

구조물 내진 보강용 폴리우레아의 내구 성능 평가

조철민¹, 김장호^{2*}, 이두성³, 김태균⁴

Durability Performance Evaluation of PolyUrea for Seismic Retrofitting of RC Structures

Chul-Min Cho¹, Jang Jay Ho Kim^{2*}, Doo-Sung Lee³, Tae-Kyun Kim⁴

Abstract: An experimental study is needed a reinforcing method for seismic load to apply for RC structures because a lot of earthquakes have frequently happened in the world and those also collapsed infrastructures or damaged human lives. The reinforcing effect of PolyUrea (PU) appeared to be excellent under blast and impact about RC structures. In this study, Stiff Type PolyUrea (STPU) had developed by manipulating the ratio of the components of prepolymer and hardener of PU. And the durability performance evaluation of STPU for deterioration and chemical resistance has been performed. Acid environmental exposure test and ultraviolet (UV) exposure test have been performed as the durability performance evaluation for STPU. Concrete carbonation exposure test and freezing and thawing test for concrete coated with STPU have been performed. The experimental result showed that STPU has high resisting capacity and durability in all tests. Therefore, STPU would be used as seismic reinforcement materials.

Keywords: Seismic, Reinforcement, Retrofitting, PolyUrea, Durability Performance Evaluation

1. 서 론

최근 리히터 규모 7.0의 아이티 강진, 규모 7.3의 터키 강진, 규모 7.3~7.6의 대만 강진, 규모 8.8의 칠레 강진과 같이 전 세계적으로 큰 지진이 발생하여 수많은 인명피해와 건축물 및 사회기반시설물에도 심각한 피해가 발생하고 있으며, 막대한 경제적 손실과 재산피해가 발생하였다. 우리나라도 지진(규모 2.0) 발생 횟수가 2013년 한 해만 하더라도 93회로 지난 35년 중 최대로 발생하였으며 1999년도부터 2012년도까지의 지진 발생 연 평균 횟수인 44.5회보다도 두 배 더 많이 발생한 것으로 나타났다(Nam, 2014).

1992년부터 교량의 내진설계기준을 정비하고 있거나 내진설계를 실시하고 있지만 기존 사회기반시설물의 내진성능향상에 대한 연구는 미미한 실정이다. 기존 구조물의 내진보강 공법은 대표적으로 부재단면 증가에 의한 보강공법, 보강재

삽입에 의한 보강공법, 부재증설에 의한 보강공법, 병용공법에 의한 보강공법으로 나눌 수 있다. 특히 부재단면 증가에 의한 보강공법으로는 원형단면 교각에 대해 강관 보강법과 교각의 내하력, 연성도, 전단강도를 향상시키기 위한 콘크리트 보강이나 Fiber-Reinforced Polymer(FRP) 보강공법이 주로 사용되어왔다(Kim et al, 2013; Lu et al, 2005; Chen et al, 2008; Kim et al, 2013). 그 중 FRP 공법은 다른 재료 및 공법들에 비해 강도 증진, 내구성 향상과 시공 용이성 향상 면에서 다른 공법과 비교해 볼 때 많은 장점을 가지고 있어 지금까지도 각광 받고 있는 공법이기도 하지만 FRP 보강 시 사용되는 접착제는 불필요한 인터페이스를 만들고 시간이 지나면서 열화 및 탈락 문제가 발생한다는 단점을 가지고 있다. 따라서 이러한 문제를 근본적으로 해결할 수 있도록 구조물과 보수재료에 존재하는 계면을 제거하고 일체거동을 유도할 수 있는 획기적인 재료가 필요하다. 최근 기존 FRP 공법을 대체할 재료 및 공법으로 폴리머계 고연성 재료를 활용하는 기법이 대안으로 제시되고 있다. 폴리머계 보강재료는 비구조용 보수재료로써 사용되고 있지만, FRP와 달리 구조물과 보수재료에 존재하는 계면이 존재하지 않을 뿐만 아니라 열화, 탈락이 발생하지 않아 구조물과의 일체거동을 유도할 수 있고, 스프레이형식 급속시공이 가능하기 때문에 구조물에 직접 분사하여 보강하는 방법으로 균일한 품질을 유지할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 이를 보다 적극적으로 다양한 분야에 적용하기 위해서는

¹학생회원, 연세대학교 토목환경공학과 석사과정

²정회원, 연세대학교 토목환경공학과 정교수, 교신저자

³정회원, (주) 홍지 공학박사

⁴정회원, 연세대학교 토목환경공학과 박사 후 연구원

*Corresponding author: jjhkim@yonsei.ac.kr

School of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University, Seoul, 03722, South Korea

•본 논문에 대한 토의를 2017년 6월 1일까지 학회로 보내주시면 2017년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

물성의 개선을 통한 새로운 성능의 재료를 개발하여 구조용 재료로서의 적용가능성을 검토하고 활용할 수 있다면 좋을 것이다. 실내실험 및 문헌분석을 통하여 폴리머계 보강재료의 다양한 특성들이 분석되고 있지만 전 세계적으로 구조용 보수·보강재료로 내구적, 구조적 특성에 중점을 둔 연구는 전무하다(Hrynyk and Myers, 2008).

PolyUrea(PU)는 폴리머계 고분자 화합물로 물성의 광범위한 조절이 가능하고 우수한 계면접착성과 기계적 물성으로 현재 접착제, 코팅제와 같은 복합재료로 다양한 분야에서 사용되고 있다. 선행 연구에서 PU의 물성을 조절하여 보강 성능을 향상시키고자 연질형 폴리우레아(Flexible Type PolyUrea, FTPU)를 개발하였지만 이를 구조물에 적용한 보강 성능은 미미한 것으로 나타났다(Kim et al, 2010(a)). 이후 PU의 물성을 변화시켜 경질형 폴리우레아(Stiff Type PolyUrea, STPU)를 개발하였고 STPU를 적용한 RC 슬래브 시험체는 무보강 시험체보다 112%의 하중 증가량과 270% 이상의 변위 증가를 보였을 뿐 아니라 190% 이상의 연성지수에 대하여 보강 성능에 대한 효과가 있는 것으로 나타났다(Park et al, 2011). STPU는 FTPU보다 향상된 인장강도와 낮은 신장률의 성능을 발휘하도록 개발되었다. 높은 신장률은 구조물의 강성을 저하시키는 원인이 되기 때문에 낮은 신장률을 위해 조성비를 변화시켰다. 따라서 본 연구에서는 고연성과 고인성 효과를 나타내는 STPU를 내진보강용 폴리우레아로 선택하였으며 기존 보강공법을 대체할만한 새로운 보수·보강 재료로서 적용가능성의 검토를 위하여 내구 성능을 검증하려 한다.

2. 사용 재료

2.1 PolyUrea 기본 구성요소

폴리우레아(PolyUrea, PU)의 주재(Prepolymer)는 이소시아네이트(Isocyanate)와 다이올(Diol, Diamine)의 반응으로 형성되며, 이를 디이소시아네이트(Diisocyanate)라 하고 지방족(Aliphatic), 방향족(Aromatic), 지환족(Cycloaliphatic)으로 분류된다. 지방족은 Hexane Diisocyanate(HDI), Isophorone Diisocyanate(IPDI), Methylene Biscyclohexyl Diisocyanate(H₁₂MDI)가 있으며, 방향족의 경우 Toluene Diisocyanate(TDI), Naphthalene Diisocyanate(NDI), Methylene Diphenyl Diisocyanate(MDI), Bitoluene Diisocyanate(TODI)가 있고 지환족은 Methylene과 Cyclohexane에 Isocyanate가 결합된 것이다(Lamba et al, 1998(a)).

PU의 경화제(Hardener) 디아민(Diamine)의 사슬 확장자로는 Butanediol(BD), Ethylene Diamine(ED), Methylenebis

Chloroaniline(MOCA), Ethylene Glycol(EG), Hexanediol(HD)이 있다(Lamba et al, 1998(b)). PU의 경화제로 사용되는 사슬 확장자는 모노머(Monomer)나 올리고머(Oligomer)로 두 가지 형태이며 이는 PU의 분자량을 증가시키는 역할을 한다. 또한, PU의 결합력을 증가시키고 밀도와 기계적 물성을 향상시켜 준다. 선행 연구에서 개발한 내진보강용 폴리우레아의 경우 Diamine 사슬 확장자를 Isocyanate와 빠르고 격렬하게 반응하여 Urea group을 형성하였으며, 이를 통하여 Biuret 결합이 형성되므로 사슬간의 결합이 이루어진다. Biuret 결합은 Urea group 내 질소 원자에 있는 반응성이 큰 수소가 Isocyanate와 반응하면서 만들어지는 물질을 말한다.

2.2 내진보강용 폴리우레아 STPU

본 연구에서는 고연성과 고인성 효과를 나타내는 내진보강용 폴리우레아로서 STPU를 선택하였고 Table 1은 STPU의 구성물 및 함유량 나타내고 있다.

STPU의 주재 합성은 Methylene Diphenyl Diisocyanate 70%, Polyoxypropylene Glycol 20%, Propylenecarbonate 10%를 사용하였다. STPU의 경화제 합성은 Polyoxypropylene Diamine 40%, Polyethertriamine 10%, Polyetheramine 10%,

Table 1 Composite of stiff type PolyUrea

Material	Component	STPU [%]
Prepolymer	Methylene Diphenyl Diisocyanate (MDI)	70
	Polyoxypropylene Glycol	20
	Propylenecarbonate	10
	Polyoxypropylene Diamine	40
	Polyethertriamine	10
	Polyetheramine	10
Hardener	Diethylated Toluenetriamines (DETDA)	30
	Secondary Amine	5
	Propylene Glycol	2
	Pigment	2
	UV sorbent	under 2
	γ -glycidoxypropyltrimethoxysilane	1

Table 2 Material properties of stiff type PolyUrea

Assessment Items	STPU
Drying time [sec]	20
Tensile Strength [MPa]	26
Shore Hardness [D]	70
Bond Strength [MPa]	14
Elongation [%]	150

Diethylated Toluenetriamines(DETDA) 30%, Secondary Amine 5%, Propylene Glycol 2%, Pigment 2%, UV sorbent 2% 미만, γ -glycidoxypropyltrimethoxysilane 1%를 이용하여 30 ~ 90°C에서 반응시켰다. 양생 7일 이후에 재료 실험을 통하여 재료 물성을 도출하였으며, Table 2와 같이 내진보강용 폴리우레아인 STPU의 재료물성은 건조시간 20초, 인장강도 26 MPa, Shore 경도 70, 부착강도 14 MPa, 신장률 150%이다.

3. 실험방법 및 평가방법

폴리우레아는 화학적 환경(산, 알칼리, 염분 등)에 비교적 강한 성능을 갖고 있는 재료이다. 이에 관한 품질관리는 KS F 4922(폴리우레아 수지 도막 방수재) 규격에 준하고 있다. 본 연구에서 개발한 내진보강용 폴리우레아도 역시 주요 구성 성분인 주제와 경화제를 독립적으로 개량 및 혼합하였기 때문에 KS F 4922 규격의 현장 품질관리를 만족할 수 있는 내구성 평가 실험이 필요하다. 보통 폴리우레아의 화학적 환경으로는 노출형의 경우 시공 전·후에 발생하는 산성비, 자외선 노출, 공해로 인한 중금속, 매연 등이 있으며, 비노출형의 경우 콘크리트 구조물 자체에서 발생하는 알칼리 성분, 잔존해 있는 염해성분뿐 아니라 탄산화 노출 및 동결융해 등이 있다. 본 연구에서는 이러한 자연적 혹은 인위적으로 발생하는 다양한 화학적 열화인자에 대한 내구성 판단을 위하여 노출형의 경우 산 환경 및 자외선 노출을 선정하였으며 비노출의 경우 동결융해 및 탄산화 노출을 선정하여 기존 KS 규격을 준한 열화 및 내화학적 특성에 대한 검토를 실시하였다.

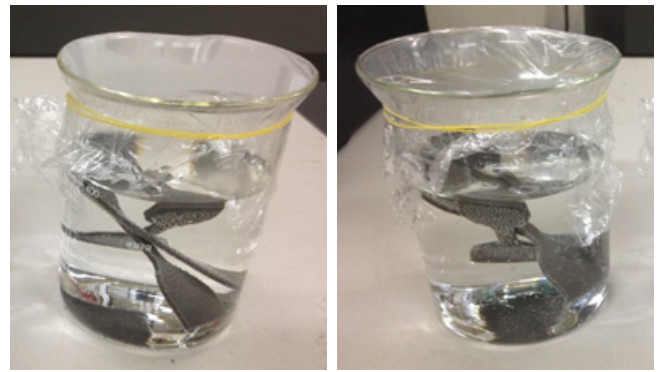
3.1 내진보강용 폴리우레아의 산, 자외선 환경 노출 시험

3.1.1 산 환경 노출 시험

내진보강용 폴리우레아의 산 환경 노출 시험은 KS F 4922(폴리우레아 수지 도막 방수재)에 준하여 실시하였으며, 시험 시 사용된 산의 종류로는 산 처리 온도 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 인 KS M ISO 6353-2(R37)에 규정된 황산 특급품 2% 용액을 선정하였다. Photo 1과 같이 황산 2% 용액 400 ml 속에 시편 3개를 168시간(7일) 침지시켰으며, 황산 10% 용액에 대해서 추가 시험을 진행하였다. 이 때 사용된 시편은 Photo 2(a)와 같은 크기로 KS M 6518(가황고무 물리 시험 방법)에 규정된 아령형 3호형으로 제작하였으며, Photo 2(b)의 틀갈을 이용하여 규격에 맞게 재단하였다.

3.1.2 자외선 환경 노출 시험

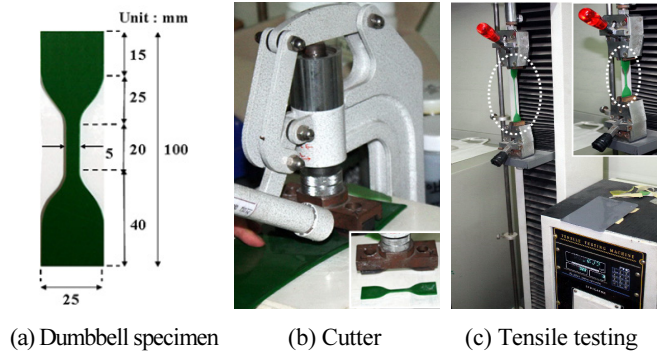
내진보강용 폴리우레아의 자외선 노출 시험은 KS F 2274



(a) H₂SO₄ 2% 400 ml

(b) H₂SO₄ 10% 400 ml

Photo 1 Acid environmental exposure test



(a) Dumbbell specimen

(b) Cutter

(c) Tensile testing

Photo 2 Tensile strength and percent elongation test



(a) Inside of chamber

(b) Accelerated artificial exposure chamber

Photo 3 UV exposure test

(건축용 합성 수지재의 촉진 노출 시험방법)에 준하여 실시하였으며, 자외선 형광램프로보다 더 강한 자외선을 방출하는 제논-아크 광원을 선택하여 시험을 진행하였다. Photo 3(b)는 제논-아크 시험기 챔버로써 Photo 2(a) 아령형 3호형 시편 3개씩을 각각 1,000시간 및 2,000시간 노출시켰다.

3.1.3 인장강도 및 신장률 측정

본 연구에서 개발한 폴리우레아의 재료성능을 평가하기 위하여 산 및 자외선 환경 노출 전·후의 인장강도 및 신장률을 측정하였다. 인장강도 및 신장률 시험방법은 KS M 6518(가황 고무 물리 시험 방법)에 준하여 측정하였으며 Photo 2(c)에서 볼 수 있듯이 시험체를 지그로 고정시켜 양쪽으로 하중을 가하였다. 인장 시험기는 시험시의 최대 하중이 시험장비 능력의 15%에서 85%의 범위가 되는 것으로 하였으며, 인장속도는 500 mm/min으로 하였다. 인장강도의 측정은 시편이 파단될 때까지의 최대하중으로 측정하고 식 (1)에 따라 계산하여 시편 3개의 평균값으로 나타내었다.

$$T_B = \frac{F_B}{A} \quad (1)$$

여기서, T_B 는 인장 강도(MPa), F_B 는 최대 하중(N), A 는 시편의 단면적(mm²)이다.

신장률은 시편 파단시 눈금 사이의 길이를 밀리미터 단위까지 측정하여 식 (2)에 따라 계산하였고 시편 3개의 평균값으로 나타내었다.

$$E_B = \frac{L_i - L_0}{L_0} \times 100 \quad (2)$$

여기서, E_B 는 신장률(%), L_0 는 눈금 거리(mm), L_i 는 파단될 때의 눈금 사이의 길이(mm)이다.

3.2 내진보강용 폴리우레아 도포 콘크리트의 탄산화 노출, 동결융해 시험

3.2.1 탄산화 노출 시험

내진보강용 폴리우레아 도포 콘크리트의 탄산화 노출 시험은 KS F 2584(콘크리트의 촉진 탄산화 시험방법)에 준하여 실시하였으며, Photo 4(c)와 같이 온도 20°C, 상대습도 60%, 이산화탄소 5%의 조건을 만족할 수 있는 탄산화 노출 챔버에서 시험을 수행하였다. Photo 4(a)에서 볼 수 있듯이 사용된 시편은 직경 100 mm, 높이 200 mm 크기의 일반강도 콘크리트(30 MPa 급) 원형 공시체에 본 연구에서 개발한 폴리우레아를 측면 도포하였으며, 각 3개씩 4주 및 8주 노출 후 탄산화 깊이를 측정하였다(촉진탄산화 시험은 옥외에 있어 100배의 기간에 상당함). 그리고 추가적으로 고강도 콘크리트(50 MPa 급)에 대해 위와 동일한 조건으로 시험을 수행하였다.

3.2.2 탄산화 깊이 측정 및 탄산화 속도 계수 산출

본 연구에서 개발한 폴리우레아의 재료성능을 평가하기 위하여 내진보강용 폴리우레아 도포 콘크리트의 탄산화 노출 후의 탄산화 깊이를 측정하였다. 탄산화 깊이 측정 시 페놀프탈레인 용액을 분사하면 적자색으로 변색이 되는데, 표면으로부터 변색된 구간까지의 깊이를 탄산화 깊이로 보고 Photo 4(b)와 같이 공시체의 한쪽 측면을 10등분하여 총 20 군데의 탄산화 깊이를 측정하였으며, 공시체 3개의 평균값으로 나타내었다. 탄산화 깊이 측정을 통해서 탄산화 속도 계수를 식 (3)에 따라 계산하였다.

$$\alpha = \frac{d}{\sqrt{t}} \quad (3)$$

여기서, α 는 탄산화 속도 계수, d 는 탄산화 깊이(mm), t 는 탄산화 기간(week)이다.

3.2.3 동결융해 시험

내진보강용 폴리우레아 도포 콘크리트의 동결융해 시험은 KS F 2456(급속 동결 융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법)에 준하여 실시하였으며, 콘크리트 공시체의 중심온도가 동결 시 -18°C, 융해 시 +4°C가 되도록 동결융해 챔버에서 시험

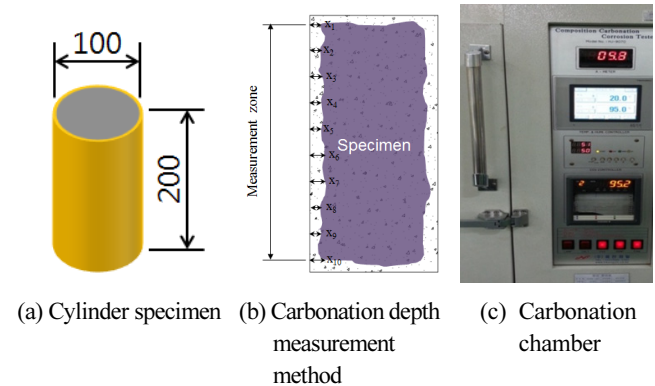


Photo 4 Concrete carbonation exposure test



(a) Freezing and thawing chamber (b) Dynamic elastic modulus measuring equipment

Photo 5 Freezing and thawing test

을 진행하였다. 이때 사용한 시편은 직경 100 mm, 높이 200 mm 크기의 일반강도 콘크리트(30 MPa 급) 및 고강도 콘크리트(50 MPa 급) 원형 공시체에 본 연구에서 개발한 폴리우레아를 전면 도포하였다.

3.2.4 동탄성 계수 및 압축강도 측정

본 연구에서 개발한 폴리우레아의 재료성능을 평가하기 위하여 내진보강용 폴리우레아 도포 콘크리트의 동결융해 300 사이클 전·후의 동탄성계수 및 압축강도를 측정하였다. Photho 5(a)와 같이 챔버 내 기중에서 동결융해의 작용을 한 사이클에 2~4시간 정도로 반복하였으며, 총 300사이클을 반복하였다. 동탄성 계수의 측정은 Photho 5(b)의 측정 장비를 이용하였으며 공시체 3개의 평균값으로 나타내었다. 이후 식 (4)에 따라 상대 동탄성 계수를 도출하였으며, 내구성 지수 측정은 식 (5)에 따라 계산하였다.

$$P_c = \left(\frac{n_c^2}{n_0^2} \right) \times 100 \quad (4)$$

여기서, P_c 는 동결 융해 C 사이클 후의 상대 동탄성 계수(%), n_0 는 동결 융해 0사이클에서의 변형 진동의 1차 공명 진동수(Hz), n_c 는 동결 융해 C 사이클 후의 변형 진동의 1차 공명 진동수(Hz)이다.

$$DF = \frac{PN}{M} \quad (5)$$

여기서, DF 는 시험용 공시체의 내구성 지수, P 는 사이클에서의 상대 동탄성 계수(%), N 은 상대 동탄성 계수가 60%가 되는 사이클 수 또는 동결 융해의 노출이 끝나게 되는 순간의 사이클 수, M 은 동결 융해의 노출이 끝날 때의 사이클 수이다.

4. 실험 결과

본 연구에서 폴리우레아의 산 환경 및 자외선 노출 시험과 폴리우레아를 도포한 콘크리트의 동결융해 및 탄산화 노출 시험 결과는 다음과 같다.

4.1 산 환경 및 자외선 노출 시험 결과

4.1.1 산 환경 노출 시험 결과

내진보강용 폴리우레아의 산 환경 노출 시험 수행 후 산 환경 노출 전·후의 인장강도 및 신장률을 측정된 결과는 Table 3과 같다. 인장강도의 경우 황산 2, 10% 용액에 침지시킨 폴리우레아 시편 모두 약 8%의 강도 저하가 발생되었으며 신장률의 경우 황산 2, 10% 용액에 침지시킨 폴리우레아 시편은 각

각 약 13, 20% 증진되었다. KS F 4922(폴리우레아 수지 도막 방수재)의 ‘방수재의 품질에서 산 처리 이후 품질 기준’은 인장강도 비의 경우 80% 이상 150% 이하, 파단시의 신장률의 경우 250% 이상으로 규정하고 있다. 산 환경 노출 시험결과 황산 2%(pH 0.33)침지의 경우(KS F 4922 기준) 뿐 아니라 황산 10%(보통 산성비의 pH는 4.6정도로 조사되었으며 황산 10%의 pH는 대략 -0.44로 계산됨)의 고농도 조건에서도 인장강도의 기준을 만족하였다. 신장률의 경우 본 연구에서 독립적으로 혼합 및 개량한 재료이기 때문에 KS 규격에 준하지 못하였지만 본 연구에서 목표로 한 150%는 만족했다. 극한의 강산이라는 조건에서 인장강도만을 고려해보았을 때 8%의 강도 저하 능력은 산 노출에 대한 내구성능이 우수한 것으로 판단된다.

4.1.2 자외선 환경 노출 시험 결과

내진보강용 폴리우레아의 자외선 노출 시험 수행 후 자외선 노출 전·후의 인장강도 및 신장률을 측정된 결과는 Table 4와 같다. 인장강도의 경우 Xenon Arc 광원에 1,000시간 및 2,000시간 노출 시킨 폴리우레아 시편은 각각 약 31, 38% 강도저하가 발생하였으며 신장률의 경우 Xenon Arc 광원에 1,000시간 및 2,000시간 노출 시킨 폴리우레아 시편은 각각 약 27, 40% 이상 감소하였다. KS F 4922(폴리우레아 수지 도막 방수재)의 ‘방수재의 품질에서 산 처리 이후 품질 기준’은 열화실험 이후 인장강도 16 MPa 이상의 성능과 인장강도 비 80% 이상 150% 이하, 파단시의 신장률 250% 이상으로 규정하고 있다. 자외선 노출 시험결과 인장강도는 만족시켰지만, 인장강도 비와 신장률의 경우 KS 규격은 만족하지 못하였다. 한 사이클에 자외선 노출 조사량은 550 W/m²이 방출되며 1,000시간 및 2,000시간 노출 시 각각 1,980 MJ/m², 3,960 MJ/m²이 방출된다. 우리나라 연간 총 자외선량은 약 270 MJ/m²이었으며 실제 외부에 노출된 시간을 환산하면 대략 7년 3개월

Table 3 Acid environmental exposure test result

	STPU	H ₂ SO ₄ 2%	H ₂ SO ₄ 10 %	Ratio
Tensile strength [MPa]	26	24	24	1.0:0.92:0.92
Percent elongation [%]	150	170	180	1.0:1.13:1.20

Table 4 UV exposure test result

	STPU	1,000 hrs	2,000 hrs	Ratio
Tensile strength [MPa]	26	18	16	1.0:0.69:0.62
Percent elongation [%]	150	110	90	1.0:0.73:0.60

과 14년 6개월 정도이다. 또한, 자외선 노출 2,000시간은 KS 기준(250시간)보다 8배가량 노출 시간을 증가시킨 극한의 조건이며, 이 조건에서도 인장강도 16 MPa 이상의 성능을 만족하므로 자외선 노출에 대한 저항성능이 있다고 판단된다.

Table 5 Concrete carbonation exposure rest result

Type		Time [week]	Carbonation depth [mm]	Carbonation rate modulus
Normal strength concrete	No Coated	4	5.87	2.94
		8	8.98	3.17
	Side Coated	4	0.00	0.00
		8	0.00	0.00
High strength concrete	No Coated	4	3.36	1.68
		8	4.66	1.65
	Side Coated	4	0.00	0.00
		8	0.00	0.00

4.2 내진보강용 폴리우레아 도포 콘크리트의 탄산화 노출 및 동결융해 시험 결과

4.2.1 탄산화 노출 시험 결과

내진보강용 폴리우레아 도포 콘크리트의 탄산화 노출 시험 수행 후 탄산화 노출 전·후의 탄산화 깊이 및 탄산화 속도 계수를 도출한 결과는 Table 5와 같다. 4주 동안의 탄산화 노출 시험 결과, 일반강도 및 고강도 콘크리트에 대해 탄산화 깊이는 약 5.87, 3.36 mm로 측정되었으며, 폴리우레아 도포 시편은 콘크리트 강도와 무관하게 탄산화 침투가 발생하지 않았다. 마찬가지로 8주 동안의 탄산화 노출 시험 결과, 일반강도 및 고강도 콘크리트에 대해 탄산화 깊이는 약 8.98, 4.66 mm로 측정되었으며, 폴리우레아 도포 시편은 강도와 무관하게 탄산화 침투가 발생하지 않았다. 일반강도 콘크리트가 고강도 콘크리트보다 탄산화 속도계수가 높음을 알 수 있었으며, 폴리우레아를 측면 도포한 콘크리트 시편의 경우 탄산화 노출이 전혀 발생하지 않은 것으로 나타나 탄산화침투에 대한 충분한 저항성능을 가지는 것으로 판단된다. Photos 6과 7은

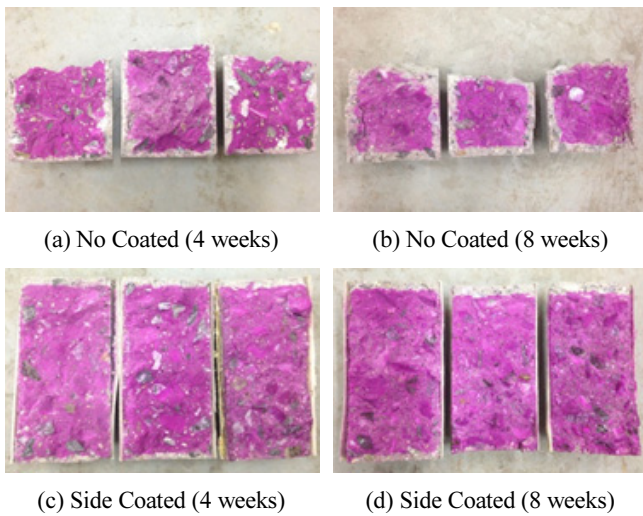


Photo 6 Concrete carbonation exposure rest result (normal strength concrete)

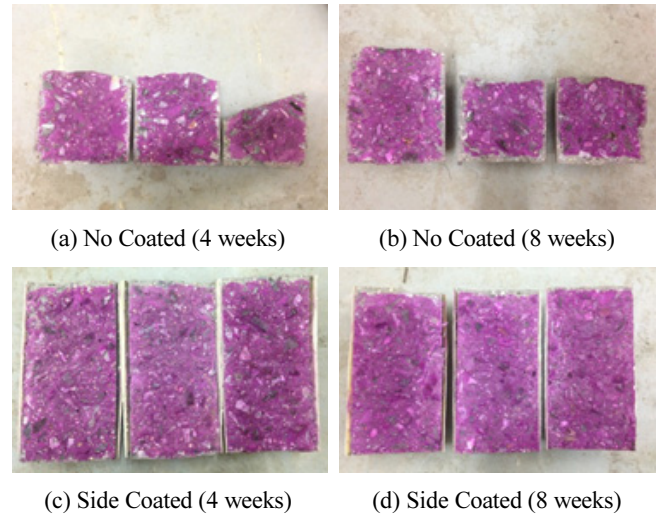


Photo 7 Concrete carbonation exposure rest result (high strength concrete)

Table 6 Freezing and thawing test result

Type		Cycle	Dynamic elastic modulus [Hz]	Durability factor [%]	Compressive strength [MPa]	Reduced strength [%]
Normal strength concrete	No Coated	0	22573	95.49	39.59	11.94
		300	22040		34.30	
	Coated	0	22573	97.79	40.11	0.97
		300	22224		37.64	
High strength concrete	No Coated	0	23029	95.34	62.71	13.36
		300	22503		55.22	
	Coated	0	23029	96.93	69.08	6.16
		300	22774		68.41	

탄산화 노출 깊이를 측정하기 위해 페놀프탈레인 용액을 뿌린 시편이다.

4.2.2 동결융해 시험 결과

내진보강용 폴리우레아 도포 콘크리트의 동결융해 시험 수행 후 동결융해 300사이클 전·후의 동탄성계수 및 압축강도를 측정된 결과는 Table 6과 같다. 일반강도 콘크리트의 경우 300사이클 전·후의 동탄성계수에 따른 내구성 지수는 무도포 시 95.49%, 전면 도포 시 97.79%로 측정되고 압축강도 저하 정도는 무도포 시 11.94%, 전면 도포 시 0.97%로 측정되었다. 고강도 콘크리트의 경우 300사이클 전·후의 동탄성계수에 따른 내구성 지수는 무도포 시 95.34%, 전면 도포 시 96.93%로 측정되었으며, 압축강도 저하 정도는 무도포 시 13.36%, 전면 도포 시 6.16%로 측정되었다. 국내의 동결융해는 지역별로 차이가 있지만 실험 챔버의 300 사이클은 실제 외기에 노출된 구조물에 있어 적게는 2년 반에서 많게는 7년 반 정도의 노출이다(국내 연 평균 동결 최저온도는 춘천지역 -6.5°C로 실험조건 -18°C와 비교시 약 세 배 낮은 조건임). 이러한 장기간의 노출에 있어 전면 도포 시편은 무도포 시편보다 내구성 지수가 높게 측정되었으며 강도 저하 정도는 더 낮게 측정된 것으로 보아 폴리우레아 도포 시 동결융해에 대한 내구성능이 우수한 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 내진 보강용 폴리우레아의 내구성능을 판단하기 위하여 열화 및 내화학적 특성에 대한 검토를 실시하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 황산 2, 10% 용액에 침지시킨 폴리우레아 시편은 인장강도의 경우 모두 약 8% 강도 저하가 발생되었으며 신장률의 경우 각각 약 13, 20% 이상 증진된 것을 확인하였다. 인장강도의 경우 KS 규정을 만족하였으며, 내진 보강용 폴리우레아가 산 환경 노출 시 인장강도 면에서 내구성능이 우수한 것으로 판단된다.
- 2) Xenon Arc 광원에 1,000, 2,000시간 노출시킨 폴리우레아 시편은 인장강도의 경우 약 31, 38%의 강도 저하가 발생되었으며 신장률의 경우 각각 약 27, 40% 감소된 것을 확인하였다. KS 기준에서 자외선 노출은 250시간으로 규정하고 있지만 8배 이상 되는 극한의 노출 조건(2,000시간)에서도 인장강도 16 MPa 성능을 발휘하였으므로 자외선 노출에 대한 저항성능이 있다고 판단된다.
- 3) 탄산화 4주 노출 시 일반강도 및 고강도 콘크리트의 탄산화 깊이는 약 5.87, 3.36 mm로 측정되었으며, 폴리우

레아 도포 시편 모두 탄산화 침투가 발생하지 않았다. 탄산화 8주 노출 시 일반강도 및 고강도 콘크리트의 탄산화 깊이는 약 8.98, 4.66 mm로 측정되었으며, 폴리우레아 도포 시편 모두 탄산화 침투가 발생하지 않았다. 폴리우레아를 측면 도포한 콘크리트 시편의 경우 탄산화 노출이 전혀 발생하지 않은 것으로 나타나 탄산화침투에 대한 충분한 저항성능을 가지는 것으로 판단된다.

- 4) 동결융해 300사이클을 경험한 일반강도 및 고강도 콘크리트 시편에 대해서 전면 도포 시편은 무도포 시편보다 내구성 지수가 높게 측정되었으며 강도 저하 정도는 보다 낮게 측정된 것으로 나타나 폴리우레아 도포할 경우 동결융해에 대한 내구성능이 우수한 것으로 판단된다.
- 5) 본 연구에서 내진 보강용 폴리우레아의 내구성능 여부를 위하여 폴리우레아의 경우 산 환경 및 자외선 노출 시험을 실시하였고 폴리우레아를 도포한 콘크리트의 경우 탄산화 노출 및 동결융해 시험을 실시하였으며, 모든 시험에서 내구성능 및 저항능력이 우수한 것으로 판단되었다. 본 연구에서 검증한 내용을 고려해 볼 때 추후 내진보강 재료로써 유용하게 사용될 수 있을 것이라고 사료된다.

감사의 글

이 연구는 국토교통부(국토교통과학기술진흥원) 2015년 국토교통기술사업화지원사업 ‘기동부재의 내진 성능 및 내구성 극대화를 위한 PU Spray 보수 보강 공법의 실용화(15TBIP-CO74206-02)’ 연구단을 통해 수행되었으며, 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(중견연구자-도약연구사업, No. 2016R1A2B3009444). 연구지원에 감사합니다.

References

- Chen, Z. F., Wan, L. L., Lee, S., Ng, M., Tang, J. M., Liu, M. and Lee, L. (2008). Evaluation of CFRP, GFRP and BFRP material systems for the strengthening of RC slabs. *Journal of reinforced plastics and composites*, 27(12), 1233-1243.
- Hrynyk, T. D. and Myers, J. J. (2008). Out-of-plane behavior of URM arching walls with modern blast retrofits: Experimental results and analytical model. *Journal of structural engineering*, 134(10), 1589-1597.
- Kim, C. H., Kim, S. D. and Kim, N. W. (2013). Improvement of Durability in Concrete Structures Using CRM. *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, KSMI, 17(6), 145-152.
- Kim, J. S., Kwon, M. H., Seo, H. S., Lim J. H. and Kim, D. Y. (2013).

- An Experimental Study on Seismic Performance Evaluation of Retrofitted Column of FRP Seismic Reinforcement that can be Emergency Construction, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, KSMI, 17(6), 21-30.
- Kim, S. B., Kim, J. H. J., Choi, H. S. and Heo, G. (2010). Development and Applicability Evaluation of High Performance Poly-urea for RC Construction Reinforcement, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, 30(2), 169-176.
- KS F 2274. (2002). Recommended Practice for Accelerated Artificial Exposure of Plastics Building Materials. *Korea Standards Association*.
- KS F 2456. (2010). Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing. *Korea Standards Association*.
- KS F 2584. (2010). Standard Test Method for Accelerated Carbonation of Concrete. *Korea Standards Association*.
- KS F 4922. (2007). Polyurea Resin Waterproofing Membrane Coating. *Korea Standards Association*.
- KS M 6518. (2006). Physical Test Methods for Vulcanized Rubber. *Korea Standards Association*.
- KS M ISO 6353-2 (R37). (2012). Reagents for chemical analysis - Part 2 : Specifications - First Series [Sulfuric acid]. *Korea Standards Association*.
- Lamba, N. M. K., Woodhouse K. A. and Cooper, S. L. (1998). Polyurethanes in Biomedical Applications, CRC PRESS, United States of America, 14-23.
- Lu, X. Z., Teng, J. G., Ye, L. P. and Jiang, J. J. (2005). Bond-slip models for FRP sheets/plates bonded to concrete. *Engineering structures*, 27(6), 920-937.
- Nam, H. W. (2014). The status of Earthquake occurrence in Korea in 2013, *Press Release of Korea Meteorological Administration*, KMA.
- Pack, J. C., Lee, S. W., Lim, S. B. and Kim, J. J. H. (2011). Performance Evaluation of RC Slab Strengthened by Stiff Type PolyUrea. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 31(6), 457-464.

Received : 11/24/2016

Revised : 12/26/2016

Accepted : 01/13/2017

요 지 : 전 세계적으로 지진발생이 빈번하고 많은 인명피해와 사회기반시설물의 피해가 발생하고 있다. 지진에 대한 보수, 보강기법에 대한 연구가 많이 있었지만 대부분은 강성보강형태로 반복적인 하중이 구조물에 작용하면 2차적 피해가 발생할 수 있다. 따라서 강성보강이 아닌 연성보강형태의 보수, 보강기법이 필요하다. 본 연구에서는 철근 콘크리트 기둥 부재에 적용할 수 있는 보강 공법으로써 폴리머계의 고인성과 고연성 효과를 나타내는 경질형 폴리우레아를 내진보강용 재료로 선택하였고 재료의 열화 및 내화학적 특성에 대한 내구 성능을 평가하였다. 내구 성능 평가는 폴리우레아의 산 환경 및 자외선 노출 시험을 실시하였고, 폴리우레아를 도포한 콘크리트의 탄산화 노출 및 동결융해 시험을 실시하였다. 내진보강용 폴리우레아는 모든 시험을 통하여 내구성능과 저항능력이 우수한 것으로 판단되며 추후 내진 보강 재료로써 유용하게 사용될 것으로 사료된다.

핵심용어 : 내진, 보수, 보강, 폴리우레아, 내구성능평가
