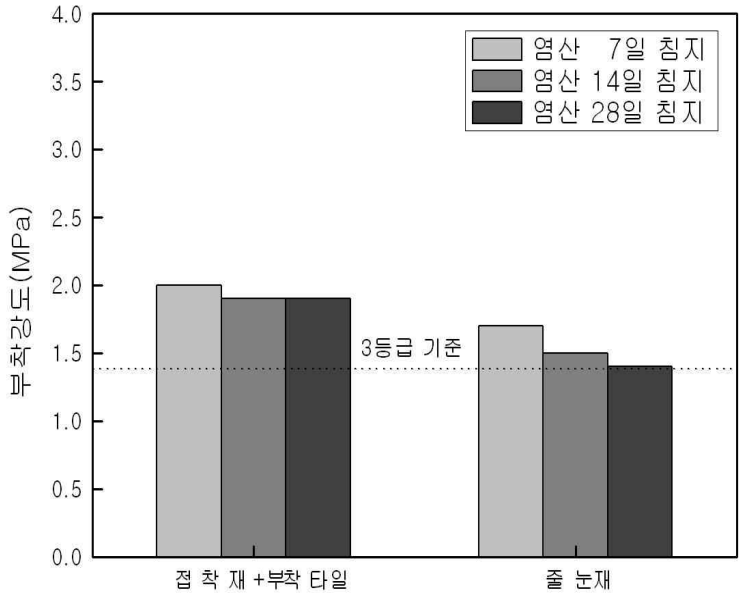


그림 126. 염산 침지 후 부착강도 평가결과

(4) 차염소산나트륨 침지 후 부착강도

차염소산나트륨 침지 후 부착강도는 시험용 밑판에 접착재+접착타일 및 줄눈재를 도포하여 28일 동안 기건양생하여 제작된 시험체를 「KS M ISO 6353-2 R-13 화학분석용 시약 : 2002」에 의해 제조된 1 %의 차염소산나트륨 시약에 7일, 14일 및 28일 동안 침지한다. 침지가 끝난 후 시험체를 흐르는 물에 충분히 씻고 표면을 말린 후 부착강도 시험을 실시하였다. 시험결과 접착재+부착타일 및 줄눈재는 차염소산나트륨 침지기간이 길어질수록 부착강도가 감소하였다. 평가등급으로 침지기간 28일 기준 접착재+부착타일은 3등급, 줄눈재는 1등급을 나타내었다.

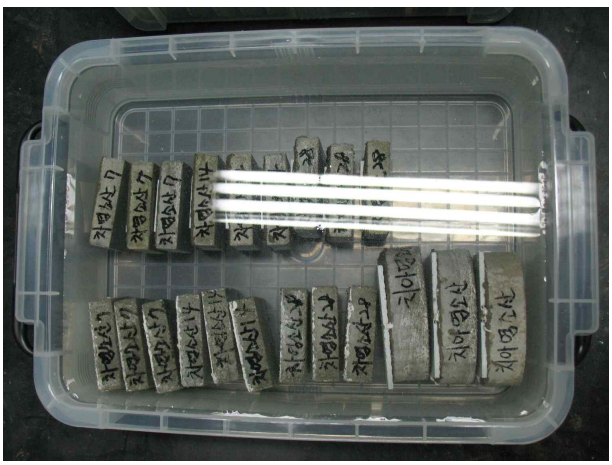


그림 127. 차염소산나트륨 침지

표 45. 차염소산나트륨 침지 후 부착강도 평가결과

시험체 구분	침지기간	부착강도(MPa)	등급	탈락상태
접착재+부착타일	7일	1.8	2등급	
	14일	1.6	3등급	
	28일	1.6	3등급	
줄눈재	7일	2.6	1등급	
	14일	2.5	1등급	
	28일	2.4	1등급	

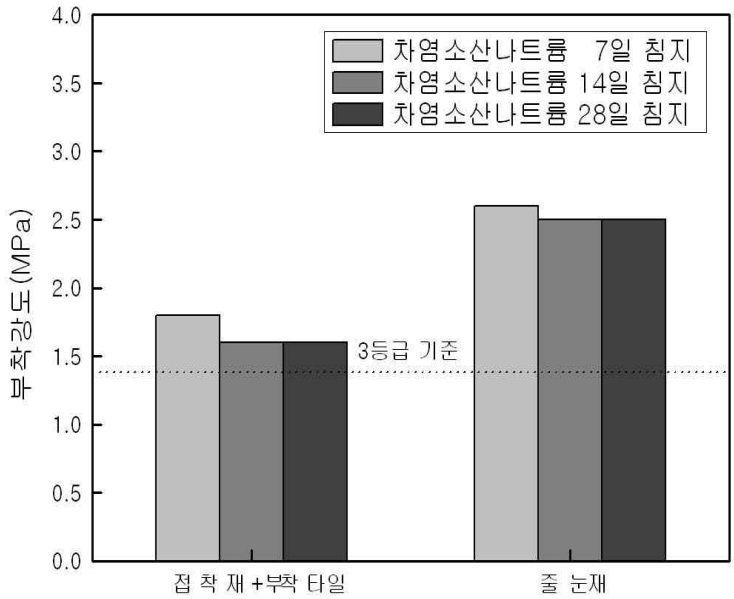


그림 128. 차염소산나트륨 침지 후 부착강도 평가결과

(5) 수산화나트륨 침지 후 부착성능

수산화나트륨 침지 후 부착강도는 시험용 밑판에 접착재+접착타일 및 줄눈재를 도포하여 28일 동안 기건양생하여 제작된 시험체를 「KS M ISO 6353-2 R-13 화학분석용 시약 : 2002」에 의해 제조된 5 %의 수산화나트륨 시약에 7일, 14일 및 28일 동안 침지한다. 침지가 끝난 후 시험체를 흐르는 물에 충분히 씻고 표면을 말린 후 부착강도 시험을 실시하였다. 시험결과 접착재+부착타일 및 줄눈재는 수산화나트륨 침지기간이 길어질수록 부착강도가 감소하였다. 평가등급으로 침지기간 28일 기준 접착재+부착타일은 3등급, 줄눈재는 1등급을 나타내었다.



그림 129. 수산화나트륨 침지

표 46. 수산화나트륨 침지 후 부착강도 평가결과

시험체 구분	침지기간	부착강도(MPa)	등급	탈락상태
접착재+부착타일	7일	1.9	2등급	
	14일	1.7	3등급	
접착재+부착타일	28일	1.6	3등급	
줄눈재	7일	3.1	1등급	
	14일	3.0	1등급	
	28일	2.8	1등급	

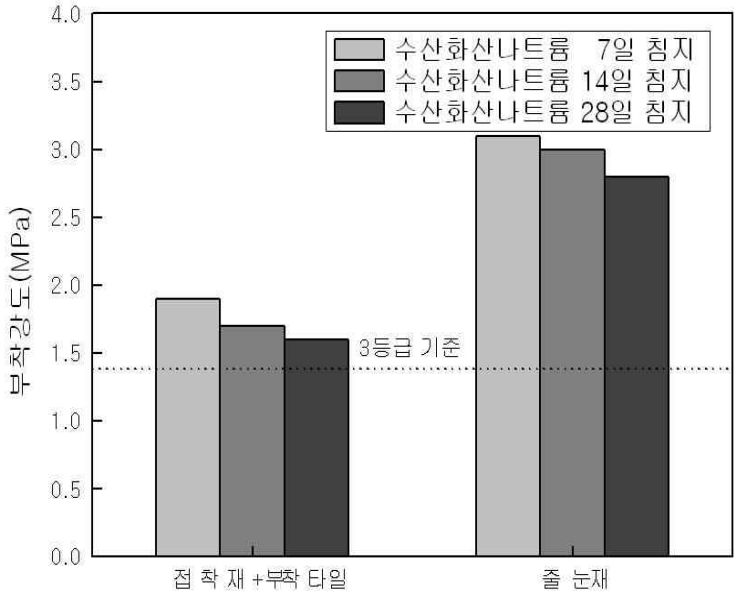


그림 130. 수산화나트륨 침지 후 부착강도 평가결과

(6) 습윤·건조 반복 후 부착강도

습윤·건조 반복 후 부착성능은 습윤 및 건조의 환경변화에 대한 저항성능을 파악하기 위하여 시험용 밑판에 접착재+접착타일 및 줄눈재를 도포하여 28일 동안 기건양생하여 제작된 시험체를 아래의 그림과 같이 습윤·건조 반복조건을 1 Cycle로 하여 총 100 Cycle을 반복한다. 반복이 끝난 후 시험체를 꺼내 표면을 말린 후 부착강도 시험을 실시하였다. 시험결과 평가등급은 접착재+부착타일 및 줄눈재는 모두 2등급을 나타내었다.



그림 131. 습윤·건조 반복 시험기

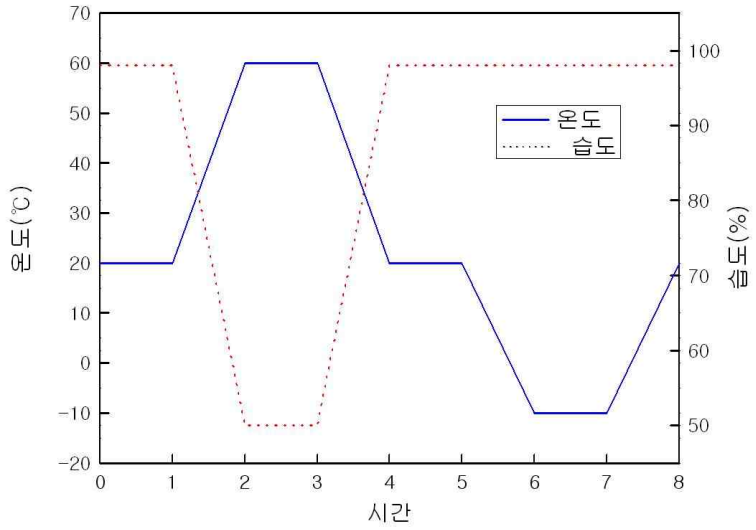
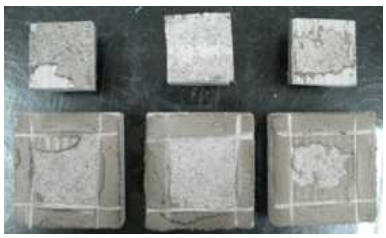


그림 132. 습윤·건조 반복(1 Cycle)

표 47. 습윤·건조 반복 후 부착강도 평가결과

시험체 구분	반복 회수	부착강도(MPa)	등급	탈락상태
접착재+부착타일	100회	2.3	2등급	
줄눈재	100회	2.3	2등급	

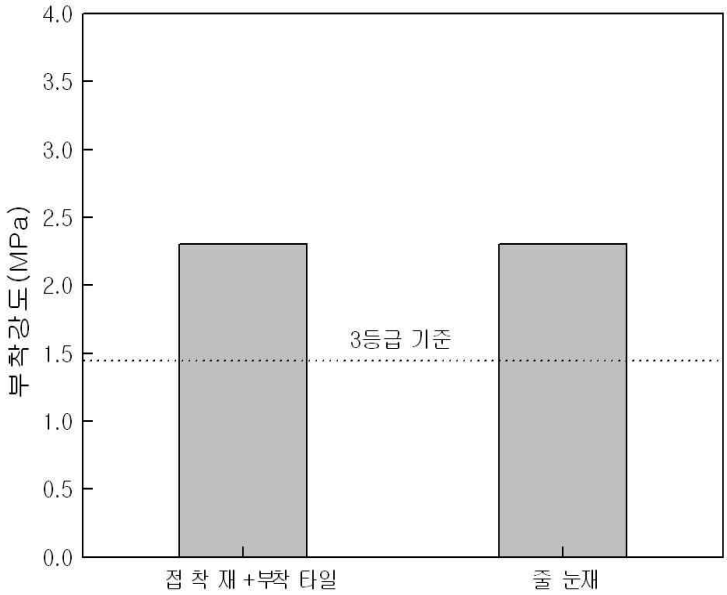


그림 133. 습윤·건조 반복 후 부착강도 평가결과

(7) 오존노출 후 부착성능

오존노출 후 부착강도는 오존환경에 대한 저항성능을 파악하기 위하여 시험용 밑판에 줄눈재를 도포하여 28일 동안 기건양생하여 제작된 시험체를 오존처리 장비에 설치하였다. 본 평가에 사용한 오존처리 시험기는 일정한 농도의 오존수 투입을 위하여 오존발생기에서 발생한 오존을 오존수 탱크로 투입시켜 일정농도로 오존수를 저장하고, 펌프를 이용하여 오존처리 챔버로 재투입 및 순환시켜 일정한 농도의 오존수를 유지한다. 본 평가의 시험조건은 가속열화하여 용존오존 농도는 10±0.5 ppm으로 설정하였고, 수온은 20±2 ℃에서 2주간 진행하였다. 또한, 실제 고도정수처리시설에서 발생하는 수위변화에 따라 열화가 촉진되는 운영조건을 모사하기 위하여 수위조절장치를 설치하여 아래 그림과 같은 Cycle로 진행하였다. 시험결과 오존노출 전과 비교하여 약 33 %의 부착강도가 저하가 발생하였고, 평가등급의 기준은 없으나, 습윤·건조 반복을 기준으로 줄눈재는 3등급을 나타내었다.

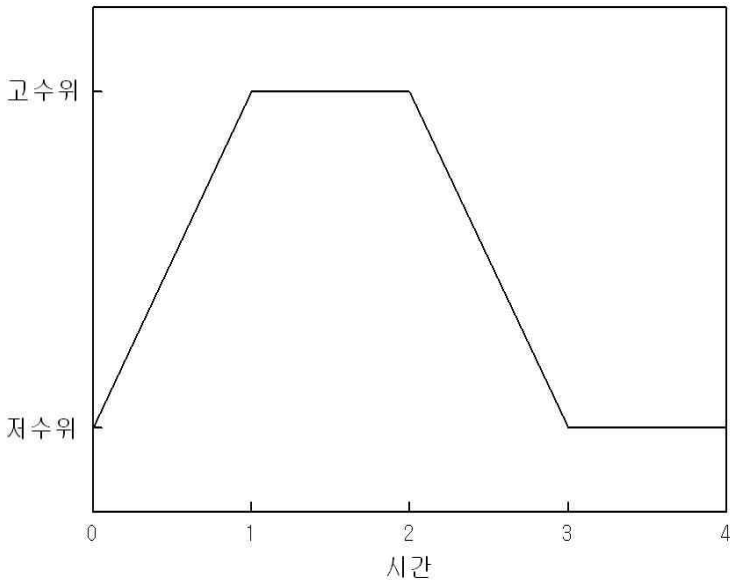
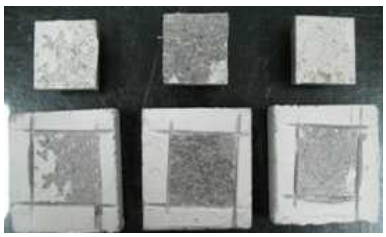


그림 134. 오존처리 수위반복(1 Cycle)

표 48. 오존노출 후 부착강도 평가결과

시험체 구분	노출기간	부착강도(MPa)	등급	탈락상태
줄눈재	2주	1.6	동결·융해 평가등급 기준 없음	

나. 투수성능

투수성능 시험 「KS F 4921 콘크리트용 에폭시 수지계 방수·방식재 : 2006」의 규정에 따라 ∅100×10 mm 크기의 시험용 밑판 위에 접착재, 줄눈재 및 접착재+부착타일+줄눈재를 들뜸이나 공극이 없도록 균일하게 도포하고, 28일 동안 기중양생한다. 그 후 투수시험 장치에 시험체를 설치하고 1 MPa의 수압을 1시간동안 가한 뒤 투수시험 장치에서 꺼내 표면의 물기를 제거한 후 시험체를 할렬파괴하여 시험용 밑판까지 물의 침투여부를 육안으로 확인한다.



그림 135. 투수성능 평가 시험체



그림 136. 투수성능 시험장비

(1) 표준상태 투수성능

표준상태 투수성능 시험결과를 접착재 및 줄눈재는 투수되지 않는 양호한 결과를 나타내었다.

표 49. 표준상태 투수성능 평가결과

시험체 구분	투수여부	투수상태		
		1	2	3
접착재	투수되지 않음			
줄눈재	투수되지 않음			

(2) 염산침지 후 투수성능

염산침지 후 투수성능은 시험용 밑판에 접착재+부착타일+줄눈재를 들뜸이나 공극이 없도록 균일하게 도포하여 28일 동안 기건양생하여 제작된 시험체를 「KS M ISO 6353-2 R-13 화학분석용 시약 : 2002」에 의해 제조된 5 %의 염산 시약에 28일 동안 침지한다. 침지가 끝난 후 시험체를 흐르는 물에 충분히 씻고 표면을 말린 후 투수성능 시험을 실시하였다. 염산침지 후 투수성능 시험결과 접착재+부착타일은 투수되지 않는 양호한 결과를 나타내었다.

표 50. 염산 침지 후 투수성능 평가결과

치험체 구분	투수여부	투수상태		
		1	2	3
접착재+부착타일	투수되지 않음			

(3) 차염소산나트륨 침지 후 투수성능

차염소산 침지 후 투수성능은 시험용 밑판에 접착재+부착타일+줄눈재를 들뜸이나 공극이 없도록 균일하게 도포하여 28일 동안 기건양생하여 제작된 시험체를 「KS M ISO 6353-2 R-13 화학분석용 시약 : 2002」에 의해 제조된 1 %의 차염소산나트륨 시약에 28일 동안 침

지한다. 침지가 끝난 후 시험체를 흐르는 물에 충분히 씻고 표면을 말린 후 투수성능 시험을 실시하였다. 차염소산나트륨 침지 후 투수성능 시험결과 접착재+부착타일은 투수되지 않는 양호한 결과를 나타내었다.

표 51. 차염소산나트륨 침지 후 투수성능 평가결과

시험체 구분	투수여부	투수상태		
		1	2	3
접착재+부착타일	투수되지 않음			

(4) 수산화나트륨 침지 후 투수성능

수산화나트륨 침지 후 투수성능은 시험용 밑판에 접착재+부착타일+줄눈재를 들뜸이나 공극이 없도록 균일하게 도포하여 28일 동안 기건양생하여 제작된 시험체를 「KS M ISO 6353-2 R-13 화학분석용 시약 : 2002」에 의해 제조된 5 %의 수산화나트륨 시약에 28일 동안 침지한다. 침지가 끝난 후 시험체를 흐르는 물에 충분히 씻고 표면을 말린 후 투수성능 시험을 실시하였다. 수산화나트륨 침지 후 투수성능 시험결과 접착재+부착타일은 투수되지 않는 양호한 결과를 나타내었다.

표 52. 수산화나트륨 침지 후 투수성능 평가결과

시험체 구분	투수여부	투수상태		
		1	2	3
접착재+부착타일	투수되지 않음			

다. 내피로성능

내피로성능은 「KS F 4917 개량 아프팔트 방수 시트 : 2007」의 규정에 따라 200×80 mm 크기의 시험용 CRC 보드 밑판을 긴방향으로 마주대고 중간에 120×60 mm의 줄눈재를 들뜸이나 공극이 없이 균일하게, 28일 동안 기중양생한다. 시험체를 24시간 동안 표준상태에 정치

한 후 거동 폭 0.5~2.5 mm, 거동 속도 5회/min로 -10 ℃의 온동에서 2 000회의 거동을 준 다음 시험체를 2.5 mm로 신장하여 방수층 손상(구멍뚫림, 찢김, 파단 등)의 유·무를 확인한다. 시험결과 줄눈재는 모든 시험체에서 파단이나 찢김이 발생하지 않는 양호한 결과를 나타내어 결과적으로 구조물의 거동에 대한 저항성을 확보하고 있는 것으로 사료된다.

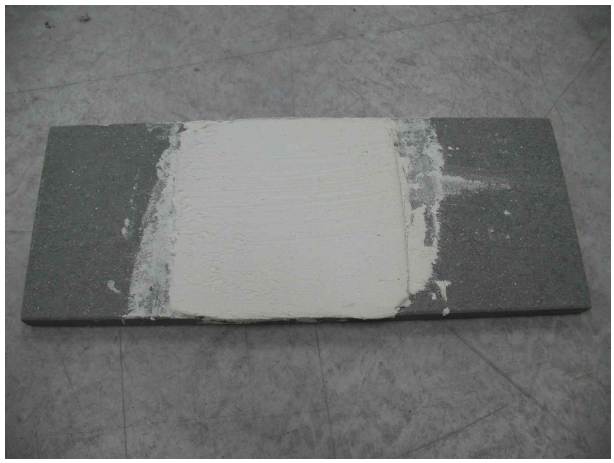
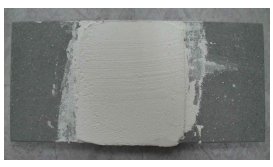


그림 137. 내피로성능 시험체



그림 138. 내피로성능 시험장비

표 53. 내피로성능 평가결과

시험체 구분	이상여부	표면상태		
		1	2	3
줄눈재	이상 없음			

라. 내충격성능

내충격성능은 「KS F 4921 콘크리트용 에폭시 수지계 방식재 : 2006」의 규정에 따라 300×300×30 mm 크기의 시험용 밑판 위에 접착재 및 접착재+부착타일을 들뜸이나 공극이 없도록 균일하게 도포하고, 28일 동안 기중양생한다. 시험체의 상부에 끝이 반구형인 추(500±2 g)을 일정 높이(0.5, 1.0, 1.5 m)에서 3회 낙하시킨 다음 시험체의 균열 및 박리 여부를 육안으로 관찰한다. 내충격성능 시험결과 접착재는 균열 및 박리는 발생하지 않았고, 접착재+부착타일은 표면에 어떠한 변화도 발생하지 않는 양호한 결과를 나타내어 소요의 충격에 대한 저항성을 확보하고 있는 것으로 사료된다.



그림 139. 내충격성능 시험체

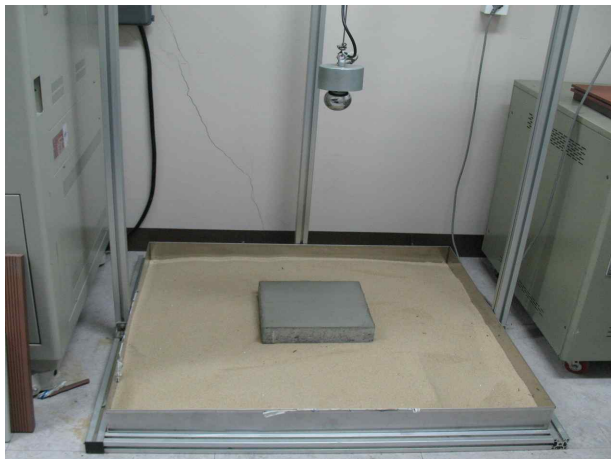
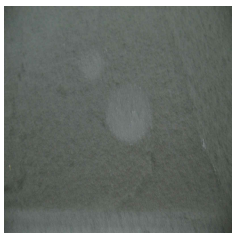


그림 140. 내충격성능 시험장비

표 54. 내충격성능 평가결과

시험체 구분	이상여부	표면상태		
		0.5 m	1.0 m	1.5 m
접착재	이상 없음			
접착재+부착타일	이상 없음			

마. 위생안전기준 및 수질시험기준

위생안전기준 및 수질검사기준은 「환경부고시 제2009-184호 : 수도용 자재 및 제품의 위생안전기준 공정시험방법」의 규정에 따라 43항목과 「환경부고시 제2011-21호 : 먹는 물 수질공정시험기준」의 규정에 따라 29항목 및 「KS I ISO 17294-2 수질-유도결합플라즈마 질량분석기의 응용(ICP-MS)-제2부 62원소측정 : 2010」의 규정에 따라 실시하였다. 시험결과 줄눈재 및 부착타일 모두 수질기준을 만족하는 양호한 결과를 나타내었다.

표 55. 환경부고시 제2009-184호 : 수도용 자재 및 제품의 위생안전기준 공정시험방법 -줄눈재

검사항목	단위	수질기준	시험결과	
			무처리	오존처리 후
납	mg/L	0.005 이하	ND	ND
비소	mg/L	0.005 이하	ND	ND
셀레늄	mg/L	0.001 이하	ND	ND
카드뮴	mg/L	0.0005 이하	ND	ND
구리	mg/L	0.1 이하	ND	ND
아연	mg/L	0.3 이하	ND	ND
망간	mg/L	0.03 이하	ND	ND
철	mg/L	0.03 이하	ND	ND
나트륨	mg/L	20 이하	0.22	0.5
수은	mg/L	0.0001 이하	ND	ND
6가크롬	mg/L	0.005 이하	ND	ND
시안	mg/L	0.001 이하	ND	ND
음이온계면활성제	mg/L	0.02 이하	ND	ND
질산성질소	mg/L	1 이하	ND	ND
아질산성질소	mg/L	1 이하	ND	ND
불소	mg/L	0.15 이하	ND	ND
염소이온	mg/L	25 이하	ND	ND
사염화탄소	mg/L	0.0002 이하	ND	ND
티클로로메탄	mg/L	0.002 이하	ND	ND
1,1,1-트리클로로에탄	mg/L	0.01 이하	ND	ND
1,1,2-트리클로로에탄	mg/L	0.0006 이하	ND	ND
벤젠	mg/L	0.001 이하	ND	ND
1,1-디클로로에틸렌	mg/L	0.003 이하	ND	ND
1,2-디클로로에탄	mg/L	0.0004 이하	ND	ND
시스-1,2-디클로로에틸렌	mg/L	0.004 이하	ND	ND
트리클로로에틸렌	mg/L	0.003 이하	ND	ND
테트라클로로에틸렌	mg/L	0.001 이하	ND	ND
페놀류	mg/L	0.0005 이하	ND	ND
에피클로로히드린	mg/L	0.01 이하	ND	ND
아세트산비닐	mg/L	0.01 이하	ND	ND
스티렌	mg/L	0.002 이하	ND	ND
1,2-부타디엔	mg/L	0.001 이하	ND	ND
1,3-부타디엔	mg/L	0.001 이하	ND	ND
N,N-디메틸아닐린	mg/L	0.01 이하	ND	ND
2,4-톨루엔디아민	mg/L	0.002 이하	ND	ND
2,6-톨루엔디아민	mg/L	0.001 이하	ND	ND
포름알데히드	mg/L	0.008 이하	ND	ND
과망간산칼륨 소비량	mg/L	1.0 이하	0.6	0.6
증발잔류물	mg/L	50 이하	49	48
잔류염소감량	mg/L	0.7 이하	0.64	0.61
탁도	NTU	0.2 이하	0.17	0.17
색도	도	0.5 이하	0.3	0.2
냄새	-	이상없음	이상없음	이상없음
맛	-	이상없음	이상없음	이상없음

표 56. 환경부고시 제2011-21호 : 먹는 물 수질공정시험기준-줄눈재

검사항목	단위	수질기준	시험결과	
			무처리	오존처리 후
일반세균	CFU/mL	100 이하	0	0
총대장균군	-/(100mL)	불검출	ND	ND
대장균	-/(100mL)	불검출	ND	ND
분원성대장균	-/(100mL)	불검출	ND	ND
보론	mg/L	1.0 이하	ND	ND
알루미늄	mg/L	0.2 이하	ND	0.05
황산이온	mg/L	200 이하	ND	ND
다이아지논	mg/L	0.02 이하	ND	ND
파라티온	mg/L	0.06 이하	ND	ND
페니트로티온	mg/L	0.04 이하	ND	ND
디클로로메탄	mg/L	0.02 이하	ND	ND
브로모디클로로메탄	mg/L	0.03 이하	ND	ND
디브로모디클로로메탄	mg/L	0.1 이하	ND	ND
톨루엔	mg/L	0.7 이하	ND	ND
에틸벤젠	mg/L	0.3 이하	ND	ND
크실렌	mg/L	0.5 이하	ND	ND
1,2-디브로모-3-클로로프로판	mg/L	0.003 이하	ND	ND
트리클로로아세토니트릴	mg/L	0.004 이하	ND	ND
클로랄하이드레이트	mg/L	0.03 이하	ND	ND
디브로모아세토니트릴	mg/L	0.1 이하	ND	ND
디클로로아세토니트릴	mg/L	0.09 이하	ND	ND
할로아세틱에시드	mg/L	0.1 이하	ND	ND
클로로포름	mg/L	0.08 이하	ND	ND
총트리할로메탄	mg/L	0.1 이하	ND	ND
카바릴	mg/L	0.07 이하	ND	ND
잔류염소	mg/L	4.0 이하	0.4	0.43
암모니아성질소	mg/L	0.5 이하	ND	ND
경도	mg/L	300 이하	1	1
수소이온농도	-	5.8~8.5	7.7	7.9

표 57. KS I ISO 17294-2 수질-유도결합플라즈마 질량분석기의 응용(ICP-MS)-제2부 62원소측 정-줄눈재

검사항목	단위	수질기준	시험결과	
			무처리	오존처리 후
니켈	mg/L	-	ND	ND
마그네슘	mg/L	-	ND	ND
몰리브덴	mg/L	-	ND	ND
베릴륨	mg/L	-	ND	ND
스트론튬	mg/L	-	ND	ND
안티몬	mg/L	-	ND	ND
은	mg/L	-	ND	ND
주석	mg/L	-	ND	ND
칼륨	mg/L	-	ND	0.07
칼슘	mg/L	-	0.19	0.32

표 58. 환경부고시 제2009-184호 : 수도용 자재 및 제품의 위생안전기준
공정시험방법-부착타일

검사항목	단위	수질기준	시험결과	
			무처리	오존처리 후
납	mg/L	0.005 이하	ND	ND
비소	mg/L	0.005 이하	0.003	0.003
셀레늄	mg/L	0.001 이하	ND	ND
카드뮴	mg/L	0.0005 이하	ND	ND
구리	mg/L	0.1 이하	ND	ND
아연	mg/L	0.3 이하	0.014	0.04
망간	mg/L	0.03 이하	ND	ND
철	mg/L	0.03 이하	ND	ND
나트륨	mg/L	20 이하	ND	ND
수은	mg/L	0.0001 이하	ND	ND
6가크롬	mg/L	0.005 이하	ND	ND
시안	mg/L	0.001 이하	ND	ND
음이온계면활성제	mg/L	0.02 이하	ND	ND
질산성질소	mg/L	1 이하	ND	ND
아질산성질소	mg/L	1 이하	ND	ND
불소	mg/L	0.15 이하	ND	ND
염소이온	mg/L	25 이하	ND	ND
사염화탄소	mg/L	0.0002 이하	ND	ND
티클로로메탄	mg/L	0.002 이하	ND	ND
1,1,1-트리클로로에탄	mg/L	0.01 이하	ND	ND
1,1,2-트리클로로에탄	mg/L	0.0006 이하	ND	ND
벤젠	mg/L	0.001 이하	ND	ND
1,1-디클로로에틸렌	mg/L	0.003 이하	ND	ND
1,2-디클로로에탄	mg/L	0.0004 이하	ND	ND
시스-1,2-디클로로에틸렌	mg/L	0.004 이하	ND	ND
트리클로로에틸렌	mg/L	0.003 이하	ND	ND
테트라클로로에틸렌	mg/L	0.001 이하	ND	ND
페놀류	mg/L	0.0005 이하	ND	ND
에피클로로히드린	mg/L	0.01 이하	ND	ND
아세트산비닐	mg/L	0.01 이하	ND	ND
스티렌	mg/L	0.002 이하	ND	ND
1,2-부타디엔	mg/L	0.001 이하	ND	ND
1,3-부타디엔	mg/L	0.001 이하	ND	ND
N,N-디메틸아닐린	mg/L	0.01 이하	ND	ND
2,4-톨루엔디아민	mg/L	0.002 이하	ND	ND
2,6-톨루엔디아민	mg/L	0.001 이하	ND	ND
포름알데히드	mg/L	0.008 이하	ND	ND
과망간산칼륨 소비량	mg/L	1.0 이하	0.6	0.9
증발잔류물	mg/L	50 이하	20	21
잔류염소감량	mg/L	0.2 이하	0.55	0.61
탁도	NTU	0.2 이하	0.16	0.17
색도	도	0.5 이하	0.1	0.2
냄새	-	이상없음	이상없음	이상없음
맛	-	이상없음	이상없음	이상없음

표 59.환경부고시 제2011-21호 : 먹는 물 수질공정시험기준-부착타일

검사항목	단위	수질기준	시험결과	
			무처리	오존처리 후
일반세균	CFU/mL	100 이하	0	0
총대장균군	-/(100mL)	불검출	ND	ND
대장균	-/(100mL)	불검출	ND	ND
분원성대장균	-/(100mL)	불검출	ND	ND
보론	mg/L	1.0 이하	ND	ND
알루미늄	mg/L	0.2 이하	ND	ND
황산이온	mg/L	200 이하	ND	ND
다이아지논	mg/L	0.02 이하	ND	ND
파라티온	mg/L	0.06 이하	ND	ND
페니트로티온	mg/L	0.04 이하	ND	ND
디클로로메탄	mg/L	0.02 이하	ND	ND
브로모디클로로메탄	mg/L	0.03 이하	ND	ND
디브로모디클로로메탄	mg/L	0.1 이하	ND	ND
톨루엔	mg/L	0.7 이하	ND	ND
에틸벤젠	mg/L	0.3 이하	ND	ND
크실렌	mg/L	0.5 이하	ND	ND
1,2-디브로모-3-클로로프로판	mg/L	0.003 이하	ND	ND
트리클로로아세토니트릴	mg/L	0.004 이하	ND	ND
클로랄하이드레이트	mg/L	0.03 이하	ND	ND
디브로모아세토니트릴	mg/L	0.1 이하	ND	ND
디클로로아세토니트릴	mg/L	0.09 이하	ND	ND
할로아세틱에시드	mg/L	0.1 이하	ND	ND
클로로포름	mg/L	0.08 이하	ND	ND
총트리할로메탄	mg/L	0.1 이하	ND	ND
카바릴	mg/L	0.07 이하	ND	ND
잔류염소	mg/L	4.0 이하	0.5	0.44
암모니아성질소	mg/L	0.5 이하	ND	ND
경도	mg/L	300 이하	1	1
수소이온농도	-	5.8~8.5	7.5	7.7

표 60. KS I ISO 17294-2 수질-유도결합플라즈마 질량분석기의 응용(ICP-MS)-제2부 62원소 측정-부착타일

검사항목	단위	수질기준	시험결과	
			무처리	오존처리 후
니켈	mg/L	-	ND	ND
마그네슘	mg/L	-	ND	ND
몰리브덴	mg/L	-	ND	ND
베릴륨	mg/L	-	ND	ND
스트론튬	mg/L	-	ND	ND
안티몬	mg/L	-	ND	ND
은	mg/L	-	ND	ND
주석	mg/L	-	ND	ND
칼륨	mg/L	-	0.07	0.08
칼슘	mg/L	-	0.32	0.17

바. 결론

본 평가는 상수도 시설물의 유지보수 효율성과 먹는 물에 대한 질적 향상을 위해 개발된 부착식 재료에 대한 성능을 서울시상수도사업본부 내부지침 규정에 적용하여 평가하고자 한 것으로 종합적인 시험결과는 다음과 같다.

표 61. 종합 시험결과

시험항목			시험체 구분	시험결과			등급
				7일	14일	28일	
부착성능	일반	건조상태	접착재+부착타일	2.0	2.6	2.9	1등급
			줄눈재	2.4	2.4	2.4	2등급
		수중침지	접착재+부착타일	-	-	1.7	3등급
			줄눈재	-	-	2.7	1등급
	내화학성	염산 침지	접착재+부착타일	2.0	1.9	1.9	2등급
			줄눈재	1.7	1.5	1.4	3등급
		차아염소산나트륨 침지	접착재+부착타일	1.8	1.6	1.6	3등급
			줄눈재	2.6	2.5	2.4	1등급
		수산화나트륨 침지	접착재+부착타일	1.9	1.7	1.6	3등급
			줄눈재	3.1	3.0	2.8	1등급
	내후성	습윤·건조 반복	접착재+부착타일	-	-	2.3	2등급
			줄눈재	-	-	2.3	2등급
		오존노출	줄눈재	-	-	1.6	-
투수성능	일반		접착재	투수되지 않음			합격
			줄눈재	투수되지 않음			합격
	내화학성	염산 침지	접착재+부착타일+줄눈재	투수되지 않음			합격
		차아염소산나트륨 침지	접착재+부착타일+줄눈재	투수되지 않음			합격
		수산화나트륨 침지	접착재+부착타일+줄눈재	투수되지 않음			합격
내피로성능			줄눈재	이상 없음			합격
내충격성능			접착재+부착타일	이상 없음			합격
			줄눈재	이상 없음			합격
수질안전기준			줄눈재	이상 없음			합격
			부착타일	이상 없음			합격
수질시험기준			줄눈재	이상 없음			합격
			부착타일	이상 없음			합격

부착성능은 28일 기준으로 등급을 부여하였음.

제 9절 오존화경에 대한 장기 내구성 평가

1. 개요

본 절에서는 국내에서 내오존 방수·방식재로서 개발된 내오존 재료들을 선정하여 오존처리를 통해 내오존성을 확보할 수 있는지 여부를 평가하였다. 내오존 성능 확보 여부를 확인하기 위해서 다년간 진행된 기존 연구를 바탕으로 한 시험항목(겉모양, 질량감소량, 색차, 내투수성능, 부착성능)을 설정하였고, 오존 폭로 조건은 기존의 촉진 폭로 조건에서 폭로 시간을 16주로 연장하여 보다 가혹한 조건을 적용하여 내오존 방수·방식재로서의 내구 성능을 확인하고자 한다. 또한, 본 성능 평가에서 선정된 재료는 기존의 도막계열에서 내오존 성능을 향상시킨 2개의 재료와 함께 부착계 내부 방수·방식 패널계에 사용되는 줄눈재 1개의 재료를 대상으로 총 3개 재료의 내오존 성능을 평가하였다.

2. 시험방법

본 성능평가의 시험방법은 다음과 표와 같고, 적용 기준은 연구 수행을 통하여 도출된 “수처리 구조물의 방식재료 시험방법 및 기준(안)”의 내오존성능 기준 및 시험방법을 적용하였다. 내오존 성능을 평가하기 위해 사용되는 오존열화 시험기는 4절과 동일한 것을 사용하였고, 시험조건은 오존농도 10±0.5 ppm, 수중온도 20±2 ℃에서 16주간 정치하였다.

표 62. 시험 방법

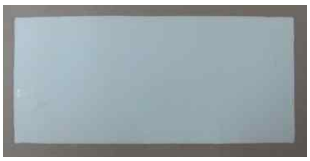
시 험 항 목		기 준 조 건	시 험 조 건
1. 오존처리		10±0.5 ppm, 28일 (8시간*84회)	10±0.5 ppm, 112일(8시간*336회)
2. 겉모양		백화, 균열, 부풀음, 핀홀, 박리, 패임 등이 없을 것	
3. 질량감소량(g/m^2)	무처리	15 이하	오존 처리 후 육안관찰/질량측정
	오존처리(기중/용존)		
4. 부착강도(MPa)	무처리	1.5 이상	20±1 ℃, 24시간 수중침적 후 부착강도 측정
	오존처리(기중/용존)		
5. 내투수시험	무처리	0.1 MPa 수압에서 투수되지 않을 것	0.1 MPa의 수압에서 1시간 동안 정치
	오존처리(기중/용존)		
6. 색차	오존처리(기중/용존)	-	오존 처리 전 후 분광 색차 측정기로 측정

3. 평가결과

가. 겉모양

기중 및 용존 오존 10±0.5 ppm에서 112일(16주)간 전 처리 후 시험체의 겉모양은 육안 관찰 방법으로 평가하였다. 오존처리 후 방수·방식재 표면에 색상변화, 광택변화, 용해, 주름, 처짐, 균열, 핀홀, 뭉침 등의 현상 유·무를 확인하였다.

표 63. 오존처리 후 겉모양 관찰 결과 (육안관찰)

구 분	육 안 관 찰 결 과		
	무처리	기중 오존처리	용존 오존처리
A 재료	광택 있음	부분 상도 용해	부분 상도 용해
			
B 재료	광택 있음	상도 완전 용해 중도 일부 용해	상도 완전 용해 중도 일부 용해
			
C 재료	광택 없음	색상변화(옅은회색)	색상변화(옅은회색) 끝단부 일부 박리
			

나. 질량변화

오존처리 전 시험편(150 × 70 ㎜)의 질량을 소수점 2째 자리까지 측정이 가능한 저울을 사용하여 측정하고, 기중 및 용존 오존 10±0.5 ppm에서 16주간 처리 후 흐르는 물에 씻어 표면처리를 한 뒤 30℃에서 3시간 정치 후 질량을 측정하였다. 시험결과는 아래의 식으로 질량변화를 구한다.

질량감소량(g/㎡) = (오존처리 전 질량(g) - 오존처리 후 질량(g))/시험체 면적(㎡)

용존 오존 10±0.5 PPM에서 112일(16주)간 전처리 후 겉모양을 육안 관찰, 무처리 시험체와 비교한 결과, A재료의 경우 기중 오존처리에서 3.81 g/㎡의 감소량을 보였으며, 용존 오존처리에서 0.32 g/㎡의 감소량을 나타냈다. B재료의 경우 기중 오존처리에서 7.78 g/㎡의 감소량을 보였으며, 용존 오존처리에서 2.54 g/㎡의 감소량을 나타냈다. C재료의 경우 기중 오존처리에서 26.19 g/㎡의 감소량을 보였으며, 용존 오존처리에서 38.41 g/㎡의 감소량을 나타냈다.

표 64. 오존처리 후 질량감소량 시험결과

종 류	구 분	질량감소량(g/㎡)
A 재료	무처리	0.00
	기중 오존처리	3.81
	용존 오존처리	0.32
B 재료	무처리	0.00
	기중 오존처리	7.78
	용존 오존처리	2.54
C 재료	무처리	0.00
	기중 오존처리	26.19
	용존 오존처리	38.41

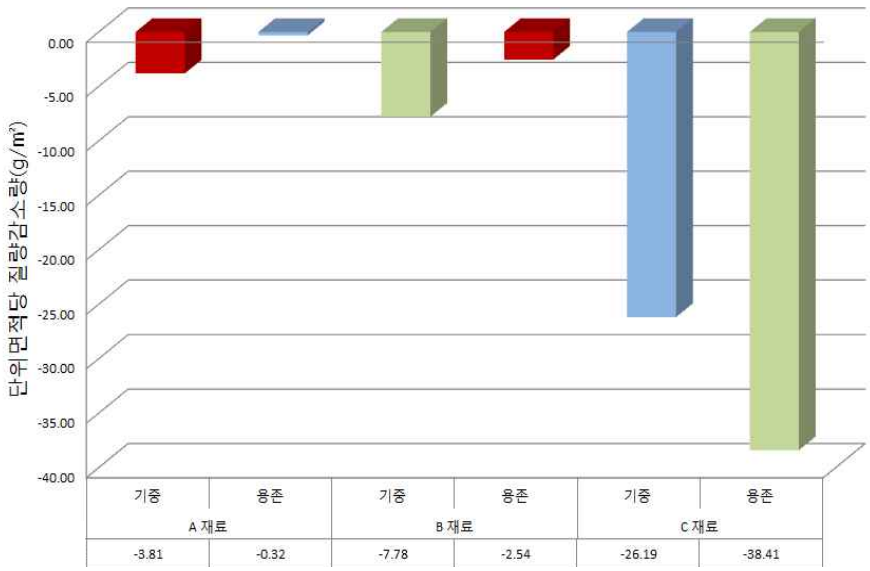


그림 141. 오존처리 후 질량감소량 시험결과

다. 색차

색차의 측정을 위한 시험방법과 사용장비는 4절과 동일한 것을 사용하였다.

용존 오존 10 ± 0.5 PPM에서 112일(16주)간 전처리 후 시험 전후의 시험체의 색차를 측정하여 처음 측정치를 0값으로 하여 무처리와 오존처리(용존과 기중)의 색차 변화값에 대한 색의 측정값을 L*, a*, b*로 명도지수와 색조지수를 비교, 그래프 상의 dE*ab의 색차 값을 기준하여 무처리와 오존처리(용존과 기중) 후의 색차 변화를 관찰하였다.

오존처리 후 색차 시험결과 A재료의 경우 기중오존에서 ΔL^*는 -1.93, Δa^*는 +1.05, Δb^*는 +3.87 만큼, 용존오존에서 ΔL^*는 -0.98, Δa^*는 -0.72, Δb^*는 +4.21 변화하였다. 이는 시험체의 표면색이 흑색화, 녹색화, 노란색화 된 것을 의미한다. 이것을 정량적 수치인 ΔE^*ab로 환산하여 기중오존에서 4.45, 용존오존에서 4.38 만큼 변화된 것을 확인 할 수 있었다.

B 재료의 경우 기중오존에서 ΔL^*는 +0.57, Δa^*는 -0.94, Δb^*는 +2.16 만큼, 용존오존에서 ΔL^*는 +2.66, Δa^*는 -1.69, Δb^*는 +11.93 변화하였다. 이는 시험체의 표면색이 백색화, 녹색화, 노란색화 된 것을 의미한다. 이것을 정량적 수치인 ΔE^*ab로 환산하여 기중오존에서 2.43, 용존오존에서 12.34 만큼 변화된 것을 확인 할 수 있었다.

C 재료의 경우 기중오존에서 ΔL^*는 +18.96, Δa^*는 +0.37, Δb^*는 -0.14 만큼, 용존오존에서 ΔL^*는 +21.28, Δa^*는 -1.07, Δb^*는 +5.03만큼 변화하였다. 이는 시험체의 표면색이 백색화, 녹색화, 노란색화 된 것을 의미한다. 이것을 정량적 수치인 ΔE^*ab로 환산하여 기중오존에서 18.96, 용존오존에서 21.89만큼 변색된 것을 확인 할 수 있었다.

표 65. 색차 시험결과

Data Name		색 차 변 화						
종 류	구 분	dL*	da*	db*	dE*ab	Lightness	a*Evaluation	b*Evaluation
A 재료	무처리	0.43	-0.23	0.05	0.48	97.06 Lighter	1.02 greener	3.1 less blue
	기중 오존처리	-1.93	1.05	3.87	4.45	94.92 Lighter	0.22 less green	7.02 less blue
	용존 오존처리	-0.98	-0.72	4.21	4.38	95.73 Lighter	1.69 greener	7.4 less blue
B 재료	무처리	0.31	0.27	-1.00	1.08	79.09 Lighter	1.23 less green	23.85 bluer
	기중 오존처리	0.57	-0.94	2.16	2.43	79.61 Lighter	1.72 less green	22.4 bluer
	용존 오존처리	2.66	-1.69	11.93	12.34	81.75 Lighter	2.57 less green	12.41 bluer
C 재료	무처리	2.01	-0.94	2.72	3.51	48.76 Lighter	0.75 less green	11.19 less blue
	기중 오존처리	18.96	0.37	-0.14	18.96	66.70 Lighter	0.44 greener	7.73 less blue
	용존 오존처리	21.28	-1.07	5.03	21.89	69.02 Lighter	1.0 less green	12.9 less blue

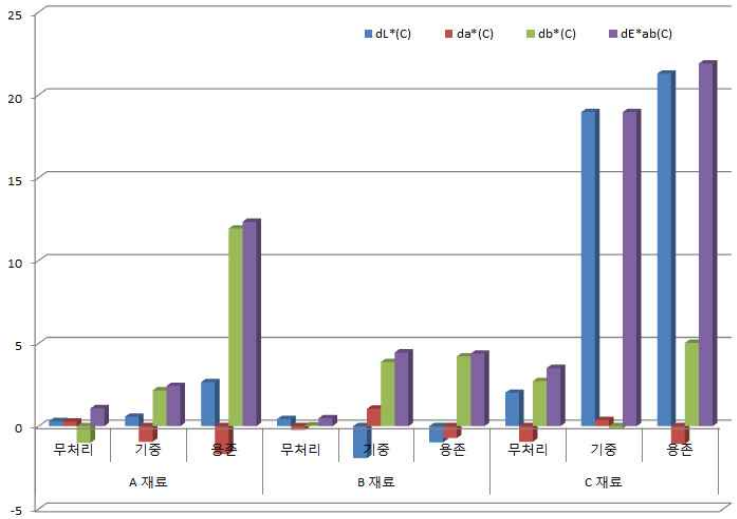


그림 142. 색차 시험결과

라. 부착강도

소정의 양생이 끝난 시험체를 상부에 40×40 mm 어테치먼트를 에폭시 본드를 이용하여 가볍게 문질러 접착하였다. 에폭시 본드 경화 후 어테치먼트 주변을 따라 얇은 바름재의 밑판에 닿을 때까지 홈을 내고 시료면에 대해 수직 방향으로 인장력을 가해 최대 인장 하중을 구한다. 이때 파단 할 때까지의 하중 속도는 1 500 ~ 2 000 N/min으로 하였다.



사진 143. 만능인장시험기(U.T.M)



사진 144. 부착 시험 현황

부착시험 결과 A재료의 무처리 시험체는 3.05 MPa, 기중 오존처리 후 2.33 MPa 용존 오존처리 후 1.55 MPa로 나타났다. B재료의 경우 기중, 용존 오존처리 결과 부착시험편의 표면이 완전히 드러날 정도로 재료의 용해정도가 심해 부착강도의 측정이 불가능 하였다. C재료의 무처리 시험체는 2.23 MPa, 기중 오존처리 후 1.00 MPa, 용존 오존처리 후 0.75 MPa로 나타났다. 바탕면에서의 탈락 형상을 살펴보면 A재료 및 C재료의 경우 기중 오존처리와 용존 오존처리에서 모두 모체 탈락이 일어났다. 이를 바탕으로 각 재료의 무처리 대비 질량변화량을 살펴보면 A재료의 경우 기중 오존처리 시 무처리 대비 76.39 %, 용존 오존처리 시 무처리 대비 50.82 %로 나타났으며, C재료의 경우 기중 오존처리 시 무처리 대비 42.92 %, 용존 오존처리 시 무처리 대비 33.63 %로 나타났다.

표 66. 부착강도 시험결과

종 류	구 분	부착강도(MPa)	탈락상태
A 재료	무처리	3.10	모체탈락
	기중 오존처리	2.23	모체탈락
	용존 오존처리	1.55	모체탈락
B 재료	무처리	3.04	모체탈락
	기중 오존처리	-	측정불가
	용존 오존처리	-	측정불가
C 재료	무처리	2.23	모체탈락
	기중 오존처리	1.00	모체탈락
	용존 오존처리	0.75	모체탈락

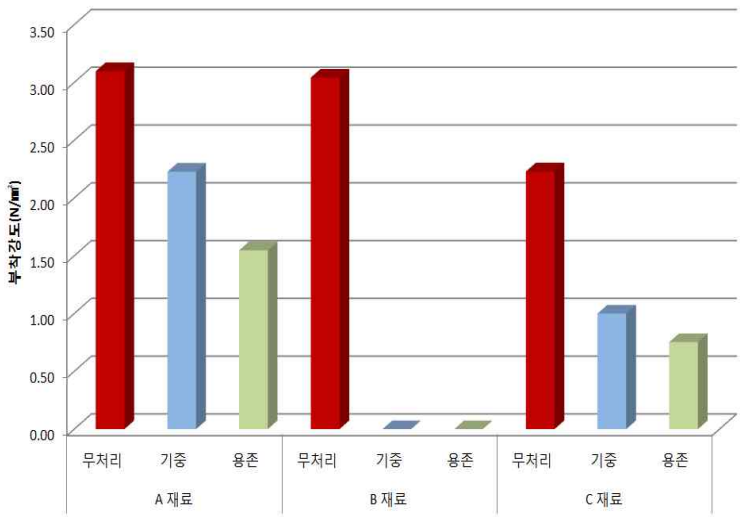


그림 145. 부착강도 시험결과

마. 투수시험

오존처리 후 건조시킨 시험체의 질량(W1)을 측정한 후, 투수 시험 장치를 사용하여 0.1 MPa 수압을 1시간 가하였다. 수압을 가한 시험체를 투수 시험 장치에서 꺼내어 표면에 묻은 물을 제거한 후 질량(W2)를 측정하여 투수량을 구하고, 시험체를 할렬하여 투수 여부를 확인하였다.

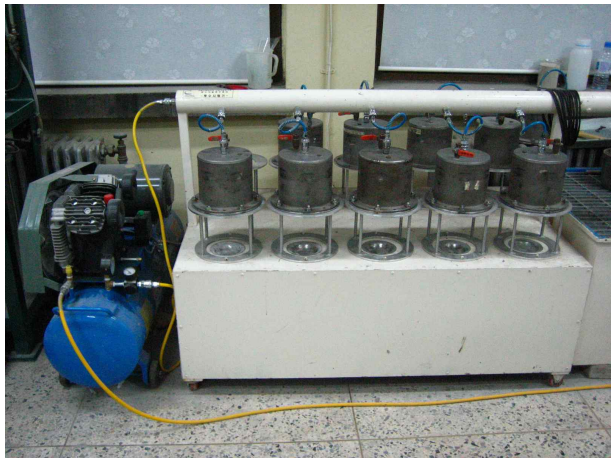


그림 146. 투수시험 현황



그림 147. 시험편 오존처리 현황

표 67. 투수 시험결과

종 류	구 분	투수 유·무
A 재료	무처리	투수 안됨
	기중 오존처리	투수 안됨
	용존 오존처리	투수 안됨
B 재료	무처리	투수 안됨
	기중 오존처리	투수 됨(재료 용해 발생으로 투수 발생)
	용존 오존처리	투수 됨(재료 용해 발생으로 투수 발생)
C 재료	무처리	투수 안됨
	기중 오존처리	투수 안됨
	용존 오존처리	투수 안됨

4. 결론

고도정수처리시설의 콘크리트 구조물은 장기간 사용에도 안전성을 유지하여야 하는 중요 사회 간접 시설물이다. 특히 오존투입에 의해 직·간접적으로 영향을 받게 되는 고도정수처리 시설물은 그 사용에 있어 구조적인 안전성을 확보하기 위해 장기적인 내구성능을 가진 방수·방식 재료를 사용하여야 한다. 즉, 이러한 곳에 사용되어지는 내부 방수·방식재료는 시공 전·중·후 주변 환경 등에 의한 표면에서의 열화나 재료 손실 등으로 내구성능 저하 및 유해 물질 발생 등의 우려가 없어야하며, 일정한 성능 기준을 만족하는 적정재료 및 공법을 선택 시공하여야 한다.

내오존 성능평가를 통해 아크릴 실리콘계 및 불소변형아크릴 우레탄계 방수·방식재와 에폭시 줄눈재의 오존처리에 장기간 노출 시 평가재료 모두 색상변화 정도와 열화정도가 심하게 발생되는 것을 알 수 있었다. 현재 개발된 방수·방식재의 경우 어느정도 내 오존성을 확보하고 있는 것으로 확인되고 있으나, 오존환경 하에서 장기적으로 사용시 발생할 수 있는 색상변화와 열화에 대한 대책을 마련해야 할 것으로 판단된다.

제 10절 현장적용 실험

1. Mock-up 실험

개발된 오존처리조용 내오존 방수·방식재의 성능을 평가하기 위하여 1 800×1 800 ×1 800 mm의 콘크리트 구조체를 제작한 후 구조체 내부 방수·방식은 핸드그라인더를 이용하여 콘크리트 표면의 레이턴스를 제거하고, 그 위에 바탕조정제의 부착력 향상을 위하여 수용성 에폭시 프라이머를 롤러를 이용하여 도포하였다. 그 위에 바탕조정제인 에폭시 시멘트 모르타르를 흙손을 이용하여 도포한 후, 중도인 무용제 에폭시 방수·방식재를 1차, 2차 도포하였다. 중도 도포까지의 공정은 일반적인 정수장 및 배수지의 방수·방식공법이다. 상도인 내오존 방수·방식층은 본 연구과제를 통하여 개발된 불소아크릴레이트 수지를 사용하여 두께 50~100 ㎛도포하여 시험체를 제작하였다.



① 콘크리트 구조체



② 내부 면갈이



③ 프라이머 도포



④ 에폭시 시메트 모르타르 바탕조정제 도포



⑤ 무용제 에폭시(중도) 1차 도포



⑥ 무용제 에폭시(중도) 2차 도포



⑦ 내오존방수방식재 도포



⑧ 시공완료상태의 내부

그림 148. Mock-up 실험용 구조체 및 내부 방수·방식

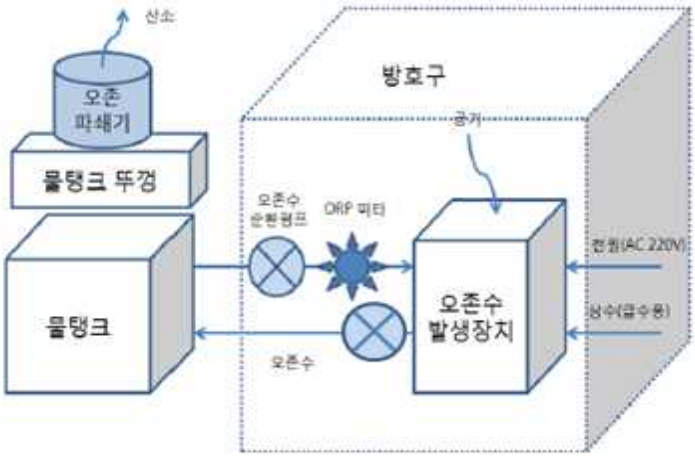


그림 149. Mock-up 실험 전체 구성도



① 구조체 내부 상태 ② Mock-up 실험 장면

그림 150. Mock-up 시험 장면

Mock-up 실험 조건은 오존용존농도 10ppm, 시험기간 4주, 시험항목은 부착강도로 계획하여 시험을 진행하였다. 시험 중 오존용존농도는 시험기간이 여름철에 진행되어 일정한 오존을 발생시켜 오존수기를 통해 오존수를 순환하였지만 오존수의 온도가 27~40 ℃로 나타나 5~10 ppm 범위에서 변화하였다. 또한, 수중상태와 기중상태에서의 열화정도를 평가하기 위하여 오존수는 구조체 내부 1m까지 수돗물로 채운 후 시험을 진행하여 수중부분의 방수·방식시스템과 기중부분의 방수·방식시스템의 육안관찰 및 부착강도를 측정하였다.

아래의 그림에서 오존처리 4주 후의 Mock-up 실험용 구조체 내부 방수·방식시스템의 상태를 나타내었다. 초기의 상태를 나타낸 것과 비교해서 크게 차이가 나지 않았으며, 오존에 의한 부식이 거의 진행되지 않고 광택도 어느 정도 유지하고 있는 상태를 보였다.

또한, 부착강도 시험을 실시한 결과 기중부분과 수중부분에서 모두 2.0 MPa 이상의 부착강도를 유지하고 있어 개발된 방수·방식재의 내오존성 및 전체 시스템에 대한 품질 안정성이 우수한 것으로 평가된다.

표 68. 현장 부착강도 시험결과

기중 부분 부착강도(MPa)	수중부분 부착강도(MPa)
2.3	2.2



그림 151. 4주 오존처리 후의 구조체 내부 방수·방식시스템의 상태



① 현장 부착강도 시험장면



② 모체 파단 형상

그림 152. 현장 부착강도 시험장면 및 모체 파단 형상

2. 현장적용

본 연구에서 개발된 시제품을 다음과 같이 3곳에 현장적용을 하였다. 내오존성능 및 각종 요구성능에 대한 평가는 향후 현장 여건에 따라 진행할 예정이다.

가. 광주 효천 하수처리장 방수·방식재 현장적용

(1) 적용 현장 : 광주 효천 하수처리장(신설 구조물)
(2) 시공 면적 : 460m^2 (오존처리조)
(3) 공사 기간 : 2012년 11월 ~ 2012년 12월




그림 153. 광주 효천 하수처리장 전경 및 내부 상황


① 바탕조정


② 프라이머 도포


④ 방수·방식재 도포 및 시공완료


③ 바탕조정제 바름

그림 154. 방수·방식재 현장적용 장면 및 현장 개요

나. 서울 우장산 배수지 부착식 방수·방식재 현장적용

(1) 적용 현장 : 서울 우장산 배수지 (보수 현장)
(2) 시공 면적 : 1,000m^2 (일반배수지 - 바닥)
(3) 공사 기간 : 2012년 9월 ~ 2012년 12월




그림 155. 서울 우장산 배수지 전경 및 내부 상황


① 바탕조정


② 접착재 바름


③ 패널 부착


④ 줄눈재 시공


⑤ 청소

그림 156. 방수·방식재 현장적용 장면 및 현장 개요

다. 서울 화곡 배수지 부착식 방수·방식재 현장적용

(1) 적용 현장 : 서울 화곡 배수지 (보수 현장)
(2) 시공 면적 : 약 1 000m^2 (일반배수지 바닥부분)
(3) 공사 기간 : 2012년 9월 ~ 2012년 12월




그림 157. 서울 화곡 배수지 전경 및 내부 상황





① 바탕조정 ② 접착재 바름 ③ 패널 부착




④ 줄눈재 시공 ⑤ 청소

그림 158. 방수·방식재 현장적용 장면 및 현장 개요

제 11절 내오존 방수·방식재 단체표준(안) 작성

1. 개발 배경

정수시설은 수도시설의 중추시설이며 그 기능이 수도시스템 전반에 직접적으로 영향을 미친다. 정수시설의 기능은 정수처리에 의하여 소요수질의 물을 필요량만큼 안정적으로 얻는 것이 기본이다. 수도에 대한 사회적 요구를 반영하여 「보다 안전하고 양질의 물을 공급」,「재해나 사고 등에 대응하는 것을 포함하여 보다 안정된 물 공급」,「환경부하의 저감」등 종래보다도 한층 높은 수준의 기능을 갖추도록 정수시설을 개선해가고 있다. 정수처리 방법에는 소독만 하는 방식, 완속여과방식, 급속여과방식, 막여과방식, 고도정수처리방식 또는 기타 처리방식을 추가하는 방식이 있으며, 최근의 양질의 물 공급이라는 목표에 맞게 최근 구축되는 정수처리장의 정수처리 방법에는 고도정수처리방식이 주로 적용되고 있으며, 전국적으로는 15.7 %에 달하는 정수량을 차지하고 있다.(통계청, 2007)

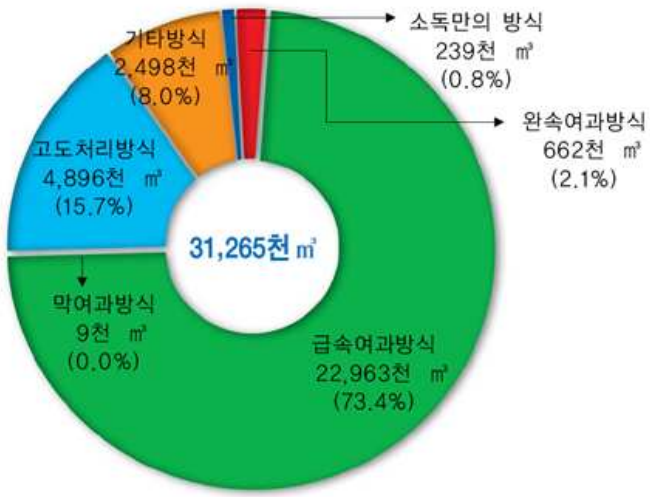


그림 159. 정수처리방법에 따른 국내 정수장 분류(정수량 기준)

고도정수처리는 일반 정수방법으로는 제거되지 않는 원수의 냄새물질, 미량유기물질, 트리할로메탄전구물질, 암모니아성질소 계면활성제, 트리클로로에틸렌 등을 제거하는 방식이다. 고도정수처리 방법 중 주로 오존처리와 활성탄처리를 조합한 방법으로 정수처리를 진행하고 있다. 오존은 산화력이 매우 강한 물질로 처리대상 물질을 산화시켜 정수효과를 나타내지만, 그 반대급부로 정수처리시설의 구조물을 이루는 철근 및 콘크리트를 부식시키는 물질로도 알려져 있다. 고도정수처리장의 정수조는 철근콘크리트로 되어있으며, 특히 오존처리 시, 일정시간 동안 물이 정수조에 머무르게 되며, 이때 정수하고자하는 물에는 용존 오존이 존재하게 된다. 이 오존수는 구조물의 내벽면에 지속적으로 접촉하거나 기중에 존재하는 오존이 지속적으로 접촉하게 되어 구조물의 내구성을 저하시키는 것으로 알려져 있으며, 이러한 구조물의 내구성

저하를 방지하기 위하여 오존 및 오존수에 대한 저항력을 가진 내오존 방수·방식 처리하여 구조물을 보호하고 있다.

2. 오존처리 고도정수처리장 환경

고도정수처리장의 정수시설은 기존 급속여과지, 완속여과지, 침전지 등에 약품처리를 하는 시스템에서 오존접촉지와 활성탄여과지를 덧붙인 시스템이라 할 수 있다. 정수처리시설물은 토목구조물에 속하며, 주 구조재료는 철근콘크리트이며, 일부 수조 및 관로 등에서 금속 및 플라스틱의 기타 재료를 사용하게 된다. 이 중에서 오존 발생기 및 접촉지는 수중오존 및 기중오존을 내재하게 되는 곳으로 철근콘크리트 구조로 되어 있는 밀폐된 구조이며, 이 접촉에서 일정시간 오존과 접촉한 후, 활성탄여과지 쪽으로 이송될 때의 오존은 거의 분해되어 산화력을 거의 잃게 된다. 따라서 오존이 가장 영향을 지대하게 미치는 구조물은 오존접촉지가 되며, 이로 인하여 철근콘크리트의 방수·방식을 목적으로 내오존 방수·방식 처리하여 보호하는 방법이 고도정수처리시설에 도입되어 있다.

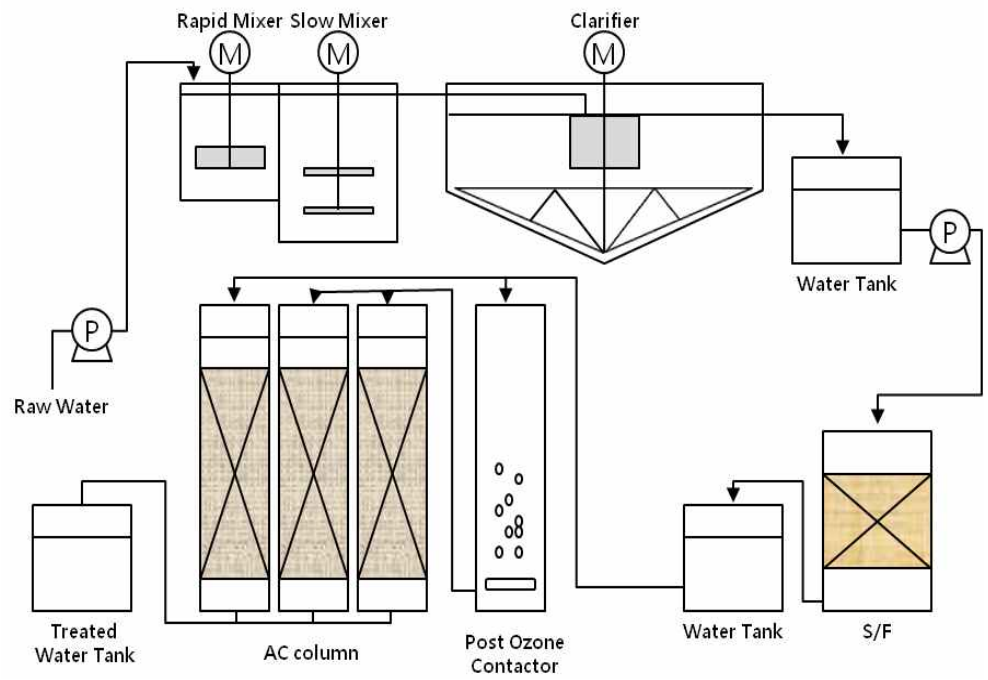


그림 160. 고도정수처리시설 모식도

가. 열화원인 및 열화 현상

정수장용 내오존 방수·방식재의 열화원인 중 가장 큰 영향을 미치는 것은 오존이다. 오존은 잘 알려진 바와 같이 고분자를 중합하는데 이용되는 탄소이중결합 또는 삼중결합을 공격하여 고분자의 주쇄를 화학적으로 절단하거나 분자사슬내의 기능성기 및 각종 활성기와 반응한 후, 산화시켜, 고분자의 내구성을 크게 저하시키는 것으로 알려져 있다. 정수장의 오존 접촉지의 경우에는 오존수가 항상 만수위를 유지하는 것이 아니며 수위가 변하기 때문에 수중오존 및 기중오존이 동시에 발현되는 시설물이며, 이러한 노출은 고분자의 열화를 더욱 촉진시키는 것으로 알려져 있다. 정수조의 내오존 방수·방식재는 물과의 접촉이 영구적으로 지속된다고 볼 수 있으며, 물의 흐름현상이 지속적으로 발생된다. 따라서 물에 의한 열화가 가속된다. 물은 방수·방식재의 미세한 핀홀 및 균열부 등으로 침투하여 방수·방식층을 열화시키며, 또한, 모체와의 부착력을 저하시키며, 콘크리트 및 철근을 부식시켜 구조물의 내구성을 저하시킨다. 또한 사계절의 온도변화에 따른 원수 수온의 변화로 인하여 온도차가 발생되며, 이는 수분의 침투 및 물리화학적 반응성을 활발하게 하여 도막의 열화를 촉진시키게 된다. 이와 같은 종합적인 열화는 균열, 박리, 변색 및 탈락 등을 발생시킨다. 앞서 말한 바와 같이 내오존 방수·방식재는 지속적인 오존과 물의 접촉 및 온도변화에 의하여 열화가 촉진되어, 방수·방식재의 파괴, 방수저하 및 부식촉진을 발생시켜 균열, 박리, 변색, 광택저하 및 부착성능 저하현상을 초래할 수 있다.



(a)균열 (b)박리 (c)변색

그림 161. 정수장용 내오존 방수·방식재의 열화현상(예: 도막식)

표 69. Requirements and Failure Modes/Mechanisms Matrix

Failure Modes/Mechanisms / Requirements	균열	박리	녹 발생
온도변화	○	○	◇
오존	◎	◎	◎
물	○	◎	◎
표면처리	○	○	○

* 중요도에 따라 표시 : ◎가장중요, ○중요, ◇보통

표 70. Failure Modes/Mechanisms and Test Methods Matrix

Test Methods / Failure Modes/Mechanisms	마모시험 (유속)	내오존 시험	내약품성	내수성 시험		합계
				고온	저온	
균 열	◇(5)	◎(10)	◇(5)	×(3)	○(7)	30
박 리	○(5)	◎(10)	◇(5)	○(7)	○(7)	34
변 색	×(3)	◎(10)	◇(5)	◇(5)	×(3)	26
합 계	13	30	15	15	17	-

* 신뢰성에 관련된 중요도에 따라 표시 : ◎가장중요(10), ○중요(7), ◇보통(5), ×약함(3)
* 고장모드/기구는 해당 부품·소재에서 발생할 수 있는 특징을 나타냄
* 시험방법은 해당 고장 형태의 특징을 측정할 수 있는 시험방법을 나타냄

표 71. 정수장용 내오존 방수·방식재의 FMEA (Failure Mode & Effective Analysis)

열화 현상	추정 원인	열화의 원인	열화의 영향	검지법
변색	수분침투 및 오존에 의한 수지 열화	수지 열화로 인하여 명도 값이 낮아지고 백아화가 나타남	부착 약화, 박리 및 음용수 오염	부착력 시험 화상분석 육안적관찰,
박리, 부풀음	수분침투 및 외부응력에 의한 계면 파괴	열화현상으로 인한 표면강도 증가로 인하여 표면층이 박리되는 현상	부착 약화, 박리 및 필터 훼손	부착력 시험 화상분석 육안적관찰,
갈라짐, 균열, 깨어짐	도막열화 내부응력 증가	열화에 기인한 국부적 가교도 증가로 인한 내부 응력증가	부착 약화, 박리 및 음용수 오염	육안적검사 화상분석

나. 오존접촉지에 사용되는 내오존 방수·방식재의 요구성능

열화요인과 고장(파괴)현상과의 연관성을 검토하여 요구성능에 따른 시험항목 및 목적을 정리하여 다음 표에 나타내었다.

표 72. 요구성능 및 시험항목

시험항목			목적
기초성능	부착성능		방수·방식층은 콘크리트 구체와 지속적으로 일체화가 유지되어야 하며, 지중에 건설되는 특징으로 바탕면이 습윤상태로 존재하는 경우가 많으므로 건조 및 습윤조건에서의 부착성능을 확인
	내충격성		충격에 의하여 방수·방식층은 손상을 입을 수 있으며, 손상부는 누수를 발생시키기 때문에 시공 완료 시 및 시공 중에 받을 수 있는 외부 충격에 대한 저항성능을 평가
	내투수성		정수장에 시공된 방수·방식층의 기본 성능인 방수성능을 갖고 있는지 평가
내오존성능	겉모양(외관)		촉진오존처리 후 방수·방식층은 바탕조정층, 방청층, 내오존층으로 일반적으로 구성되는데, 각 층간의 부착성능의 차이 및 표층 열화에 의한 변색, 균열, 부풀음, 박리 등이 발생할 수 있으므로 이에 대한 평가
	질량감소량		오존에 의하여 표층 부분은 산화되어 시간의 경과에 따라 내오존층인 표층의 두께가 감소하므로 요구되는 내구연한을 확보하기 위해서는 감소량에 대한 평가
	내투수성능		촉진오존처리 후 방수·방식층의 기본 성능인 방수성능을 갖고 있는지 평가
	부착성능		촉진오존처리 후 방수·방식층의 기본 성능인 방수성능을 갖고 있는지 평가
	수질안전성	위생안전기준(44항목)	고분자의 산화에 의해 노출면(내오존층)에서 발생하는 산화물에 대한 수질 안전성을 평가하여 수도의 안전성을 확보하여야 하므로 수질안전성을 평가

3. 촉진오존 열화 시험 조건 설계

정수장용 내오존 방수·방식재의 촉진오존열화 싸이클 시험은 정수장의 운용조건을 고려하여 설계하였다. 오존접촉지에서 발생되는 주 열화요인은 오존이며, 부가적으로 온도변화 및 수분에 의하여 열화진행이 더욱 촉진된다. 시험요인 중 가장 밀접한 관계가 있는 오존용존농도는 시험기간과 밀접한 관계가 있다. 본 설계에서는 오존 용존 농도를 높여 시험기간을 단축하여 현재 개발 중에 있는 내오존 방수·방식재 제조업체에 빠른 제품 평가로 제품개발에 도움을 주고자 하였다. 또한, 현장조사 결과 기중 오존 상태와 수중 오존에 동시에 노출되는 부분에서 열화가 빠르게 진행되는 것을 모사하기 위하여 기중 및 수중 상태가 반복되도록 사이클 설계를 하였으며, 1년 중 정수장의 수온이 약 20℃ 변하는 것에 착안하여 온도사이클을 주어 내오존 방수·방식재에 온도변화를 모사하도록 설계하였다. 실제적으로 설계한 촉진오존열화시험 사이클 조건은 아래 그림과 같이 챔버안의 온도를 변화시키고, 수위를 교차로 변화시켜 기중 상태에서 시험체에 온도변화를 주도록 사이클을 설계하였으며, 오존용존농도는 10 ppm 으로 설정하였다.



그림 162. 수위변화 부분에서의 열화 현상

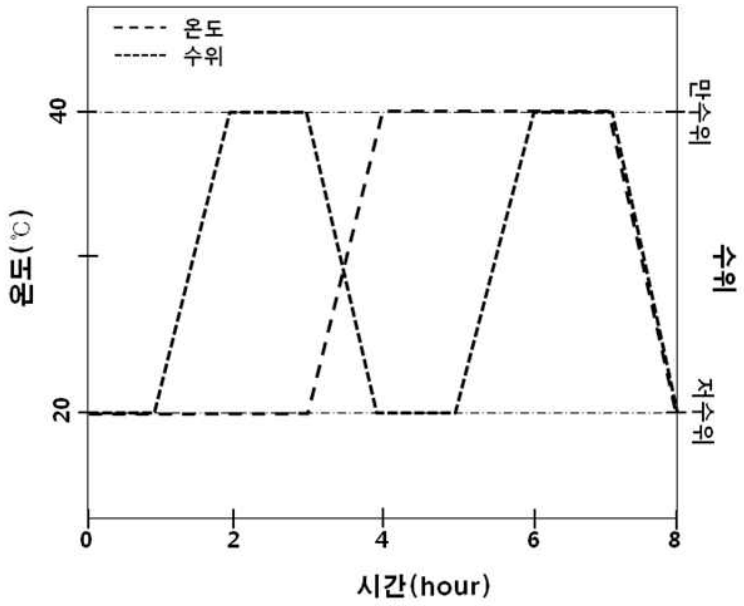


그림 163. 촉진오존열화시험 싸이클 조건

4. 촉진열화 시험 기간의 설계(내구성 5년 설계)

자연상태에서 얻어지는 방수방식재의 열화특성과 오존시험을 통해 나타나는 방수·방식재의 열화특성 사이의 가속계수를 구하기 위해서는 내오존 방수·방식재를 실제 사용환경에서 장기간의 옥외폭로시험을 실시하여 다양한 열화인자에 의해 발생하는 도막의 열화특성을 측정하는 것이 필수적이다. 그러나 국내에서는 내오존 방수·방식재에 대한 옥외폭로시험의 결과가 전무후무한 실정으로 이에 본 연구에서는 고도정수처리장의 운영조건과 열화를 고려하여 최종 B10 수명 5년을 보증하는 촉진열화시험 조건을 설계하였다.

① 합격 판정 기준 시험시간 t가 주어진 경우 총 n 개의 시료로 시험을 시작하여 고장 수가 r = 1개 이하면 합격시킨다. 즉 신뢰수준 CL에서 규정된 수명(신뢰도)을 보증한다.

② 신뢰성 인증시험의 설계

- n 개의 시료로 시험을 동시에 시작할 때 시간 t 동안 고장수 r은 모수가 n, F(t)인 이항분포를 따른다.

$$n = \frac{{t_p}^m \cdot \chi_\beta^2(2r+2)}{2 \cdot t^m \cdot [-\ln(1-p)]}$$

$$t = t_p \cdot \left(\frac{\chi_\beta^2(2r+2)}{2 \cdot n \cdot [-\ln(1-p)]} \right)^{\frac{1}{m}}$$

여기서, m : 형상모수 (Shape parameter)

t_p : 보증수명

CL : 신뢰수준 (β = 1 - CL)

r : 고장수

③ 형상모수 결정

위의 수식은 형상모수가 결정되어 있다는 가정하에서 유도되어진 수식이다. 따라서 이 식에 적용하기 위해서는 형상모수를 먼저 구해야만 한다. 그러나 현시점에서 고장데이터를 다수 확보하는 것은 불가능하였으며, 이에 따라 촉진열화시험법에서 얻어진 노화데이터로부터 열화모형으로부터 고장을 도출하여 형상모수를 파악하였다. 이를 위하여 2, 5, 10ppm의 농도에서 촉진열화시험을 실시하였으며, 촉진에 의한 노화에 대한 지표로는 질량감소량을 측정하였다.

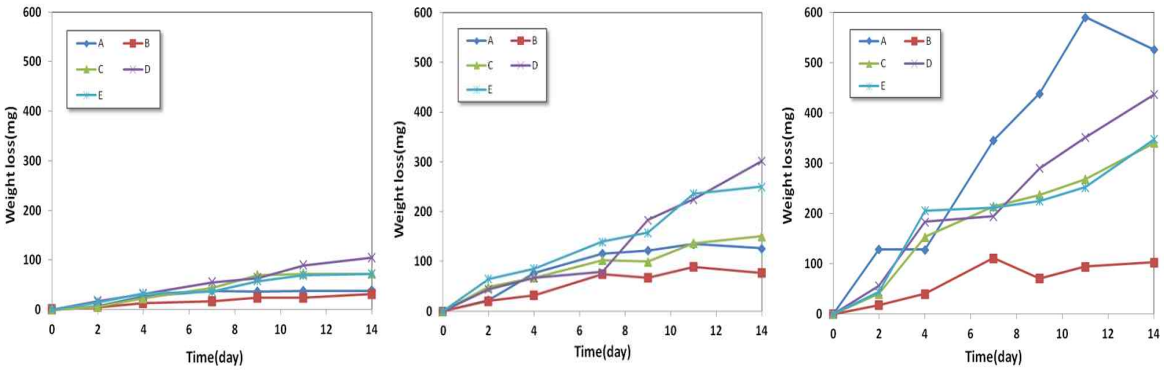


그림 164. 오존 용존 농도에 따른 질량감소량(좌로부터 2 ppm, 5 ppm, 10 ppm)

위의 그림결과는 현재 내오존 방수·방식재(도막식)로 판매되고 있는 시중 5개사의 제품으로 실험한 결과이다. 실험 결과 시간에 따라 질량감소량이 증가하는 경향을 보였으며, 오존농도 증가에 따라 질량감소량이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 고장관측이 어려워 노화-수명분포를 통한 데이터 분석을 하여 고장분포와 형상모수를 계산하였다. 이를 위해 5개사의 제품을 각각 분리하여 열화데이터를 나열하고 분석하였다.

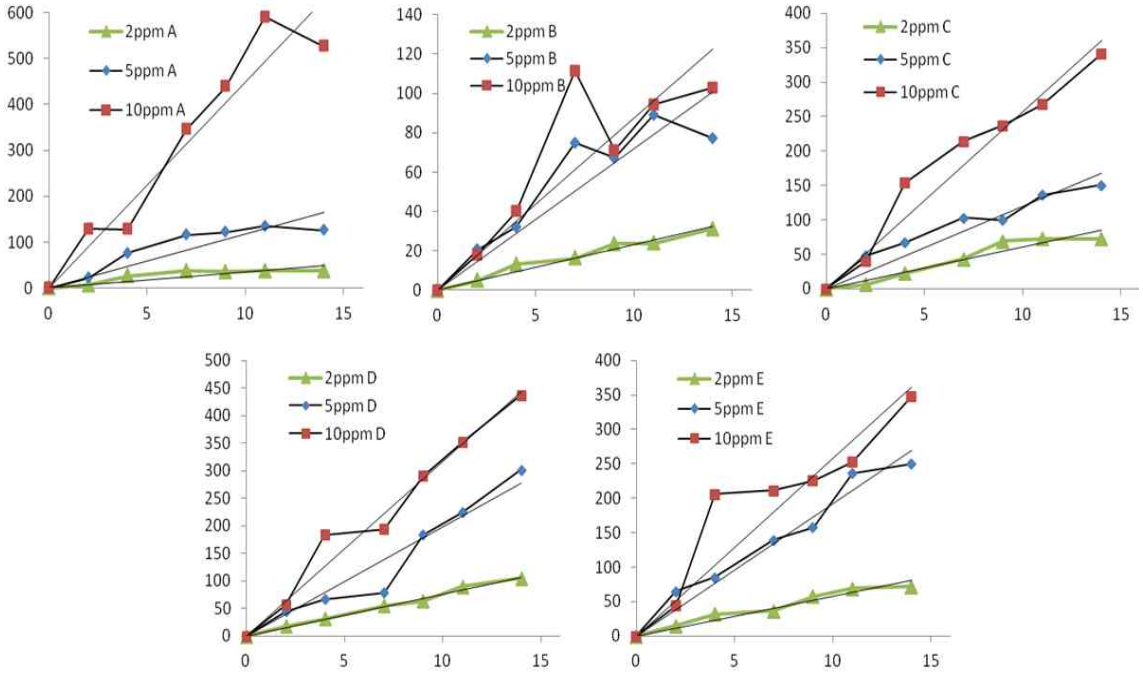


그림 165. 오존에 따른 질량감소량 변화(제조사별 정리)

위에 데이터를 가속노화열화 통계분석 프로그램인 ALTA7를 통하여 분석하였다.

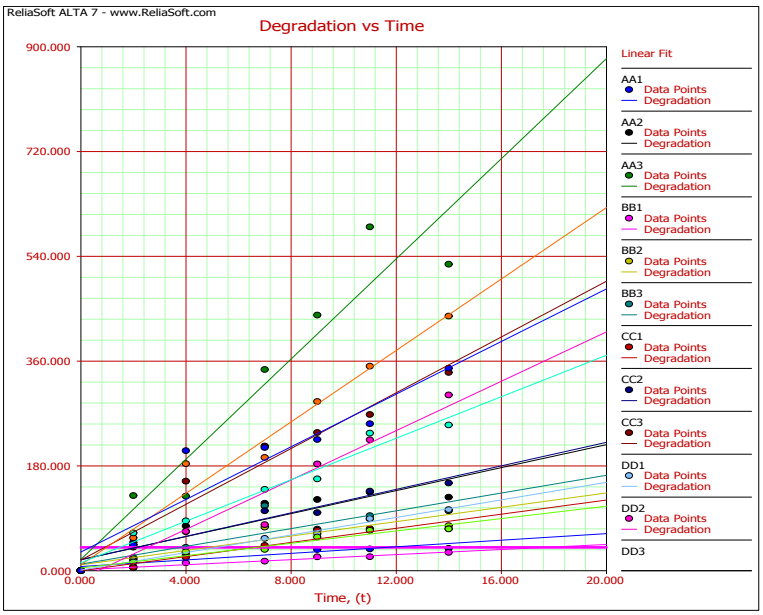


그림 166. 오존농도에 따른 열화분석

열화데이터로부터 역누승모델과 와이블분포가 적합한 것으로 분석되어 적용하면 아래와 같은 데이터를 구할 수 있다. 아래 그림에서 보는 바와 같이 농도에 따른 고장분포가 와이블분포의 선형성이 있으므로 이에 근거하여 Shape factor를 계산하면 1.8992의 값을 갖으며, 2

ppm, 5 ppm, 10 ppm에서의 Scale factor는 각각 114.108, 39.269, 25.705가 된다.

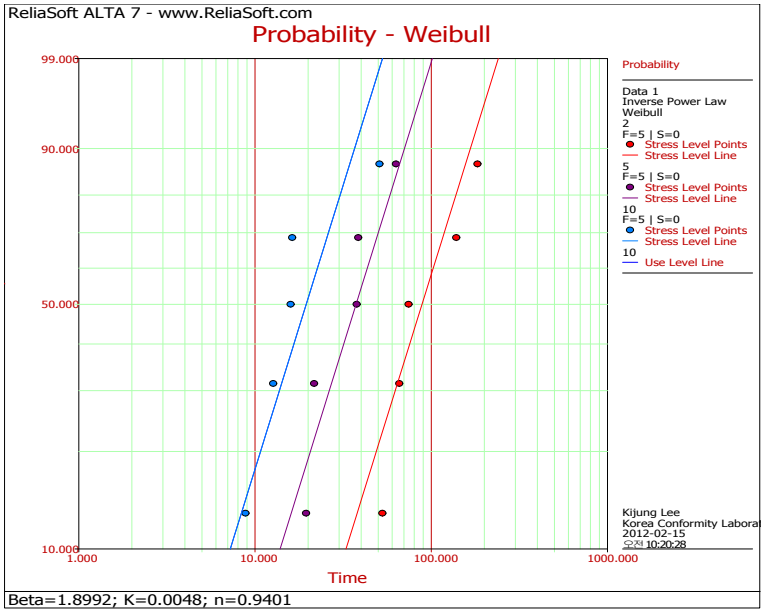


그림 167. 고장데이터의 수명분포 검증

위의 사이클에서 오존 농도를 변화시키며 가속성을 측정한 결과 0.5 ppm의 오존농도 조건은 10 ppm의 오존농도로 촉진열화시험을 할 경우, 수명분포에서 계산된 scale factor의 비로 볼 때, AF는 13.3으로 계산 되었다. 이를 근거로 보증수명 시간(5년), 촉진열화시험 시간(190 cycles), 가속계수(13.3) 및 형상모수(1.899)를 통하여 요구되는 시험시편을 계산하면 17.72개가 된다.

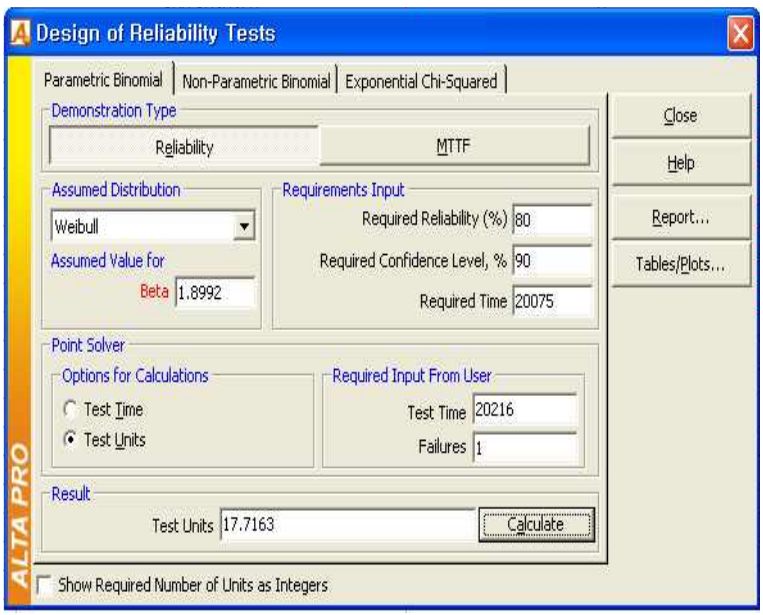


그림 168. 5년 보증 신뢰성 시험 결정

따라서 18개의 내오존 시험편에 대하여 가속수명시험 190 사이클을 시험하여 고장이 1개 이하이면 신뢰수준 80 %로 B10수명 5년을 보증하는 것으로 한다.

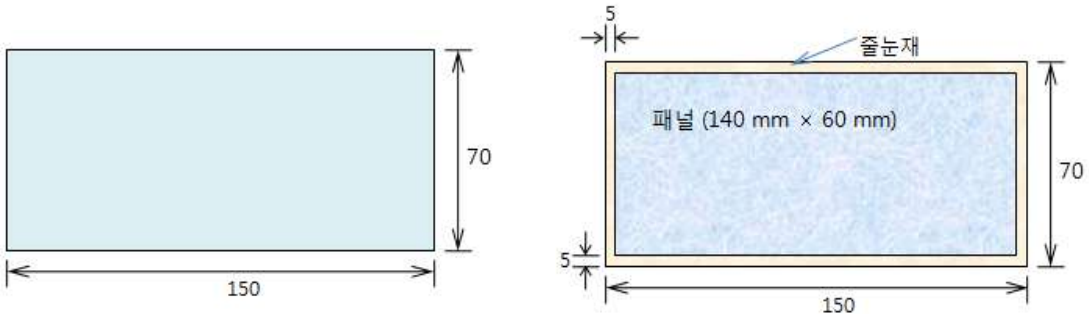
5. 시험항목 및 기준 설정

내오존성능은 외관상 문제가 없어야 하며, 내구연한 측면에서 평가할 수 있는 척도로서 질량감소량을 시험항목으로 설정하였으며, 이는 내오존층이 서서히 산화되어 두께 감소가 발생되는 것에 착안하였다. 또한 방수·방식재의 기본성능인 내투수성능 및 부착성능을 내오존처리 후에도 유지되어야 하기 때문에 시험항목으로 추가하였으며, 한편 방수·방식재의 산화에 의한 산화물이 발생됨으로 이에 대한 수질안전성이 확보되어야 하기 때문에 내오존처리 후 수질안전성을 확인하도록 시험항목을 설정하였다. 기준치는 시험방법의 열화기간 및 열화강도와 관계가 있으며 이에 대한 설명은 시험방법 개발 부분에서 시험방법과 더불어 설명하고자 한다.

6. 방수·방식재의 내오존성 평가방법 개발

내오존성능 시험방법은 겉모양, 질량감소량, 부착성능, 내투수성능, 부착강도, 수질안정성을 시험항목 및 평가항목으로 설정하였으며, 각각의 시험방법은 아래의 7. 방수·방식재의 내오존성능 시험방법 및 기준(안)에 설명하였다.

시험항목 중 내구성과 관련이 되는 항목인 질량감소량 시험방법 및 기준치 설정 근거에 대하여 설명하도록 하였다. 촉진오존열화처리 방법은 “3. 촉진오존 열화 시험 조건 설계”부분에서 설명한 것과 같이 오존용존농도 10 ppm, 온도사이클은 챔버안의 온도를 1시간 20℃유지 →1시간 (20℃→40℃) → 1시간 40℃ 유지 → 1시간 (40℃→20℃) →1시간 20℃유지 →1시간 (20℃→40℃)→1시간 40℃유지 → 1시간 (40℃→20℃)를 1사이클로 하며, 챔버안의 수위변화 사이클은 3시간 저수위 유지 → 1시간 (저수위 →만수위) → 3시간 만수위 유지 → 1시간(만수위→저수위) 1사이클로 온도와 수위변화 사이클을 교차시켜 1사이클이 8시간으로 구성되며, 시험편에 열 충격을 주도록 설정하여 시험하는 것으로 하였다. 또한, 시험기간은 5년 신뢰성 평가 방법에 근거하여 190사이클 (9주) 로 설정하는 것은 시험기간이 장시간 걸려 제품개발 및 품질관리가 어려운 단점이 발생하여 시험기간을 단축할 필요성이 대두되었다. 본 연구에서는 시험기간을 단축하기 위한 방법으로 질량감소량이라는 시험항목을 개발하였다. 질량감소량은 유리판 위에 각 제조사의 시방에 준하여 시공을 한 후 촉진오존 열화처리 후 질량을 측정하여 처리 전의 질량차를 구하는 방법이다. 시험체는 아래의 그림에 나타낸 것과 같이 (150×70×3)mm 의 유리판 윗면에 시방서에 준하여 제작하는 것으로 하였다. 밑판을 유리판으로 설정한 것은 유리가 오존에 안정적이기 때문에 오존열화에 의한 질량감소량이 없다고 가정하여 밑판으로 결정하였다.



(a) 도막계열 시험체 (b) 패널계열 시험체

그림 169. 질량감소량 시험용 시험체

촉진 오존 열화 처리 기간 설정은 신뢰성 5년 보증을 위한 10 ppm, 190사이클 (약 9주)을 참고하여 열화가 기간과 비례적인 상관성을 보이는 것으로 가정하면, 동일한 오존용존농도 10 ppm 조건에서 1년의 열화기간은 1.8주에 해당하게 된다. 또한, 도막식의 경우, 국내 5개사의 시방서 검토결과 내오존층(상도)의 건조도막 두께는 0.05mm~0.08mm, 비중은 1.2~1.5 정도로 조사되었다. 이를 g/m^2 으로 환산하면 약 60~120 g/m^2 이 된다. 1차년도 중간평가 시 제시되었던 5년 내구성 시험방법을 개발하여야 한다는 취지에 부합하고 제조업체의 개발주기 및 품질관리 측면을 고려하여 촉진오존열화처리 기간을 2주로 단축하여 시험하는 것으로 설정한다면, 기준치는 위의 계산에서 나온 결과와 도막식의 경우 일정한 도막 두께 확보가 어렵다는 점을 고려하여 10 g/m^2 으로 설정하였다. 또한, 기준치 설정에는 현장실사 결과도 참조하였다. 그림 97은 처음 시공 후 1년 경과 후 열화가 심하게 발생하여 재보수한 현장으로서 보수 후 1년경과 후의 상황을 나타낸 것이다. 그림 63에서 보는 바와 같이 외관상으로 박리, 들뜸, 균열은 발생되지 않았지만, 손으로 겉을 문지르면 손에 하얀 분말이 묻어나는 현상이 발견되었다. 이 때 사용한 방수·방식재로 시험체를 제작하여 10 ppm, 2주일간 촉진 오존 열화처리 한 후 질량감소량을 측정한 결과 15.9 g/m^2 으로 나타났다. 이에 대한 결과를 협의 한 결과 보다 높은 수준의 기준치가 요구되어 10 g/m^2 로 결정하는 것으로 하였다. (2차년도 결과)

그러나, 장기내구성 검토를 위해서 3차년도에 시험기간을 8주로 연장하여 시험을 실시한 결과, 2주간 오존처리 한 경우, 표면의 외관 및 질량감소량이 적은 시험체가 2주에서 3주 사이에 급격한 백화현상 및 균열이 발생하는 시험체가 몇 수준 관찰되었으며, 이 후 8주까지는 급격한 열화현상이 발생하지 않아 내오존성능을 평가하기 위해서는 시험조건을 10ppm에서 오존처리기간 4주로 설정하여 진행하여야 하는 것으로 나타났다. 또한, 질량감소량에 대한 기준치는 급격히 품질의 변화가능성 및 안전율을 높이고, 관련기관의 의견을 수렴해서 보다 15 g/m^{2}으로 설정하였다.

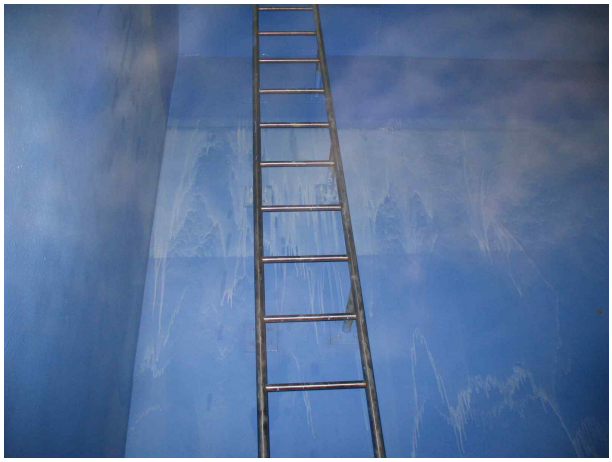


그림 170. 오존접촉지 1년경과 후 상황

질량감소량 측정 시 건조상태 및 세척 상태에 따라 변동되어 초음파 세척 후 완전 건조 시키고 질량을 소수점 3째자리 까지 구하는 것으로 하였다. 그 방법은 물 세척 후 초음파로 60초간 세척, 60℃ 챔버에서 1시간 건조시키고 표준조건에서 30분간 보관 후 측정한다. 초음파 세척시간은 아래의 그림에 나타낸 것과 같이 일정한 질량이 된 세척시간을 산정한 것이며, 동일한 방법으로 60℃챔버에서의 건조시간도 설정하였다.

한편, 현재 방수·방식재 관련 KS 규격은 KS F 4921 (에폭시 수지계 방수·방식재)과 KS F 4929 (세라믹 메탈 함유 수지계 방수·방식재)가 있지만, 내오존성능을 시험할 수 있는 시험방법 및 기준은 정리되어 있지 않다. 이에 연구개발의 결과물을 토대로 기존의 제품별로 표준화되어 있어 이의 관리에 어려운 점이 있었다. 이에 본 연구에서는 KS 규격 (KS F 4921, KS F 4929)을 성능중심으로 정리하고, 본 연구과제에서 도출된 내오존성능 시험방법 및 기준을 추가하여 통합된 시험방법 및 기준을 제시하는 것으로 하였다.

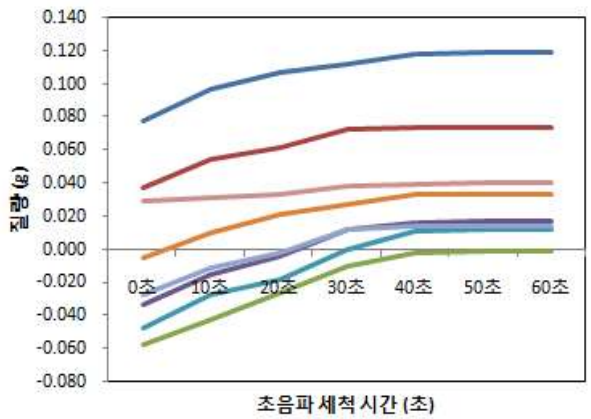


그림 171. 초음파 세척시간에 따른 질량 변화

7. 방수・방식재의 내오존성능 시험방법 및 기준(안)

방수・방식재의 내오존성능 시험방법 및 기준(안)

Ozone resistance test method of material for waterproof and anticorrosion

1. 적용 범위

이 기준은 고도정수처리장 등의 상수도 구조물에서 오존 및 오존수와 직접 접촉이 이루어지는 콘크리트 구조물의 방수·방식을 목적으로 사용되는 도막, 부착 및 시트 공법에 사용되는 방수・방식 재료 및 전체 시스템에 적용된다.

2. 인용 표준

다음에 나타내는 표준은 이 기준에 인용됨으로써 이 기준의 규정일부를 구성한다. 이러한 인용 표준은 그 최신판을 적용한다.

KS A 0074 측색용 표준광 및 표준 광원
KS A 3325 형광 램프의 광원색 및 연색성에 따른 구분
KS L 5105 수경성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험 방법
KS F 4919 시멘트 혼입 폴리머계 방수재
KS F 4716 시멘트계 바탕 바름재
KS F 4917 개량 아스팔트 방수 시트
KS F 4911 합성 고분자계 방수 시트
KS M 5000 도료 및 관련 원료의 시험방법
KS M 7602 거름 종이 (화학 분석용)
KS F 4921 콘크리트용 에폭시 수지계 방수・방식재
KS F 4922 폴리우레아 수지 도막 방수재
KS F 4929 세라믹 메탈 함유 수지계 방수・방식재
RS-KCL-2010-0002 정수장용 내오존 도료

3. 용어와 정의

이 표준에서 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다.

3.1 고도정수처리

일반적인 정수처리로는 제거가 곤란한 오염물질을 제거하여 더욱 깨끗하고 안전한 수돗물을 공급하기 위하여 실시되는 정수처리 기술로 일반적으로 종래에 사용하던 급속여과법에 막분리, 활성탄처리, 오존처리 등을 추가적으로 도입하여 정수하는 수처리

1

3.2 내오존 방수 · 방식재

정수처리장에서 수처리인 오존처리시에 동반되는 오존수가 직접 닿게 되는 콘크리트 구조물의 방수·방식을 목적으로 사용되는 재료

3.3 내오존 방수 · 방식 시스템

정수처리장에서 수처리인 오존처리시에 동반되는 오존수가 직접 닿게 되는 콘크리트 구조물의 방수·방식을 목적으로 현장에 적용되는 공법의 전체적인 구성으로서 바탕처리에서 최종 오존수에 직접 접촉되는 최상층까지의 시공방법 및 사용재료의 구성을 말하며, 구체적으로는 최상층이 내오존 도료로 마감되는 내오존 도막계 시스템, 줄눈재 및 타일 (패널, 강화유리, 도자기질 타일 등)로 마감되는 패널계 시스템 및 시트로 마감되는 시트계 시스템으로 구분한다.

3.4 내오존 도료 및 도막계 방수 · 방식 시스템

오존수에 직접 닿게 되는 콘크리트 구조물의 방수 · 방식 성능을 증진시키기 위해 적용되는 내오존 도료와 바탕조정재, 중도재 (에폭시, 폴리우레아 등)의 적용 재료 등에 의해 하도, 중도, 상도 (내오존 도료층)로 구성되는 방수 · 방식 구성시스템

3.5 내오존 줄눈재, 패널 및 패널계 방수 · 방식 시스템

오존수에 직접 닿게 되는 콘크리트 구조물의 방수 · 방식 성능을 증진시키기 위해 적용되는 내오존 패널(도자기 타일, 고분자 수지계, 강화유리 등), 줄눈재와 바탕조정재, 접착재의 적용 재료 등에 의해 일반 타일 시공과 마찬가지로 패널을 접착재와 줄눈재를 사용하여 부착하는 방수 · 방식 시스템

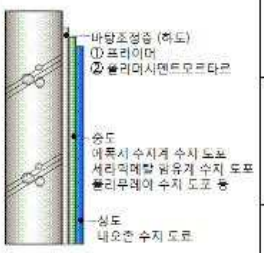
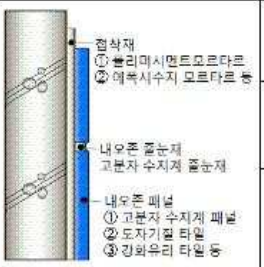
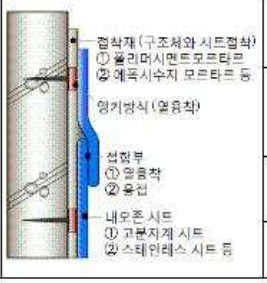
3.6 내오존 시트 및 시트계 방수 · 방식 시스템

오존수에 직접 닿게 되는 콘크리트 구조물의 방수 · 방식 성능을 증진시키기 위해 적용되는 내오존 시트(PE, PP, EPDM, 스테인레스), 고정철물, 고정용 지지대, 접착재의 적용 재료 등에 의해 절연 또는 접착한 상태로 시공되는 특성이 있고, 이음부는 열융착 또는 용접으로 처리하는 방수 · 방식 시스템

4. 재료 및 종류

내오존 방수 · 방식재 및 시스템의 종류는 사용 재료 및 시공방법에 따라 **표 1**과 같이 구분한다. 생산자가 제시하는 재료별로 KS 제품기준에 적합해야 한다. (KS F 4042 콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르, KS F 4043 콘크리트 구조물 보수용 에폭시 수지 모르타르, KS F 4921 콘크리트용 에폭시 수지계 방수 · 방식재, KS F 4922 폴리우레아 수지 도막 방수재, KS F 4929 세라믹 메탈 함유 수지계 방수 · 방식재, KS F 4911 합성 고분자계 방수 시트)

표 1 적용 대상 내오존 방수 · 방식 시스템

구분	구성 시스템	사용재료	
도막계		하도	· 바탕조정 - 폴리머시멘트모르타르 - 에폭시수지모르타르 · 프라이머 도포
		중도	· 수지계 방수 · 방식 도료 - 에폭시 수지계 - 세라믹 메탈 함유계 수지계 - 폴리우레아 수지 - 우레탄 고무계
		상도	· 내오존 방수 · 방식 도료 - 무기 · 유기 하이브리드계 - 불소 함유계 수지 등
패널계		점착재	· 폴리머시멘트계 점착재 - 에폭시 수지계 점착재 - 아크릴 수지계 점착재
		줄눈재	· 내오존 줄눈재 - 폴리머시멘트계 줄눈재 - 고분자 수지계 줄눈재
		패널	· 내오존 패널 - 고분자 수지계 패널 - 도자기 타일 패널 - 강화유리 패널
시트계		점착재	· 폴리머시멘트계 점착재 - 에폭시 수지계 점착재 - 아크릴 수지계 점착재
		고정구 앵커볼트	· 고정구 - STS 고정구 윗면의 폴리머와 시트의 고주파 융착
		시트	· 내오존 고분자계 시트 · 스테인레스 시트
		접합부*)	· 열융착 · 용접
*1) 시트계의 경우 고분자계 시트의 접합부는 겹쳐 열융착, 스테인레스 시트는 용접하여 접합시공함			

5. 성능

오존수에 직접 접촉되는 방수 · 방식재의 성능은 **표 2**와 같다.

6. 시험방법

6.1 시험의 일반 조건

시험체의 제작 및 시험 환경 조건은 특별한 지정이 없는 한 KS A 0006에서 규정하는 온도 (20±2)℃, 습도 (65±5)%가 되게 한다.

6.2 시험용 밑판의 재료, 크기 및 제작방법

시험항목별 시험용 밑판의 재료, 크기, 수량은 **표 3**에 따른다.

표 2 시험항목 및 성능기준

시험 항목		성능 기준				시험 조건
		도막계	패널계		시트계	
			패널	줄눈재		
내오염성능	겉모양	백아화, 균열, 부풀음, 핀홀, 박리, 패임 등이 없을 것	균열, 부풀음, 박리, 탈락 등이 없을 것		균열, 점합부 녹발생 및 탈락이 없을 것	**6.4**
	질량감소량 (g/m^2)	10 이하	10 이하		10 이하	**6.5**
	내투수성능	0.1 N/mm^2 수압에서 투수되지 않을 것	0.1 N/mm^2 수압에서 투수되지 않을 것		0.1 N/mm^2 수압에서 투수되지 않을 것	**6.6**
	부착강도 (N/mm^2)	1.5 이상	1.5 이상		-	**6.7**
	점합성능[a] (%)	-	-		90% 이상	**6.8**

a 접합부를 융착 또는 용제를 사용하여 제작하는 고분자계 시트 만을 대상으로 하며, 스테인레스 시트는 제외함.

표 3 시험용 밑판의 재료, 크기 및 수량

시험 항목		시험용 밑판의 재료	시험체 크기 mm	개수
내오염성능	겉모양	시멘트모르타르판[a]	100×100×30	5
	질량감소량(g/m^2)	스테인레스판[b]	150×70×1	5
	내투수성능	시멘트모르타르판	100×100×30	5
	부착강도 (N/mm^2)	시멘트모르타르판	200×100×30	3

a KS F 5105의 8에 규정하는 방법으로 배합은 시멘트와 표준사를 1 : 2.45 무게비로 섞는다. 혼합수의 양은 포틀랜드 시멘트 사용 무게의 48.5%로 한다. 각 밑판은 플라스틱 또는 금속제 형틀을 사용하여 제작하며, 제작한 시멘트모르타르를 겉모양 및 부착강도 시험용은 안쪽 치수 (200×100×30)mm, 내투수성능 시험용은 (100×100×30)mm의 형틀을 사용하여 성형한다. 성형 후 즉시 온도 (20±3)℃, 습도 90% 이상의 습기함 또는 습기실에서 48시간 양생한 후 탈형하여 20±2℃의 수중에서 19일간 양생하고, 온도 (20±2)℃, 상대습도 (65±5)%의 표준상태에서 항량이 될 때까지 최소 7일간 건조시킨다.

b KS D 3705에서 규정하는 STS316L 스텐인리스판을 사용한다.

6.3 오존처리

a) 시험장치 오존열화시험기는 오존을 이용한 고도정수처리장의 사용 환경을 모사하고 노화를 가속시키는 장치로 다음의 조건을 만족하여야 한다. 또한 시험장치의 부도를 부속서 A에 나타내었다.

1) 오존수 내의 용존 오존 농도는 최고 20 ppm까지 자유롭게 조정이 가능하며, 오존수의 농도를 일정하게 유지할 수 있어야 한다.

2) 시험체가 완전 또는 부분적으로 침지되거나 기중에 노출되도록 오존수의 수위가 자유롭게 제어할 수 있어야 한다.

3) 오존수의 유속은 오존 농도를 유지시킬 수 있는 범위 내에서 조절 가능하여야 한다.

4) 시험체가 위치되는 오존수 노출 챔버 영역은 밀폐되어야 한다.

5) 오존수와 직간접적인 접촉이 있는 부위는 산화 및 부식을 최소화 하여야 한다.

6) 시험편이 놓여진 챔버는 온도조절이 (0~60)℃ 까지 조절 가능하여야 한다.

7) 발생된 오존이 챔버 밖으로 새어나오지 않도록 밀폐되어야 하며, 배기가 주변에 영향을 미치지 않도록 설계되어야 한다.

8) 오존수 노출로 발생되는 불순물들이 제거될 수 있는 수처리 시스템을 갖추어야 한다.

9) 오존수에 의하여 시험편에서 발생된 오염물질이 타 시험편의 평가에 영향을 미치지 않도록 구획할 수 있는 분리막 등의 방오 처리가 되어 있어야 한다.

b) 오존열화처리 조건

오존처리 조건은 RS-KCL-2010-0002에 따른다. 오존수 내의 오존 농도는 **10 ppm** 으로 유지하며, 챔버의 온도는 20 ℃ 3시간, 40 ℃ 3시간 이행시간 1시간으로 총 8시간을 1사이클로 하며, 오존수의 수위도 동시에 1시간 만수위 1시간 저수위로 하며 사이클 반복은 **그림 1**과 같다. 이와 같은 8시간의 처리를 1사이클로 하여 84회 반복한 다음, 시험체를 흐르는 깨끗한 물에 세척한다.

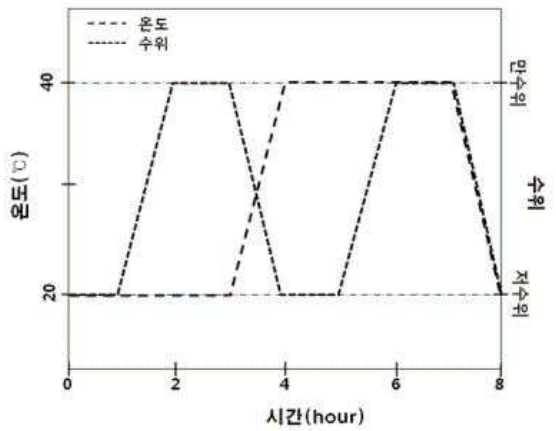


그림 1 사이클 조건

6.4 겉모양

a) 시험체 제작

6.2 시험용 밑판의 재료, 크기 및 제작방법에 따라 제작한 (100×100×30)mm 시멘트모르타르판을 사용하여 시험체를 제작한다. 도막계는 6면을 모두 각 제조사의 시방에 따라 전면 도포한다. 또한, 패널계는 **그림 3**과 같이 패널 (4.5 mm × 4.5 mm) 4장을 규격서에 따라 줄눈을 설치하여 시험용 밑판 윗면에 시공하고 옆면은 90 mm × 25 mm 의 패널을 4면에 규격서에 준하여 처리하며, 시험체 밑면은 줄눈재로 얇게 발라 모르타르 면이 직접 오존수에 노출되지 않도록 시험체를 제작한다.

또한, 시트계는 중앙부에 접합부 50 mm를 설치하여 100mm × 100 mm로 제작한다.

b) 시험방법

겉모양은 육안 관찰 방법으로 조사한다. 시험체를 6.3 오존처리 방법에 따라 84사이클 전처리 후 육안으로 관찰하여 표면에 균열, 부풀음, 핀홀, 박리, 패임, 녹 발생 등의 현상이 나타났는지의 유무를 확인한다.

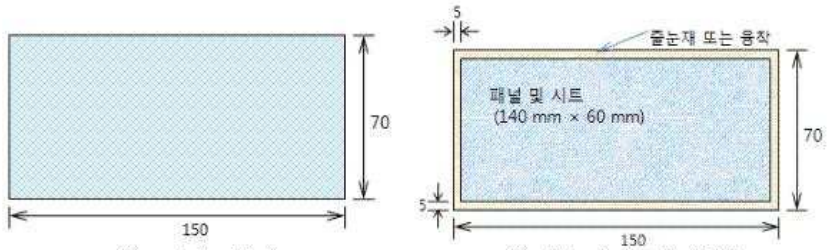
6.5 질량감소량

a) 시험체 제작

스테인레스관 (150 mm × 70 mm × 1mm) 윗면에 소정의 두께가 확보될 수 있도록 도포 후 시험편은 온도 (20±2)℃, 습도 (65±5)%의 항온 항습기에서 7일간 양생한다. 단 스테인레스관 옆면 및 밑면에 도포되지 않도록 제작한다.

패널계는 스테인레스관 위에 접착재를 사용하여 패널(140 mm × 60 mm)을 부착한 후, 단부는 줄눈재로 마감하여 오존수가 절단한 측면을 통하여 접촉되지 않도록 **그림 2와** 같이 제작하고 제조사의 규격서에 따라 충분히 양생한다.

또한, 시트계도 패널계와 같은 크리고 절단하여 스테인레스관 윗면에 융착 또는 접착재로 접착하고, 단부는 보강을 위해 사용되는 부직포가 오존수에 접촉되지 않도록 시트로 융착하여 시험체를 제작한다.



(a) 도막계 시험체 (b) 패널 및 시트계 시험체

그림 2 질량감소량 시험체

b) 시험방법

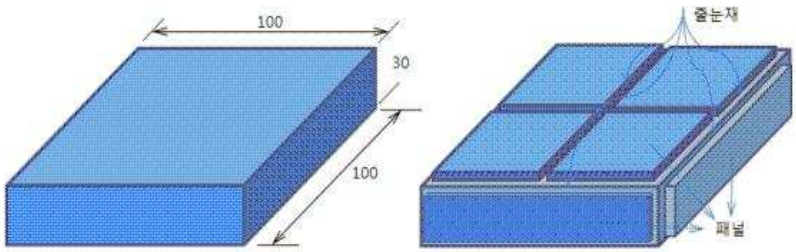
오존처리 전 시험체의 질량을 소수점 3째자리까지 측정이 가능한 저울을 사용하여 측정하고, 오존처리 후 증류수를 사용하여 세척 후 60℃ 챔버에서 24시간 이상 건조시켜 질량이 변화하지 않는 것을 확인 후 표준조건에서 30분간 보관하고 질량감소량을 오존처리전과 동일한 방법으로 측정하며, 시험결과는 아래의 식으로 질량감소량을 구한다.

질량감소량(g/m^2) = (오존처리 전 시험체 질량(g) - 오존처리 후 시험체 질량(g)) / 시험체 면적(m^2)

6.6 내투수성능

a) 시험체 제작

도막식 및 패널식은 6.4 겉모양 시험체의 밑면을 그라인더 등을 사용하여 도막을 제거한 시험체를 사용하며, 시트계는 6.2 밑판 상부에 겉모양 시험체를 제조사의 규격서에 따라 융착 접착재로 부착하고, 측면은 에폭시 수지, 실리콘계 실링제 등을 사용하여 완전히 밀봉한 것을 시험체로 한다.



(a) 도막계 시험체 (b) 패널계 시험체

그림 3 내투수성 시험체

b) 시험방법

시험은 **KS F 4919**의 **5.8**에 따른다. 시험은 **그림 4**의 투수시험 장치에 고정시킨 후 0.1N/mm^2의 수압을 3시간 가한다. 수압을 가한 후 시험 장치로부터 시험체를 분리하여 KS M 7602에 규정하는 5종 B종 거름종이로 약 10초 동안 가볍게 닦은 후 시험체 중앙부에서 2분할한다. 이때 방수 · 방식층 아래의 모르타르 밑판에 물이 침투되어 젖어 있는지를 육안으로 확인한다.

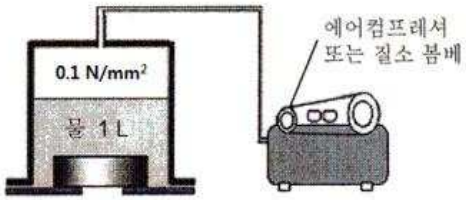
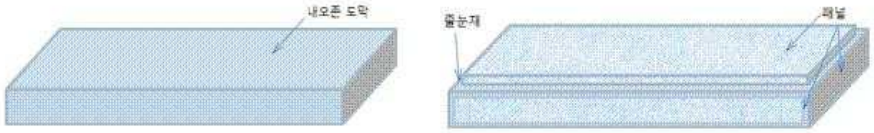


그림 4 투수 시험 장치

6.7 부착성능

a) 시험체의 제작

6.2에 나타낸 시험용 밑판을 제작하고, 표면은 그라인더 등으로 매끈하게 다듬고 불순물을 제거한 후 표면에 바탕제를 선처리 할 수 있다. 시험체 제작은 제조사의 시방서에 준하며, 두께는 제조사의 시공지침서, 세부지침서에 제시된 두께가 확보되도록 제작한다. 도막계는 6면을 모두 시공하여 제작한다. 패널계는 밑판 윗면은 95 mm × 195 mm 의 패널을 접착재로 중앙부에 부착하고 측면은 25 mm × 195 mm 패널을 사용하여 부착한 후 줄눈을 설치한다. 또한 시험편 밑면은 줄눈재로 얇게 발라 오존수에 직접 접촉되지 않도록 한다. **그림 5**에 도막계 및 부착계 시험체를 나타내었다.

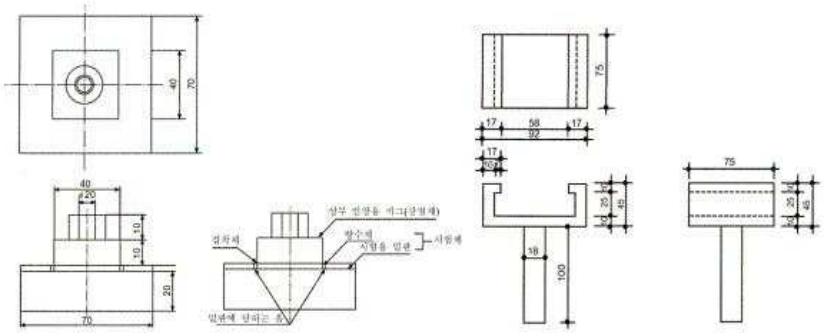


(a) 도막식 시험체 (b) 패널식 시험체

그림 5 부착강도 시험용 시험체

b) 시험방법

시험방법은 **KS F 4716**의 **5.6**에 따른다. 소정의 양생이 끝난 시험체를 양생실 내에 수평하게 놓고 시료 도포면에 접착제를 바른 다음 **그림 6(a)**에 나타낸 상부 인장용 지그(강철제)를 가만히 올려 놓고 가볍게 문질러 접착시킨 후, 다시 그 위에 무게 1kg의 추를 얹어 주위에 비어져나온 접착제를 신중히 제거한다. 24시간 양생 후 추를 제거하고, 강철제 지그 주변을 시료 두께 만큼 홈을 내고, **그림 6(b)**에 나타낸 것과 같은 하부 인장용 지그 강철제 받침판을 사용하여 수료면 수직방향으로 10 mm/min의 인장속도로 시험하며, 최대인장하중을 측정한다.



(a) 상부 인장용 지그와 시험체 접착 방법 (b) 하부 인장용 지그

그림 6 부착강도 시험용 지그

6.8 접합성능

a) 시험체 제작

합성 고분자계 시트의 시험체는 **그림 7**과 같이 2개의 시험편을 40 mm 겹쳐서 열 융착하여 붙이고 표준 상태에 24시간 놓아 둔다. 다음에 양끝 25 mm를 제외하고 폭 50 mm, 길이 200 mm의 시험체를 5개 절단한 것을 시험체로 한다. 시험편은 오존처리 전과 오존처리용으로 2개를 제작하며, 오존처리용은 오존처리 후 시험체를 위와 같이 5개로 절단하여 사용한다.

b) 시험방법

시험체의 나비는 0.1 mm의 정밀도로 접합부의 3곳에서 측정하여 그 평균값을 구한다. 시험체를 물림 간격이 100 mm가 되도록하며, 시험체 겹침부가 중앙이 되도록 인장 시험기에 걸어인장속도 100 mm/min에서 시험체가 파단될 때까지 인장한다. 접합강도는 최대 하중 (N)을 읽고 다음의 식으로 계산하며, 시험체 5개의 평균값으로 나타낸다. 접합강도 시험은 오존처리 전과 후 2회 실시하여 각각의 접합강도를 구하고 이를 백분율로 표시하여 오존용존환경하에서의 노화정도로 표시한다.

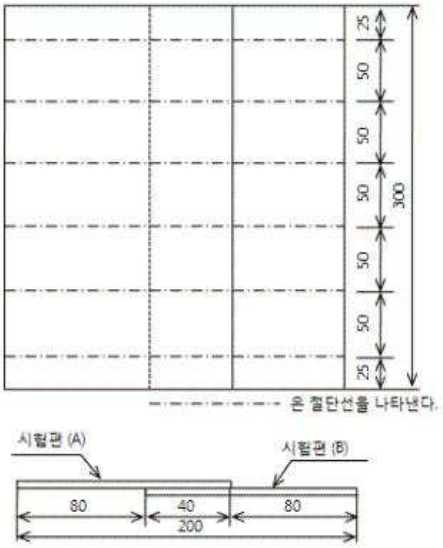


그림 7 점합성능 시험체 제작 방법

$$T_s = \frac{P_s}{W_s}$$

여기에서

T_s: 접합강도(N/mm)
P_s: 최대하중(N)
W_s: 시험체의 폭(mm)

7. 검사

검사는 합리적인 샘플링 검사 방식에 따라 채취한 샘플을 사용하여 6.에 따라 시험하고, 5.의 규정에 따라 적합한 것을 합격으로 한다.

8. 표시

제품에는 포장 단위로 다음 사항을 표시하여야 한다.

a) 제품의 명칭
b) 제품의 종류(4.에 따른다.)
c) 제품의 치수 또는 질량
d) 제조자명
e) 제조년월 또는 제조번호
f) A/S 연락처

9. 취급상의 주의 사항

제품의 카탈로그, 시방서, 규격서 등에는 적어도 다음의 항목에 대한 주의 사항을 기재한다.

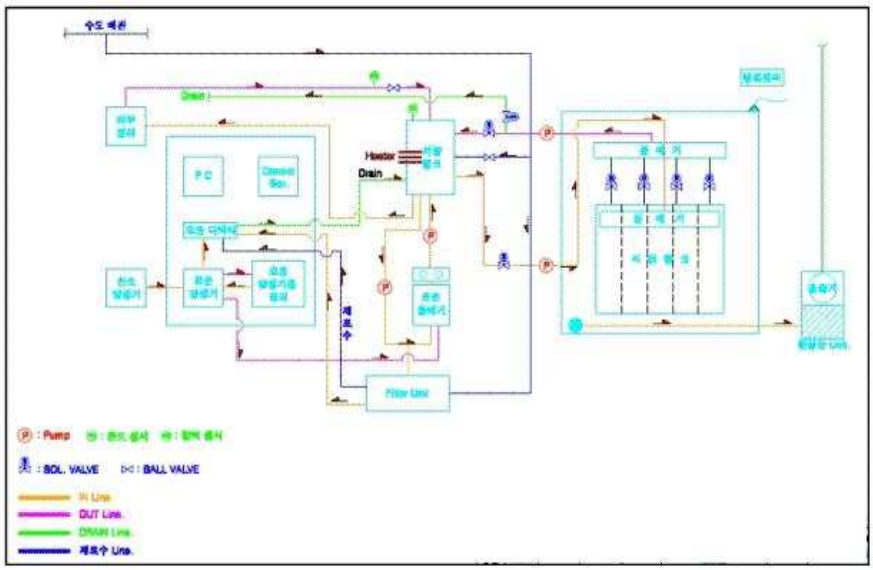
a) 운반 및 보관상의 주의 사항
b) 시공상의 주의
c) 바탕 상태
d) 시공상의 온도조건
e) 바탕과의 접착 및 도포 방법

10

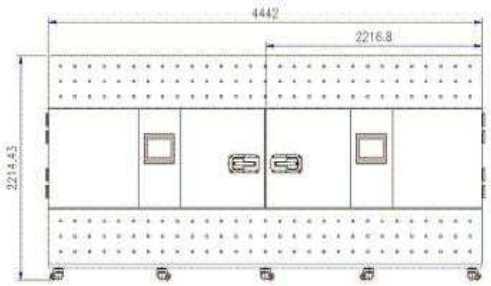
부속서 A

(참고)

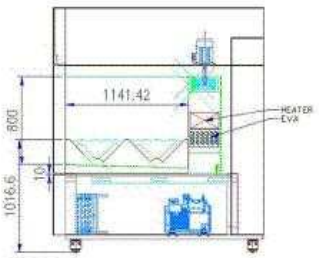
오존시험장치



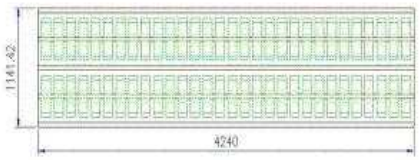
오존시험기 계통도



오존챔버의 정면



오존챔버의 측면



오존챔버내의 시험체 거치대

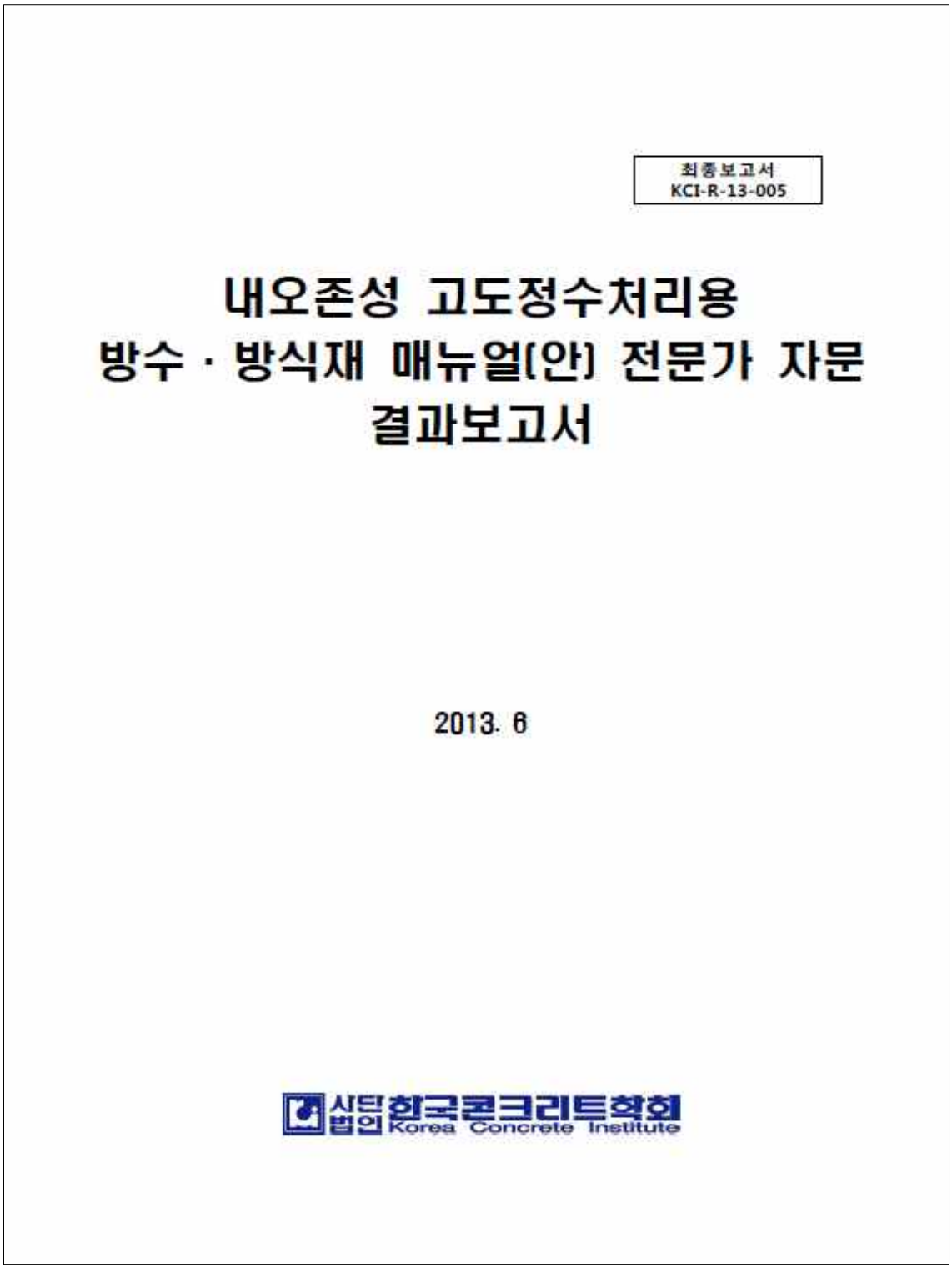
11

아연	0.1 ㎎/L 이하	2,6-톨루엔디아민	0.001 ㎎/L 이하
철	0.03 ㎎/L 이하	포름알데히드	0.008 ㎎/L 이하
구리	0.1 ㎎/L 이하	아세트산비닐	0.01 ㎎/L 이하
나트륨	20 ㎎/L 이하	스티렌	0.002 ㎎/L 이하
망간	0.03 ㎎/L 이하	1,2-부타디엔	0.001 ㎎/L 이하
염소이온	25 ㎎/L 이하	1,3-부타디엔	0.001 ㎎/L 이하
증발잔류물	50 ㎎/L 이하	N,N-디메틸아닐린	0.01 ㎎/L 이하

12

제 12절 시공 및 품질관리 매뉴얼(안) 작성

1. 전문가 자문 보고서


최종보고서
KCI-R-13-005

내오존성 고도정수처리용
방수·방식재 매뉴얼(안) 전문가 자문
결과보고서

2013. 6

사단법인 한국콘크리트학회
Korea Concrete Institute

제 출 문

한국건설생활환경시험연구원 원장 귀하 :

본 보고서를 「내오존성 고도정수처리용 방수·방식재 매뉴얼(안) 전문가 자문」의 결과 보고서로 제출합니다.

2013년 6월

연구기관 : (사)한국콘크리트학회 회장 정 [illegible]



자문책임자 : 배기선 (한양대학교 연구교수)
자 문 위 원 : 미야우치 히로유키 (충남대학교 조교수)
송제영 ((주)BK방수방식연구소 소장)
김민규 (서울시 상수도사업본부 과장)
박세출 (수자원공사 설계사업처 팀장)
김성찬 (한국콘크리트학회 수처리콘크리트위원회 위원장)
최성민 (서울과학기술대학교 건설기술연구소 수석연구원)
이진용 (한국콘크리트학회 보수보강위원회 위원장)
김상철 (한서대학교 토목공학과 교수)

목 차

1. 연구명 1

2. 연구배경 및 목적 1

3. 전문가 자문 내용 2

4. 전문가 자문 회의 개최 용 2

5. 전문가 자문 의견 및 반영 결과 3

첨부자료 1. 전문가 자문의견서 13

첨부자료 2. 회의 참석자 서명부 25

1. 연구명

내오존성이 우수한 고도정수처리시설용 방수/방식재의 시공, 품질, 유지관리 매뉴얼(안)의 전문가 의견 수렴(자문)

2. 연구배경 및 목적



〈그림 1〉 연구개발의 개요

○ 본 연구는 "내오존성이 우수한 고도정수처리시설용 방수.방식재 및 시공 기술 개발"을 위하여 고농도의 용존 및 기체상 오존 환경용 방수.방식재 개발 및 오존 접촉 환경용 방수.방식재의 성능 평가방법 개발, 고도정수처리시설의 내오존 방수/방식 시스템 개발을 최종 목표로 2010년 12월부터 2013년 8월(2년 8개월)에 거쳐 연구 검토되어 지고 있는 과제임.

○ 이 중 내오존 방수/방식 시스템 개발 연구에 있어 시공, 품질관리 매뉴얼(안)을 제안함에 있어 관련 분야의 전문가 의견 수렴이 요구됨.

○ 이에 "고도정수처리시설에 적용되는 내오존성 방수.방식재의 품질 및 유지관리 매뉴얼(안)"에 대한 전문가 의견 수렴을 통하여 본 매뉴얼(안) 작성시 품질, 시공, 유지관리 등의 지침 내용에 이를 반영하고자 함.

3. 전문가 자문 내용

○ 목표

- 고도정수처리시설용 내오존성 방수.방식재로서의 공법, 시공, 유지관리 매뉴얼(안)의 전문가 의견 수렴(자문)

○ 내용

(1) 고도정수처리시설 오존처리조의 내오존 방식공법

(2) 고도정수처리시설 오존처리조의 방식시공

(3) 고도정수처리시설 내오존 방식피복 공법의 품질

(4) 고도정수처리시설 오존처리조의 유지관리

4. 전문가 자문 회의 개최

○ 일 시 : 2013년 06월 13일(목) 16:00~

○ 장 소 : 한국콘크리트학회 회의실

○ 참석자 : 13명(첨부자료 2. 회의참석자 서명부 참조)

- 한양대학교(한국콘크리트학회 방수위원회) : 배기선 연구교수(위원장)
- 서울과학기술대학교 : 오상근 교수(위탁연구기관 연구책임자)
  최성민 수석연구원(건설기술연구소)
  김윤호 연구원(건설기술연구소)
  허능희 연구보조원
- (주)비케이방수방식연구소 : 송제영 소장
  김수련 선임연구원
- 한국건설생활환경시험연구원 : 신홍철 선임연구원(주관기관 연구책임자)
- 충남대학교 : 미야우치 히로유키 조교수
- 서울시 상수도사업본부 생산부 생산관리과 고도정수반 업무 총괄 : 김인규 과장
- 수자원공사 설계사업처 수도설계팀 : 박세출 팀장
- 한국콘크리트학회 보수보강위원회 : 이진용 위원장
- 한서대학교 : 김상철 교수

5. 전문가 자문 의견 및 반영 결과

■ 오상근 교수(위탁기관 연구책임자)

(1) 자문 의견

- ✓ 음용수 용출시험의 경우 내오존 방수·방식재의 성능을 평가하는 기준이 될 수 없음. 따라서 협의 후 줄이거나 삭제 및 수정이 필요함.
- ✓ 내오존 방수·방식재에 대한 음용수 용출 적합여부는 오존에 의해 도료 및 부착재료 성분 물질이 용해되는지가 더 중요함.
- ✓ 연구를 통해 제시하는 요구성능에 비해 기업이 따라오지 못하고 있는데다 지금은 연구 초기이기 때문에 성능 기준 문제는 기존의 데이터와 현실, 정책 판련하여 KS 심의 위원회를 통해 토의가 필요함.
- ✓ 시설물 점검기준은 시설안전공단을 참조하여 확인이 가능함. 추후 참조하여 작성하여야 함.
- ✓ 성능기준이 계열별로 도막계, 부착계, 라이닝계가 있는데 기존의 백데이터를 반영하여 자료를 정리하여 추가하면 객관성 있는 기준 선정이 가능함.

(2) 반영 결과

- ✓ 유지관리 차원의 보수·보강 메뉴얼 부분의 추가 → 2.3 기존 오존처리조 보수공사의 시공에 추가 작성함(p55~66).
  - 기존 오존처리조의 보수공사의 표준적인 공정
  - 단계별 검사
  - 바탕정리 및 보수·보강 일반 사항
  - 보수재료
  - 보수시공방법
- ✓ 음용수 용출시험 항목 조정→음용수용출성 평가항목 및 수질기준을 수도법 시행 규칙(환경부령) 제10조(위생안전기준 44항목)으로 수정함(p41~42)

〈표 12〉 음용수용출성 평가항목 및 수질기준(항목별 위생안전기준 44항목)

항 목	기 준	항 목	기 준
카드뮴	0.0005 ㎎/L 이하	음이온 계면활성제	0.02 ㎎/L 이하
수은	0.0001 ㎎/L 이하	1,1,1-트리클로로에탄	0.01 ㎎/L 이하
셀레늄	0.001 ㎎/L 이하	페놀류	0.0005 ㎎/L 이하

납	0.005 ㎎/L 이하	과망간산칼륨소비량	1.0 ㎎/L 이하
비소	0.005 ㎎/L 이하	맛	이상 없을 것
6가크롬	0.005 ㎎/L 이하	디클로로메탄	0.002 ㎎/L 이하
시안	0.001 ㎎/L 이하	시스-1,2-디클로로에틸렌	0.004 ㎎/L 이하
질산성 질소 및 아질산성 질소	1 ㎎/L 이하	테트라클로로에틸렌	0.001 ㎎/L 이하
붕소	0.15 ㎎/L 이하	냄새	이상 없을 것
사염화탄소	0.0002 ㎎/L 이하	색도	0.5 도 이하
1,2-디클로로에탄	0.0004 ㎎/L 이하	탁도	0.2 NTU 이하
1,1-디클로로에틸렌	0.003 ㎎/L 이하	잔류염소의 감량	0.7 ㎎/L 이하
1,1,2-트리클로로에탄	0.0006 ㎎/L 이하	에피클로로히드린	0.01 ㎎/L 이하
트리클로로에틸렌	0.003 ㎎/L 이하	아민류	0.01 ㎎/L 이하
벤젠	0.001 ㎎/L 이하	2,4-톨루엔디아민	0.002 ㎎/L 이하
아연	0.1 ㎎/L 이하	2,6-톨루엔디아민	0.001 ㎎/L 이하
철	0.03 ㎎/L 이하	포름알데히드	0.008 ㎎/L 이하
구리	0.1 ㎎/L 이하	아세트산비닐	0.01 ㎎/L 이하
나트륨	20 ㎎/L 이하	스티렌	0.002 ㎎/L 이하
망간	0.03 ㎎/L 이하	1,2-부타디엔	0.001 ㎎/L 이하
염소이온	25 ㎎/L 이하	1,3-부타디엔	0.001 ㎎/L 이하
증발잔류물	50 ㎎/L 이하	N,N-디메틸아닐린	0.01 ㎎/L 이하

✓ 오존 성능 품질기준 재검토 필요→방수·방식의 내오존성능 시험방법 및 기준(안)에 의거 품질 기준 수정함(p42)

〈표 13〉 내오존 방식성능 평가 기준

구분			시험 대상			
			도막 공법	라이닝 공법	부착 공법	
					패널	줄눈
기초 성능	부착강도 (N/㎟)	표준상태	2.0 이상		2.0 이상	
		흡수상태	1.5 이상		1.5 이상	
	내충격성		균열, 박리가 없을 것	균열, 박리가 없을 것	균열, 박리가 없을 것	
	내투수성		투수되지 않을 것	투수되지 않을 것	투수되지 않을 것	
내오존 성능	겉모양		백아화, 균열, 부풀음, 핀홀, 박리, 페인 등이 없을 것	백아화, 균열, 부풀음, 핀홀, 박리, 페인 등이 없을 것	백아화, 균열, 부풀음, 핀홀, 박리, 페인 등이 없을 것	
	질량감소량 (g/㎡)		15 이하		15 이하	
	내투수성능		투수되지 않을 것	투수되지 않을 것	투수되지 않을 것	
	부착강도(N/㎟)		1.5 이상		1.5 이상	
수질 안정성	위생안정기준(44항목)		기준치를 만족할 것	기준치를 만족할 것	기준치를 만족할 것	

✓ 부착식과 도막식의 바탕 조정 방법 재검토→ 1.3 시공 일반사항 2)번항에 추가 작성함 (p26).

✓ 관리기준, 점검기준, 시설물점검기준, 시험성적서 유효기간 인정 범위 통일 등에 대한 검토 의견은 관련 기준을 설정하기 위해서는 별도의 검증이 필요한 부분이므로, 연구진에서 재 검토 후 반영 예정임.

■ 김상철 교수

(1) 자문 의견

✓ 매뉴얼에 연구성과가 반영되어야 함. 본 국책 연구를 통해 정립된 내용이 부족하고, 기존의 매뉴얼들의 내용이 들어가 있어 연구 성과로 보기에는 어려움.

✓ 연구성과가 반영된 백데이터 제시가 필요함.

✓ 품질기준이 전반적으로 약함. 특히 부착강도는 상향시킬 필요가 있음.

✓ 용어, 오타, 띄어쓰기 검토 요함.

✓ 전반적인 문구에서 〈된다, 해야한다〉 보다 〈한다. 하여야한다〉고 쓰고, 〈다음 표와 같다〉의 문구는 전체적으로 통일이 되어야 함.

✓ 규격(안)에서 질량감소량 시험방법이 없는데 추가시켜야 함.

✓ 지침에 연구 성과를 포함해야하는데 일반적인 내용의 대부분이고 내오존에 대한 가이드라고 보기에는 어려움.

(2) 반영 결과

✓ 매뉴얼 본문 내용의 오탈자 수정 및 띄어쓰기, 표기법 등 수정함.

✓ 규격, 표준, SI 단위 사용 → "표준"으로 통일 하여 정리함.

✓ 시험에 관한 내용과 결과 평가가 있으나 질량감소량에 대한 시험 방법이 없으므로 이에 대한 추가가 필요함.→ 라. 질량감소량 시험 내용을 추가함(p47~48).

라. 질량감소량 시험

1) 목 적

고도정수처리시설 오존처리조에서는 물의 살균을 위한 오존처리를 실시하고 있으므로 약품에 의한 방수·방식재의 침식이 발생된다. 이러한 열화환경에서 방수·방식재의 내오존성능이 부족하게 되면 침식의 영향은 더욱 크고 빠르게 발생하게 되며, 이로 인해 방수·방식재의 두께 및 질량이 감소할 수 있다. 따라서 본 시험은 오존처리조에 시공된 방수·방식층이 열화환경에서 초기 시공 상태의 두께 및 질량을 확

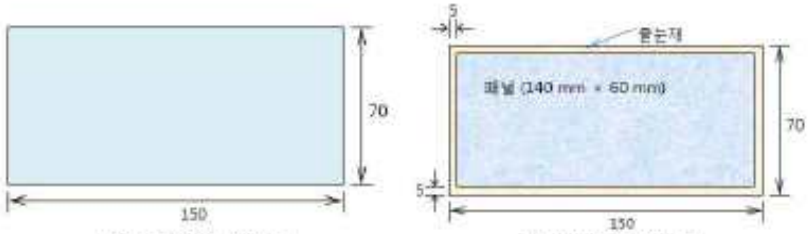
보하는지 확인하기 위한 것이다.

2) 시험 방법

① 시험체 제작

유리판 (150 mm × 70 mm × 2mm) 윗면에 소정의 두께가 확보될 수 있도록 도포 후 시험편은 온도 (20±2)℃, 습도 (65±5)%의 항온 항습기에서 7일간 양생한다.

패널의 경우는 동일한 유리판 위에 접착제를 사용하여 패널(140 mm × 60 mm)을 부착한 후, 단부는 줄눈재로 마감하여 오존수가 절단한 측면을 통하여 접촉되지 않도록 다음 <그림 13>과 같이 제작하고 제조사의 규격서에 따라 충분히 양생한다.



(a) 도막계열 시험체 (b) 패널계열 시험체

<그림 13> 질량 감소량 시험체

② 시험방법

오존처리 전 시험체의 질량을 소수점 3째자리까지 측정이 가능한 저울을 사용하여 측정하고, 오존처리 후 증류수를 사용하여 초음파로 40초간 세척 후 60℃ 챔버에서 1시간 건조시키고 표준조건에서 30분간 보관 후 질량감소량을 오존처리전과 동일한 방법으로 측정하며, 시험결과는 다음 (식 14)를 통해 질량감소량을 구하도록 한다.

질량감소량(g/m^2) =

(오존처리 전 시험체 질량(g) - 오존처리 후 시험체 질량(g)) / 시험체 면적(m^2) (식 14)

■ 배기선 위원장

(1) 자문 의견

- ✓ 도막의 경우 하자가 많이 발생하였기 때문에 기준강화가 더욱 필요함.
- ✓ 연구한 내용을 포함시켜야 함.
- ✓ 제목이 매뉴얼인데 관계자가 손쉽게 볼 수 있는 것이어야 함. 매뉴얼은 지침이나 시방서와는 다르게 알기 쉬운 매뉴얼이 될 수 있도록 수정이 필요함. 다만 기본적인 형식을 갖

추는 선에서 보는 이가 쉽게 볼 수 있도록 구성하여야 함.

✓ 연구의 배경이나 목적, 내오존에 대한 이론적 고찰 부분이 부족하여 추가가 필요함.

(2) 반영 결과

✓ 보고서의 내용을 매뉴얼 형식으로 내용이나 체계를 수정·보완 할 필요가 있음.→ 보고서 전체 내용을 재정리하여 매뉴얼 형식으로 수정함.

✓ 연구한 내용을 포함시켜야 함. → 본 연구의 내용(성능, 시방서 등)을 포함 할 예정임

✓ 내오존 방수·방식재의 3가지 공법(도막식, 부착식, 라이닝식)의 선정 근거에 과한 설명이 부가되어야 한다고 판단됨. → 내오존 방수·방식재로 적용되는 시공 방법별 분류로 도막식, 부착식, 라이닝식으로 분류되고 있으며, 이는 서울시 상수도사업본부 설계, 시공, 품질, 유지관리 지침을 분류 형식을 근거로 제시됨.

■ 박세출 팀장

(1) 자문 의견

✓ 수자원공사에서도 음용수 용출시험 항목이 너무 많아 관리에 있어 애로사항이 있음. 줄이는 것이 효율적임.

✓ 매뉴얼의 바탕처리부분에서 '샌드블라스팅' 부분을 비롯하여 각 공정을 확인하여 재검토할 필요가 있음.

✓ 매뉴얼에서 재료별로 도막의 두께를 지정하여 시공에 있어 객관성과 효율성을 높여야 함.

✓ 유지관리 시설물 점검 부분에서 일상점검은 1~2회 정기점검은 년4회로 나와 있는데 너무 많은 것으로 판단됨. 자주하게 되면 관리에 있어서 비효율적이고 현실적으로 어려움. 줄일 필요가 있음.

✓ 매뉴얼의 25쪽, 26쪽 시험성적서의 유효기간이 통일성을 갖출 것.

(2) 반영 결과

✓ 음용수 용출시험 항목 조정→음용수용출성 평가항목 및 수질기준을 수도법 시행 규칙(환경부령) 제10조(위생안전기준 44항목)으로 수정함(p41~42).

✓ 매뉴얼의 바탕처리부분에서 '샌드블라스팅' 부분을 비롯하여 각 공정을 확인하여 재검토할 필요가 있음.→ 가. 고압수 세척 추가 작성함(p27).

가. 고압수 세척

면처리는 샌드블라스팅 고압수 세척을 원칙으로 하며, 현장여건 등에 따라 필요시에는 감리자 승인하에 일반 고압수 세척을 허용한다. 샌드블라스팅 고압수 세척은 규사(4~5호)를 혼합한 물을 특수 에어 컴프레서로 고압(약 24.5 MPa)으로 분사시켜 콘크리트 바탕의 이물질 및 단차를 제거하고, 바탕 표면의 모세관을 노출시켜 후속 공정에서 사용하는 바탕조정재 혹은 방수·방식재와의 콘크리트 부착력을 더욱 증대시키는 효과를 얻을 수 있다.

- ✓ 유지관리 시설물 점검 부분에서 일상점검은 1~2회 정기점검은 년4회로 나와 있는데 너무 많은 것으로 판단됨. 자주하게 되면 관리에 있어서 비효율적이고 현실적으로 어려움. 줄일 필요가 있음.→ 본 의견은 관련 근거 자료 제시가 요구되는 사안으로 자료조사 및 연구진의 협의를 통하여 반영 예정 임.
- ✓ 매뉴얼의 25쪽, 26쪽 시험성적서의 유효기간이 통일성을 갖출 것.→ 본 의견은 관련 근거 자료 제시가 요구되는 사안으로 자료조사 및 연구진의 협의를 통하여 반영 예정 임.

■ 신홍철 선임연구원(주관기관 연구책임자)

(1) 자문 의견

- ✓ 도막 재료의 경우 오존처리 조건을 10ppm 4주간 풀려보았지만 13~15g/㎡ 정도 질량이 감소하는 것을 확인하였음. 따라서 질량변화 기준을 15g/㎡으로 정하는 것이 성능을 4년간 유지할 수 있는 것으로 추정됨.
- ✓ 5년을 내구연한으로 보려면 9주정도 시험이 필요한 것으로 추정.
- ✓ 5년이 확보 될 수 있도록 기준을 설정하고자 함.
- ✓ 안료가 많이 들어가면 내오존성능이 떨어진다. 그래서 안료를 넣지 않고 개발하고 있는 업체가 있음. 하지만 안료가 들어가지 않으면 품질관리가 어려운 점이 있음.
- ✓ 매뉴얼에 도막계 시공시 중도와 상도와의 관계를 추가할 필요가 있음.
- ✓ 시험성적서의 유효기간 관리는 발주처마다 다르지만 통상 KS의 경우는 1년이라고 보면 되고, 주로 발주처가 요구사항을 따름. 그래서 성적서의 유효기간을 1년으로 하는 것에 대한 검토가 필요함.
- ✓ 도막계는 내투수가 불필요함.
- ✓ 라이닝계나 부착계의 경우는 조인트 내투수가 필요함.
- ✓ 질량감소량은 내구성을 판단하는 기준이 되기 때문에 중요함.
- ✓ 음용수 용출성 시험은 오존에 대한 용출 시험이 어렵기 때문에 처음부터 검토가 필요함.

(2) 반영 결과

✓ 시험성적서의 유효기간 관리는 발주처마다 다르지만 통상 KS의 경우는 1년이라고 보면 되고, 주로 발주처가 요구사항을 따름. 그래서 성적서의 유효기간을 1년으로 하는 것에 대한 검토가 필요함.→ 본 의견은 관련 근거 자료 제시가 요구되는 사안으로 자료조사 및 연구진의 협의를 통하여 반영 예정 임.

✓ 도막재는 내투수가 불필요함.→ 현재 제정 작업중인 방수·방식재의 내오존성능 시험방법 및 기준(안)의 한국산업표준에 반영되어 있는 시험방법으로 이에 대한 삭제사항은 근거자료 및 연구진의 협의가 요구되어 추후 이를 반영 할 예정임.

✓ 음용수 용출성 시험은 오존에 대한 용출 시험이 어렵기 때문에 처음부터 검토가 필요함. →음용수용출성 평가항목 및 수질기준을 수도법 시행 규칙(환경부령) 제10조(위생안전기준 44항목)으로 수정함(p41~42).

■ 미야유치 히로유키 조교수

(1) 자문 의견

✓ 매뉴얼로서 실제적으로 사용 가능한 내용이 주로 들어가야 함.

✓ 매뉴얼에 제시된 내용을 보면 이대로 한다면 내오존 방수·방식재가 좋은 품질을 나타낼지 판단할 수 없음. 따라서 하나의 대안으로 여기에 적용되는 내오존 공법 기술에 대하여 전체적인 플로어나 개념도를 삽입하여 이해도를 높여야 함.

✓ 여러 가지 방수공법들이 나와 있는데 각 공법 및 재료별로 내용연수를 명기해야 함. 또는 내용연수에 따른 공법 정리가 필요.

✓ 결국 이러한 성능 기준 시험방법들에 대한 설명이 있는데 나열만 되어 있는데 서로의 상관관계를 나타낼 수 있는 표나 설명이 필요해 보임.

✓ 참고문헌 인용 명기가 필요함.

✓ 콘크리트 바탕처리에 대한 부분에 면밀한 설명이 공법별로 다를 수도 있으니 명기하여야 함.

✓ 매뉴얼이 목적과 활용 범위에 대한 부분이 미흡.

(2) 반영 결과

✓ 매뉴얼로서 실제적으로 사용 가능한 내용이 주로 들어가야 함.→ 본문 내용을 매뉴얼 형식으로 변경함.

✓ 여러 가지 방수공법들이 나와 있는데 각 공법 및 재료별로 내용연수를 명기해야 함. 또는 내용연수에 따른 공법 정리가 필요.→ 본 사안은 도막, 부착, 라이닝 별로 적용되는 재료

마다 내용연수가 서로 상이하기 때문에 내용 연수 명기는 현실적으로 다소 어려움이 있을 것으로 판단됨.

- ✓ 결국 이러한 성능 기준 시험방법들에 대한 설명이 있는데 나열만 되어 있는데 서로의 상관관계를 나타낼 수 있는 표나 설명이 필요해 보임.→ 본 사안을 반영하여 그림, 표, 도식 등을 이용하열 본문에 삽입함.
- ✓ 참고문헌 인용 명기가 필요함.→ 본문에 인용문헌 명기함.
- ✓ 콘크리트 바탕처리에 대한 부분에 면밀한 설명이 공법별로 다를 수도 있으니 명기하여야 함.→바탕정리에 대한 사항은 도막식과 부착식, 라이닝으로 크게 2형식으로 구분하여 각각 본문에 정리함.
- ✓ 매뉴얼이 목적과 활용 범위에 대한 부분이 미흡.→추가 반영함.

■ 김수련 선임연구원

- ✓ 품질규격(안)과 매뉴얼의 품질기준 통일시켜야 함.→본문에 반영함.

■ 송제영 소장

- ✓ 매뉴얼에서 '시트' 라는 용어를 '라이닝' 으로 통일.
- ✓ 다른 품질규격들을 검토하여 기준을 설정해야 함.

■ 최성민 수석 연구원

- ✓ 라이닝은 부착이 필요하지 않기 때문에 부착강도를 보는 것은 현실적이지 못함.
- ✓ 음용수 용출에 대한 부분 항목에 대한 의견이 있었는데 기본적으로 음용수 용출은 이대로 유지되어야 한다고 생각함.→음용수용출성 평가항목에 있어서는 자문회의에 참석한 전문가의 다수가 수질기준을 수도법 시행 규칙(환경부령) 제10조(위생안전기준 44항목)으로 수정 의견의 반영하였으므로 이를 반영함(p41~42).

■ 이진용 위원장

- ✓ 아해 제품을 주로 사용하고 있는데 이유는 기존의 업체보다 규모가 크고 품질관리 및 단가면에서 경쟁력이 있기 때문. 현재 배수지, 수영장에 시공을 직접 해본 결과 시공에 있어 하자가 발생 많이 문제점이 있음. 주로 염소 배수지에 납품을 해본 결과 공사에 있어 습기 제거가 어려움. 따라서 습윤면에 대한 내용 추가, 습도 기준이나 함수율 기준이 필요함.
- ✓ 매뉴얼을 보면 주로 신축 구조물에 포커싱 되어 있지만 보수 보강 면에서도 매뉴얼 작성

이 필요함.

- ✓ 음용수 시험 항목에 있어서 최근 거의 200개로 늘어나 여러 기관에 많은 비용이 지출되고 있는 실정임. 서울시 상수도 사업본부에서 한군데서 시험이 가능하도록 건의함. 작은 업체들에서 비용 때문에 진출이 어려워 포기하고 있음.
- ✓ 11페이지에 도막재를 에폭시에 한정한 것인지 오해의 소지가 있으니 대명사로 명기 해야함.

(2) 반영 결과

- ✓ 아래 제품을 주로 사용하고 있는데 이유는 기존의 업체보다 규모가 크고 품질관리 및 단가면에서 경쟁력이 있기 때문. 현재 배수지, 수영장에 시공을 직접 해본 결과 시공에 있어 하자가 발생 많이 문제점이 있음. 주로 염소 배수지에 납품을 해본 결과 공사에 있어 습기 제거가 어려움. 따라서 습윤면에 대한 내용 추가, 습도 기준이나 함수율 기준이 필요함. → 습윤면 및 함수율 기준을 본문 내용에 추가 반영함.
- ✓ 매뉴얼을 보면 주로 신축 구조물에 포커싱 되어 있지만 보수 보강면에서도 매뉴얼 작성이 필요함. → 2.3 기존 오존처리조 보수공사의 시공에 추가 작성함(p55~66).
  - 기존 오존처리조의 보수공사의 표준적인 공정
  - 단계별 검사
  - 바탕정리 및 보수·보강 일반 사항
  - 보수재료
  - 보수시공방법
- ✓ 음용수 시험 항목에 있어서 최근 거의 200개로 늘어나 여러 기관에 많은 비용이 지출되고 있는 실정임. 서울시 상수도 사업본부에서 한군데서 시험이 가능하도록 건의함. 작은 업체들에서 비용 때문에 진출이 어려워 포기하고 있음.
- ✓ 11페이지에 도막재를 에폭시에 한정한 것인지 오해의 소지가 있으니 대명사로 명기 해야함.→본문 수정 처리함.

■ 김인규 과장

- ✓ 수도법에 따라 수도협회에서 요구하는 음용수 용출시험 항목들이지 서울시 상수도 사업본부에서 요구하는 사항이 아님.
- ✓ 음용수 용출성 시험은 삭제해도 문제 없어 보임. 이미 서울시 상수도 사업본부에 들어오는 내부 방수·방식재들은 KC인증에서 음용수 용출성 시험을 받아 합격한 제품들이기 때문에 중복할 필요가 없음. 따라서 내오존 성능 확보만 확인이 되면 됨. <KC 인증을 받은 것으로 함>이라는 문구를 삽입.

✓ 오존처리 조건을 강화. 기존에 영등포 정수장에서 10ppm에 300시간 실험을 해보았지만 1년을 견디지 못했다.

✓ 질량변화량이 아니라 변화율로 해야 함.

✓ 최근에는 도막계를 거의 사용하지 않고, 타일로 시공하고 있음.

✓ 점검 횟수 부분은 수도시설 점검기준을 따르면 무리가 없을 것으로 보임.

(2) 반영 결과

✓ 음용수 용출성 시험은 삭제해도 문제없어 보임. 이미 서울시 상수도 사업본부에 들어오는 내부 방수·방식재들은 KC인증에서 음용수 용출성 시험을 받아 합격한 제품들이기 때문에 중복할 필요가 없음. 따라서 내오존 성능 확보만 확인이 되면 됨. <KC 인증을 받은 것으로 함>이라는 문구를 삽입.

✓ 수도법에 따라 수도협회에서 요구하는 음용수 용출시험 항목들이지 서울시 상수도 사업본부에서 요구하는 사항이 아님.

→ 수질기준을 수도법 시행 규칙(환경부령) 제10조(위생안전기준 44항목)으로 수정 의견의 반영하였으므로 이를 반영함(p41~42).

2. 시공 및 품질관리 매뉴얼(안)

부록 1.

고도정수처리시설용 내오존성 방수·방식재료의 시공, 품질, 유지관리 매뉴얼(안)

2013. 08.

주관연구기관 : 한국건설생활환경시험연구원
공동연구기관 : (주)아해
위탁연구기관 : 서울과학기술대학교 산학협력단
위탁연구기관 : 충북대학교 산학협력단
참여기관 : 삼주에스엠씨
참여기관 : (주)스페이스인코
참여기관 : (주)매일종합건설

- 목 차 -

제1장 고도정수처리시설 오존처리조의 내오존 방수·방식 공법

1. 고도정수처리시설의 이해 ····· 1
1.1 고도정수처리시설 ····· 1
1.2 고도정수처리시설의 오존처리 ····· 1
1.3 고도정수처리시설의 관련 법규 ····· 4
2. 방수(防水)·방식(防蝕) 기술의 필요성 ····· 4
2.1 방수의 필요성 ····· 4
2.2 방식의 필요성 ····· 8
3. 오존에 의한 열화 및 이에 대한 대책 ····· 17
3.1 오존에 의한 열화 ····· 17
3.2 오존에 의한 열화 대책 ····· 18
4. 고도정수처리시설 오존처리조의 내오존 방수· 방식 공법 ····· 19

제2장 고도정수처리시설 오존처리조의 내오존 방수·방식 공법 시공 매뉴얼

1. 개요 ····· 21
1.1 목적 및 적용 범위 ····· 21
1.2 용어의 정의 ····· 21
1.3 시공 일반사항 ····· 23
2. 내오존 방수·방식재료의 도막(도포)공법 ····· 36
2.1 시공 공정 ····· 36
2.2 시공 방법 ····· 36
2.3 완료 검사 ····· 37
3. 내오존 방수·방식재의 라이닝공법 ····· 39
3.1 시공 공정 ····· 39
3.2 시공 방법 ····· 40
3.3 상황 검사 ····· 42
3.4 완료 검사 ····· 42
4. 내오존 방수·방식재의 부착공법 ····· 43
4.1 시공 공정 ····· 43
4.2 시공 방법 ····· 44
4.3 상황 검사 ····· 44
4.4 완료 검사 ····· 44

제3장 고도정수처리시설 오존처리조의 내오존 방수·방식 공법 품질 매뉴얼

1. 개요 ····· 46
1.1 목적 및 적용 범위 ····· 46
1.2 용어의 정의 ····· 46
1.3 내오존 방수·방식 공법의 요구 성능 ····· 47
2. 내오존 방수·방식재의 품질 관리 ····· 48
2.1 일반사항 ····· 48
2.2 품질시험 종류 ····· 49
2.3 품질시험 및 평가기준 ····· 52
3. 내오존 방수·방식재의 품질시험 방법 ····· 54
3.1 시험방법 종류 ····· 54
3.2 품질시험 순서 ····· 60

제4장 고도정수처리시설 오존처리조의 내오존 방수·방식 공법 유지관리 매뉴얼

1. 개요 ····· 62
1.1 목적 및 적용 범위 ····· 62
1.2 오존처리조의 유지관리 내용 ····· 62
1.3 오존처리조의 시설 점검 방법 ····· 63
1.4 오존처리조의 유지관리 기록 ····· 64
2. 기존 오존 처리조의 보수 ····· 65
2.1 기존 오존처리조의 보수목적 ····· 65
2.2 기존 오존처리조의 조사 ····· 65
2.3 기존 오존처리조의 진단 ····· 66
2.4 기존 오존처리조의 보수 시공 ····· 70

《 참고문헌 》 ····· 83
《 첨부자료.1 》 ····· 84
《 첨부자료.2 》 내오존 방수·방식 공법 공사시방서 ····· 96

제 4장 목표 달성도 및 관련분야의 기여도

1. 연구목표 달성도

번호	세부연구목표	달성내용	달성도 (%)
1	내오존성 방수·방식재 개발	- 용존오존 열화인자에 저항성이 우수한 합성수지의 디자인 설계 및 정립 - 탄소나노튜브를 이용한 하이브리드 내오존성 코팅제 조성물 및 그 제조방법, 실리콘계 불소변성 수지를 이용한 방수·방식재 개발 및 특허 - 방수·방식재 성능평가 - 방수·방식재 시제품 개발 - 신기술인증 1건	100
2	촉진 오존환경 평가장비 장비 구축	- 성능평가를 위한 장비사양 설계 - 오존농도, 수위 및 온도변화에 의한 열화인자 포함 - 장비운영 중 장비 부속품 산화에 의한 내구성 향상 - 장비의 신뢰도 향상 - 평가장비의 신뢰성 확보를 위한 고내구성 부품의 교체 및 개선 - 현장성을 모사한 수온조절 및 일정한 용존오존 투입을 위한 전용 수조 설계 및 설치 완료 - 방수/방식공법 설계 - 촉진 내오존성능 평가기반 구축 - 개발된 장비를 활용한 시험의뢰 실시 - 평가장비를 활용한 신기술 지정	100
3	시공 및 품질관리 매뉴얼(안)	- 서울시 및 수자원공사의 방수·방식공사 시방서 조사 및 분석 - 고도정수처리시설 오존처리조의 내오존 방수·방식 공법 정리 - 각 공법별 시공 및 품질관리 공정 정립 - 오존에 의한 열화 대책 수립 정리 - 지침에 사용하는 언어 정의 - 품질평가 기준 및 유지관리 방법(안) 정립 - 서울시 고도정수처리시설의 내오존 방수·방식재 도입 시 본 매뉴얼 활용	100
4	국내·외 학술발표대회 14건	- 2011년 춘계 대한건축학회 학술발표대회 2건 - 2011년 춘계 한국콘크리트학회 학술발표대회 2건 - 2011년 춘계 일본건축학회 학술발표대회 1건 - 2011년 한중일 방수 심포지엄 1건	초과 달성

		- 2011년 추계 한국콘크리트학회 학술발표대회 2건 - 2012년 춘계 대한건축학회 학술발표대회 1건 - 2012년 춘계 한국콘크리트학회 학술발표대회 2건 - 2012년 한일건축재료 조인트 심포지엄 2건 - 2012년 추계 한국화학공학회 학술발표대회 1건	
5	국내 학술지 논문게재 5건	- 한국유화학회 자외선 경화형 유/무기 코팅제의 복합 필름 특성, 2011. 6 - 한국화학공학회, 불소 단량체를 이용한 자외선 경화형 내 오존성 코팅 막 제조, 2012. 6 - 대한건축학회, 오존에 의한 방수·방식재 표면의 품질변화에 대한 성능평가 연구, 2012. 3 - 대한건축학회, 고도정수처리용 내오존 불서변성 우레탄 아크릴레이트 방수·방식재의 개발을 위한 기초적 연구, 2012. 8 - 구조물진단학회, 내오존 방수·방식재의 프라이머 종류별 역수압 작용 및 시간경과에 따른 부착강도 특성에 관한 연구, 심사 중	100
6	신기술 인증 1건	- 내오존성이 우수한 고도정수 처리시설용 방수, 방식재 제조기술, 한국산업기술진흥협회, 2013. 7. 18	100
7	특허등록 1건 특허출원 2건	- 특허등록, 내오존성이 우수한 콘크리트 구조물의 표면 도장공법, 2012. 12. 10,10-1212572-0000 - 특허출원, 탄소나노튜브를 이용한 하이브리드 내오존성 코팅제 조성물 및 그 제조방법, 2012. 8. 30, 10-2012-0095665 - 특허출원, 내오존성 및 내산화성이 우수한 콘크리트 구조물의 표면도장 공법, 2013. 8. 21, 10-2013-0099124	초과달성
8	KS 규격(안)	- 국가규격제안을 위한 관공서 및 전문가 초청 회의 - 국가규격제안의 선정을 위한 관공서 실무자 및 전문가 초청 회의 - 고도정수처리장용 방수·방식재의 요구성능 분석 - 시험항목 및 기준 설정 - 열화현상을 재현하는 오존처리 요인 도출 - 오존농도, 오존 노출시간 및 수위변화 방법 설정 - 기술표준원 9월 중 제출예정 - KS 규격(안)에 따른 시험의뢰	100

2. 관련분야 기여도

가. 고내구성 방수·방식용 재료 개발

현재 국내에서 유통 사용되고 있는 방수·방식 재료들은 용도별로 각각 분류되어 있으나 용

도를 정확히 구분하지 못한 채 재료 자체의 성능만으로 시공되고 있는 실정으로써 하자 발생 우려가 높다. 따라서 본 연구과제를 계기로 고농도 오존조건에 적합한 방수와 방식을 겸용한 소재의 개발과 관련 산업의 연구개발을 통한 시장의 활성화를 기대할 수 있다.

나. 유지보수 비용부담 감소를 위해 SOC사업에 확대적용

본 연구과제를 계기로 국내 상수도 기반시설인 배수지 등의 상수도 저장시설의 방수·방식재 내구성 향상 유도를 통해 사회적 비용 절감할 수 있다.

다. 국내 고도정수처리 시설용 방수·방식재 평가기반 확충

정수장 환경조건을 응용한 실내 촉진 내구성 평가시스템 구축 및 활용이 가능하며, 고도수처리시설 표면보호재료 평가를 위한 국가표준 보급하여 관련 분야의 기술적 발전을 유도할 수 있다.

라. 수질 및 토양 오염방지

본 연구개발결과 고성능 방수·방식 재료는 유기용제 함유 Zero로써 현장 작업 시에도 유기용제 없이 시공이 가능하며, 시공완료 후 완성품의 경우에도 유기금속화합물 배출이 전혀 없어 수질 및 토양의 오염 방지가 가능하다.

마. 동종의 선진국 업체와 기술력 격차 최소화

재료에 대한 가공기술 및 응용분야, 작업자의 기술수준이 높기 때문에 국내기술로도 충분히 목표수준에 도달하였다. 또한, 개발하고자하는 제품의 최종목표도 고내구성의 품질을 확보하기 위해 세계적 수준의 제품과 비교하여 동등 이상의 품질확보하였다.

제 5장 연구개발결과의 활용계획

취수지역의 수질오염이 날로 심각해지면서 고도정수처리를 위한 오존의 고농도화 및 처리시간의 증가에 따라 내오존성능 및 내구성이 향상된 방수·방식공법의 개발이 요구되는 시점임. 따라서 본 내오존성이 우수한 고도정수처리시설용 방수·방식재 및 시공기술은 고도수처리 시설에 적용되는 방수·방식 관련 국내제품 성능향상 및 유지보수 비용 절감을 위한 공법으로 활용될 것으로 사료된다. 본 연구가 진행되어 3차년도에는 개발된 시제품을 서울시 상수도사업본부의 전문가 자문 및 협조를 얻어 방수·방식재의 충북 오창의 종합건축시험장에서 Mock up 시험, 현장적용 시험을 통하여 성능을 검증하고 제품 및 공법에 대한 LCC를 분석하여 현장적용이 가능한 제품을 개발할 예정이며, 또한, 개발된 제품이 서울시 및 각 지자체에 사용될 수 있도록 매뉴얼을 작성하여 콘크리트학회 및 대한건축학회 방수위원회의 검증을 받아 공공성을 확보하여 현장에 적용될 수 있도록 할 예정이다.

표 73. 연구결과의 활용계획

구 분	활용계획
현장적용 및 공법 실용화	▪ 고내구성 방수·방식 재료 및 시공시스템 보급 ▪ 현장 적용을 위한 방수·방식재 품질관리 및 설계/시공지침 보급 ▪ 고도정수처리 시설 방수·방식재 품질 기준(안) 마련 ▪ 내오존 방수·방식재 개발을 바탕으로 한 방수·방식 신기술 인증
기술전파	▪ 고도수처리시설 내구수명 증진을 위한 방수·방식 분야 기술 전파 ▪ 오존접촉지 노후 방식재 제거 및 보수시공 기술 전파 ▪ 다양한 건설부재 및 시공 조건별 시공기술 교류 ▪ 평가 장비 분야 기술교류 ▪ 오존 접촉 환경용 방수·방식재 평가기술 전파 ▪ 국내외 방수 및 방식협회, 수처리시설 설계분야와 기술교류 ▪ 해외진출 대형 국내외 건설사와 연계하여 기술공유
제조기술 확보	▪ 선진국 품질수준의 국내 방수·방식재 제조공정 기술 개발 ▪ 환경조건별 제품 제조기술 확립 ▪ 환경 친화적인 제품제조기술 확립 ▪ 방수·방식 분야의 사용 용도에 따른 체계적인 데이터화 가능
응용산업 육성	▪ 수처리 시설용 소재 관련 산업 발전 ▪ 신뢰성이 우수한 평가장비 관련 산업 발전

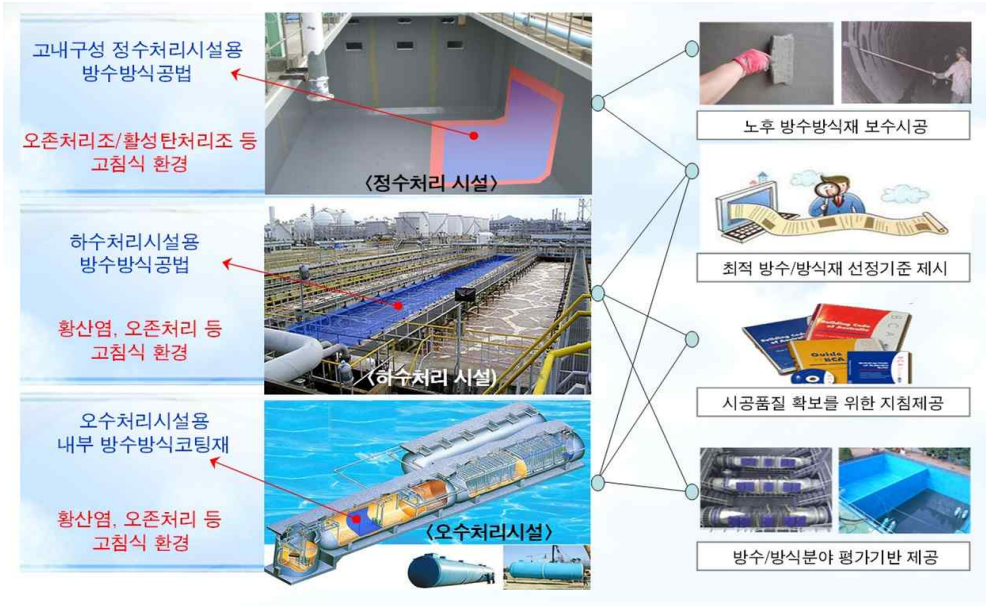


그림 172. 연구성과물의 활용 방안

· (주)아해는 세계적 품질수준의 불소·실리콘계 하이브리드 소재를 이용한 방수·방식 시스템 구축하여 시공품질 매뉴얼과 품질관리 지침을 활용하여 현장에 적용할 예정이다.
· (주)삼주SMC는 고도정수처리시설 현장시공의 문제점 보완하기 위해 시공품질 관리 매뉴얼을 활용하고, 신공법 개발에 활용할 예정이다.
· (주)스페이스인코는 고도정수처리 시설용 방수·방식재 자료정립 및 실시설계와 시설 유지관리 공사 및 개발기술의 현장적용에 활용할 예정이다.
· (주) 매일종합건설은 내오존 에코 패널 부착식 공법 개발에 대한 기술 자문 및 시험평가를 통한 신공법 개발에 활용할 예정이다.

제 6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제1절 해외 고도정수처리시설의 현황

덴마크, 독일과 프랑스 등의 유럽국가 들은 수자원을 통합관리 하는 시스템을 구축하고 상수와 하수를 일원화하여 수량과 오염 부하량에 따라 처리비용을 징수하는 체제를 사용하고 있다. 덴마크는 심각한 적조문제를 해결하기 위하여 Action Plan 수립('87년 환경계획위원회)하여 질소와 인을 각각 50%와 80% 제거하기 위한 수단으로 1987년 10%의 고도처리율을 1997년 80%로 확충하여 운영하고 있다. 이에 비해 독일과 프랑스의 고도처리는 10%~25% 미만으로 운영하는 반면 2차 처리인 활성탄 폭기조 공법에서 최종적으로 맛과 냄새를 제거하는 공정을 대부분 적용하고 있다

1. 덴마크

1997년 상/하수 처리율 100% 달성하였으며, 현재 도시 상/하수 처리장 1,657개소와 폐수처리장 101개소가 가동 중에 있으며, 전체 상/하수처리장의 약 80 %가 고도처리시설로 되어 있으며 활성탄 폭기조에 의한 하수처리장이 약 20% 정도 차지한다. 10여년전 심각한 적조문제를 해결하기 위해 Action Plan을 수립('87년 환경계획위원회)하고 질소와 인을 각각 50%와 80% 제거하기 위한 수단으로 도시하수의 영양염류제거, 농경지의 비점오염원의 제거, 대기중의 질소산화물 저감, 국제적인 규제항목의 보강 등의 정책을 추진하여 종합적인 물관리 대책이 성공한 나라중의 하나이다. 덴마크 Nordkysten시에 위치하고 있으며 처리방식은 PID(Phased Isolation Ditch: Bio-Denipho)공법으로 운영하고 있다. 평균 6,500㎥/d의 하수를 처리하고 있으며 연평균 처리수질은 BOD 15㎎/ℓ이하, T-N 8㎎/ℓ이하, T-P 1.5㎎/ℓ이하로 유지되는 것으로 나타나 있다. 또한, 고도처리시설에 사용되는 고내마모성의 방수•방식재를 복합시스템의 부품으로 포함하여 안전한 음용수를 제공하는데 노력하고 있다

2. 독일

독일은 1997년 상/하수처리율 95% 달성하였으며, 구 서독 지역에만 상/하수처리장 15 000개소이상이 가동 중이며, 전체 상/하수처리장의 약 10 %가 고도처리시설로 되어 있으며 활성접촉조에 의한 상/하수처리장이 약 90 % 정도 차지한다. 정수처리장의 관리는 기초지방자치단체에서 건설·운영하며, 덴마크와는 달리 활성 접촉공법을 개량하여 접촉조에 메디아를 충진하여 처리효율을 극대화시키고 있다. 독일의 일반적인 활성 접촉공정은 공극이 많은 약 10~12㎜ 크기의 활성탄을 접촉조 안을 마음대로 움직일 수 있게 한 공정이다. 이때, 활성탄의 움직임으로 인한 시설내부의 방수·방식재의 표면 마찰을 증가시켜 정수처리효율을 저하시킨다는 문제점을 일찍이 인지하여 적용 가능한 소재를 개발하여 현장에 적용하고 이에 대한 연구

도 활발히 진행되고 있다. 독일은 화학산업의 기술력을 바탕으로 세라믹을 함유한 고내마모성의 방수·방식재를 개발하여 정수처리장의 구조물보호를 통한 처리효율을 향상시키고 있다

3. 프랑스

프랑스는 전국을 6개의 권역으로 구분하여 수질관리를 하고 있으며 10 000여개소 이상의 하수처리장이 가동 중에 있다. 전체 상·하수처리장의 약 25 %가 고도처리시설로 되어 있으며 활성 접촉에 의한 상·하수처리장이 약 75 % 정도 차지한다. 상·하수처리장의 관리는 기초지방자치단체에서 건설·운영하며, 독일과 마찬가지로 활성 접촉공법에 세라믹을 함유한 개질된 방수·방식재를 도입하여 공정의 처리효율을 극대화시키고 있다

4. 일본

오사카시의 수원인 비와코에서는 1981년 이후 거의 매년 곰팡이 냄새가 발생하여, 취수된 수도에 이상냄새 및 맛이 생기는 원인을 계기로 수도수질의 개선을 목적으로 오존 처리 및 입상 활성탄(GAC) 처리를 도입하였으나, 일본에서도 정수처리시설의 방수방식재의 내구성의 저하문제로 처리시설의 효율이 감소하여 이를 보완하기 위한 코팅제의 개발로 현재, 세계적인 화학기업을 선두로 실리콘/실란화합물계의 코팅제를 개발하여 원천기술의 확보와 더불어 세계적으로 기술과 제품을 수출하고 있다. 아래 표는 일본에서 현재까지 운영하고 있는 고도정수처리시스템에서 적용하는 활성탄 처리시설의 개요를 나타내었다. 아래 표에서와 같이 활성탄의 도입과 더불어 고내마모성 및 고내구성의 방수·방식재의 연구개발도 활발하게 진행되었음을 유추할 수 있다

표 74. 고도정수처리시스템 (활성탄 처리시설) 개요일람

	도쿄도 수도국		오사카부 수도부			
설치장소	카네마치정수장	미사토 정수장	무라노정수장(평면)	무라노정수장(지층)	미시마정수장	니와쿠보정수장
도입목적	①곰팡이냄새 ②암모니아성질소 ③음이온계면활성제	①곰팡이냄새 ②암모니아성질소 ③음이온계면활성제 ④트리할로메탄	①곰팡이냄새의 제거 ②트리할로메탄의 저감			
도입효과	①②생물활성탄처리의 조합으로 100 % 제거 가능 ③생물활성탄처리의 조합으로 80 % 제거 가능 ④생물활성탄처리의 조합으로 60 % 제거 가능		①오존처리의 조합으로 곰팡이새가 거의 완전히 제거 가능하다. ②오존처리의 조합으로 트리할로메탄농도를 대략 1/3로 제거 가능하다.			
탄층방식	중력고정상밀폐식	중력고정상밀폐식	중력식, 고정층 자연평형식	중력식, 고정층 자연평형식	중력식, 고정층 자연평형식	중력식, 고정층 자연평형식
처리대상수	중오존 처리수	중오존 처리수	후오존 처리수	후오존 처리수	후오존 처리수	후오존 처리수
지면적(m^3), 지수	100 m^2, 24지	98 m^2, 28지	113 m^2, 32지	141 m^2, 12지×2동	109 m^2, 10지	66 m^2, 6지×1(2)동
처리수량(m^3/일)	520,000	550,000	1,247,000	550,000	330,000	101,500(203,000)
공간속도(1/h)	4.2	4.2	6	6	6	6
탄층높이(m)	2.5	2.5	2.7	1.4	2.5	2.3
선속도(m/h)	10.4	10.4	16.2	8.4	15	13.8
입경(nm)	1.2	유효경 1.2	1.0	1.0	1.0	1.0
균등계수	1.3	1.3	1.5~1.9	1.5~1.9	1.5~1.9	1.5~1.9
활성탄량(m^3)	6000	6860	약9,800	약4,700	약2,700	약900(1,800)
하부집수장치방식	노즐방식 포라스콘크리트방식	포라스콘크리트방식	유니트식 다공판	다공판	유니트식 다공판	유니트식 다공판
세정방식	공기·물 동시세정	공기·물 동시세정	공기·물 동시세정	블로워방식	블로워방식	블로워방식
공기세정속도 공기세정시간(분)	0.6 m^3/m^2·분 4분	0.6 m^3/m^2·분 3.5분	0.8 m^3/m^2·분 5분	0.8 m^3/m^2·분 5분	0.8 m^3/m^2·분 5분	0.8 m^3/m^2·분 5분
수역류세정속도 수역류세정시간(분)	0.6 m^3/m^2·분×5분 0.8 m3/m2·분×10분	0.3 m^3/m^2·분×3.5분 0.8 m3/m2·분×7분	0.4 m^3/m^2·분 약15분	0.4 m^3/m^2·분 약15분	0.5 m^3/m^2·분 약15분	0.4 m^3/m^2·분 약15분
세정수	장내급수	자기처리수	자기처리수	자기처리수	자기처리수	자기처리수
비오존 처리방식 처리목표	활성탄분해방식 대기오존농도 0.06 ppm 이하	활성탄 분해방식 0.06 ppm이하	활성탄접촉분해법 대기오존농도 0.06 ppm이하	활성탄접촉분해법 대기오존농도 0.06 ppm이하	활성탄접촉분해법 대기오존농도 0.06 ppm이하	활성탄접촉분해법 대기오존농도 0.06 ppm이하
제어방식	시켄서제어	시켄서제어 터치판넬 조작	시켄서제어 터치판넬 조작	시켄서제어 터치판넬 조작	시켄서제어 터치판넬 조작	시켄서제어 터치판넬 조작
오존농도계 측정방식	자외선 흡입식	자외선 흡입식	자외선 흡입식	자외선 흡입식	자외선 흡입식	자외선 흡입식
용존오존 농도측정방식	기상치환식	기상치환식	기상치환식	기상치환식	기상치환식	기상치환식
가동년월	1996년 4월	1999년 4월	1998년 7월	1994년	1998년 7월	1998년 7월
활성탄의 재생주시	5년 재생 및 7년 갱신 조합	처리상황을 보고 나중에 판단	5년 이상 갱신주기 지내개방점검	5년 이상 갱신주기 지내개방점검	5년 이상 갱신주기 지내개방점검	5년 이상 갱신주기 지내개방점검

※ 괄호 내는 장래 계획값을 나타낸다.

표 75. 고도정수처리 시스템(활성탄 처리시설) 개요일람

사업체	오사카시 수도국			
설치장소	시지마 정수장	시지마 정수장(상계)	니와쿠보 정수장	토요노 정수장
도입목적	이상냄새 및 맛의 제거 및 트리할로메탄의 저감을 포함한 종합적 수도수질의 개선			
도입효과	① 오존처리와의 조합에 의한, 이상냄새 및 맛의 완전 제거 ② 오존처리와의 조합에 의한 정수처리에 비해 트리할로메탄의 삭감 ③ 오존 처리와의 조합에 의한 병원성 미생물에 대한 안전성의 향상			
탄층방식	중력식, 고정층 하강류, 자연평형식			
처리대상수	후 오존 처리수			
지면적(m^2), 지수	101.4 m^2×12지	112.7 m^2 × 14지	116.9 m^2×16지	109.6 m^2×10지
처리수량(m^2/일)	535 500	703 500	840 000	472 500
공간속도(1/h)	9.5	9.5	9.5	9.5
탄층높이(m)	2.1	2.1	2.1	2.1
선속도(m/h)	20	20	20	20
입경(mm)	0.55이상 1.9이하	0.55이상 1.8이하	0.55이상 1.8이하	0.55이상 1.8이하
균등계수	1.5이상 1.9이하	1.5이상 1.9이하	1.5이상 1.9이하	1.5이상 1.9이하
활성탄량(m^3)	약 2 556	약 3 314	약 3 928	약 2 302
하부집수장치방식	유니트식 다공판	유니트식 다공판	유니트식 다공판	유니트식 다공판
세정방식	수·공기병용세정	수·공기병용세정	수·공기병용세정	수·공기병용세정
공기세정속도(m/min) 공기세정시간(분)	0.83 5	0.83 5	0.83 5	0.83 5
수역류 세정속도(m/min) 수역류 세정시간(분)	0.2→0.6→0.2 5→10→10	0.2→0.6→0.2 5→10→10	0.2→0. →0.2 5→10→10	0.2→0.6→0.2 5→10→10
세정수	정수	정수	정수	정수
비오존처리방식 처리목표	망간촉배+활성탄 대기오존 농도 0.06 ppm 이하	망간촉배+활성탄 대기오존 농도 0.06 ppm 이하	망간촉배+활성탄 대기오존 농도 0.06 ppm 이하	망간촉배+활성탄 대기오존 농도 0.06 ppm 이하
제어방식	시켄서 제어 CRT 화면조작	시켄서 제어 CRT 화면조작	시켄서 제어 CRT 화면조작	시켄서 제어 CRT 화면조작
오존농도계측정방식	자외선 흡입식	자외선 흡입식	자외선 흡입식	자외선 흡입식
용존 오존농도 측정방식	흡광광도법	흡광광도법	흡광광도법	흡광광도법
가동년월	1998년 3월	2000년 3월	1999년 3월	2000년 3월
활성탄의 재생주기	검토 중			

표 76. 고도정수처리시스템 (오존 처리시설) 개요일람

	도쿄도 수도국		오사카부 수도부			
설치장소	카네마치정수장	미사토 정수장	무라노정수장(평면)	무라노정수장(지층)	미시마정수장	니와쿠보정수장
도입목적	①곰팡이냄새	①곰팡이냄새	①곰팡이냄새의 제거 ②트리할로메탄의 저감			
	②암모니아성질소	②암모니아성질소				
	③음이온계면활성제	③음이온계면활성제				
		④트리할로메탄				
도입효과	①②생물활성탄처리 조합으로 100 % 제거 가능 ③생물활성탄처리 조합으로 80 % 제거 가능 ④생물활성탄처리 조합으로 60 % 제거 가능		①활성탄처리의 조합으로 곰팡이새가 거의 완전히 제거 가능하다. ②활성탄처리의 조합으로 트리할로메탄농도를 대략 1/3로 제거 가능하다.			
처리방법	중력고정상밀폐식	중력고정상밀폐식	중력식, 고정층 자연평형식	중력식, 고정층 자연평형식	중력식, 고정층 하강류, 자연평형식	중력식, 고정층 하강류, 자연평형식
처리대상수	중오존 처리수	중오존 처리수	후오존 처리수	후오존 처리수	후오존 처리수	후오존 처리수
최대주입율(mg/L)	3	3	2(3)	2(3)	2(3)	2(3)
처리수량(m3/일)	520,000	550,000	1,247,000	550,000	330,000	101,500(203,000)
오존발생방식	무성방전	무성방전	무성방전	무성방전	무성방전	무성방전
오존발생기 방식	원통다관식	원통다관식	원통다관식	원통다관식	원통다관식	원통다관식
오존원료	공기	공기	공기	공기	공기	공기
발생오존농도(g/Nm^3)	20	20	20	20	20	20
발생기용량(kg/H· 대)	18	31	27.5	6.25	11	4.5
발생기대수	5	4	5(7)대	5(7)대×2계통	4(5)대	3(4)대×2계통
공기원방식식	루트방식	루트방식	블로워방식	블로워방식	블로워방식	블로워방식
이슬점 온도	-50℃ 이하	-60℃ 이하	-60℃ 이하	-60℃ 이하	-60℃ 이하	-60℃ 이하
접촉방법	상하 우류향류식 3단	향류식 3단	향류식 2단	향류식 2단	향류식 3단	향류식 2단
접촉지수	10	12	8지	4지×2동	4지	2지×2동
접촉시간(분)	12	12	7.5	8	7.8	9.5
산기방식	산기관방식	산기관방식	산기관방식	산기관방식	산기관방식	산기관방식
산기비율	3:2:1	1:1;1	7:5:3	6:4	7:5:3	6:4
산기본수	960본	864본	1440본	160본×2동	384본	112본×2동
비오존 처리방식	망간촉매방식 가온+망간촉매	이산화망간 촉매방식+입상활성탄	이산화망간 촉매 접촉분해법+특수활성탄	이산화망간촉매 접촉분해법+특수활성탄	이산화망간촉매 접촉분해법+특수활성탄	이산화망간촉매 접촉분해법 + 특수활성탄
제어방식	용존오존농도제어	주입율제어	주입율제어	주입율제어	주입율제어	주입율제어
제어지표	용존오존농도	용존오존농도	용존오존농도	용존오존농도	용존오존농도	용존오존농도
오존농도계 측정방식	자외선 흡입식	자외선 흡입식	자외선 흡입식	자외선 흡입식	자외선 흡입식	자외선 흡입식
용존오존 농도측정방식	기상치환식	기상치환식	기상치환식	기상치환식	기상치환식	기상치환식
가동년월	1996년 4월(2기)	1999년 4월	1998년 7월	1994년	1998년 7월	1998년 7월
정기점검 주기 (오존 발생기)	일상 순회점검만 실시	일상 순회점검만 실시	1년 확인점검 애자청소	1년 확인점검 애자청소	1년 확인점검 애자청소	1년 확인점검 애자청소
정비주기 (오존 발생기)	1992년~1999년 약 3년마다 개방점검 발생관등의 점검청소	2002년이후, 3년마다 실시예정	1992년~1994년개 방점검 관내내부 청소 방전관청소	1992년~1994년 개방점검 관내내부 청소 방전관청소	1992년~1994년 개방점검 관내내부 청소 방전관청소	1992년~1994년 개방점검 관내내부 청소 방전관청소

※ 괄호내는 장래계획값을 나타낸다.

표 77. 고도정수처리시스템 (오존 처리시설) 개요일람

사업체	오사카시 수도국												
	시지마 정수장(상계)			시지마 정수장(하계)			니와쿠보 정수장					토요노 정수장	
	2계중오존	4계중오존	2,4계공통후오존	1계중오존	3계중오존	1,3계공통후오존	1계중오존	2계중오존	3-1계중오존	3-2계중오존	1-3계공통후오존	중오존	후오존
도입목적	이상냄새 및 맛 제거와 트리할로메탄의 저감을 포함한 총합적인 수도수질의 개선												
도입효과	① 입상활성탄처리와의 조합으로, 이상냄새와 맛의 완전제거 ② 입상활성탄처리와의 조합으로 크립토스포리지움등의 병원성 미생물에 대한 안전성의 향상												
처리방법	중오존 처리		후오존 처리	중오존 처리		후오존 처리	중오존 처리				후오존 처리	중오존처리	후오존처리
처리대상수	여과수			여과수			여과수					여과수	
최대주입량(mg/L)	0.5		1	0.5		1	0.5				1	0.5	1
처리수량(m^3/일)	357 000	346 500	703 500	115 500	420 000	535 500	252 000	252 000	168 000	168 000	840 000	472 500	472 500
오존발생방식	무성방전			무전방전			무성방전					무성방전	
오존발생기 방식	원통다관식			원통다관식			원통다관식					원통다관식	평판식
오존원료	공기			공기			공기					공기	
발생오존농도(g/Nm^3)	20			20			20					20	
발생기용량(kg/H.대)	7.5	7.3	14.7	2.5	8.8	11.2	5.3	5.3	3.5	3.5	17.5	9.9	9.9
발생기대수	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	2	1	2
공기원방식	공기압축기			공기압축기			공기압축기					공기압축기	
이슬점 온도	-50℃ 이하			-50℃ 이하			-50℃ 이하					-50℃ 이하	
접촉방법	향류식 2단			향류식 2단			향류식 2단		향류식 2단		향류식 2단	향류식 2단	U 튜브
접촉지수	4지	4지	3지	3지	4지	3지	4지	4지	4지	4지	3지	4지	4기
접촉시간(분)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4.18
산기방식	산기관			산기관			산기관					산기관	U 튜브
산기비율	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	1:1	해당없음
산기본수	184	176	504	60	208	384	128	128	96	96	832	224	해당없음
비오존 처리방식	망간 촉매+활성탄 대기 오존농도 0.06 ppm			망간촉매+활성탄 대기 오존농도 0.06ppm			망간촉매+활성탄 대기 오존농도 0.06ppm					망간 촉매+활성탄 대기 오존농도 0.06ppm	
제어방식	주입율제어, 다른 주입률, 비오존농도			주입율제어, 다른 주입률, 비오존농도			주입율제어, 다른 주입률, 비오존농도					주입율제어, 다른 주입률, 비오존농도	
제어지표	망간 처리		용존오존농도	망간 처리		용존오존농도	망간 처리				용존오존농도	망간 처리	용존오존농도
오존농도 측정방식	자외선 흡입식			자외선 흡입식			자외선 흡입식					자외선 흡입식	
용존오존농도측정방식	인디고 카루민에 의한 흡광광도법(수분석)			인디고 카루민에 의한 흡광광도법(수분석)			인디고 카루민에 의한 흡광광도법(수분석)					인디고 카루민에 의한 흡광광도법	
가동년월	2000년 3월			1998년 3월			1999년 3월					2000년 3월	
정기점검 주기 및 내용(오존발생기)	○ 일상점검(1개월) 이상음,이상냄새등의 유무/ 방전상황의 확인/전압등 지시의 확인 및 기록 ○정기점검 (1년) 냉각수량의 점검/ 환기팬의 점검/ 외관,반내 점검청소/ 절연 저항측정/ 반내 필터 청소/승압 트랜스 점검 (2년) 계기 · 보호장치의 점검 (3년) 전력조정기 인버터 출력점검												
정비주기 및 내용	○정기 정비 (1년) 평판식 발생기 점검청소(토요노 정수장 후오존 발생기) (3년) 원통다관식 발생기 발생관 점검청소/ 환기팬 정비 또는 교환												

수도사업은 시민생활을 지탱하는 라이프 라인으로서 신뢰성, 안정성 높은 물 공급 시스템의 확립과 강화되는 수질기준에 대응하기 위해, 보다 안전하고 맛있는 물을 목표로 시설 · 설비를 증강, 정비해 왔다. 그 결과 증대화, 복잡화해 가는 설비에 대하여, 효율 높은 관리를 하기 위해, 설비대장, 도면관리, 설비진단, 설비보전등의 각종 설비관리 시스템을 도입하고 있다. 이들 시스템의 도입목적은 다음과 같다.

① 사고 · 고장의 미연방지
② 사고 · 고장에 의한 기능정지 시간의 단축
③ 유지관리비의 저감
④ 보수 · 개량에 관한 설계업무의 효율화
⑤ 계획적인 유지관리의 실현

하지만 시설이나 설비가 대규모가 되감에 따라 정보량도 그것에 비례하여 방대해 지고, 종래의 지면을 통한 관리방식으로는 정보의 관리가 극히 곤란해짐과 동시에 그 활용에도 한계가 생기게 되었다. 한편, 근년의 컴퓨터 기술의 발달은 하드웨어의 고성능과 저가격화를 적극적으로 추진하였고, 소프트 웨어기술의 발달과 발맞추어 저 비용으로 다기능화한 데이터 베이스의 실현이 가능해 졌다. 이들의 기술을 활용하므로써, 각 수도사업체에서는 유지관리업무의 고도화를 기하고 있다.

표 78. 설비관리 시스템 개요일람표

사업체	삿포로시 수도국	도쿄도 수도국	나고야시 상하수도국	오사카부수도부	오사카시수독국	코베시수도국
시스템명칭	삿포로시 수도국 배수정보관 시스템	아사카정수장 설비관리 시스템	기기대장 시스템	오사카부 수도부 설비보전 정보관리 시스템	시설관리 시스템	코베시 수도국 설비관리 시스템
설치목적	정보의 공유화, 네트워크에 대응가능한 시스템 구축	정수장의 운전정보 공유화, 각종정보의 전자화에 의한 공유화를 통한 설계· 유지관리업무의 효율화	정수장, 배수장 등에 기계, 전기설비의 설계 유지 관리업무의 적정화 및 효율화	설비의 점검정보나를 전자보전정보로서 일원관리, 공유화하고 설비의 유지관리의 효율화	시설기능의 안전과 신뢰성 향상, 업무의 효율화, 절약화. 이상시 신속 정확한 대응의 실현	수도시설의 안전관리를 위해 시설의 갱신시기의 적정화, 사업의 표준화, 경비의 절감
도입시기	2000년 7월~	1997년~1999년도	1999년도~	1997년~2001년	1998년~2002년	1991년~1997년
시스템개요	1)시설경위 2)설비대장 3)고장/ 정비이력 4)갱신계획	1)플랜트 데이터의수집 2)문서관리 3)포스트오피스기능	1)기기대장 2)정비수선 이력 3)밸브 조작이력	1)사고·고장정보처리시스템 2)기기명부관리시스템 3)점검업무지원시스템 4)안전보고서 작성 시스템 5)도면정보관리시스템	1)완성도서 데이터 보관 2)보관데이터 검색표시	1)대장관리시스템 2)설비점검시스템 3)정밀진단시스템
네트워크의 구축	배수센터와 배수관리사무소, 본국을 디지털 전용회선으로 연결	서버 2대와 사무소내의 클라이언트 PC 단말, 주변장치를 LAN 접속	기술관리과와 각정수장 사이의 정보 네트워크 사용	송수관리 센터와 각 정수장, 각 사업소와 운용지원을 부 수마이크로 무선회선으로 연결	부사, 3정수장, 직영정비담당을 정보통신 네트워크로 연결	3사업소와 정수장을 NTT의 ISDN 일반회선으로 연결
시스템 보수방식		서버의 점검만 위탁	서버(년 6회), 클라이언트(년 2회)의 점검을 위탁	서버, 안전단말의 점검을 위탁(1회/년)	검토중	서버, 클라이언트의 점검을 위탁(2회/년)

제 2절 AWWA STANDARD FOR

American Water Works Association



ANSI/AWWA C222-99
(First Edition)

AWWA STANDARD FOR

POLYURETHANE COATINGS FOR THE INTERIOR AND EXTERIOR OF STEEL WATER PIPE AND FITTINGS

SECTION 1: GENERAL

Sec. 1.1 Scope

This standard sets minimum requirements for shop- and field-applied polyurethane interior linings and exterior coatings used in the potable water supply industry. These coatings are used for steel water pipe, special sections, welded joints, connections or fittings for steel water pipelines installed underground or underwater operating under normal conditions.

1.1.1 *Coating and lining systems.* Unless otherwise specified by the purchaser, the lining and coating systems shall consist of an ASTM D16 Type V thermoset, aromatic polyurethane plastic polymer that is the reaction product of diphenylmethane diisocyanate (MDI) resin and polyol resin or polyamine resin or a mixture of polyol and polyamine resins. Typically, these systems are solvent free or almost solvent free (less than 10% solvent by volume). They are fast setting (cure to handle in less than 30 minutes) and are applied in one coat directly to the steel. However, there are a wide variety of polyurethane technologies available on the market that contain solvent or are slower setting that also meet the requirements of this standard.

P

1.1.2 *Conditions not described in this standard.* The coating systems described in this standard are not intended for use on pipe that will be bent after the lining or coating system has been applied.

1.1.3 *Maximum temperature.* AWWA pipe coating standards are intended for potable water service. The maximum service temperature of the coating system is based on the maximum service temperature of potable water. The purchaser shall consult the coating manufacturer for conditions and limitations.

Sec. 1.2 Purpose

The purpose of this standard is to provide the minimum requirements for polyurethane lining and coating systems for the interior and exterior of steel water pipe including coating materials, surface preparation, testing, handling and packaging requirements.

Sec. 1.3 Application

This standard can be referenced in specifications for the interior and exterior of steel water pipe. The stipulations of this standard apply when this document has been referenced and then only to polyurethane coating systems for the interior and exterior of steel water pipe.

SECTION 2: REFERENCES

This standard references the following documents. In their latest editions, these documents form a part of this standard to the extent specified within the standard. In any case of conflict, the requirements of this standard shall prevail.

ANSI*/AWWA C203—Standard for Coal-Tar Protective Coatings and Linings for Steel Water Pipelines–Enamel and Tape–Hot Applied.

ANSI/AWWA C209—Standard for Cold-Applied Tape Coatings for the Exterior of Special Sections, Connections, and Fittings for Steel Water Pipelines.

ANSI/AWWA C210—Standard for Liquid-Epoxy Coating Systems for the Interior and Exterior of Steel Water Pipelines.

ANSI/AWWA C216—Standard for Heat-Shrinkable Cross-Linked Polyolefin Coatings for the Exterior of Special Sections, Connections, and Fittings for Steel Water Pipelines.

ANSI/AWWA C217—Standard for Cold-Applied Petrolatum Tape and Petroleum Wax Tape Coatings for the Exterior of Special Sections, Connections, and Fittings for Buried Steel Water Pipelines.

ANSI/ASTM† D522—Standard Test Methods for Mandrel Bend Test of Attached Organic Coatings.

ANSI/ASTM D543—Standard Practices for Evaluating the Resistance of Plastics to Chemical Reagents.

ANSI/ASTM D570—Standard Test Method for Water Absorption of Plastics.

ANSI/ASTM D2240—Standard Test Method for Rubber Property–Durometer Hardness.

ANSI/ASTM D2794—Standard Test Method for Resistance of Organic Coatings to the Effects of Rapid Deformation (Impact).

ANSI/ASTM D4060—Standard Test Method for Abrasion Resistance of Organic Coatings by the Taber Abraser.

ANSI/ASTM D4417—Standard Test Method for Field Measurement of Surface Profile of Blast Cleaned Steel.

*American National Standards Institute, 11 W. 42nd St., New York, NY 10036.

†American Society for Testing Materials, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959.

ANSI/ASTM D4541—Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers.

ANSI/ASTM G95—Standard Test Method for Cathodic Disbondment Test of Pipeline Coatings (Attached Cell Method).

NACE* RP-0188—Discontinuity (Holiday) Testing of New Protective Coatings on Conductive Substrates.

SSPC†-PA 1—Shop, Field and Maintenance Painting.

SSPC-PA 2—Measurement of Dry Paint Thickness with Magnetic Gauges.

SSPC-PA 3—Guide to Safety in Paint Application.

SSPC-SP 1—Solvent Cleaning.

SSPC-SP 10/NACE No. 2—Near-White Blast Cleaning.

SSPC-VIS 1 1989—Visual Standard for Abrasive Blast Cleaning Steel.

SECTION 3: DEFINITIONS

The following definitions shall apply to this standard:

1. *Purchaser:* The person, company, or organization that purchases any materials or work to be performed.
2. *Constructor:* The party that provides the work and materials for placement or installation.
3. *Manufacturer:* The party that manufactures the coating material described in this standard.
4. *Abrasive blast cleaning:* Abrasive blasting with mineral, steel, or slag abrasive.

SECTION 4: REQUIREMENTS

Sec. 4.1 Materials and Workmanship

Materials provided shall meet the provisions of this standard. Work or material that fails to conform to this standard may be rejected at any time before final acceptance.

Sec. 4.2 Test Requirements

The coating materials to be used on the interior and exterior of the steel pipe shall meet all of the physical and performance requirements shown in Table 1 as determined by testing as described in Sec. 5.3. The thickness of the coating for these tests shall be determined by the provisions of Sec. 4.3. unless otherwise noted by the specific test method. For test methods that are to be completed on steel panels, the surface preparation and coating application shall be completed as per Sec. 4.4 and Sec. 4.5. The coatings to be tested shall be fully cured according to the manufacturer's recommendation.

*NACE International, 1440 South Creek Dr., Houston, TX, 77218

†SSPC: The Society for Protective Coatings, 40 24th St., Pittsburgh, PA 15222-4643

ANSI/ASTM D4541—Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers.

ANSI/ASTM G95—Standard Test Method for Cathodic Disbondment Test of Pipeline Coatings (Attached Cell Method).

NACE* RP-0188—Discontinuity (Holiday) Testing of New Protective Coatings on Conductive Substrates.

SSPC†-PA 1—Shop, Field and Maintenance Painting.

SSPC-PA 2—Measurement of Dry Paint Thickness with Magnetic Gauges.

SSPC-PA 3—Guide to Safety in Paint Application.

SSPC-SP 1—Solvent Cleaning.

SSPC-SP 10/NACE No. 2—Near-White Blast Cleaning.

SSPC-VIS 1 1989—Visual Standard for Abrasive Blast Cleaning Steel.

SECTION 3: DEFINITIONS

The following definitions shall apply to this standard:

1. *Purchaser:* The person, company, or organization that purchases any materials or work to be performed.
2. *Constructor:* The party that provides the work and materials for placement or installation.
3. *Manufacturer:* The party that manufactures the coating material described in this standard.
4. *Abrasive blast cleaning:* Abrasive blasting with mineral, steel, or slag abrasive.

SECTION 4: REQUIREMENTS

Sec. 4.1 Materials and Workmanship

Materials provided shall meet the provisions of this standard. Work or material that fails to conform to this standard may be rejected at any time before final acceptance.

Sec. 4.2 Test Requirements

The coating materials to be used on the interior and exterior of the steel pipe shall meet all of the physical and performance requirements shown in Table 1 as determined by testing as described in Sec. 5.3. The thickness of the coating for these tests shall be determined by the provisions of Sec. 4.3. unless otherwise noted by the specific test method. For test methods that are to be completed on steel panels, the surface preparation and coating application shall be completed as per Sec. 4.4 and Sec. 4.5. The coatings to be tested shall be fully cured according to the manufacturer's recommendation.

*NACE International, 1440 South Creek Dr., Houston, TX, 77218

†SSPC: The Society for Protective Coatings, 40 24th St., Pittsburgh, PA 15222-4643

and measuring dimensions. The samples shall not gain or lose more than 5% of the total mass, or 5% of the length or width after 30 days immersion in each of the reagents. After standing for 24 hours, the samples shall not exhibit any blistering, cracking, softening, or other forms of deterioration. Changes in color or staining shall not be considered a failure.

4.2.7 *Electrical.* The coating system shall be tested in accordance with NACE RP-0188. The coating system shall have no holidays.

4.2.8 *Water absorption.* The coating system shall have a maximum water absorption of 3.0% as determined by ANSI/ASTM D570.

4.2.9 *Hardness.* The coating system shall have a minimum Durometer hardness of 65 on the Shore D scale in accordance with ANSI/ASTM D2240.

Sec. 4.3 Coating Thickness

4.3.1 *Minimum dry film thickness.* The minimum applied dry film thickness shall be 20 mils (500 microns) on the interior lining and 25 mils (625 microns) on the exterior coating, or the minimum dry film thickness required by the manufacturer to meet the requirements of this standard, whichever is greater.

4.3.2 *Thickness for special applications.* In some instances, such as abrasive flowing water or rocky soils, additional coating thickness may be specified by the purchaser or applied as recommended by the coating manufacturer.

4.3.3 *Maximum dry film thickness.* The coating system may be applied to any maximum dry film thickness as recommended by the coating manufacturer. When applied at the maximum dry film thickness, the coating system shall pass all performance requirements detailed in Sec. 4.2.

4.3.4 *Dry film thickness measurement.* The dry film thickness of the coating shall be measured in accordance with SSPC-PA 2. The averages listed in SSPC-PA 2 shall be deleted, and the minimum dry film thickness of all measurements shall be as specified in Sec. 4.3 or in the purchaser's specifications.

Sec. 4.4 Surface Preparation

4.4.1 *General.* The interior lining or exterior coating shall be applied according to the manufacturer's recommendations. These recommendations cover surface preparation, shop coating application, inspection, repairs and field coating application.

4.4.2 *Pipe preparation.*

4.4.2.1 Cleaning. Prior to abrasive blast cleaning, surfaces to be coated shall be inspected and, if required, cleaned in accordance with SSPC-SP 1 to remove any oil, grease, or other soluble contaminants. Only solvents that do not leave a residue shall be used for cleaning. Preheating to remove water and ice may be used provided that the pipe is preheated in a uniform manner to avoid distortion of the pipe. Surface imperfections such as burrs, gouges, and weld spatter shall be removed by filing or grinding to prevent holidays in the applied coating.

4.4.2.2 Minimum abrasive blast cleaning. After cleaning as per Sec. 4.4.2.1, all areas to be coated shall be abrasive blast cleaned in accordance with SSPC-SP 10/NACE No. 2 with an angular profile (anchor pattern) of a minimum of 2 mils (50 microns) and a maximum of 4 mils (100 microns). If a greater degree of surface preparation is recommended by the manufacturer or is required for the coating to meet the requirements of Sec. 4.2, that level of surface preparation shall be used. The abrasive material shall be slag, steel, or mineral. Abrasive blast cleaning shall be

performed when the metal temperature is more than 5°F (3°C) above the dew point, using clean, dry, oil-free air.

4.4.2.3 Visual comparative standards. Prior to abrasive blast cleaning, the constructor shall prepare a representative area of the blast-cleaned surface on an actual work surface as well as visual standards on a minimum 6-in. by 6-in. by 1/4-in. (150-mm by 150-mm by 6-mm) steel panels. On agreement by the purchaser that the visual standard meets the requirements of Sec. 4.4.2.2, the panels shall be wrapped in plastic, sealed with tape, or otherwise protected from surface contamination or corrosion and maintained as visual reference standards throughout the coating operations. The standard panels shall be sealed and handled carefully to avoid any rusting caused by moisture. The industry-accepted visual standard shall be SSPC-VIS 1 unless otherwise specified by the purchaser.

4.4.2.4 Air blow off. Clean, dry, oil-free compressed air shall be used to blow the dust, grit, or other foreign matter from the blasted substrate in a manner that does not affect the cleaned surface, other cleaned pipe, or pipe to be coated. Vacuum cleaning or other methods may be used in place of compressed air.

4.4.2.5 Surface inspection. The cleaned interior and exterior surfaces of pipe shall be inspected as per Sec. 5 to ensure conformance of adequate surface preparation (Sec. 4.4.2.1, 4.4.2.2, 4.4.2.4). Surface imperfections such as burrs, gouges, and weld spatter shall be removed by filing or grinding to prevent holidays in the coating and shall be abrasive blast cleaned where applicable.

4.4.2.6 Protection from moisture and contaminants. Blast-cleaned pipe surfaces shall be protected from condensation, moisture, rainfall, frost, and snow. Blast-cleaned surfaces shall also be protected from other contaminants, including, sand, grit, and dirt. The blasted pipe surface shall not be allowed to flash rust or exhibit deterioration before coating.

Sec. 4.5 Coating Application

4.5.1 *General.* The interior and exterior coatings shall be applied according to the coating manufacturer's instructions to the required thickness as per Sec. 4.3.

4.5.2 *Training.* The application of the coating shall be completed and supervised by individuals that have been trained by the manufacturer in the application of the coating being applied.

4.5.3 *Temperature and heating.*

4.5.3.1 Dew point. In order to avoid moisture and frost contamination of the steel, the temperature of the steel shall be at least 5°F (3°C) above the dew point temperature during the blast cleaning and the application of the coating material.

4.5.3.2 Ambient and steel temperature. The ambient and steel temperatures shall be within the range recommended by the coating manufacturer.

4.5.3.3 Heating of pipe. The steel surface may be heated to a temperature within the manufacturer's recommended limits without contaminating the surface preparation in any way in order to meet dew point requirements or in order to speed up the reaction and curing time of the coating.

4.5.3.4 Heating of coating material. Preheated coating material components, in-line heaters, heated hoses, or other methods may be used to facilitate the application of the coating. Heating shall conform to the recommendations of the coating manufacturer.

4.5.4 *Application methods.*

4.5.4.1 Plural component. Fast-setting, short pot-life coating systems shall be applied using plural component equipment and techniques according to the

manufacturer's instructions. Material may be manually sprayed, automatically sprayed, or centrifugally applied.

4.5.4.2 Number of coats. Depending on the manufacturer's recommendations, the required dry film thickness may be applied in a one-coat operation using single or multiple passes of the spray gun. Some coating systems may require multiple coats.

4.5.4.3 Coating on a conveyor. With very fast setting coating systems, it may be possible to automatically coat pipe using a conveyor that rolls the pipe past a stationary spray gun or with a stationary but rotating pipe and a traveling spray gun.

4.5.4.4 Other methods. Slower setting coatings may be applied using conventional airless spray equipment or other methods recommended by the coating manufacturer.

4.5.5 *Recoating.*

4.5.5.1 Recoating over an existing coating of the same formulation that has cured less than the maximum recoat time specified by the coating manufacturer shall be permitted.

4.5.5.2 Recoating over an existing coating of the same formulation that has cured for more than the maximum recoat time specified by the coating manufacturer shall be permitted. The existing coating shall be brush-blasted or thoroughly abraded, followed by blow-off cleaning using clean, dry air. All surfaces to be recoated must show a surface profile as recommended by the manufacturer to provide adequate mechanical bonding of the new coating.

4.5.5.3 Recoating over other coatings. Recoating over existing coatings of a different type or formulation shall not be permitted without the approval of both the purchaser and the manufacturer.

4.5.6 *Inspection and repair.* Once the coating has reached a sufficient cure according to the coating manufacturer, the coated pipe shall be inspected as per Sec. 5.5. Any repairs shall be made as per Sec. 4.6. The final coated pipe shall be holiday free.

Sec. 4.6 Coating Repair

4.6.1 *Identification.* Areas for coating repair shall be determined as per Sec. 5.5.

4.6.2 *Removal of damaged coating.* If necessary, damaged or improperly applied coating shall be removed by scraping or abrasive blasting. Uncured coating must be removed. The surrounding coating shall be removed until only well adhered coating as per Sec. 5.5.5 remains. It is not necessary to remove coating that is well adhered. Areas such as holidays or pinholes may not require the removal of any coating but shall be repaired.

4.6.3 *Repair of thin coating.* Areas that are less than the specified minimum dry film thickness as per Sec. 4.3 shall be recoated as per Sec. 4.5.5.

4.6.4 *Surface preparation.* The substrate shall be clean, dry, free of dust, loose residues, and other materials interfacing with adhesion. Wash with a solvent if necessary in accordance with SSPC-SP 1. The repair area shall be prepared as recommended by the manufacturer.

4.6.5 *Repair material selection.* Only materials compatible with the originally applied coating shall be used for repairs.

4.6.6 *Repair material application.* Repair material shall be applied in accordance with the manufacturer's instructions.

4.6.7 *Repair material thickness.* Repair materials shall be applied to the same thickness or greater as originally specified for the coating being repaired. The thickness of the repair material shall not exceed the thickness recommended by the manufacturer's instructions.

4.6.8 *Repair inspection.* All repaired areas shall be inspected for electrical continuity as per Sec. 5.5.4. The final coated pipe shipped from the plant shall be holiday free.

Sec. 4.7 Welded Field Joints

4.7.1 *Standard holdbacks.* When the pipe sections are joined together by field welding, a holdback that is free of interior or exterior coating shall be left uncoated. This holdback shall be of sufficient width, as required by the constructor, to permit the making of field joints without damage to the interior or exterior coating.

4.7.2 *Protection during welding.* During the welding process the coating shall be protected from welding sparks and spatter using a nonflammable protective barrier. Any coating damaged by the welding process shall be repaired as per Sec. 4.6. This repair may be made at the same time the welded joint is being coated.

4.7.3 *Surface preparation.* After welding, the joint shall be cleaned so as to be free from mud, oil, water, grease, welding flux, weld spatter, dust, and loose residues. The cleaned metal surfaces of the joint shall then be abrasive blast cleaned to provide a surface that complies with Sec. 4.4. Other methods of surface preparation shall be permitted as long as they provide the same surface as defined in Sec. 4.4. The existing coating shall be abraded approximately 1 to 2 in. (2.5 to 5 cm) from the edge of holdback so that a surface profile in the existing coating meets the manufacturer's recommendations. The entire area to be coated shall be clean, dry, and uncontaminated.

4.7.4 *Coating application.* The coating system shall be applied to the welded joint in accordance with Sec. 4.5. The joint material may be the originally applied coating or another material designed specifically for joint coatings as approved by the manufacturer. Apply joint materials to the same thickness or greater as originally specified for the main coating system in Sec. 4.3.

4.7.5 *Material selection.* At the option of the purchaser, weld areas may be protected with materials and methods conforming to ANSI/AWWA C203, ANSI/AWWA C209, ANSI/AWWA C210, ANSI/AWWA C216, ANSI/AWWA C217, and ANSI/AWWA C222 that are compatible with the originally applied coating material.

4.7.6 *Weld joint inspection and repair.* Joints shall be inspected as per Sec. 5.5 including dry film thickness, adhesion, and electrical continuity. Any repairs shall be made as per Sec. 4.6. The coated joint shall be holiday free.

Sec. 4.8 Nonwelded Joints

When gasketed or mechanical couplings are used to connect the pipe sections together, no holdbacks as per Sec. 4.7.1 shall be left. With gasketed joints, the spigot end of the pipe shall be coated according to the constructor's design so that the water carried in the pipeline will not come in contact with any coating materials not certified as per Sec. 4.11. The coating thickness on the pipe surfaces that receive rubber sealing gaskets shall not exceed what is recommended by the manufacturer of the pipe or the coupling. However, the coating system's dry film thickness shall not be less than is required by Sec. 4.3. The spigot coating shall be applied as per Sec. 4.4 and 4.5.

Sec. 4.9 Coating Special Pipe Connections and Appurtenances

4.9.1 *General.* This section covers the application of the coating system to mechanical couplings, flanges, and similar appurtenances for steel pipe fittings and special connections as well as to nuts, bolts, and other items used in conjunction with connections and attachments.

4.9.2 *Surface preparation.* Surfaces of pipe connections and appurtenances to be coated shall be prepared in accordance with Sec. 4.4.

4.9.3 *Coating application.* Coatings shall be applied in accordance with Sec. 4.5.

4.9.4 *Coating threaded connections.* Prior to shipping, threaded connections and appurtenances that must be assembled and operated in the field shall be left uncoated and shipped with rust-preventing compounds or strippable protective coatings applied to the threads only. After final field assembly, the compound shall be completely removed. The exposed threads shall be coated as per Sec. 4.7. The purchaser shall specify the requirements for flange faces and other mating surfaces of other mechanical connections.

4.9.5 *Inspection and repair.* Special connections and appurtenances shall be inspected as per Sec. 5.5 including dry film thickness, adhesion, and electrical continuity. Any repairs shall be made as per Sec. 4.6. The final coated piece shall be holiday free.

Sec. 4.10 Field Procedures

4.10.1 *General.* At all times during the construction of the pipeline, the constructor shall take precautions to minimize damage to the protective coating. No metal tools or heavy objects shall be permitted to come into contact with the finished coating. The coating shall be sufficiently cured for shipping, packaging, and handling purposes according to the coating manufacturer's recommendations to minimize shipping damage. Workers shall be permitted to walk on the coating only when necessary, in which case only shoes with rubber or composition soles and heels shall be worn. Coating damaged during installation before final acceptance by the purchaser shall be repaired in accordance with Sec. 4.6.

4.10.2 *Hoisting.* Coated pipe shall be hoisted from the trench side to the trench using wide belt slings. Chains, cables, tongs, or other equipment that causes damage to the coating shall not be permitted, nor will dragging or skidding of the pipe. The constructor shall allow inspection of the coating on the underside of coated pipe while the pipe is suspended. Any coating damage shall be repaired in accordance with Sec. 4.6.

4.10.3 *Bedding and backfill.* Backfilling shall be performed at all times in a manner that minimizes abrasion or other damage to both factory and field applied coatings. Unless otherwise specified by the purchaser, the following requirements shall be met.

4.10.3.1 Bedding. Where the trench traverses rocky ground containing hard objects that could penetrate the protective coating, a layer of screened earth, sand, or rounded river-run gravel no less than 6-in. (152-mm) thick with a maximum particle size of 0.75 in. (19 mm) shall be placed in the bottom of the trench prior to installation of the pipe.

4.10.3.2 Backfill. Backfill shall be placed around the exterior of the coated pipe only after the purchaser has made the final inspection and has accepted the exterior coating. If rocks or other hard objects are present in the backfill along any section of the pipeline, screened backfill shall be placed around the coated pipe to a

minimum depth of 6 in. (152 mm) above the coated pipe before backfilling the remainder of the trench.

4.10.3.3 Other materials. Other rock shield materials approved by the purchaser may be used.

4.10.3.4 Compaction. Compaction of bedding and backfill in the trench shall be in accordance with the purchaser's specification. Rodding with metal rods or other metal tools that could contact and damage the coating shall not be permitted.

Sec. 4.11 Safety and Regulations

4.11.1 *Government regulations.* The interior coating system shall comply with all regulatory requirements for potable water contact in effect at the time for the location.

4.11.2 *Certification.* The constructor shall provide certification that the interior coating system provided is safe for potable water service and satisfies all current applicable governmental health and safety requirements with regard to potable water service.

4.11.3 *Safety.* All necessary precautions shall be taken to protect personnel and property from accidents caused by falls, hazardous materials, fire, explosion, and other dangers. The methods and practices defined in SSPC-PA 3 shall be followed along with any regulatory requirements.

SECTION 5: VERIFICATION

Sec. 5.1 Quality Assurance and Records

The constructor shall use a quality assurance program or system to ensure that the quality controls in this section are followed. Complete records of all inspection work must be maintained and made available at any time upon the purchaser's request.

Sec. 5.2 Purchaser's Inspection

5.2.1 *Optional inspection.* At the purchaser's option, the entire coating procedure may be inspected from the time of surface preparation to the completion of coating by the purchaser. This inspection or the lack of the purchaser's inspection shall not relieve the constructor of the responsibility to provide materials and to perform work in accordance with this standard or of responsibility for quality assurance as described in Sec. 5.1.

5.2.2 *Coating application inspection.* When inspection is required by the purchaser, all coating work not done in the presence of the purchaser may be subject to rejection in accordance with Sec. 5.6.

Sec. 5.3 Coating Tests

5.3.1 *Basis of acceptance.* The acceptance of a proposed coating material shall be based on the laboratory testing of the physical properties of the coating materials as per Sec. 4.2. The purchaser may choose any of the following methods: (1) acceptance on the basis of the manufacturer's certified test reports completed by a commercial laboratory; (2) acceptance on the basis of testing of samples of proposed materials in the purchaser's laboratory or other commercial laboratory designated by the purchaser; or (3) acceptance on another basis defined and specified by the purchaser.

5.3.2 *Panel preparation.* Steel panels are to be prepared according to the procedures detailed in Sec. 4.4 and 4.5. The size of the panels are to be determined based on the individual test requirements.

5.3.3 *Coating thickness.* The coating shall be applied to a thickness in accordance with Sec. 4.3.

Sec. 5.4 Surface Preparation Inspection

5.4.1 *Cleaning.* Immediately before abrasive blasting, the pipe shall be visually inspected to ensure that the surfaces to be coated are free of any oil, grease, or other foreign matter.

5.4.2 *Profile.* The depth of profile shall be determined by using replica tape, a depth micrometer, or surface profile comparator in accordance with ASTM D4417 to ensure compliance with Sec. 4.4.2.2.

5.4.3 *Color.* The visual comparative standard prepared as per Sec. 4.4.2.3 shall be used to determine that the color of the blasted surface meets the requirement of near white metal in accordance with SSPC-SP 10/NACE No. 2.

5.4.4 *Steel temperature and dew point.* The dew point shall be measured at the time of abrasive blasting using a standard sling psychrometer or other industry-recognized equipment. The steel temperature shall be a minimum of 5°F (3°C) above the dew point temperature during the abrasive blast cleaning and application of the coating material. The ambient temperature shall be within the coating manufacturer's recommendations.

5.4.5 *Rejection.* The purchaser may reject any pipe if the surface condition does not comply with the requirements of Sec. 4.4.2. Pipe rejected because of inadequate cleaning shall be recleaned.

Sec. 5.5 Coated Pipe Inspection

5.5.1 *Cure test.*

The coating manufacturer shall be consulted to ascertain the proper cure time of the coating prior to inspection and testing. A cure test shall be performed in accordance with the manufacturer's recommendation. A coating system that is not cured according to the manufacturer's written instructions may be rejected.

5.5.2 *Coating appearance.* All coated pipe shall be visually inspected. The coating shall be generally smooth and free of sharp protrusions. A minor amount of sags, dimpling, and curtaining that does not exceed 10% of the surface shall not be considered cause for rejection. The coating shall have no blisters, cracks, bubbles, delamination, or any other visible defects. There shall be no wet or sticky areas in the coating. All imperfections shall be identified and repaired according to Sec. 4.6.

5.5.3 *Dry film thickness.* Dry film thickness shall be measured in accordance with SSPC-PA 2 to ensure compliance with Sec. 4.3.4. If the thickness is found to be less than the amount required, all of the pipe coated since the last thickness measurement shall be checked and recoated if necessary.

5.5.4 *Electrical continuity inspection.* Electrical continuity inspection shall be conducted at the option of the purchaser in accordance with NACE RP-0188 any time after the coating has reached sufficient cure, but prior to installation. Any holidays indicated by the detector shall be marked and repaired as per Sec. 4.6.

5.5.5 *Adhesion.* Adhesion testing shall be conducted on two sufficiently cured, coated sections of pipe selected at random from each day of coating work. A V-shaped cut through the coating shall be made with a sharp knife. For coatings that are greater than 40 mils (1 mm) thick, a mechanical tool may be required to make the

Table 2 Coated pipe inspection requirements

Test and Method	Requirement†
Cure Test (manufacturer's recommendation)	Sec. 5.5.1
Coating Appearance (visual)	Sec. 5.5.2
Dry Film Thickness (SSPC-PA 2)	Sec. 5.5.3
Electrical Continuity (NACE RP-0188)*	Sec. 5.5.4
V-Cut Adhesion	Sec. 5.5.5
Pull-Off Adhesion (ASTM D4541)*	Sec. 5.5.5

*Tests marked to be performed at the option of the purchaser.

†Coated pipe not meeting the minimum requirements are to be repaired or rejected as per Sec. 5.5.

cut. The adhesion will be considered satisfactory if the film cannot be easily peeled by a dull putty knife either from the steel or between coats for a maximum distance of 1/4 in. (6 mm) from the intersection of the cut lines forming the "V." Forcible rupture of the coating that leaves portions of the film adhering tightly to the metal shall not cause rejection. At the option of the purchaser, the adhesion testing may be conducted in accordance with ANSI/ASTM D4541. In this case, the adhesion will be considered satisfactory if the test value is a minimum of 1,500 psi (10,350 kPa). If the adhesion is not satisfactory (by either test method), a systematic inspection of all pipe coated on that day shall be made, and all pipe not meeting this adhesion requirement shall be rejected. Damaged test areas of accepted pipe shall be repaired as described in Sec. 4.6.

Sec. 5.6 Rejection

5.6.1 *Surface preparation.* The purchaser may reject any pipe if the surface condition does not comply with the requirements of Sec. 4.4.2. Pipe rejected because of inadequate cleaning shall be recleaned.

5.6.2 *Coating materials.* If any sample of coating material does not comply with this standard, then the coated pipe represented by the sample shall be rejected.

SECTION 6: DELIVERY

Sec. 6.1 General

Coated pipe and other articles shall be packaged, handled, and stored in a manner that will minimize damage. Pipe or coating damaged in handling or other operations shall be repaired at no additional cost to the purchaser. Damage to internal lining or external coating shall be repaired as described in Sec. 4.6.

Sec. 6.2 Curing

The coating shall be sufficiently cured for the intended service conditions according to the coating manufacturer before the pipe or fittings are put into service.

Sec. 6.3 Packaging

All coating materials shall be supplied to the job site in the manufacturer's original unopened containers. Each container shall be plainly marked with the name and address of the manufacturer, type of material, batch or lot number, date of manufacture, storage conditions, and information as required by government regulations.

Sec. 6.4 Storage of Materials

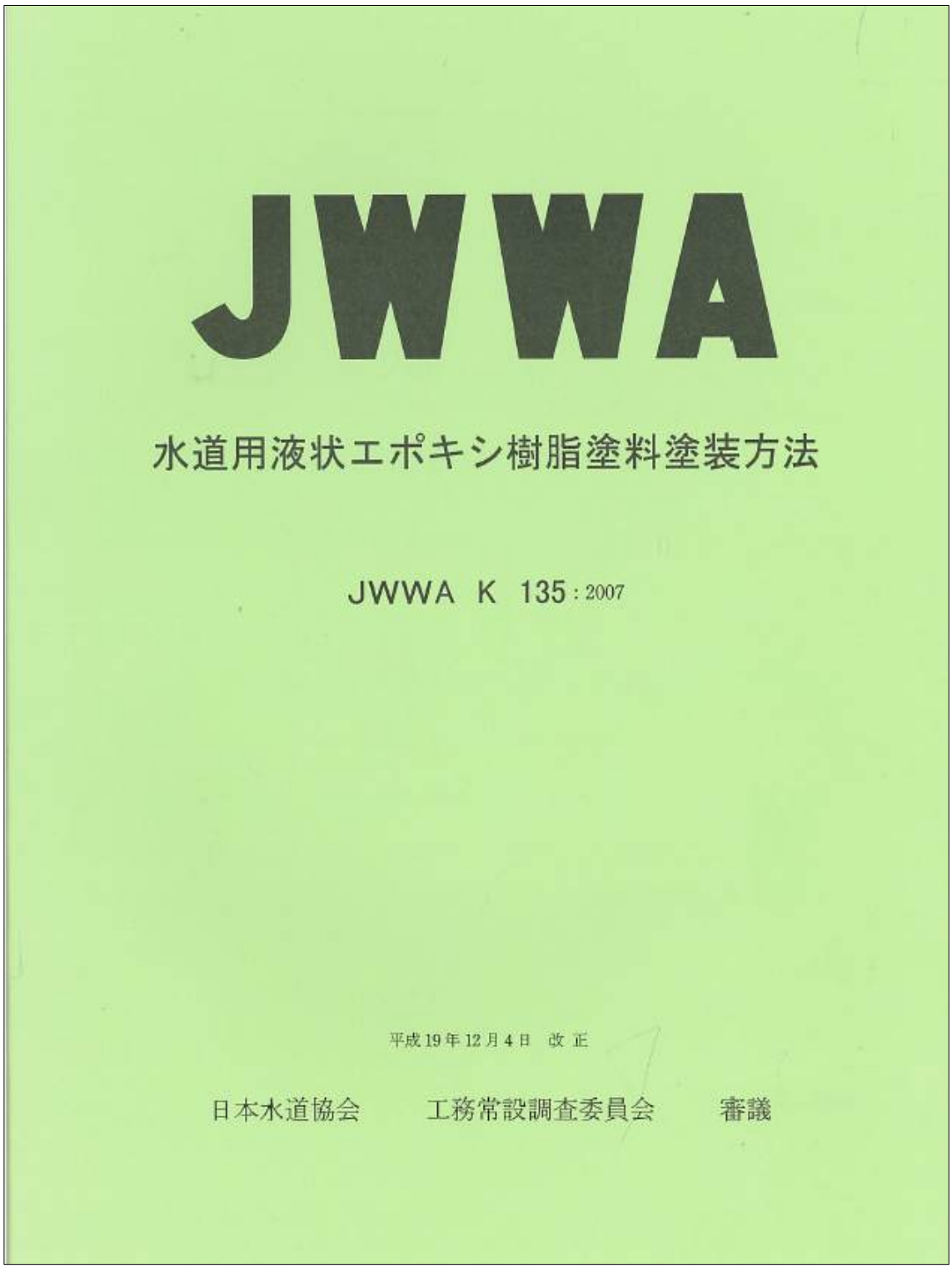
Materials shall be stored and protected from the elements in compliance with government regulations. Temperature ranges in the storage area shall be maintained within the limits recommended by the manufacturer.

Sec. 6.5 Affidavit of Compliance

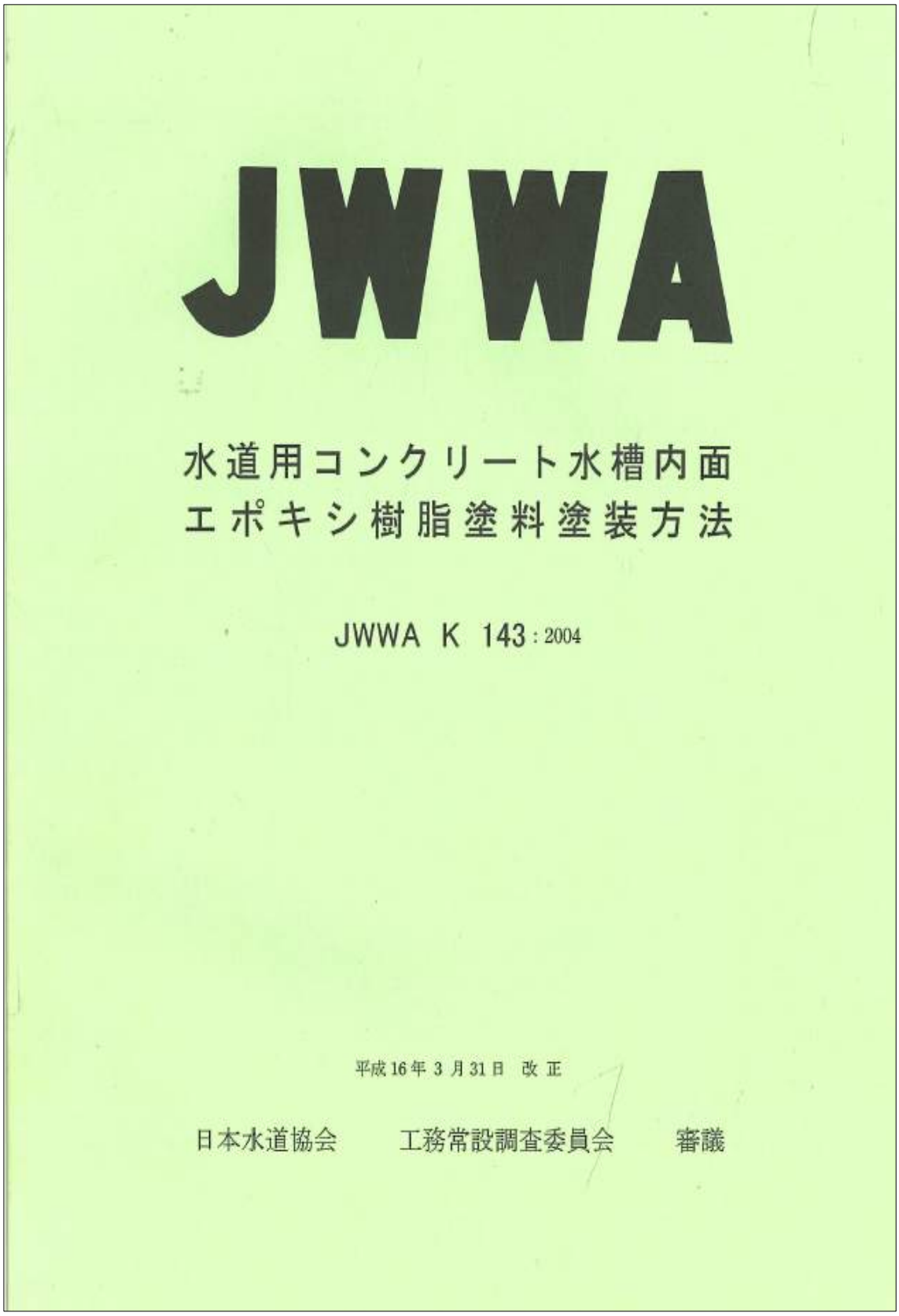
When specified by the purchaser, the constructor shall provide an affidavit that all material and work provided complies with the requirements of this standard. When specified by the purchaser, the constructor shall provide an affidavit that the polyurethane coating material supplied is of the same formulation that was prequalified (Sec. 5.3) and that the polyurethane coating material supplied meets or exceeds the performance requirements (Sec. 4.2).

제 3절 JWWA STANDARD

1. JWWA K 135



2. JWWA K 143



JWWA

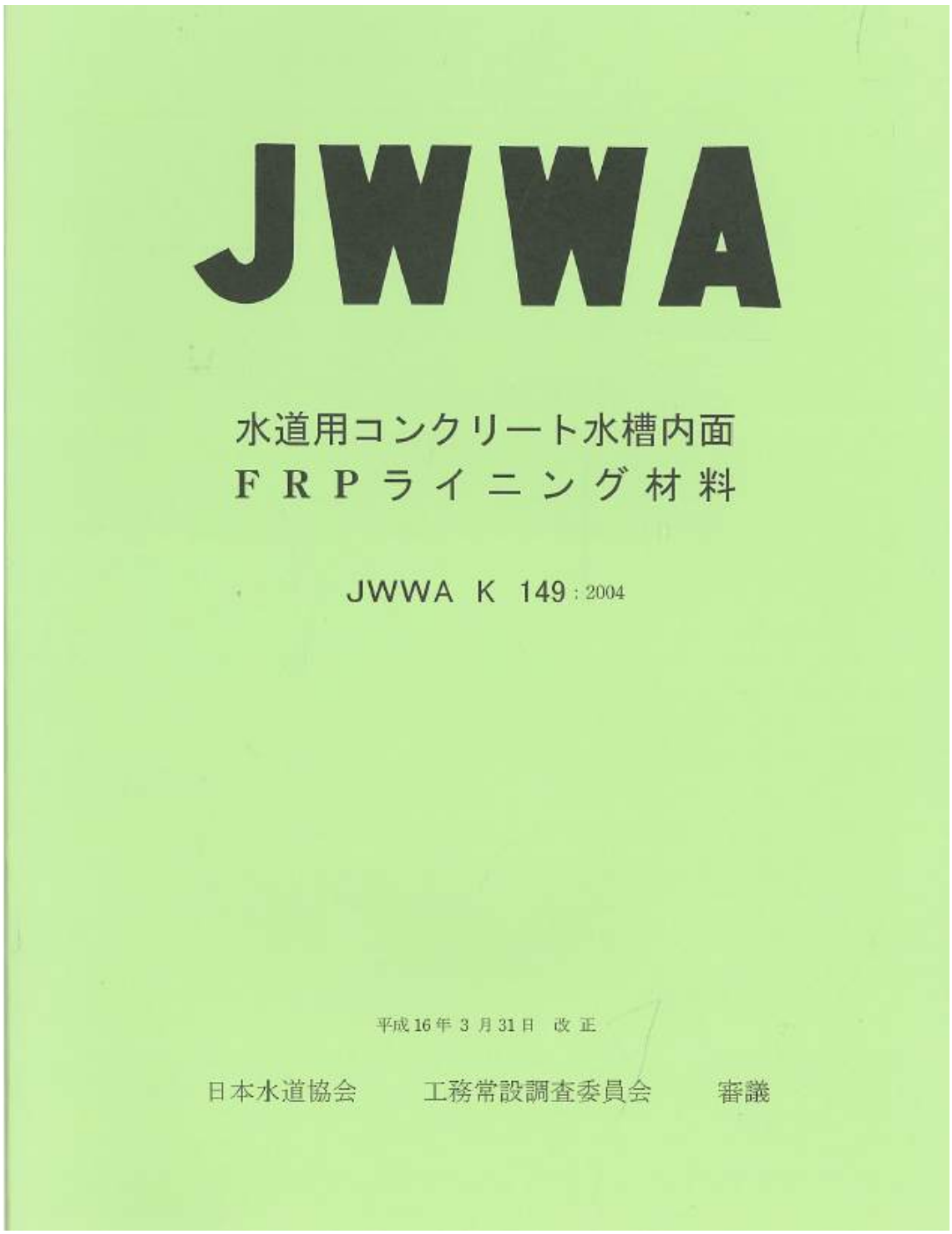
水道用コンクリート水槽内面
エポキシ樹脂塗料塗装方法

JWWA K 143 : 2004

平成16年3月31日 改正

日本水道協会　　工務常設調査委員会　　審議

3. JWWA K 149



JWWA

水道用コンクリート水槽内面
FRPライニング材料

JWWA K 149 : 2004

平成16年 3 月31日 改 正

日本水道協会　　工務常設調査委員会　　審議

제 7장 참고문헌

1. 김선미, 곽노석, 양윤규, 임봉균, 박보영, 황택성; 지방족 및 방향족 이소시아네이트를 이용한 폴리카프로락톤계 폴리우레탄의 합성 및 물성 연구, Polymer(Korea), Vol. 29, No. 3, 2005, pp. 253～259
2. 배기선, 장성주, 오상근; 시멘트 혼입 폴리머와 에폭시수지를 복합한 수처리 콘크리트구조물용 방수・방식재료의 성능평가에 관한 연구, 한국콘크리트학회 논문집 Vol. 17, No. 1, 권 1호, 2005.2, pp.3～10
3. 이성일, 곽규성, 오상근; 초속경화 폴리우레아수지 도막방수재의 방수・방식 성능평가에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집 제21권, 제2호, 2001.10, pp.483～486
4. 서울시 상수도 사업본부; 상수도시설 콘크리트 구조물 내부 방수・방식공사 설계・시공・품질관리 요령, 1997.3
5. 오상근, 곽규성, 양승도; 오존 정수처리 음용수조 구조물에 사용하는 에폭시 수지 방수・방식재의 표면특성 평가, 대한건축학회논문집 구조계, 19권 7호 2003.7, pp.87～94
6. 김성배, 김장호, 최홍식, 허권; RC 구조물 보강을 위한 고성능 폴리우레아의 개발 및 적용성 평가, 대한토목학회논문집, 제30권 제2A호, 2010.3, pp. 169～176
7. 건설교통부; 방식기술편람 Anticorrosion Technique Manual Div.4, 1998.3

김철회; 물산업 클러스터 육성정책의 해외사례와 시사점, 한국콘텐츠학회논문집 2009, Vol9, No.12, pp. 844～852

8. 문정기, 전희동; 오존과 활성탄을 이용한 고도정수처리 기술, RIST 연구논문 제12권 제4호, 1998, pp.518～525
9. 정문정, 권시원, 오상근; 페놀 변성 폴리아민계 내오존도료를 이용한 고도정수처리장의 방수・방식 공법에 대한 현장 적용성 평가에 관한 연구, 한국건축시공학회 학술발표대회 논문집 제5권 2호, 2005.11, pp.33～38
10. 환경부 상하수도국; 상수도 실무자를 위한 고도정수처리 기술사례집, 1999
11. 조국희, 김영배, 서길수, 이형호, 이광식, 송현직, 이상근; 오존발생기를 이용한 고도정수처리기술 동향 및 전망, 한국조명・전기설비학회 학술대회논문집, 1998년도 추계학술발표회논문집, 1998.11, pp.242～244
12. 일본수도협회; 고도정수시설기술자료, 1988
13. 대한주택공사; 오수정화시설설계 보고서, 1993.10
14. 윤승준; 상하수도 주요 정책 방향, 한국막학회 심포지움 제18권, 2003.10, pp.145～158
15. 김상용, 김희정, 박병구; 오수정화시설의 현황과 제도상의 문제, 대한토목학회지 제42권 제1호, 1994.2, pp.76～92
16. 유체기계공업학회 편집부; 폴리우레아 도장 강관 소개, 유체기계 연구개발 발표회 논문집, 2007.11, pp.357～360
17. 이인원, 권상훈, 장호윤, 전호환; 실리콘 폴리우레아 도료 마찰저항 저감성능의 실험적 연구, 대한기계학회 열공학부문/유체공학부문 춘계학술대회 논문집, 2008, pp.509～512

18. 日本下水道事業団 技術評價委員會; 下水道構造物に對するコンクリート腐食抑制技術及び防食技術の評価に關する報告書, -黃酸によるコンクリート腐食の機構と總合的對策の方針-, 平成13年3月
19. Edward, M., M. Benjamin and J. E. Tobiason(1994); Effect of ozonation on coagulation of NOM using polymer alone and polymer/metal salt mixtures. J.AWWA, 86(1)
20. Knoppert, P. L., G. Oskam and E. G. H. Vreedenburgh(1980); An overview of european water treatment practice. J.AWWA, 72(11)
21. Kuhu, W., H. Sontheimer, L. Steiglitz, D. Maier, and R. Kurz(1978), Use of ozone and chlorine in water utilities in the Federal Republic of Germany. J. AWWA, 70(6)
22. Miller, G. W.(1980), Large scale applications of GAC with ozone pretreatment Vol. II. in McGuire, M. J. and I. H. Suffet(editors)
23. C.M. Roland, J.N. Twigg, Y. Vu, P.H. Mott; High strain rate mechanical behavior of polyurea, Polymer 48 (2007) pp.574～578
24. D.K. Chattopadhyay1, K.V.S.N. Raju; Structural engineering of polyurethane coatings for high performance applications, Prog. Polym. Sci. 32 (2007) pp.352～418
25. X.F. Yang, C. Vang, D.E. Tallman, G.P. Bierwagen, S.G. Croll, S. Rohlik; Weathering degradation of a polyurethane coating, Polymer Degradation and Stability 74 (2001) pp.341～351
26. Augustin T. Chen, Ronald T. Wojcik; Polyurethane coatings for metal and plastic substrates, Metal Finishing, Volume 98, Issue 6, 2000, pp.143～154.
27. Johan Van Tongelen; "Untapped potential", guest editorial, European Coatings Journal, January-February, 2001
28. Dudley J. Primeaux Ⅱ, "Spray polyurea versatile high performance elastomer for the polyurethane industry", Polyurethanes 89-Proceedings of the 32nd annual technical/marketing conference, SPI, San Francisco, October 1989, pp.126
29. Marc Broekaert, "Modified MDI-prepolymers improve the initial physical properties and reduce the 'in-service' time of aromatic polyurea coatings", Proceedings of the 6th Nürnberg Congress - Creative advances in coatings technology, April 2-4, 2001, Nürnberg, pp.761
30. Marc Broekaert, "Profits in the pipeline", Polymer Paints Colour Journal, July 2001, pp.18
31. PMDI User Guidelines for Chemical Protective Clothing Selection, The Society of the Plastics Industry, ref. AX178, July 1994
32. Technical Update on skin protection by Ansell, website: www.ansell.be
33. Mark Posey, "New Secondary Aliphatic Amines for the formulator's toolbox", PDA Conference, March 2005, Biloxi, MI