



# 사회기반시설 장수명화를 위한 고성능 폴리우레아 방수·방식 요소기술 개발

Development of Waterproof and Anti-Corrosion Proofing Technology to Extend Service Life of Social Infrastructure Using Polyurea Resin

**김성래** Sung-Rae Kim  
한국건설생활환경시험연구원  
방수방식기술팀 선임연구원

**황규현** Kyu-Hyun Hwang  
강남화성(주) 기술연구소  
건설재료연구팀 선임연구원

**김영근** Young-Geun Kim  
한국건설생활환경시험연구원  
부품소재 단장

## 1. 머리말

사회기반시설은 대부분 해수, 태양광, 수분환경, 화학적 침식 등 가혹한 열화조건에 장기간 노출되어 있어 <사진 1>과 같이 경시변화에 따라 열화가 진행되고 있고, 이는 구조물의 안전 문제로 확대되어 경제적, 사회적 손실을 초래한다. 사회기반시설물의 장수명화를 위해 열화인자를 차단하고 시설물을 보호하는 고성능 방수/방식재 및 시공기술의 개발이 요구되는 상황에서 현재 사회기반시설물별 열화인자를 고려하지 않은 재료들이 적용되고 있으며, 폴리우레아 방수/방식재는 이중에서 가장 우수한 물성을 나타내고 있어 사용이 증가하고 있는 실정이다. 그러나 국내에서 적용되는 폴리우레아 방수재는 KS F 4922에 의거하여 품질기준이 규정되어 있지만, 해양 및 수처리 구조물 등 사회기반시설 환경에 적합한 무황변성, 내황산성, 내염해성 및 시공성을 평가할 수 있는 평가방법 및 품질기준이 정립되지 않아 제품에 대한 성능 검증 없이 현장에 적용되는 실정으로 구조물의 열화환경을 모사한 내구성 평가방법 및 적용 구조물별 재료의 요구 성능과 선정 플로우를 개발하여 방수/방식재의 내구설계가 가능하도록 해야 한다. 또한, 폴리우레아를 사용하는 건설현장에서는 시공자의 경험에 의해 장비 조작 및 시공 방법이 결정됨에 따라 품질관리 및 기술의 보급이 어려우므로 이를 해결하기 위한 폴리우레아 방수/방식 공법에 대한 시공지침이 필요한 실정이다. 한편, 방수/방식재의 내구성을 향상시키기 위해서는 사용 환경에서 작용하는 열화인자 및 이에 의한 성능변화의 파악이 우선적으로 필요하다는 것은 주지의 사실이다.

본 기사에서는 우수한 물성으로 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 폴리우레아 도막 방수/방식재를 대상으로 옥외폭포시험 및 해양환경시험을 실시하여 사회기반시설물의 장수명화를 위한 고성능 방수/방식 요소기술 개발에 관한 것으로 수처리시설, 상하수도용 코팅재, 콘크리트 표면 보호재, 강교용 부식 방지재로 적용이 가능한 고성능 폴리우레아 수지의 개발, 시공성 및 시공품질 개선을 위한 시공 장비의 개발, 내구 수명 연장,

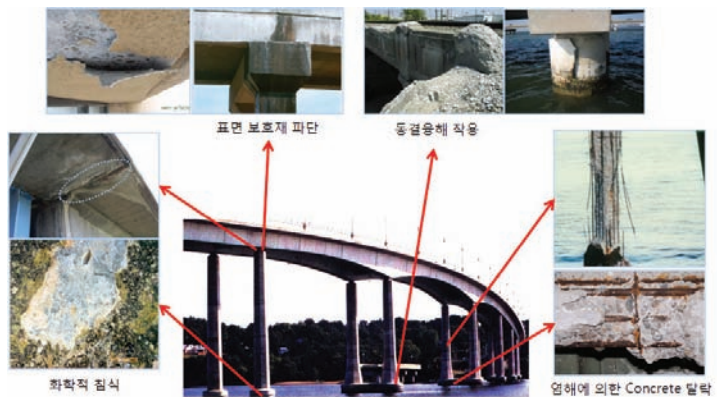


사진 1. 사회기반시설의 열화 현상

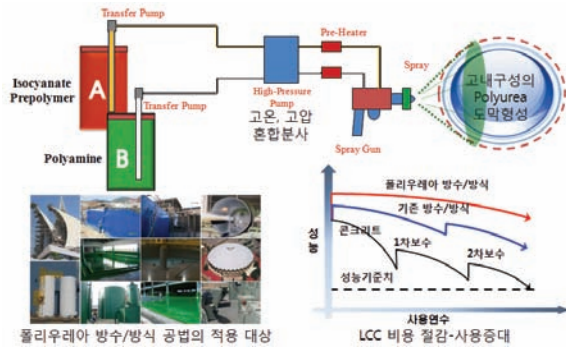


그림 1. 폴리우레아 방수/방식 공법

장기 내구성 평가 방법 및 내구 설계 기술의 연구과정을 소개하고자 한다.

## 2. 폴리우레아 방수/방식재 및 시공 장비 현황

### 2.1 폴리우레아 방수/방식재

폴리우레아는 일반건축물 및 토목구조물의 방수, 시설물 바닥 및 수처리 시설의 코팅, 내화학성 및 금속 방식성이 요구되는 송유관, 가스관의 파이프 및 탱크, 산업용 단열 및 선박용 특수 코팅재, 방폭 및 폭파 철거분야 등 <그림 1>의 폴리우레아 공법이 넓게 사용되고 있다. 일반적으로 폴리우레아는 빠른 경화속도, 낮은 흡수율, 내화학성이 우수한 재료로 폴리우레아 스프레이 장비를 사용하여 0℃ 이하의 온도에서도 시공이 가능하다. 그러나 주제와 경화제의 점도가 맞지 않는 경우 혼합이 불량하여 미경화가 발생하고, 외부에 노출된 경우 UV에 의한 황변이 심하게 발생하는 문제점이 있다. 또한 콘크리트 및 강재 등 피착물의 종류에 따라 적합한 배합을 결정하는 것이 매우 어려우며, <사진 2>와 같이 표면에 수분이 존재하는 경우 부착력이 급격히 저하한다.

국내의 규격 및 시험방법을 조사해 보면, 하자보수 기간 10년 이상을 보증하는 일본 및 유럽과 달리 국내



사진 2. 폴리우레아 하자 사진

의 폴리우레아 관련 규격인 KS F 4922에서는 기본물성 및 1주일의 단기적 촉진열화처리 후 인장강도와 신장률의 변화를 평가하지만, 유럽 규격 및 일본의 단체규격인 JASS 8에서는 16주, 24주 등 구조물에 대한 방수/방식재의 요구 성능을 장기적 촉진열화처리 후의 물성 변화로 평가하도록 되어있다. <표 1>은 도막 공법 중 대표적인 우레탄 탄성도막재와 폴리우레아 도막 방수/방식재의 공법을 비교한 것으로 일반우레탄 탄성도막재 보다 가사시간이 매우 빠르며, 인장강도, 신장률, 내구성 등이 매우 뛰어나나 재료적인 면에서 고가임을 알 수 있다.

### 2.2 국내의 시공 장비 분석

현재 국내에서 폴리우레아 도장에 사용되는 시공 장비는 Graco사와 Gusmer사에서 제작한 것이 범용적으로 90% 이상 사용되고 있으나 이들 제품은 고압의 충돌식 스프레이 방식으로 시공대상에 따라 연속적으로 사용할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 시공방법은 작업자의 숙련도에 따른 품질 의존도가 높으므로 품질관리의 어려움이 크고, 시공 중 다량의 비산 분진이 발생하여 사회적

표 1. 폴리우레아와 우레탄 도막 공법의 비교

제품 항목	Polyurea Spray Coating	일반우레탄탄성도막재
조성	주 제 : MDI Prepolymer 경화제 : ETHER AMINE 혼합물	주 제 : TDI Prepolymer 경화제 : 폴리 에테르폴리올
고형분	100%	98% 이상
가사시간	20초 이내	30 ~ 60분
경화시간	30초 이내	24시간
반응성	MDI와 ETHER AMINE과의 우레아 결합에 의해 경화 속도가 빠름	TDI 프리폴리머와 폴리 에테르 폴리올과의 우레탄 결합으로 느림
작업방법	기계작업 : 2액형 SPRAY 장비	수작업 : 레기, 흡손 및 롤러 사용
응용물성	인장강도(kg/cm <sup>2</sup> ) : 70~270 신장률(%) : 250~800	인장강도(kg/cm <sup>2</sup> ) : 25 이상 신장률(%) : 450 이상
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>•속경화 : 공기단축 가능</li> <li>•기계작업 : 넓은 면적 시공 가능</li> <li>•응용특성 : 탄성, 내마모성, 내충격성, 내한성, 내수성, 내구성이 우수</li> </ul>	상온에서 2액 반응경화 Type으로 도막 경화특성이 뛰어나고 퍼짐성이 우수하여 작업이 어려운 부위에도 시공이 가능.
	단점	재료 가격이 고가이며 별도의 시공 장비가 필요

반시설 등과 같이 개방된 작업 환경에서는 환경 문제를 야기할 수 있다. 특히, 작업 방식에 따라 원료의 손실율이 커질 수 있으므로 경제적인 부담이 확대되고, 작업 환경 및 대상에 따라 시공 기계 및 부품의 교체 등으로 인한 공기 지연이 필연적이므로 이러한 부분들을 개선한다면 품질, 환경 및 경제적인 측면에서 긍정적인 효과를 기대할 수 있다.

폴리우레아를 충돌 혼합하는 방법은 재료를 70℃ 이상으로 가열하여 점도를 낮춘 후 일정 공기압 이상으로 고압 분사하는 방식이다. 이 경우 상온에서의 점도는 800 mPa·s 이하로 생산되며, 고압의 충돌 혼합을 위해서 예열을 통해 <그림 2>와 같이 약 100 mPa·s 이하로 점도가 낮아야 한다. 만약 시공시 점도가 너무 높게 되면 분사 노즐 내부의 재료 이동이 어렵고, 이로 인한 분사압 차이가 발생하여 혼합비 불량에 따른 미경화로 물성이 현저하게 저하된다. 이러한 폴리우레아 시공 장비는 대형으로 전용 이동차량에 탑재하여 시공 장소까지 이동하는 어려움이 있고, 뿔칠장치의 분사각이 매우 크게 작용하여 코너 및 파라펫 등의 모서리 부위에서 정밀 시공이 불가능하므로 대규모 시설의 방수·방식 공사에 범용적으로 적용 가능한 시공 장비를 개발하여 대상 구조물 및 시공부위별 시공이 가능하고, 시공 시 발생하는 재료 비산의 발생량 감소 및 억제를 위한 장비가 개발되어야 할 필요성이 증대되고 있다.

### 3. 폴리우레아 방수/방식 요소기술 개발

폴리우레아 방수/방식제는 노출형과 비노출형의 분류가 없이 범용적으로 콘크리트 구조물의 표면보호재, 금속 방식재, 지하구조물, 수처리 구조물 등에 적용되며 외기온도, 일사에 의한 열 및 화학작용(특히 자외선), 대기

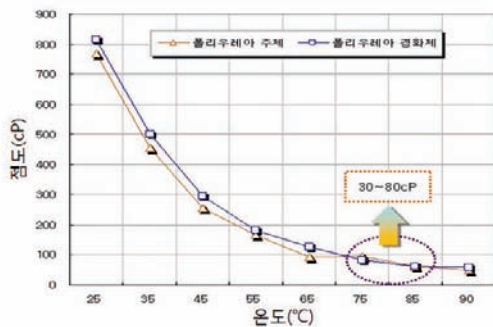


그림 2. 폴리우레아의 온도-점도변화

중의 오존과 더불어 빗물 및 습기 등의 영향을 더욱 크게 받고, 보호층이 있는 비노출 부위는 상대적으로 환경의 영향을 덜 받지만 경년열화에 의해 방수/방식재가 변질되어 초기의 성능이 변화하고, 바탕콘크리트의 균열 및 거동에 대응하여야 한다. 이에 열화인자는 열, 자외선, 오존, 수분 등으로 설정하였으며, 요구 성능은 균열 및 거동 등의 외력에 대한 저항성으로서 부착성능을 주요 평가요소로 결정할 수 있다.

### 3.1 교량 구조물 Mock-up 시험

<사진 3>은 8,000×2,000×2,300 mm 콘크리트 교각과 상판을, H빔은 거더를 모사하였으며 상판 상/하부 및 거더(금속 지지대), 교각의 동서남북 방향으로 구분하여 각 부위별로 1개월마다 태양의 일조량 및 환경적 요인에 따라 폴리우레아 방수/방식재의 열화 특성을 분석하기 위해 초기 부착강도, 외관의 변태색, 균열, 들뜸 등을 검토하고 경시별 특징을 분석하였다. 또한, Mock-up 시험체와 도막상태의 시편을 함께 옥외폭로하여 경시별 열화인자에 따른 폴리우레아 도막의 물성 변화를 확인하였다.

### 3.2 강관 및 콘크리트 판넬 해양환경 시험

강관 시험체는 직경 400 mm, 두께 5 mm 강관으로 600 mm 높이로 제작하였으며, 콘크리트 판넬은 1,000×1,000×100 mm의 평판으로 제작하였고, <사진 4>는 1년 내내 지속적으로 해수에 침지되어 있는 침지대, 밀물과 썰물의 해수면 변화에 건습 반복되는 간만대, 해풍의 영향을 받는 비말대로 구분하여 강관의 부식과 염수 환경 및 태양의 일조량에 따른 외관의 변태색, 균열, 들뜸 등을 측정하고, 바다 동·식물의 번식에 따른 내오염성을 평가하였다.



사진 3. 교량 구조물 Mock-up 시험체

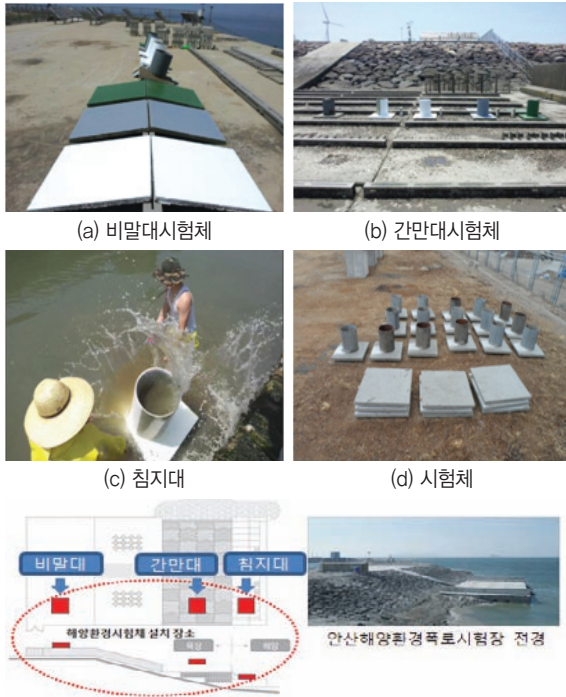


사진 4. 해양환경시험체 설치 장소

### 3.3 국산 2액형 스프레이 시공 장비

#### 3.3.1 시공기술개발

분사량 조절의 조정으로 시공의 연속성을 향상시키고, 원료의 압력을 일정하게 유지하여 시공 품질을 보완하며, 분진 및 원료 Loss를 줄일 수 있는 분사장치 디자인을 도출하여 장착함으로써 기존 시공 장비의 단점을 보완한 장비를 개발하고 있다. 또한, 연속시공이 가능한 장비의 개발을 통하여 기존 폴리우레아 장비의 단점인 원료보충시 이음부 발생을 최소화할 수 있고 일체화된 도막형성이 가능할 것으로 판단한다. <사진 5>와 같이 개발되는 시공 장비의 작업성 및 분진 발생량, 토출압력에 따른 도막두께 등을 8,300×2,300×200 mm의 콘크리트 평판 구조물에 3부분으로 나누어 KS인증제품, 고내구성, 무황변 및 수작업용 폴리우레아 도막을 평가하였다.



사진 5. 시공 장비의 성능평가를 위한 콘크리트 구조물

#### 3.3.2 원료 압력 보존 장치 개발

현재 주로 사용되는 장비의 시스템을 분석한 결과 기본 원리를 보면 원액 압력의 발생은 유압실린더 또는 전동모터를 이용한 압력형성 방식이며 원액 펌프는 좌우, 또는 상하왕복운동으로 압력을 발생시키지만, 원액 펌프의 좌우, 상하 왕복 운동으로 압력 발생 시 방향 전환의 압력 편차(즉 맥동)로 인하여 원료 혼합 불량이 발생 할 수 있는 것으로 나타났다.

<그림 3>의 맥동 현상의 감소 효과를 보기위해 X, Y 부에 압력 보존 장치(accumulator)를 부착하는 방법으로 A, B원료의 압력을 고르게 유지되고 이에 원료 혼합 비가 고르게 됨으로 시공 품질을 높일 것으로 판단된다.

#### 3.3.3 분사장치 개선

현행 분사 장치 방식인 관로 직각형은 관로 경사형보다 와류 형성이 적어 분진발생은 적으나 혼합율이 떨어지고, 관로 경사형은 관로 직각형보다 와류 형성이 크기 때문에 혼합율은 좋으나 분진발생이 증가한다고 알려져 있다. 따라서 혼합율 향상 및 분진발생의 억제를 위해서는 관로 직각형을 기준으로 개발하되 <그림 4>와 같이 Chamber 관로의 경(Φ), 길이를 조정하면서 최적의 분사장치로 개량하는 것이 우선이며, 유속 및 압력과의 상관관계를 고려하여 개선하였다.

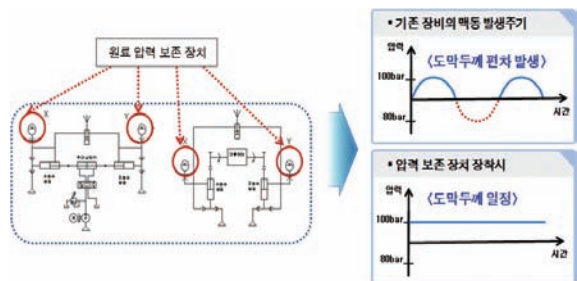


그림 3. 압력보존 개념

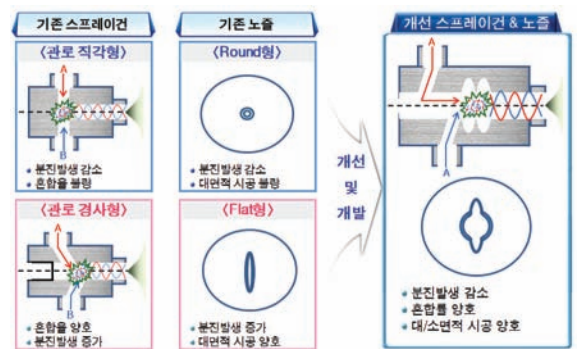


그림 4. Spray Gun 분사장치 구조

## 4. 폴리우레아 방수/방식 공법의 성능 향상

### 4.1 고내구성 폴리우레아 수지 개발

폴리우레아 수지는 일반적으로 [A]부와 [B]부가 1:1(부피비)의 배합비를 가지는 것이 정설이다. 하지만, 이소시아네이트 프리폴리머인 [A]부는 대기중의 수분과 반응하여 가지고 있는 반응기를 자체적으로 소실하거나 아민 혼합물인 [B]부와 결합할 때, 일부 반응기를 잃어버릴 수 있다. 이를 제어하기 위해서 폴리우레아 수지를 설계할 때, 이소시아네이트 프리폴리머인 [A]부의 반응기[당량]를 [B]부보다 약간 증량시켜 놓는 것이 일반적이다.

### 4.2 폴리우레아 수지 설계의 최적화

폴리우레아 수지의 [A]부로는 MDI 형식의 프리폴리머를 사용하였으며 최적의 인덱스(index) 비율을 설계하기 위해 NCO(%)를 15.4로 고정하였고, [B]부의 아민 혼합물 함량을 변화시켜 실험하여 인장강도와 신장률에서 <그림 5>와 같은 결과를 나타내었다.

MDI 프리폴리머인 [A]부를 고정한 상태에서 [B]부의 인장강도와 신장률을 측정한 결과를 보면 Index Ratio가 0.90에서 0.95까지는 증가하다가 이후 감소하는 추세를 보이고 있다. 이후 인장강도는 1.02에서 증가하다가 1.10에서 최대 수치가 나타나며 신장률은 1.02에서 계속적으로 증가하다가 1.15에서 최대 수치가 나타남을 알 수 있다. 앞에서 실험한 결과를 기초로 아민 혼합물인

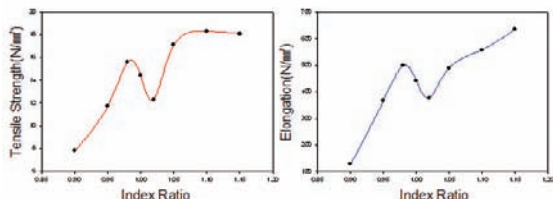


그림 5. A부 고정 수지변화에 따른 물성

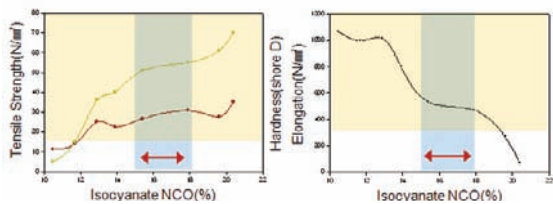


그림 6. B부 고정 수지변화에 따른 물성

Resin 프리폴리머인 [B]부의 폴리아민(%)을 1.10로 일정하게 고정한 상태에서 [A]부의 이소시아네이트 프리폴리머 함량을 변화시켜 실험하여 인장강도와 신장률에서 <그림 6>과 같은 결과를 나타내었다.

폴리아민 혼합물인 [B]부를 고정한 상태에서 [A]부의 인장강도를 측정된 결과를 보면 이소시아네이트 프리폴리머 NCO(%) 함량이 증가할수록 경도와 인장강도가 함께 증가하여 주요 물성을 나타내는 것을 알 수 있다. 하지만 신장률의 경우 경도가 증가 할수록 감소하는 경향을 나타내어 최적의 이소시아네이트 프리폴리머 NCO(%)의 함량은 15 ~ 18%로 결정하였다.

### 4.3 수작업형 무황변 폴리우레아 수지 개발

기존 폴리우레아 수지의 조성은 방향족 화합물의 사용으로 기계적 물성과 경화속도는 빨라졌지만, 자외선에 대한 저항성이 매우 취약하여 시공 후 3개월 이내에 표면의 황변이 발생하여 사회적으로 혐오시설을 만들어 내는 문제와 분자구조의 변형으로 초기 수지설계의 물성이 급격히 저하되는 문제가 발생하였다. <그림 7>은 폴리우레아 도막의 황변이 발생하는 화학구조의 변형 메커니즘이다.

따라서 <그림 8>과 같이 이소시아네이트의 방향족 화합물을 배제하여 상기와 같은 물성 저하 및 황변이 발생을 억제하였고 경화시간 및 가사시간을 충분히 확보하여 유지보수가 필요한 소형 작업구역과 시공 장비가 도입될 수 없는 현장에 도입가능한 수작업용 무황변 폴리우레아 수지를 개발하였다.

### 4.4 폴리우레아 방수/방식재의 내열성능 향상

폴리우레아를 사회기반시설에 도입하기 위해서는 내열성능의 향상이 필수적인 요소기술로, 교량 구조물의

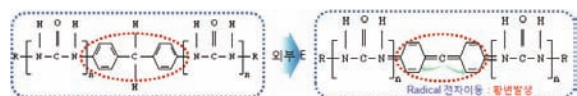


그림 7. 폴리우레아 분자구조의 변형

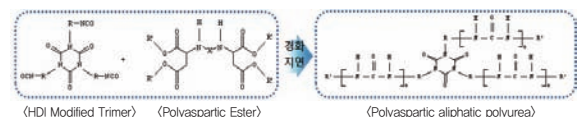
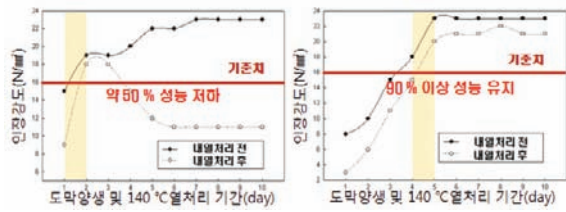


그림 8. 무황변 폴리우레아 분자구조



(a) 기존 폴리우레아 내열성능 (b) 개선 폴리우레아 내열성능  
**그림 9. 도막의 경화시스템에 따른 내열성능 향상**

상판 등에 교면방수재를 적용하기 위해서는 아스팔트도로 포장시 발생하는 150℃ 이상의 고열에 대한 저항성이 필요하게 되었다. 따라서 개선방향을 후 경화시스템으로 설정하여 폴리우레아 수지의 경화속도를 제어하는 수지를 설계하였고, 그 결과 화학적 반응속도를 제어하기 위해 경화시간을 충분히 제공하여 분자간의 결합력을 증가시키고 도막의 표면평활성이 양호함과 동시에 <그림 9>와 같이 초기 물성 대비 80% 이상의 성능을 확보하여 내열성능이 향상되는 최적의 수지 설계와 경화시스템을 정립하였다.

## 5. 맺음말

사회기반시설은 국민의 생명 안전과 재산보호에 직접적으로 연관되는 구조물로서 이들에 대한 장수명화를 위한 내구성 향상은 필수적이다.

본 기사에서 소개한 바와 같이 사회기반시설에 요소별 적용되는 폴리우레아 방수/방식 공법의 요구 성능에 대하여 재료의 품질향상과 시공관리가 앞에서 서술한 바와 같이 정립된다면, 콘크리트 교량 및 해양환경 구조물의 내구성향상으로 경제적, 시공성 향상에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 우수한 물성으로 현재 사회기반시설에 사용이 증가하고 폴리우레아 방수/방식 공법을 국민이 원하는 요구 성능을 충족시키기 위해서는 제품 및 시공 장비에 대해 충분한 검증이 요구된다. □

담당 편집위원 : 김수련((주)비케이방수방식연구소)  
 ksr1115@empal.com



**김성래 선임연구원**은 고분자 합성 및 물성으로 충북대학교 박사 과정에 재학 중이며, 기업연구소의 다년간 근무경력으로 2008년부터 한국건설생활환경시험연구원 방수방식기술팀에 재직하고 있다. 현재 방수/방식재료 관련 성능평가를 수행하고 있다.  
 srkim@kcl.re.kr



**황규현 선임연구원**은 2002년부터 강남화성(주) 기술연구소에서 건축용 폴리우레탄과 폴리우레아 시스템에 관한 기술개발을 담당하고 있으며, 친환경 초속경성 스프레이 시스템, 고내구성 방수재료, 콘크리트 부식방지 관련 성능 개선과 관련된 연구를 수행하고 있다.  
 hwang903@kangnam.co.kr



**김영근 단장**은 명지대학교에서 아크릴 공중합체형 내구유연 발수제 연구로 박사학위를 취득하였고, 국립공업기술원을 거쳐 1994년부터 한국건설생활환경시험연구원에서 근무하고 있다. 우리학회 방수위원회 위원장을 역임하였고, 현재 표준개발협력기관(COSD) 방수전문 위원장을 맡고 있다.  
 ygkim@kcl.re.kr