



구조물 내진 보강용 폴리우레아의 재료 성능 평가

조철민¹⁾ · 최지훈¹⁾ · 이승훈²⁾ · 김태균³⁾ · 김장호^{1)*}

¹⁾연세대학교 사회환경시스템공학부 ²⁾ECO 산업 대표이사 ³⁾(주)홍지 기술연구소

Material Performance Evaluation of PolyUrea for Structural Seismic Retrofitting

Chul-Min Cho,¹⁾ Ji-Hun Choi,¹⁾ Seung-Hoon Rhee,²⁾ Tae-Kyun Kim,³⁾ and Jang-Ho Jay Kim^{1)*}

¹⁾School of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University, Seoul, 03722, Rep. of Korea

²⁾ECO Industry, Chief Executive Officer, Busan, 47309, Rep. of Korea

³⁾Hong-G Technical Research Institute, Sunnam, 13595, Rep. of Korea

ABSTRACT Recently, earthquakes have frequently occurred near Korean peninsula. An experimental study is needed for developing a reinforcing method for seismic strengthening to apply to RC structures. Recently, PolyUrea (PU) as structural reinforcement materials has been receiving great interest from construction industry. The reinforcing effect of PU appeared to be excellent under blast and impact as well as earthquakes. In this study, Flexible Type PolyUrea (FTPU) developed in preceding studies was modified to develop Stiff Type PolyUrea (STPU) by varying the ratio of the components of prepolymer and hardener of FTPU. The material performance evaluation has been performed through hardening time, tensile strength and percent elongation test, pull-off test, and shore hardness test. The experimental results showed that STPU has higher tensile strength and lower elongation than FTPU. Therefore, STPU coating agent can be used for semi-permanent products. By using STPU with Fiber-Reinforced Polymer (FRP) on concrete columns, confinement effect can be enhanced to maximize seismic strength and ductility.

Keywords : seismic, strengthen, reinforcement, PolyUrea, material performance evaluation

1. 서 론

2015년, 리히터 규모 6.0 이상의 강진이 대만 해역에 3건, 네팔 내륙에 5건, 일본 해역에 10건과 같이 지진이 빈번하게 발생하였으며, 특히 네팔에서 발생한 리히터 규모 7.8의 강진으로 인하여 7천명 이상의 사망자가 발생하였다. 세 나라와 근접한 우리나라 역시 지진의 발생 빈도가 증가하고 있으며, 최근 리히터 규모 5.1의 지진이 충남 태안군 해역에서 발생한 사례가 있다.¹⁾ 이러한 지진의 발생은 인간을 위협하고 삶의 터전을 빼앗아가고 있다.

1988년 7월 1일부로 우리나라에선 “건축물의 내진구조 및 방재에 관한 연구”를 기초로 내진 설계를 위한 시행령을 제정하였지만, 1988년 7월 이전에 지은 사회기반구조물들은 사실상 지진피해에 무방비 상태로 노출되어 있다. 이후 지진하중을 고려하여 다양한 구조물에 대한 보수·보강 방법

에 대한 개발 및 연구가 진행되어져 왔다.²⁻⁶⁾ 국내의 경우 철근콘크리트 구조물의 내진에 관한 보수·보강공법으로는 강관 접착공법, 섬유보강(Fiber-Reinforced Polymer, FRP) 표면 부착 공법, 단면증가 공법 등이 사용되고 있다. 국외의 경우가공이 용이한 강관을 사용하여 강관 접착 공법을 보수·보강의 목적으로 사용하였다.⁷⁾ 하지만 강관 자체의 무게와 넓은 보강 면적 및 제한된 시공 공간이라는 문제점들로 인하여 1990년대에 개발된 FRP 표면 부착 공법으로 대체 되었다. 이는 토목 구조물의 강도증진과 내구성 향상에 있어서 다른 재료 및 공법들에 비하여 국·내외적으로 널리 적용되어 왔으며, 구조물에 상당한 효과를 나타내는 것으로 수많은 연구결과가 보고된 바 있다.⁸⁻¹⁴⁾

FRP 표면 부착 공법은 콘크리트 부재에 에폭시를 도포하여 FRP 시트를 감싸는 공법이므로 시공이 단순하고 성능이 우수하나 균일한 품질 확보가 어려우며 재료를 확보하는데 있어 해외에 의존하기 때문에 가격이 비싸다는 단점이 있다. 또한 FRP 표면 부착 공법에 사용되는 접착제는 불필요한 Interface를 형성하게 되며 이는 시간이 경과함에 따라 열화, 탈락과 같은 문제를 초래하고 결국 보수·보강 성능을 저하시킨다. FRP 표면 부착 공법이나 강관 접착 공법 및 단면 증

*Corresponding author E-mail : jjhkim@yonsei.ac.kr

Received August 23, 2016, Revised January 10, 2017,

Accepted January 20, 2017

©2017 by Korea Concrete Institute

가 공법은 내진 보강효과에 있어서도 의문성이 제시 되고 있으며, 강진이 발생하였을 경우 지진하중에 대한 진동과 반복하중에 의한 피해 사례가 보고되고 있으므로 이를 대체할 만한 기술 개발이 필요하다.¹⁵⁻¹⁶⁾

현재 폴리머계 고연성 재료를 활용한 기법이 대안으로 제시되고 있으며 고분자 화합물인 폴리우레아(PolyUrea, PU)는 비구조용 보수재료로써 다양한 분야에 적용이 가능하다. PU는 광범위한 물성의 조절이 가능하며 뛰어난 계면접착성과 기계적 물성 등으로 인해 접착제, 코팅제 등 복합재료로 널리 사용되고 있다. PU는 기존에 FRP와 달리 구조물과 보수재료 사이에서 탈락이 발생하지 않아 구조물과 보수재료가 일체거동을 유도할 수 있다. 또한, 스프레이형식 급속시공이 가능하고 구조물에 직접 분사하여 보강하는 방법으로 균일한 품질을 유지할 수 있다는 장점이 있다. PU를 이용하여 보강 성능을 향상시킨 연질형 폴리우레아(Flexible Type PolyUrea, FTPU)를 개발하고 이를 구조물에 적용한 선행 연구에서 보강 성능은 미미한 것으로 나타났다.¹⁷⁾ 이후 기존 FTPU의 조성비를 변화시켜 경질형 폴리우레아(Stiff Type PolyUrea, STPU)를 개발하였다.¹⁸⁻¹⁹⁾ STPU는 FTPU보다 향상된 인장강도와 낮은 신장률의 성능을 발휘한다. 신장률이 높으면 구조물의 강성 효과를 저하시키는 원인이 되기 때문에 이를 대체할 수 있도록 조성비를 변화시켰다. 따라서, 본 연구에서는 FTPU의 조성비를 변화시켜 최적의 내진보강용 재료를 개발하고 재료 성능을 검증하고자한다.

2. PU의 기본 구성요소

PU의 주체(Prepolymer)는 이소시아네이트(Isocyanate)와 다이올(Diol, Diamine)의 반응으로 형성되며, 이를 다이이소시아네이트(Diisocyanate)라 한다. Diisocyanate는 지방족(Aliphatic), 방향족(Aromatic), 지환족(Cycloaliphatic)으로 분류되며, 3가지 모두 PU의 주체로 사용될 수 있다.

Aliphatic Diisocyanate에는 Hexane Diisocyanate (HDI), Isophorone Diisocyanate (IPDI), Methylene Biscyclohexyl Diisocyanate (H₁₂MDI)가 있다. Aromatic Diisocyanate는 Toluene Diisocyanate (TDI), Naphthalene Diisocyanate (NDI), Methylene Diphenyl Diisocyanate (MDI), Bitoluene Diisocyanate (TODI)가 있으며, Cycloaliphatic Diisocyanate는 Methylene과 Cyclohexane에 Isocyanate가 결합된 것이다. PU의 합성에 사용되는 Diisocyanate의 일반적인 구조식을 Fig. 1에 나타내었다.²⁰⁾

PU의 경화제(Hardener)는 디아민(Diamine)의 사슬 확장자는 일반적으로 Butanediol (BD), Ethylene Diamine (ED), Methylenebis Chloroaniline (MOCA), Ethylene Glycol (EG), Hexanediol (HD) 등이 있으며, PU의 합성에 사용되는 사슬 확장자의 구조식을 Fig. 2에 나타내었다.²⁰⁾ PU의 경화제로 사용되는 사슬 확장자는 모노머(Monomer)나 올리고머(Oligomer)의 형태로 PU의 분자량을 증가시킨다. 이는 PU의 결합력을 증가시키는 역할을 하며 PU의 밀도와 기계적 물성을

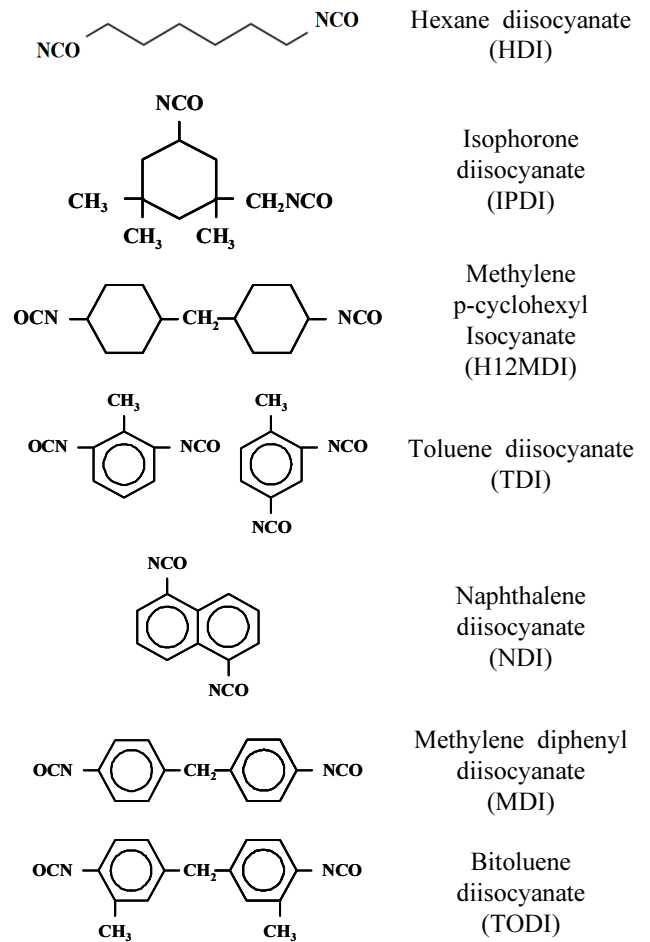


Fig. 1 Diisocyanate structural formula

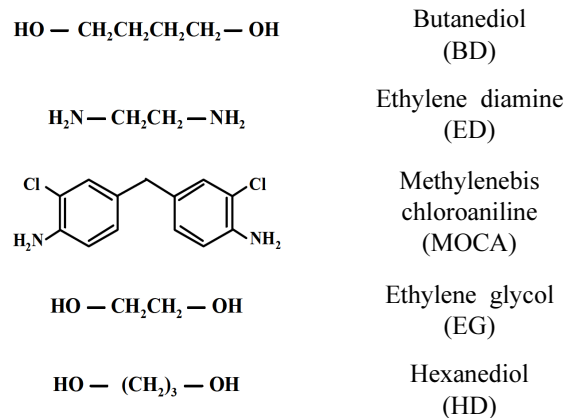


Fig. 2 Chain extenders structural formula

향상시켜 준다.

본 연구에 사용되는 Diamine 사슬 확장자는 Isocyanate와 빠르고 격렬하게 반응하여 Urea group과 Biuret 결합을 형성하게 되어 사슬간의 결합이 이루어진다. Biuret 결합이란 Urea group 내 질소 원자에 있는 반응성이 큰 수소가 Isocyanate와 반응하면서 만들어지는 물질을 말한다. 이러한 고분자 형성은 비교적 짧은 시간에 진행되므로 전체 공정이 한 단계로 단축되는 이점이 있다.

3. 사용재료 및 실험 방법

3.1 내진보강용 폴리우레아

기존 보강재료의 부착거동 실험적 연구에 따르면, FRP 보강 시편은 콘크리트 계면과 에폭시 사이에서 급격한 부착 파괴가 발생되었을 뿐만 아니라 폴리우레아 보강 시편에 비해 낮은 부착전단하중을 나타낸 바 있으며, 에폭시보다 연성이 좋아 부착 전단에너지 흡수율도 약 1.2배 높은 것으로 나타났다.²¹⁾ 또한, 폴리우레아로 보강된 RC 슬래브의 성능평가에 관한 연구에서, 폴리우레아의 부착강도는 에폭시의 부착강도보다 약 두 배 이상 높은 성능을 나타낸 바 있다.¹⁸⁾ 따라서 기존의 FRP 표면 부착 공법을 대체 목적으로 고연성과 고인성 효과를 나타내는 내진보강용 폴리우레아를 개발하기 위해서 Table 1에 나타낸 구성물 및 함유량을 기본 구성물로 사용하였다.¹⁷⁾ Table 1은 일반적인 PU의 조성비를 변화시킨 FTPU의 주체와 경화제의 구성요소이다. FTPU의 경우, 선행 연구에서 보수·보강 성능이 미미한 것으로 판단되었으며, FTPU보다 높은 인장강도와 낮은 신장률의 성능을 가지는 STPU를 내진보강용 폴리우레아로 적용하고자한다.

선행연구에서 이미 인장강도 49 MPa과 신장률 150%의 STPU를 개발하고 STPU로 보강된 RC beam 구조실험에서 무보강 시편에 비하여 10% 향상된 결과를 보여주고 있다.¹⁸⁾ 이와 반대로 Courtney and John의 연구에 따르면, 폴리우레아로 보강된 RC beam 시편이 무보강 시편보다 1.24배의 강도증진과 2.6배의 변위연성도 능력을 발휘하였으며, 이때 사용한 폴리우레아의 인장강도 14.8 MPa과 신장률 91%이다.²²⁾ 인장강도가 높은 보수재료는 구조물에 인장성능을 증가시킨다는 장점이 있지만 과도한 인장강도의 성능을 가지는 재료를 사용하는 것은 비효율적이라고 판단하였다. 따라

서 본 연구에서는 주체의 조성비를 고정하고 경화제의 조성비만을 변경하여 150%까지 신장률을 낮추고 인장강도를 향상시키는 단계적 배합을 도출하였다.

FTPU의 주체 합성의 경우, Methylene Diphenyl Diisocyanate (MDI) 70%, Polyoxypropylene Glycol 20%, Propylenecarbonate 10%를 사용하였으며, 경화제의 경우, Polyoxypropylene Diamine 30~40%, Polyethertriamine 10~20%, Diethyltoluenedimine (DETDA) 5%, Secondary Amine 20~30%, Propylene Glycol 2%, Pigment 2%, UV 흡수제 2% 미만, γ -glycidoxypropyltrimethoxysilane 1%를 사용하였다. 이를 바탕으로 FTPU 주체와 경화제의 조성비를 변화시켜 25 MPa이상의 인장강도와 150%이하의 신장률을 목표로 단계별 6가지의 STPU를 개발하였다.

Table 1 Composite of flexible type polyurea

Material	Component	Weight (%)
Prepolymer	Methylene diphenyl diisocyanate (MDI)	70
	Polyoxypropylene glycol	20
	Propylenecarbonate	10
Hardener	Polyoxypropylene diamine	30~40
	Polyethertriamine	10~20
	Diethyltoluenedimine (DETDA)	5
	Secondary amine	20~30
	Propylene glycol	2
	Pigment	2
	UV sorbent	under 2
	γ -glycidoxypropyltrimethoxysilane	1

Table 2 Composite of stiff type polyurea

Material	Component	FTPU	Step 1	Step 2	Step 3	Step 4	Step 5	Step 6
		Weight (%)						
Prepolymer	Methylene Diphenyl Diisocyanate (MDI)	70	70	30	70	70	70	70
	H12MDI	-	-	40	-	-	-	-
	Polyoxypropylene Glycol	20	20	20	20	20	20	20
	Propylenecarbonate	10	10	10	10	10	10	10
Hardener	Polyoxypropylene Diamine	30~40	40	50	30	40	40	40
	Polyethertriamine	10~20	15	10	10	10	10	10
	Polyetheramine	-	-	-	-	-	20	10
	Diethyltoluenedimine (DETDA)	5	10	15	25	25	20	30
	Secondary Amine	20~30	30	20	30	20	5	5
	Propylene Glycol	2	2	2	2	2	2	2
	Pigment	2	2	2	2	2	2	2
	UV sorbent	under 2	under 2	under 2	under 2	under 2	under 2	under 2
γ -glycidoxypropyltrimethoxysilane	1	1	1	1	1	1	1	

Step 1은 FTPU의 조성비와 거의 유사하게 혼합하였다. FTPU 주제 합성과 동일한 주제를 사용하였으며, 경화제는 Polyoxypropylenediamine 40%, Polyethertriamine 15%, Diethyltoluenedimine 10%, Secondary Amine 30%, Propylene Glycol 2%, Pigment 2%, UV 흡수제 2% 미만, γ -glycidoxypropyltrimethoxysilane 1%를 이용하여 30~90°C에서 반응시켰다.

Step 2의 주제 합성은 FTPU 주제 합성에서 MDI를 30%로 낮추고 지방족에 속하며 반응속도에 영향을 미치는 Methylene Biscyclohexyl Diisocyanate (H₁₂MDI)를 40%를 첨가하였다. Step 2의 경화제 합성은 Step 1의 경화제 합성에서 신장률의 영향을 미치는 Polyoxypropylene Diamine을 50%로 증가하였고 인장강도에 영향을 미치는 Polyethertriamine을 10%로 감소하였다. 또한, 경도와 강도에 영향을 미치는 DETDA를 15%로 증가하였고 경화시간을 늦추는 Secondary Amine을 20%로 감소하여 반응시켰다.

Step 3의 주제 합성은 FTPU의 주제 합성과 같으며 경화제 합성은 Step 2의 경화제 합성에서 Polyoxypropylene Diamine을 30%로 줄였고 DETDA을 25%까지 증가하였으며 Secondary Amine은 다시 30%로 증가하여 반응시켰다.

Step 4는 Step 3의 경화제 합성에서 Polyoxypropylene Diamine를 다시 40%로 증가시키고, Secondary Amine을 20%로 낮추어 반응시켰다.

Step 5의 경화제 합성은 Step 4의 경화제 합성에서 Polyethertriamine보다 낮은 분자량인 Polyetheramine를 20% 첨가하였으며, DETDA 20%, Secondary Amine을 5%로 낮추어 반응시켰다.

Step 6의 경화제 합성은 Step 5의 경화제 합성에서 Polyetheramine을 10%로 낮추었고 DETDA를 30%로 증가시켜 반응시켰다. Step 1부터 6까지는 각각의 주제와 경화제를 30~90°C(최적 75°C)에서 반응시켜 중합하였으며, Table 2는 내진보강용 폴리우레아를 개발하는 데에 있어 주제와 경화제의 혼합비를 변화시키면서 단계별로 개발한 배합의 구성요소이다.

3.2 인장강도 및 신장률 평가 시험

내진보강용 폴리우레아 개발에 있어 고연성 및 고인성 효과를 판단하기 위해서 인장강도 및 신장률 평가 시험은 KS M 6518(가황 고무 물리 시험방법)에 준하여 측정하였다. FTPU의 조성비를 단계별로 변화시킨 STPU가 절단에 이르는 최대응력(인장강도) 및 절단 시의 신장률을 측정하는 데 목적이 있다. 시험시편은 KS M 6518에 나타나 있는 아령형 3호형 크기로 평행부분의 너비 5 mm, 평행부분의 길이 20 mm, 평행부분의 두께 3 mm 이하, 눈금 거리 20 mm이며, Fig. 3(a)에 나타났다. 아령형 3호형 크기로 재단할 수 있는 틀칼은 Fig. 3(b)와 같으며, Fig. 3(c)와 같이 인장 시험기를 사용하여 시험체를 양쪽 지그에 고정시켜(시험 중에 비틀림, 집계 이탈이 발생하지 않도록 정확하게 집계에 물림) 하중을 가하여 인장강도 및 신장률을 측정하였다. 측정 시 인장 속도

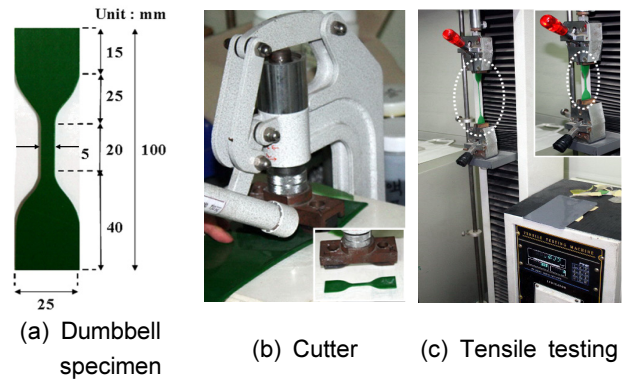


Fig. 3 Tensile strength and percent elongation test

는 500 mm/min으로 하였으며 인장강도의 측정은 시험편이 끊어질 때까지 최대하중을 읽고 식 (1)을 이용하여 계산하였으며 시험편 3개의 평균값으로 나타내었다. 신장률의 측정은 파단시의 눈금사이의 길이를 mm단위까지 측정하였으며 식 (2)를 이용하여 계산하였으며 시험편 3개의 평균값으로 나타내었다.

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

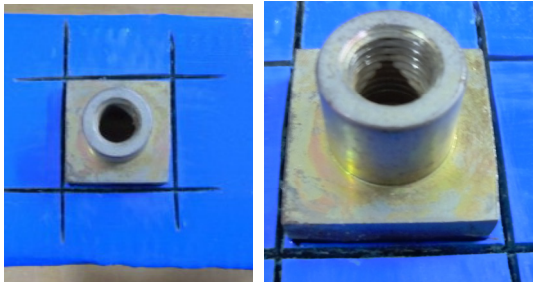
여기서, T_B 는 인장강도(MPa), F_B 는 최대하중(N), A 는 시험편의 단면적(mm²)을 나타낸다.

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

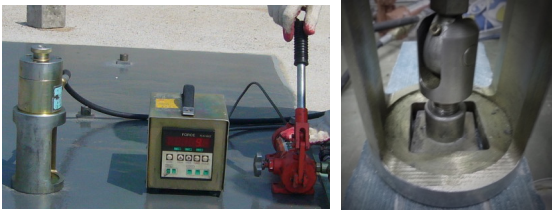
여기서, E_B 는 신장률(%), L_0 는 눈금거리(mm), L_l 는 절단될 때의 눈금거리(mm)을 나타낸다.

3.3 부착성능 평가 시험

보강재의 보강성능을 평가하는 주요 항목 중 하나로써 부착성능 평가 시험방법이 있다. 현재 구조물의 보수·보강공법으로 가장 일반화되어 있는 FRP 표면 부착 공법의 경우가 가장 문제점 중 하나는 콘크리트 모재와의 부착성능에 따라 보강공법의 성능이 크게 좌우되며, 시간의 경과에 따라 열화, 탈락과 같은 문제가 발생하여 보수·보강 성능을 저하시킨다. 본 연구에서는 부착성능 평가 시험은 KS F 4922(폴리우레아 수지 도막 방수재)에 준하여 측정하였다. 시험용 밀판은 KS F 4922에 나타나 있는 콘크리트 평판으로 크기는 300 mm × 300 mm × 60 mm이다. 콘크리트 평판 위에 FTPU의 조성비를 변화시킨 각각의 STPU를 도포하여 일정 시간 동안 건조시켰다. 그리고 STPU가 도포된 시험체에 Fig. 4(a)와 같이 인장용 지그(Dolly)를 2액형 액포시 접착제를 사용하여 부착한다. 부착면적은 40 mm × 40 mm이며 인장용 지그가 부착된 측면 부분을 그라인더 커터로 콘크리트 평판에 도달할 때까지 절단하였다.



(a) Dolly



(b) Set up for pull-off test

Fig. 4 Pull off test

인장용 지그는 너트 형식으로 되어있어 Fig. 4(b)와 같이 시험기와 연결할 수 있다. Fig. 4(b)는 부착성능 실험 전경을 보여주고 있으며 각각의 시험체에 인장용 지그를 3개씩 부착하여 최대 강도를 측정하였다. 측정 시 인장 속도는 2 mm/min로 하였으며 측정된 최대 강도는 3개의 평균값을 사용하였고 계산은 식 (3)을 이용하여 계산하였다.

$$T_f = \frac{T_n}{A} \quad (3)$$

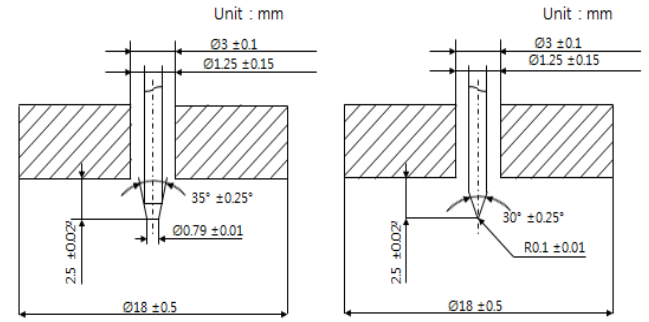
여기서, T_f 는 부착강도(N/mm²), T_n 는 최대하중(N), A 는 시험체의 단면적(mm²)을 나타낸다.

3.4 Shore 경도 평가 시험

경도측정은 재료의 기계적 성질을 알아내는 가장 간단한 방법 중에 하나이다. 내진보강용 폴리우레아의 주재와 경화제 반응 상태나 열처리 상태 등을 판단하기 위하여 경도 평가 시험은 KS M ISO 7619-1(가황 고무 및 열가소성 고무-압입 경도 측정 방법)을 준하여 측정하였다. KS M ISO 7619-1에 제시된 듀로미터법(Shore 경도)으로 측정 시 사용되는 경도계는 A형과 D형이 있다. A형과 D형 경도계의 가장 큰 차이점은 Fig. 5(a)와 같이 경도를 측정하는 압침이다. D형의 압침은 A형의 압침보다 비교적 뾰족한 형상을 나타내기 때문에 A형 경도계를 가지고 90 이상의 경도를 측정하는 경우에는 D형 경도계를 사용한다. Fig. 5(b)는 측정에 사용된 D형 경도계이며, Fig. 5(c)와 같이 경도를 측정하였다.

4. 실험 결과

본 연구에서는 각각의 실험에 있어 STPU 경화제 중 소포제로 γ -glycidoxypropyltrimethoxysilane 1%를 첨가한 경우와



(a) Pin of A type hardness tester (left) and D type hardness tester (right)



(b) D type hardness tester



(c) Hardness testing

Fig. 5 Shore hardness test

첨가하지 않은 경우에 대해서 실험을 진행하였으며 실험 결과는 다음과 같다.

4.1 인장강도 및 신장률 평가

내진보강용 폴리우레아에 대하여 소포제를 첨가한 경우와 첨가하지 않은 경우에 대한 지속시간의 결과 그래프를 Fig. 6에 나타냈다. 우선 Step 1의 지속시간은 소포제 사용 시 10초였으며 사용하지 않았을 경우 5초 이하로 빨라졌다. Step 2의 지속시간은 소포제 사용 시 15초였고 사용하지 않았을 경우 10초 이하로 빨라졌다. Step 3부터 6까지의 지속시간은 소포제 유무에 상관없이 각각 40, 30, 20, 20초로 측정되었다. Step 2의 주재 합성에서 H₁₂MDI를 40% 치환하였는데 지속시간은 약간 증가하였으나 큰 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다. 오히려 경화제 성분 중에서 DETDA의 증가와 Secondary Amine의 감소가 지속시간에 영향이 있다고 판단하였다. 특히, DETDA와 Secondary Amine 비율이 가장 많은 Step 3에서 지속시간이 제일 높게 측정되었으며 이후 Secondary Amine을 감소시킨 Step 5, 6에서 20초로 Step 1, 2보다 늦춰진 것을 확인하였다.

Fig. 7은 내진보강용 폴리우레아에 대하여 소포제를 첨가한 경우와 첨가하지 않은 경우에 대한 인장강도를 측정된 결과 그래프이다. Step 1의 인장강도는 소포제 사용 시 18 MPa 이상이며 사용하지 않았을 경우 16 MPa 이하로 떨어졌으며, Step 2의 인장강도는 소포제 사용 시 19 MPa 이상이며 사용하지 않았을 경우 19 MPa 정도로 같은 값이 측정되었다. Step 3의 인장강도는 소포제 사용 시 21 MPa 이상이며 사용하지 않았을 경우 20 MPa 이하로 떨어졌으며, Step 4의 인장강도는 소포제 사용 시 22 MPa 이상이며 사용하지 않았을

경우 21 MPa 이하로 떨어졌다.

Polyethertriamine은 망사구조의 형태로 함유량에 따라 탄성이 증가하며 강도에 영향을 미치는 구성요소이지만 Step 2에서 함유량을 증가하였을 때 인장강도가 증가한 반면 그 이후 단계별 배합에서는 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 판단된다. 인장강도의 경우에도 DETDA가 증가함에 따라 인장강도가 향상되는 것을 확인하였으며 Step 2부터 4까지는 DETDA가 지배적이라고 판단하였다. Step 5의 인장강도는 소포제 사용 시 24 MPa 이상이며 사용하지 않았을 경우 22 MPa 이하로 떨어졌으며, Step 6의 인장강도는 소포제 사용 시 26 MPa 이상이며 사용하지 않았을 경우 24 MPa 이하로

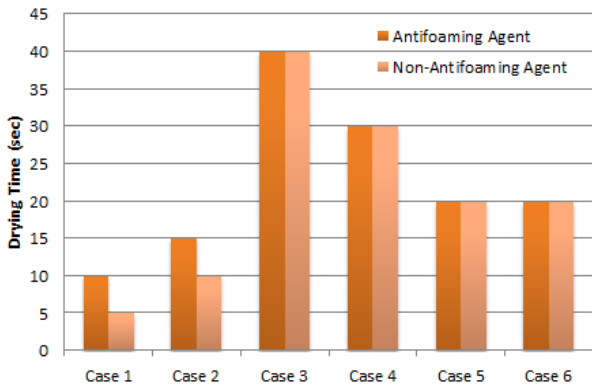


Fig. 6 Hardening time test results

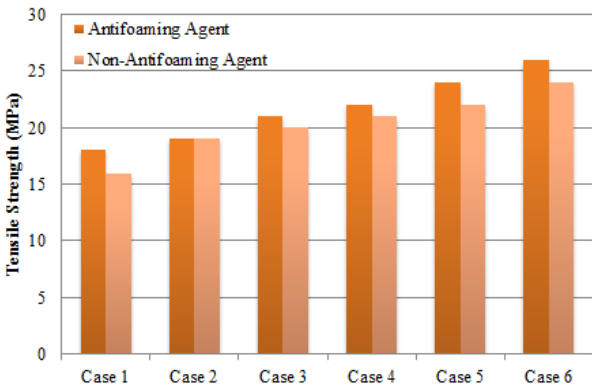


Fig. 7 Tensile strength test results

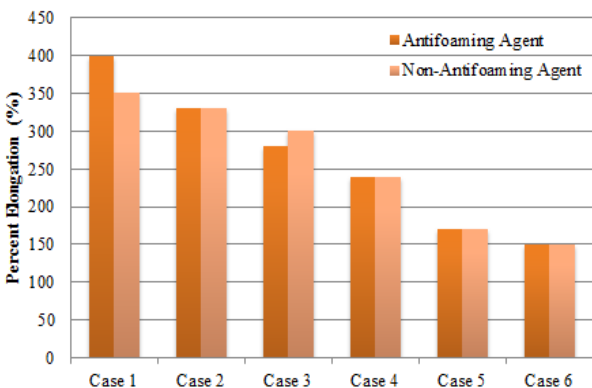


Fig. 8 Percent elongation test results

떨어졌다. Polyethertriamine보다 낮은 분자량인 Polyetheramine를 첨가한 Step 5, 6에서 인장강도가 훨씬 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 소포제를 사용하였을 경우 1~2 MPa 정도의 인장강도가 높게 측정되었음을 알 수 있다.

Fig. 8은 내진보강용 폴리우레아에 대하여 소포제를 첨가한 경우와 첨가하지 않은 경우에 대한 신장률을 측정된 결과 그래프이다. Step 1의 신장률은 소포제 사용 시 400% 이상이며 사용하지 않았을 경우 350%로 측정되었다. Step 2의 신장률은 소포제 사용 유무를 떠나 330% 정도며, Step 3의 신장률은 소포제 사용 시 280% 이상, 사용하지 않았을 경우 330%로 증가하였다. Step 4부터 6까지 신장률은 소포제 사용 유무를 떠나 각각 240, 170, 150%로 측정되었다. Step 2, 3에서 Polyoxypropylene Diamine의 증감에 대해서 신장률에는 영향이 없는 것으로 판단하였다. Polyoxypropylene Diamine의 구조적으로 실과 같은 선형구조를 가지기 때문에 신율에 영향을 미치는 요소 중 하나이지만 그보다는 조밀한 분자구조인 DETDA가 영향이 있다고 판단하였다. DETDA가 증가함에 따라 신장률 400%의 연질형태에서 경질형태로 바뀌었기 때문에 신장률이 줄어든 것으로 판단된다.

4.2 부착 성능 평가

내진보강용 STPU에 대하여 소포제를 첨가한 경우와 첨가하지 않은 경우에 대한 부착강도의 결과 그래프를 Fig. 9에 나타냈다. Step 1, 2의 부착강도는 소포제 사용 시 12 MPa이며 사용하지 않았을 경우 8 MPa 이하로 떨어졌다. Step 3, 4의 부착강도는 소포제 사용 시 12 MPa이며 사용하지 않았을 경우 9 MPa 이하로 떨어졌다. Step 5의 부착강도는 소포제 사용 시 13 MPa이며 사용하지 않았을 경우 10 MPa 이하로 떨어졌다. Step 6의 부착강도는 소포제 사용 시 14 MPa이며 사용하지 않았을 경우 9 MPa 이하로 떨어졌다. 소포제를 사용하였을 경우 3~5 MPa 정도의 부착강도가 높게 측정되었음을 알 수 있다. 그러나 단계별 배합이 달라짐에 따라 부착강도는 큰 차이가 없다는 것을 확인하였다.

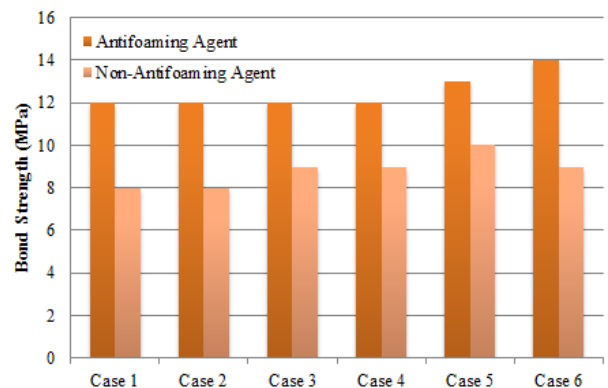


Fig. 9 Pull-off test results

4.3 Shore 경도 평가

Fig. 10은 내진보강용 폴리우레아에 대하여 소포제를 첨가한 경우와 첨가하지 않은 경우에 대한 Shore 경도(D)를 측정 한 결과 그래프이다. Step 1, 2의 Shore 경도는 소포제 사용 유무를 떠나 각각 65, 67정도이며, Step 3의 Shore 경도는 소포제 사용 시 68 이상이고 사용하지 않았을 경우 67로 떨어졌다. Step 4부터 6까지의 Shore 경도는 소포제 사용 유무를 떠나 각각 65, 70, 70 정도이다. 조밀한 분자구조인 DETDA, Secondary Amine, Polyetheramine의 함유량이 복합적으로 배합됨에 따라 경도에 영향을 미치는 것을 확인하였다. 특히 Secondary Amine 함유량이 가장 적은 Step 5, 6에서 가장 높은 경도가 발생되었고 Polyetheramine가 첨가되면서 경도가 높아지는 것을 확인하였다.

4.4 FTPU와 내진보강용 폴리우레아의 재료 특성

본 연구에서 Step 6에 해당하는 STPU를 내진보강용 폴리우레아로 선택하였다. 기존 FTPU와 거의 유사한 조성비를 가지고 있는 Step 1보다 우수한 물리적 성질을 나타내었으며, Table 3에 결과 값을 정리하여 나타내었다. STPU는 지속시간 20초, 인장강도 26 MPa, 경도 70, 부착강도 14 MPa, 신장률 150%로 FTPU와 비교해 볼 때 지속시간 200%, 인장강도 144%, 경도 107%, 부착강도 116%로 향상된 성능을 발휘하였으며, STPU의 신장률은 150%로 FTPU의 신장률보다 62.5% 감소된 성능을 발휘하였다.

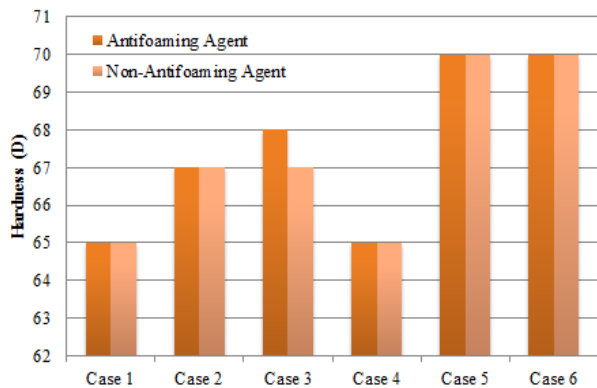


Fig. 10 Hardness test results

Table 3 Material properties of polyurea

Assessment items	Step 1 (FTPU)	Step 6 (STPU)
Drying time (sec)	10	20
Tensile strength (MPa)	18	26
Shore hardness (D)	65	70
Bond strength (MPa)	12	14
Percent elongation (%)	400	150

5. 결 론

본 연구에서는 FTPU의 조성비를 변화시켜 최적의 내진보강용 폴리우레아를 개발하고 재료 성능을 실험적으로 검증하였다.

- 1) 내진보강용 폴리우레아는 인장강도 26 MPa, 신장률 150%로 FTPU의 인장강도보다 약 1.44배 향상된 성능을 발휘하였으며, 신장률의 경우 약 0.62배 감소된 성능을 발휘하였다. 높은 인장강도(25 MPa 이상)와 낮은 신장률(150% 이하)을 목표로 한 내진보강용 폴리우레아를 개발하였다.
- 2) 또한, 내진보강용 폴리우레아는 지속시간 20초, 경도 70, 부착강도 14 MPa로 FTPU보다 지속시간 2배, 경도 1.07배, 부착강도 1.16배 향상된 성능을 발휘하였다.
- 3) 경화제의 구성요소인 소포제의 사용에 따라 인장강도의 경우 1~2 MPa정도, 부착강도의 경우 3~5 MPa 정도로 높게 측정되는 것을 확인할 수 있고, 지속시간, 신장률, 경도에는 영향을 미치지 않는 것을 확인하였다.
- 4) 부착강도를 제외한 지속시간, 인장강도, 신장률, Shore 경도부분에서 폴리우레아 경화제 배합의 구성요소 중 DETDA의 함유량과 Secondary Amine의 함유량이 큰 영향을 미치는 것을 확인하였다. 또한, Polyetheramine 역시 인장강도 및 Shore 경도를 향상시키는 역할을 하고 있는 것을 확인하였다.
- 5) 본 연구에서 목표한 25 MPa 이상의 인장강도와 150% 이하의 신장률을 만족하는 내진보강용 폴리우레아는 기존의 FRP 표면 부착 공법을 대안할 수 있는 재료라고 사료되며, 열화된 RC 기둥구조물에 폴리우레아 단일 보강 또는 에폭시 파단을 방지하기 위한 FRP 함침 후 그 위에 폴리우레아를 도포하는 복합 보강은 RC 기둥의 구속력을 증진 시키거나 RC 구조물의 연성을 확보하여 지진하중에 대한 내진성능을 최대로 할 수 있을 것이라고 사료된다.

감사의 글

이 연구는 국토교통부(국토교통과학기술진흥원) 2015년 국토교통기술사업화지원사업 ‘기둥부재의 내진 성능 및 내구성 극대화를 위한 PU Spray 보수 보강 공법의 실용화(15TBIP-CO74206-02)’ 연구단을 통해 수행되었으며, 원자력안전위원회의 재원으로 한국원자력안전재단의 지원을 받아 수행한 원자력안전연구개발사업의 연구결과입니다. (No. 1403010) 연구지원에 감사합니다.

References

1. KMA, Korea Meteorological Administration, Earthquake, <http://www.kma.go.kr/mini/earthquake/main.jsp>
2. Woo, W.T., Kown, Y.H., and Chung, L., “Evaluation of the

- Seismic Performance of Existing Building Structures”, *Journal of the earthquake engineering society of Korea*, Vol.4, No.4, 2000, pp.105-110.
3. Chung, L., Park, T.W., and Lee, S.G., “Retrofitting Effects on Seismic Resistance Capacity of Reinforced Concrete Framed Structure”, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 20, No. 9, 2004, pp. 37-44.
 4. Kim, T.H., Seong, D.J., and Shin, H.M., “Seismic Performance Assessment of Hollow Reinforced Concrete and Prestressed Concrete Bridge Columns”, *International Journal of Concrete Structures and Materials*, Vol.6, No.3, 2012, pp.165-176.
 5. Heo, Y.A., and Kunnath, S.K., “Damage-Based Seismic Performance Evaluation of Reinforced Concrete Frames”, *International Journal of Concrete Structures and Materials*, Vol.7, No.3, 2013, pp.175-182.
 6. Kim, S.D., “Seismic Evaluation and Retrofit of Low-rise RC Buildings in Korea”, *Ministry of Land Infrastructure and Transport*, Business of Research and Development Annual Report, 2002.
 7. Chen, J.F., and Teng, J.G., “Anchorage Strength Models for FRP and Steel Plates Bonded to Concrete”, *Journal of Structural Engineering*, Vol.127, No.7, 2001, pp.784-791.
 8. Bonacci, J.F. and Maalej, M., “Behavioral Trends of RC Beams Strengthened with Externally Bonded FRP”, *Journal of Composites for Construction*, Vol.5, No.2, 2001, pp.102-113.
 9. Lee, S.K., Chen, Z.F., Ng, M., Tang, J.M., Wan, L. L., Liu, M., and Lee, L., “Evaluation of CFRP, GFRP and BFRP Material Systems for the Strengthening of RC Slabs”, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2008, pp.1233-1243
 10. Kang, T.H.K., Kim, W.S., Ha, S.S., and Choi, D.U., “Hybrid Effects of Carbon-Glass FRP Sheets in Combination with or without Concrete Beams”, *International Journal of Concrete Structures and Materials*, Vol.8, No.1, pp.27-41.
 11. Lorenzis, L.D., and Teng, J.G., “Near-surface Mounted FRP Reinforcement: An Emerging Technique for Strengthening Structures”, *Composites Part B: Engineering*, Vol.38, No.2, 2007, pp.119-143.
 12. Kang, T.H.K., and Ibrahim Ary, M., “Shear- Strengthening of Reinforced & Prestressed Concrete Beams Using FRP: Part II - Experimental Investigation”, *International Journal of Concrete Structures and Materials*, Vol.6, No.1, 2012, pp.49-57.
 13. Seo, S.Y., and Kim, M.S., “Bond Strength of Near Surface-Mounted FRP Plate in Concrete Corresponding to Space and Bond Length”, *Journal of the Korea Concrete institute*, Vol.25, No.1, 2013, pp.37-43.
 14. Hong, S.N., Park, J.M., Park, S.K., Park, J.S., and Park, Y.H., “An Experimental Study on Flexural Behavior of RC Beams Strengthened with Near Surface Mounted Prestressed FRP”, *Journal of the Korea Concrete institute*, Vol.18, No.6, 2006, pp.737-742.
 15. Jang, H.N. and Lee, J.Y., “Case Study of Earthquake Damage in Korea and Other Countries”, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.55, No.4, 2007, pp.133-139.
 16. Rodrigues, H., Varum, H., Arêde, A., and Costa, A.G., “Behaviour of Reinforced Concrete Column Under Biaxial Cyclic Loading-state of the Art”, *International Journal of Advanced Structural Engineering*, Vol.5, No.1, 2013, pp. 1-12.
 17. Kim, S.B., Kim, J.H.J., Choi, H.S., and Heo, G., “Development and Applicability Evaluation of High Performance Poly-urea for RC Construction Reinforcement”, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.30, No.2, 2010, pp.169-176.
 18. Kim, J.H.J., Park, J.C., Lee, S.W., and Kim, S.B., “Evaluation of Strengthening Performance of Stiff Type Polyurea Retrofitted RC Slab Based on Attachment Procedure”, *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol.23, No.4, 2011, pp.511-520.
 19. Park, J.C., Lee, S.W., Kim, S.B., and Kim, J.H.J., “Performance Evaluation of RC Slabs Strengthened by Stiff Type PolyUrea”, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.31, No.6, 2011, pp.457-464.
 20. Lamba, N.M.K., Woodhouse, K.A., and Cooper, S.L., “Polyureathanes in Biomedical Applications”, *CRC PRESS*, United States of America, 1998, pp.14-23.
 21. Ha, J.H., Yi, N.H., Cho, Y.G., and Kim, J.H.J., “Experimental Study on Bond Behavior of Retrofit materials by Bond-Shear Test”, *Journal of the Korea Concrete institute*, Vol.24, No.1, 2012, pp.45-52.
 22. Greene, C.E., and Myers, J.J., “Flexural and Shear Behavior of Reinforced Concrete Members Strengthened with a Discrete Fiber-reinforced Polyurea System”, *Journal of Composites for Construction*, Vol.17, No.1, 2012, pp.108-116.

요약 현재 우리나라 주변에서 지진 발생이 빈번하며 철근콘크리트 구조물에 적용할 수 있는 내진보강 방법에 대한 연구가 필요한 실정이다. 최근 보수·보강 재료로 각광받고 있는 폴리우레아는 철근콘크리트 구조물 뿐 아니라 폭발 및 충격에도 우수한 성능을 검증된 바 있다. 폴리우레아를 이용하여 보강성능을 향상시킨 연질형 폴리우레아는 보수·보강의 한계점이 있기 때문에 연질형 폴리우레아의 주재와 경화제 함유량을 단계별로 달리하여 내진보강용 경질형 폴리우레아를 개발하였다. 개발된 재료의 성능을 검토하기 위하여 지속시간, 인장강도, 신장률, 부착성능, 경도 시험을 수행하였다. 내진보강용 폴리우레아의 경우 기존의 연질형 폴리우레아보다 높은 인장강도와 낮은 신장률의 성능을 나타냈다. 신장률이 높아지게 되면 보강된 구조물의 강성 효과가 저하되기 때문에 단계별 재료개발에서 낮은 신장률을 유도하였다. 따라서 내진보강용 폴리우레아 피막제의 제조는 피복에 의한 반영구적 제품을 제조할 수 있을 뿐 아니라 FRP, 강재, 부직포 등으로 보강된 기둥에 피복한다면 내진성 및 내구성을 최대로 할 수 있을 것이다.

핵심용어 : 내진, 보수, 보강, 폴리우레아, 재료 성능 평가