

폴리우레탄 액상고무를 혼합한 불포화 폴리에스테르 모르타르의 인성 증진효과

최영준^{1)*} · 박준철²⁾ · 박정민³⁾ · 김화중²⁾

1) 한국건자재시험연구원 연구개발부 2) 경북대학교 건축공학과 3) 경북전문대학 건축과

(2001년 5월 24일 원고접수, 2002년 3월 2일 심사완료)

Toughness Improvement of Unsaturated Polyester Mortars Blended with Polyurethane Liquid Rubber

Young-Jun Choi^{1)*}, Jun-Chul Park²⁾, Jung-Min Park³⁾, and Wha-Jung Kim²⁾

1) Tech. Evaluation & Research Dept., Korea Institute of Construction Materials, Seoul, 137-073, Korea

2) Dept. of Architectural Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 702-701, Korea

3) Dept. of Architecture, Kyungpook College, Yongju, 750-712, Korea

(Received May 24, 2001, Accepted March 2, 2002)

ABSTRACT

Generally polymer mortar and concrete using unsaturated polyester resin has high strengths and good chemical resistance. However it also has high brittleness and because of this reason, it is not used for the purpose that demands high resistance to impact. The purpose of this study is to improve the brittleness of unsaturated polyester mortar(UPE mortar) which could be used for the flooring material with recycled aggregates and UPE. Polyurethane liquid rubber(PU) and recycled aggregates were used to complement the brittleness and to recycle the resources respectively. The characteristics of mortar were investigated according to the molecular weight and substitution rate of PU. As the molecular weight and PU substitution rate were increased, the viscosity was increased, working life became fast and curing shrinkage was reduced. Compressive and flexural strengths were also reduced but the brittleness was improved. Therefore, it is seemed that the improved UPE mortar could be obtained by using polyurethane liquid rubber with the polyol of molecular weight 2000, 3000.

Keywords: unsaturated polyester resin, polyurethane liquid rubber, recycled fine aggregates, toughness, brittleness

1. 서 론

불포화 폴리에스테르 액상수지(이하 UPE 수지)를 사용한 폴리머 콘크리트는 시멘트 콘크리트에 비해 강도발현이 빠르고, 내구성, 내약품성 등이 우수한 것이 장점¹⁾이며, 이러한 물성은 UPE 수지의 성질에 의해 좌우되는 경향이 크다. 그러나, 열경화성 수지인 UPE 수지는 강도가 우수하지만, 가교거리가 매우 짧아 높은 가교밀도를 가짐으로 인해 취성이 강하여 충격에 의해 쉽게 깨지는 단점을 가지고 있다.²⁾ 이로 인해, 내충격성이 요구되는 용도로 사용하는 것은 어렵다. 이러한 UPE 수지의 단점을 보완하는 방법 중 하나로 액상고무에 의한 인성강화(toughening)가 있는데, 고무를 미세한 입자로 매트릭스 안에 균일하게 분포시켜 응력을 받으면 고무입자주위의 매트릭스에서 소성변형이 생겨 다른 기계적인 성질을 손상시키지 않으면서 인성을 증가시키는 방법²⁾이다.

* Corresponding author

Tel : 02-3415-8794 Fax : 02-3415-8790
E-mail : knujuni@hanmail.net

UPE 수지의 인성강화에 대한 연구는 미국과 영국에서 행하여 왔는데, 1979년 Tetlow등이 부타디엔-아크릴로니트릴 고무를 사용하여 파괴에너지(fracture energy)를 1.5배 증가시켰으며 1985년에 Crosbie와 Phillips가 부타디엔-아크릴로니트릴계의 실험적 고무인 CRC고무를 사용하여 파괴에너지를 8배 증가시켰다는 보고가 있으나 실용화 단계까지는 이르지 못한 것으로 알려지고 있다²⁾. 국내 고분자공학계열에서 액상고무를 인성강화용으로 사용하여 파괴인성을 1.9배까지 증가시킨 연구결과^{2,3)}가 있으며, UPE 수지의 강인화 메카니즘 중에서는 고무입자와 매트릭스 수지의 접착력이 좋은 경우에 나타나는 공동화(cavitation)가 파괴인성향상에 있어서 탈결합(debonding)이나 입자가교(particle bridgeing)보다는 효과적이라고 밝히고 있다. 또한 액상고무를 UPE 수지의 합성시 주체에 도입시켜 UPE 수지의 연성을 증가시키는 것보다는 물리적으로 액상고무를 UPE 수지에 혼합시켜 고무입자를 상분리시키는 방법이 파괴인성향상에 있어서 효과적²⁾이라고 한다.

연구진의 기존 연구결과⁴⁾에서 시판되는 폴리우레탄 액상고무를 UPE 수지에 혼합·실험해 본 결과, 취성을 다

소 개선할 수 있었으며, 본 연구는 폴리우레탄 액상고무(이하 PU 고무)의 고무입자 크기를 조절한 상태에서 UPE 모르타르의 취성을 개선해 보고자 하는 것이다.

따라서, 본 연구에서는 PU 고무의 고무 입자크기를 변화시키기 위해 분자량이 750, 1000, 2000, 3000인 폴리올과 주제(主劑)인 이소시아네이트를 UPE 수지에 물리적으로 혼합하여 UPE 모르타르의 특성을 검토하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 사용 재료

2.1.1 불포화 폴리에스테르 액상수지

사용된 결합재는 국내 E사의 올소타입(ortho type) 불포화폴리에스테르 수지로서 코발트계 경화촉진제가 첨가되어 있다. 경화제로는 MEKPO 55 %, DMP 45 %로 구성된 표준경화형 촉매제를 수지의 중량에 대하여 1.2 % 첨가하였다. 불포화 폴리에스테르 액상수지의 성질은 Table 1과 같다.

2.1.2 폴리올

폴리올은 분자중에 수산기(hydroxyl group, -OH) 혹은 아민기(amine group, -NH₂)를 2개이상 갖는 다관능(multifunctional)알콜 또는 방향족 아민등의 개시제(initiator)와 산화프로필렌(propylene oxide, PO) 또는 산화에틸렌(ethylene oxide, EO)을 적정 조건하에서 반응시켜 얻어지는 물질로써, 폴리우레탄 제조에 필수적인 원료이다. 폴리

올은 크게 폴리에테르 폴리올(polyether polyol)과 폴리에스테르 폴리올(polyester polyol)로 분류되며 본 실험에서는 국내 K사의 폴리에테르계 폴리올(KONIX PP 계열)을 사용하였다. 사용된 폴리올의 물성은 Table 2와 같다.

2.1.3 이소시아네이트

이소시아네이트는 경질 및 반경질분야에서 꼭넓게 사용되고 있는 한국바스트사의 범용제품인 Polymeric MDI를 사용하였으며, 물성은 Table 3과 같다. 반응을 촉진시키기 위한 촉매로는 알드리치(aldrich)사의 디부틸틴 디라우레이트(dibutyltin dilaurate)를 사용하였으며, 아세톤에 25 %로 희석시켜 사용하였다.

2.1.4 충전재 및 골재

충전재로는 쌍용양회 광양공장의 고로슬래그 미분말을 사용했으며, 100 °C에서 24시간 전조시켜 사용하였다. 고로슬래그 미분말의 물성은 Table 4와 같다.

골재로는 경북 해평산 강모래와 폐콘크리트를 재활용한 재생골재를 각각 50 %씩 사용하였으며, 물성은 Tale 5와 같다. 재생골재는 실험실에서 압축강도 210~300 kg/cm²인 공시체를 제작한 후 2년뒤에 파쇄하여 제조하였으며, 절건상태로 사용하였다.

2.2 배합 계획

UPE 모르타르의 배합비는 폴리올의 분자량을 750, 1000, 2000, 3000으로 변화시키고, 전체 결합재(UPE+PU)

Table 1 Physical properties of UPE

Gel time (min)	Acid value	Styrene content (%)	Viscosity (25°C, mPa · s)	Specific gravity (25°C)
5~16	23±4	38	250	1.12

Table 2 Physical properties of polyol

Molecular weight (g/mol)	Hydroxyl value (mgKOH/g)	Acid value (mgKOH/g)	Moisture content (%)	Viscosity (25°C, mPa · s)	Specific gravity (25°C)
750	145~155	< 0.04	< 0.05	430~470	1.010
1,000	108~116	< 0.04	< 0.05	440~480	1.008
2,000	54~58	< 0.03	< 0.05	480~520	1.006
3,000	33~37	< 0.03	< 0.05	800~1,000	1.005

Table 3 Physical properties of isocyanate

Molecular weight (g/mol)	NCO content (wt%)	H.C content (%)	Acid content (%)	Viscosity (25°C, mPa · s)	Specific gravity (25°C)
350~400	30~32	Max 0.3	Max 0.1	150~230	1.23

Table 4 Physical properties of blast furnace slag

Specific gravity (25°C)	Surface area (cm ² /g)	Basicity	Water content (%)
2.92	4,480	1.81	0.07

Table 5 Physical properties of aggregates

Type	Size (mm)	Specific gravity	Fineness modulus	Absorptivity (%)
R.S	0.15~4.75	2.45	2.90	4.20
N.S	≤4.75	2.57	2.58	1.69

R.S ; Recycled fine aggregates

N.S ; Natural fine aggregates

용적에 대한 PU 고무(Polyol+MDI)의 치환율을 0, 3, 6, 9, 12 %로 변화시키는 배합안을 작성하였다. 그리고, 폴리올과 MDI는 1 : 2의 몰(mol)비를 유지하였다.

기존 실험결과⁴⁾를 토대로, UPE 수지는 전체의 17.2 %, 재생골재의 치환율은 50 %로 결정하였다. UPE 모르타르의 배합비는 Table 6과 같다.

2.3 실험 방법

2.3.1 모르타르 혼합 및 시험체 제작

UPE 수지와 PU 고무의 혼합은 먼저, UPE 수지에 MDI용 촉매 사용량의 50 %를 첨가한 후 MDI를 가하여 1분간 혼합하였다. 다시 폴리올용 촉매의 나머지 사용량을 첨가하고 폴리올을 가하여 1분간 혼합하였다. 마지막으로 PU 고무와 혼합된 UPE 수지에 경화제를 가한 후, 미리 건비빔된 충전재, 골재와 3분간 혼합하였다.

공시체 제작에서 휨강도 시험체는 40×40×160 mm로 제작하였으며, 압축강도 시험체는 휨강도시험후의 절편을 이용하였다. 경화수축 측정을 위한 시험체는 100×100×400 mm의 강제형 몰드를 사용하였고, 내충격성 평가를 위한 패널 시험체는 300×300×10 mm의 실리콘 몰드를 사용하였다. 그리고, 휨인성 측정을 위한 공시체는 100×100×400 mm로 제작하였다.

2.3.2 점도 시험

UPE 수지와 PU 고무를 혼합한 결합재의 점도시험은 Brookfield HADV II +를 사용하였고, 시료의 안정을 위하여 온도조절기(temperature bath)를 사용하여 온도 25 °C를 유지하며 점도를 측정하였다.

Table 6 Mix proportions of UPE mortar

PU / (UPE+PU) (vol%)	Molecular weight (g/mol)	Mix proportions (wt%)				
		UPE	PU	Filler	N.S	R.S
0	750 1000 2000 3000	17.2	0.0	19.6	32.6	30.6
3		16.7	0.5			
6		16.2	1.0			
9		15.7	1.5			
12		15.1	2.1			

2.3.3 사용가능시간

UPE 모르타르의 사용가능시간은 KS F 2484(폴리에스테르 폴리머 콘크리트의 사용가능시간 측정방법)에 따라 촉감법으로 측정하였다.

2.3.4 경화수축

UPE 모르타르 공시체의 경화수축율은 시험체 몰드 양단 중앙부에 감도 1×10^{-2} mm의 LVDT를 부착하여 시간경과에 따른 경화수축율을 측정하였다. 그리고, K 열전대(chromel-alumel)를 시험체 중앙부에 삽입시켜 경화발열온도를 측정하였다.

2.3.5 강도 시험

UPE 모르타르의 강도시험은 KS F 2483 (보의 절편에 의한 폴리에스테르 레진 콘크리트의 압축 강도 시험 방법), KS F 2482 (폴리에스테르 레진 콘크리트의 휨강도 시험방법)에 준하여 실시하였다.

2.3.6 내충격성 시험

내충격성은 KS F 2221을 준용하여 중량 500 g의 강구(鋼球)를 5 cm 간격의 높이로 낙하시켜 시험체 중앙부에 충격을 가한 후, 시험체가 파괴되는 높이로 평가했다.

2.3.7 보 시험체의 3점 휨파괴 시험

휘인성 시험을 위해 시험체에 50 mm의 노치(notch)를 두고, 3점 휨시험용 프레임에서 0.2 mm/min의 속도로 계하하였으며, 허용용량 20 ton의 로드셀(load cell)을 사용하였다. 본 실험에서 수직변위는 계하점과 지지부의 국소적인 파괴로 인하여 측정에 큰 영향을 미치기 때문에, 변위 측정용 프레임을 사용하여 오차를 줄였다. 변위측정기기는 일본 Tokyo Sokki사의 제품을 사용하였는데, 수직변위(VT)는 감도 1×10^{-2} mm의 변위계를 부착하였고, 2개소에 크래의 개구변위(CM1, CM2)는 감도 54.7 μm 의 클립게이지(clip gauge)로 측정하였다. 그리고, 파괴에너지(GF)는 하중-변위 곡선에서 곡선의 면적을 파괴된 단면적(A)으로 나눈 값으로 구하였다. 시험체 개요는 Fig. 1과 같다.

3. 실험결과 및 고찰

PU 고무를 혼합한 UPE 모르타르에 대하여 점도, 사용

가능시간, 경화수축, 강도, 내충격성, 휨파괴시험 등의 결과를 나타내면 Table 7과 같다.

3.1 점도

Fig. 2는 폴리올의 분자량 및 PU 고무의 치환율에 따른 UPE+PU 결합재의 점도를 나타낸 것이다. 대체적으로 폴리올의 분자량과 PU 치환율이 커질수록 점도가 상승하는 경향을 보이고 있다. 분자량이 작은 경우에는 PU 고무의 증가에 따른 점도의 상승이 완만한 경향이지만, 분자량 2000이상에서는 급격한 점도의 증가를 보이고 있다. UPE+PU 결합재의 점도가 지나치게 상승하게 되면, 모르타르내에 밀실한 매트릭스의 구성을 방해하기 때문에, 분자량 2000이상을 사용할 경우에는 점도를 낮출 수 있는 방안이 요구된다.

3.2 사용가능시간

Fig. 3은 폴리올의 분자량 및 PU 고무의 치환율에 따른 UPE 모르타르의 사용가능시간을 나타낸 것이다. 일반적으로 UPE 수지의 사용가능시간은 온도 및 경화제량에 따라 다르지만 약 30~100분정도이며, 스티렌 모노머의 함량, 온도, 경화제량, 작업환경등에 의해 차이가 생긴다¹⁾. 실험결과에서는 30~57분의 범위를 보이고 있는데, 폴리올의 분자량이 커질수록 사용가능시간은 길어져, 분자량 2000, 3000의 첨가량 12 %의 경우가 가장 길었다.

Table 7 Test results of UPE mortar

Polyol molecular weight (g/mol)	PU/(UPE+PU) (vol%)	Working lives (min)	Max temperature (°C)	Compressive strength (kgf/cm ²)	Flexural strength (kgf/cm ²)	Fracture height (cm)	Test result of flexural toughness				
							Maxload (kgf)	VT at Max Lp (mm)	CM-1 at Max Lp (mm)	CM-2 at Max Lp (mm)	G _F (N/m)
750	0	37	34.0	1033	261	75	495.0	0.121	0.121	0.121	251.21
	3	35	-	1085	264	95	518.1	0.132	0.131	0.128	270.02
	6	30	43.2	1087	248	100	561.0	0.126	0.112	0.121	286.99
	9	30	-	1057	253	95	514.8	0.126	0.122	0.121	304.23
	12	31	-	998	243	105	524.7	0.136	0.119	0.118	294.39
1,000	3	38	-	1048	228	115	521.4	0.130	0.130	0.138	289.38
	6	36	43.2	1017	244	105	514.8	0.156	0.148	0.159	306.13
	9	31	-	989	252	110	488.4	0.164	0.145	0.159	319.39
	12	36	-	900	243	120	501.6	0.118	0.105	0.111	285.94
2,000	3	42	38.5	947	255	150	508.2	0.142	0.136	0.133	298.15
	6	43	39.8	964	236	155	508.2	0.158	0.137	0.157	351.03
	9	43	37.0	836	225	160	521.4	0.136	0.133	0.151	312.63
	12	50	40.0	910	218	155	521.4	0.140	0.127	0.143	334.62
3,000	3	50	-	1026	237	155	531.3	0.158	0.142	0.177	337.88
	6	48	55.9	915	222	160	545.0	0.147	0.140	0.155	345.28
	9	44	-	901	211	175	550.0	0.150	0.142	0.158	419.21
	12	50	-	872	198	170	561.0	0.174	0.153	0.167	381.33

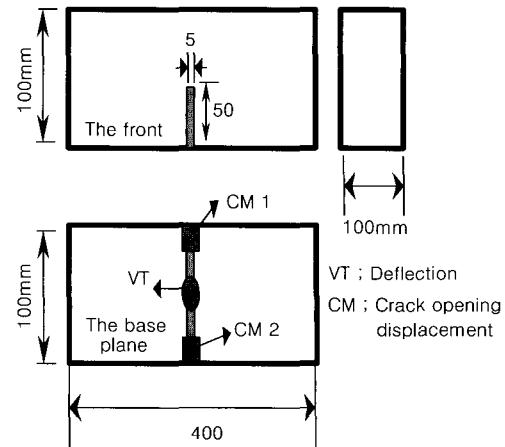


Fig. 1 Test specimen of flexural toughness

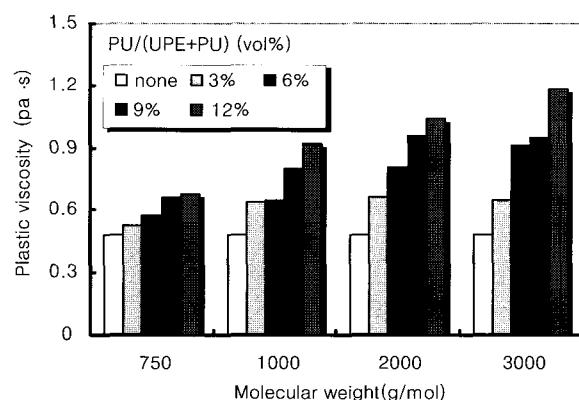


Fig. 2 Viscosity of UPE by PU/(UPE+PU) ratio and molecular weight of polyol

3.3 경화수축

Fig. 4, 5는 폴리올의 분자량 및 PU 고무의 치환율에 따른 경화수축결과를 나타낸 것이다. 일반적으로 UPE 모르타르는 $40\sim50\times10^{-4}$ 의 경화수축율을 보이며, 포틀랜트 시멘트의 수축율 $12\sim13\times10^{-4}$ 에 비해 수축율이 크다¹⁾. 실험결과에서는 PU 고무의 첨가량이 증가함에 따라 경화수축이 감소되는 것을 볼 수 있었으며, 폴리올의 분자량과 PU 고무의 치환율이 높을수록 경화수축은 감소하는 경향을 보였다. 이는 UPE 모르타르의 경화과정에서 PU 고무가 팽창함으로써 수축보상작용을 한 것으로 볼 수 있으며, 최고 50 %의 수축저감효과를 보였다. 분자량 1000이상에서는 경화수축에 있어서 큰 차이는 보이고 있지 않으며, PU의 치환율에서도 6 %이상에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 그리고, PU 고무의 사용에 따라 경화발열온도는 25 ± 2 °C를 기준으로 $10\sim30$ °C정도 상승하는 경향을 보였다.

3.4 압축강도 및 휨강도

Fig. 6, 7은 폴리올의 분자량 및 PU 고무의 치환율에 따른 압축강도, 휨강도 결과를 나타낸 것이다. 압축강도는 $836\sim1,087$ kgf/cm²의 범위를 보였으며, 전반적으로 PU 고무의 치환율이 높아질수록 강도가 저하되는 경향이며, 최고 19 %정도의 저하를 보였다. 분자량별로 살펴보면, 분자량 750, 1000인 경우에는 PU 고무의 치환에 따라 큰 강도의 차이를 보이지 않으며, 분자량 2000, 3000은 치환율 9 %까지는 최고 19 %정도의 강도저하를 나타내고 있다. 폴리올 분자량 750인 경우에는 다른 분자량의 경우에 비해 상대적으로 작은 고무입자부분이 UPE 수지내에 녹아든 결과로²⁾ 상대적으로 저강도인 고무입자가 차지하는 면적이 줄어들어 강도저하를 보이지 않았다고 볼 수 있다.

동일 치환율에서 폴리올의 분자량 차이에 따른 압축강도의 변화를 살펴보면, 치환율 3 %에서는 분자량에 따른 차이를 거의 찾아볼 수가 없었으나, 6 %이상에서 분자량에

따른 강도 차이가 나타났다. 이는 UPE 수지내에 존재하는 고무입자의 크기 및 양의 차이가 UPE 모르타르의 압축강도에 영향을 주고 있음을 의미하고 있다.

휨강도는 $198\sim264$ kgf/cm²의 범위를 보이고 있으며, 전반적인 경향은 압축강도와 유사하다. 분자량 750, 1000에서는 PU 고무의 치환에 따른 휨강도의 변화가 크게 없었으며, 2000이상에서는 치환율이 증가할수록 최고 24 %까지 강도저하를 보이고 있었다.

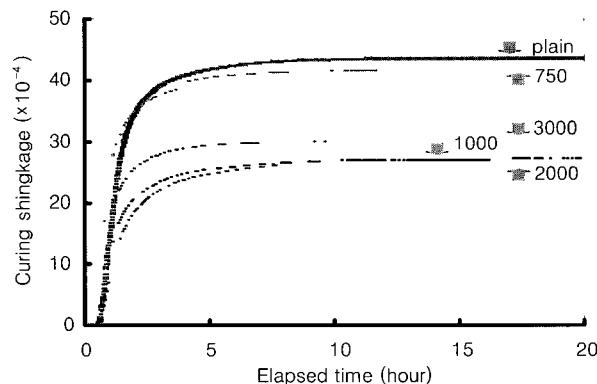


Fig. 4 Curing shrinkage of UPE mortar by molecular weight of polyol ($\text{PU}/(\text{UPE}+\text{PU}) = 6\%$)

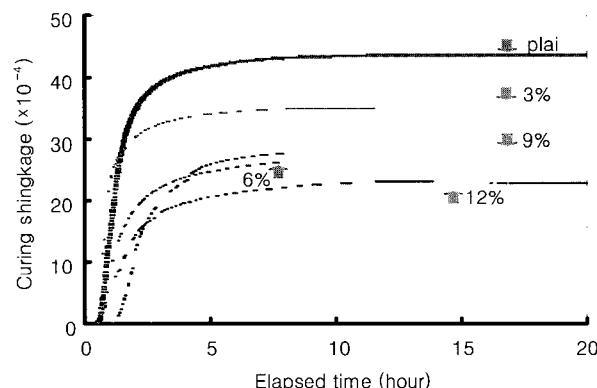


Fig. 5 Curing shrinkage of UPE mortar by $\text{PU}/(\text{UPE}+\text{PU})$ ratios (molecular weight of polyol = 2000)

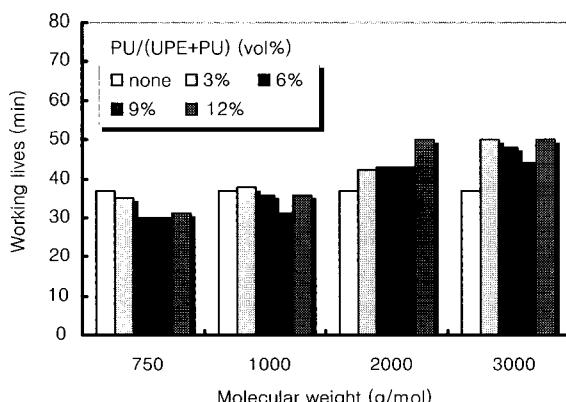


Fig. 3 Working lives of UPE mortar by $\text{PU}/(\text{UPE}+\text{PU})$ ratio and molecular weight of polyol

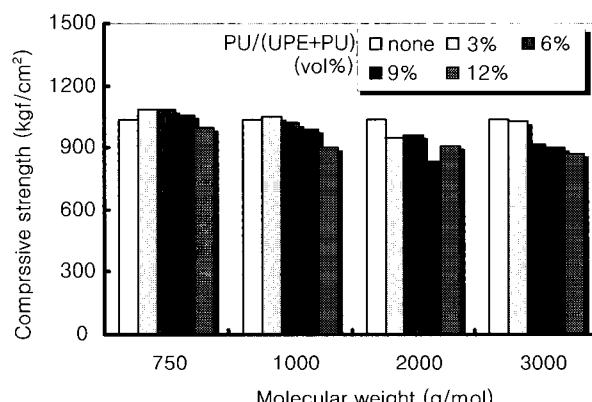


Fig. 6 Compressive strength of UPE mortar by $\text{PU}/(\text{UPE}+\text{PU})$ ratio and molecular weight of polyol

3.5 내충격성 시험

Fig. 8은 폴리올의 분자량 및 PU 고무의 치환율에 따른 내충격성 시험 결과를 나타낸 것이다. PU 고무를 사용하지 않은 UPE 모르타르 패널은 강구(鋼球)를 75 cm의 높이에서 낙하시켰을 때 파괴되었으며, PU 고무의 치환율이 높아질수록 파괴높이가 높아지는 경향을 보였다. 전체적으로는 75~175 cm의 범위이며 분자량 750, 1000에서는 최고 60 %의 개선을 보였으며, 분자량 2000 이상에서는 100~133 %의 효과를 보여 내충격성이 많이 개선되었음을 알 수 있었다. 이는 UPE 수지내에 큰 고무입자가 존재할 수록 충격을 잘 흡수하여 내충격성을 향상되는 것으로 볼 수 있다.

Fig. 9는 PU 고무를 치환한 UPE 수지의 전자현미경 사진을 나타낸 것인데, PU 고무를 사용하지 않은 경우와 분자량 750인 경우에는 UPE 수지내에서 고무입자가 보이지 않았으나, 분자량 1000에서는 UPE 수지내에 작은 고무입자들이 분산된 것을 알 수 있다. 그리고, 분자량 2000, 3000의 경우에는 고무입자들이 분산된 것을 볼 수 있었는데, 이것이 분자량 2000 이상에서 내충격성이 크게 향상된 이유를 보여주고 있다.

3.6 3점 휨파괴 시험에 의한 하중-변위관계

Fig. 10은 폴리올의 분자량 및 PU 고무의 치환율에 따른 하중-처짐변위 관계를 나타낸 것이다. 폴리올과 이소시아네이트를 UPE 수지에 혼합할 경우, PU 고무의 말단기가 반응성이 매우 높은 -NCO로 되어 있기 때문에 UPE 수지의 양단에 존재하는 수산기(hydroxyl)나 카르복실기(carboxyl)와의 반응이 예상되며, 고무와 매트릭스 사이의 화학적 결합에 의한 접착력 효과를 기대할 수도 있다^{2,3)}. 또한, PU 고무의 고무입자 크기는 폴리올의 분자량에 의해 결정되므로, 폴리올의 분자량을 변화시키면 UPE 수지내에 도입된 고무입자의 크기 증가 및 고무입자의 표면적이 커지게 되어 취성을 개선시킬 수 있을 것으로 예상된다.

실험결과를 살펴보면, PU 고무를 사용하지 않은 시험체

는 최대하중에 도달한 후 급속한 파괴를 보이고 있었으나, PU 고무가 사용된 시험체는 최대하중이후에도 하중에 따라 서서히 변위가 증가되면서 파괴되는 양상을 나타내었고, 폴리올의 분자량이 커질수록 뚜렷한 경향을 보이고 있었다. 폴리올의 분자량 750인 경우에는 치환율에 따라 개선효과가 보이지 않았으나, 분자량 1000 이상에서는 뚜렷한 경향을 보였다. 그래프 경향에서 취성의 개선이 가장 눈에 띄는 시험체는 분자량 3000-9 %로서 최대 파괴하중 이후에도 지속적으로 하중에 따라 변위가 크게 증가하면서 서서히 파괴되는 결과를 보였다.

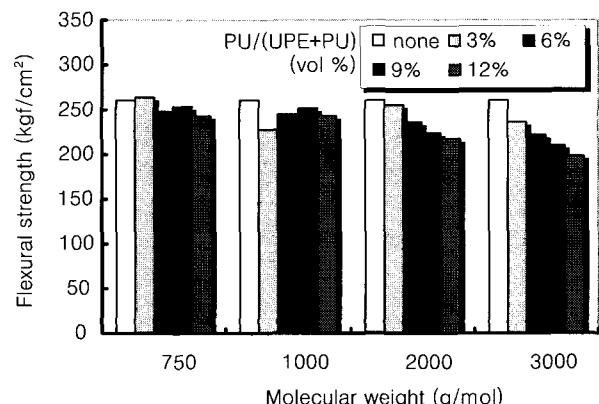


Fig. 7 Flexural strength of UPE mortar by PU/(UPE+PU) ratio and molecular weight of polyol

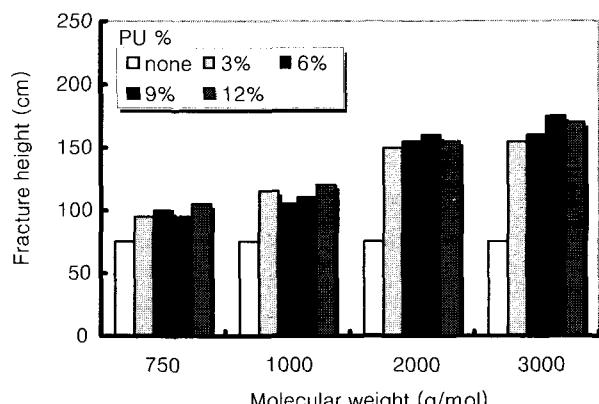


Fig. 8 Resistance to impact of UPE mortar by PU/(UPE+PU) ratio and molecular weight of polyol

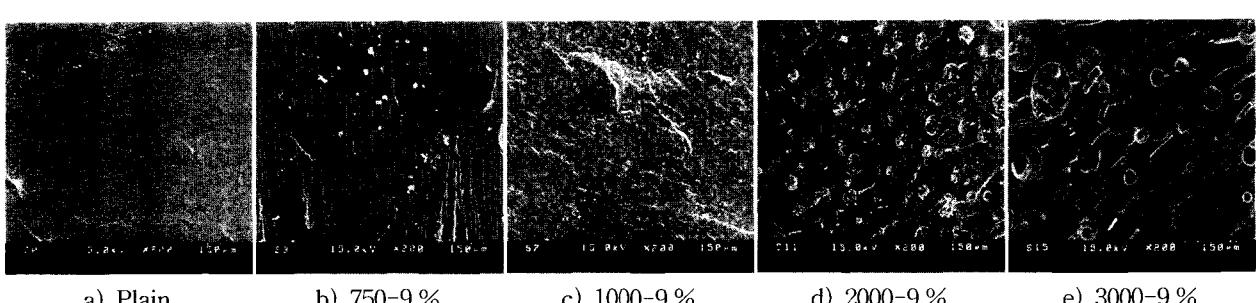


Fig. 9 SEM micrographs of surfaces of UPE resin blended with PU rubber

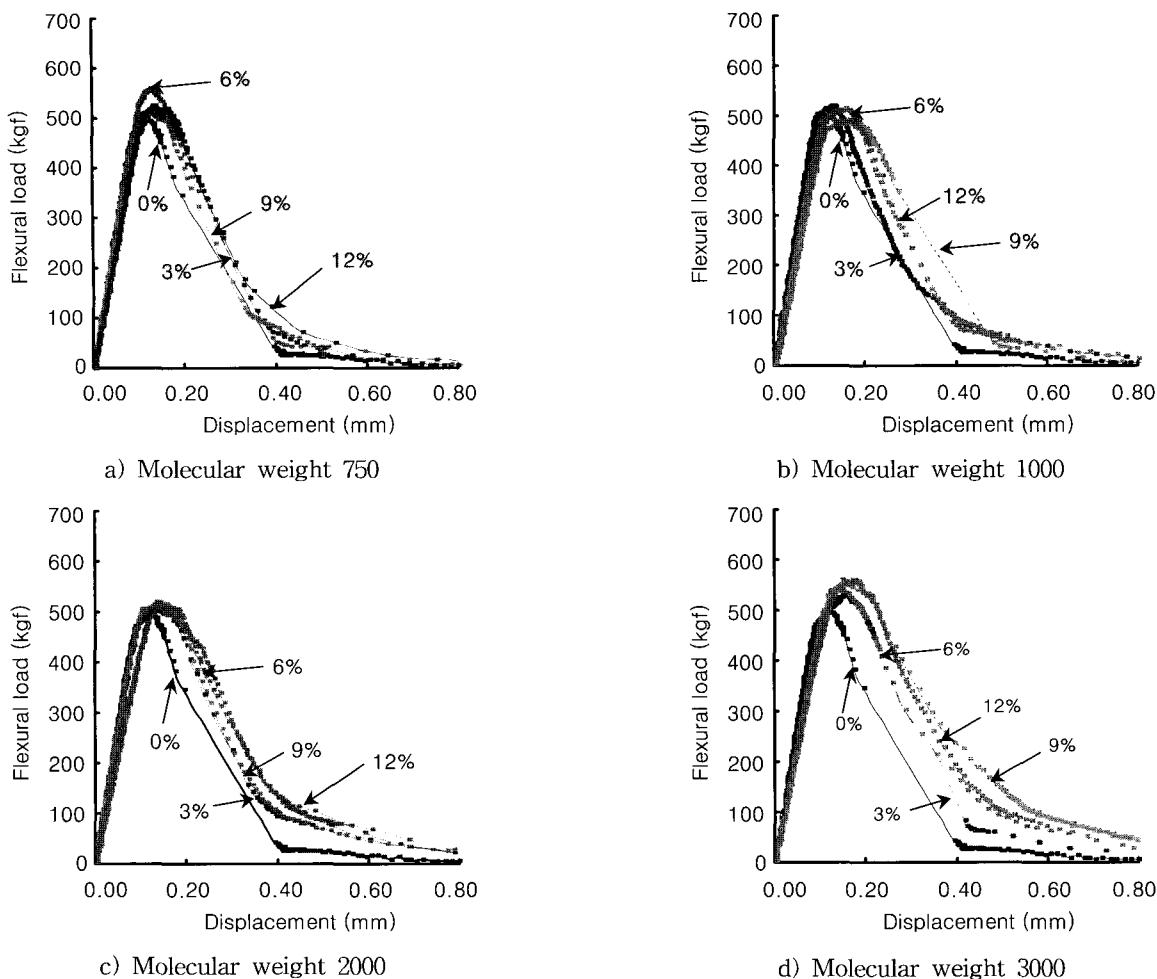


Fig. 10 Load-displacement curves at the center of beam

최대 파괴하중 이후의 그래프에서 하중 100 kg을 기준으로 시험체의 처짐변위를 살펴본 결과, 분자량 750인 경우에는 0.348~0.388 mm, 분자량 1000은 0.376~0.388 mm, 분자량 2000은 0.390~0.480 mm 그리고, 분자량 3000은 0.464~0.562 mm의 처짐변위를 보이고 있었다. 앞의 수치에서도 알 수 있듯이 PU 고무의 사용에 따라 취성이 개선되었음을 알 수 있다. 분자량이 커질수록 취성의 개선 효과를 보인 결과는 Fig. 9에서 분자량 1000까지는 고무입자의 분포가 보이지 않지만, 분자량 2000이상에서는 고무입자가 UPE 수지내에 분포해 있는 것으로 설명될 수 있다. 따라서, 분자량 2000이상의 시험체내에 분포되어 있는 고무입자들에 의해 UPE 모르타르의 취성이 개선가능함을 알 수 있었다.

3.7 파괴에너지 (G_F)

Fig. 11은 폴리올의 분자량 및 PU 고무의 치환율에 따른 파괴에너지를 나타낸 것이다. PU 고무를 사용한 UPE 모르타르 시험체의 하중-처짐곡선으로부터 구한 면적에

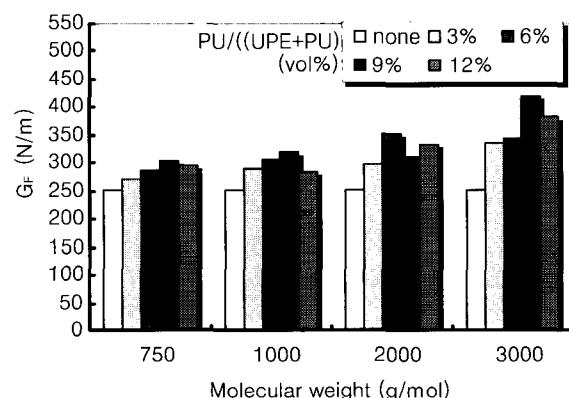


Fig. 11 GF of UPE mortar by PU/(UPE+PU) ratio and molecular weight of polyol

노치부분을 뺀 시험체의 단면적을 나누어 파괴에너지(G_F)를 구하였다. PU 고무의 치환에 따른 파괴에너지는 전체적으로 251~419 N/m의 범위였고, PU 고무의 사용에 따라 8~67 % 정도의 증가를 보였다. 폴리올의 분자량이 커질수록, 치환율이 높아질수록 파괴에너지는 증가하는 경향이었는데, 가장 높은 파괴에너지 값을 보이고 있는 시험체

는 분자량 3000-9 %이었다. 따라서, UPE 모르타르에 PU 고무를 도입시킨 결과 파괴에너지의 향상을 가져올 수 있었다.⁶

4. 결 론

불포화 폴리에스테르 모르타르의 취성을 개선시키기 위해 폴리우레탄 액상고무를 혼합하여 실험한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) PU 고무를 치환한 UPE 수지의 점도는 PU 고무의 사용에 따라 증가하는 경향을 보여, 시공성 검토가 요구되었다. 그리고, UPE 모르타르의 사용가능시간은 30~60분의 범위를 보였다.

2) UPE 모르타르의 경화수축은 PU 고무의 사용에 따라 최고 50 %까지 줄어드는 결과를 보였으며, 이는 폴리올과 이소시아네이트의 팽창 반응에 따른 수축보상효과라고 사료된다.

3) PU 고무를 사용한 UPE 모르타르의 압축강도 및 휨강도는 UPE 수지내에 생성된 고무입자로 인하여, 최고 19 %까지 감소하는 결과를 얻었다.

4) UPE 모르타르 패널의 강구에 의한 내충격성은 폴리올의 분자량과 PU 고무의 치환율이 높아질수록 향상되는 결과를 얻었으며, 분자량 2000이상에서 2배이상의 개선효과를 보였다.

5) UPE 모르타르 시험체의 3점 휨파괴 시험결과, PU 고무를 사용함에 따라 파괴하중에 도달한 후 급격한 파괴를 보이지 않고 서서히 변위가 증가되면서 파괴되는 결과를 보여, 취성이 개선된 것을 확인할 수 있었다.

이상과 같이, PU 고무를 UPE에 혼합하는 것에 의해 UPE 모르타르의 취성을 개선시킬 수 있음을 확인할 수 있었으며, 폴리올의 분자량 2000, 3000 PU 고무의 치환율 3~6 %정도가 적절한 수준이라고 사료된다. 그리고, 시험체 파괴단면에서 기포가 다소 존재하고 있었는데, PU 고무를 습기가 있는 상태에서 혼합할 경우 기포가 발생되기 때문인 것⁵⁾으로 볼 수 있다. 따라서, 이에 대한 검토 및 바탕면과의 접착성, 바닥마감재로의 사용성 평가 등에 대한 연구결과를 추후 발표할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 1997년도 한국학술진흥재단 대학부설연구소 과제 연구비에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 合成高分子系床仕上げ施工指針・同解說, 日本建築學會, 1989, pp.141~160.
- 박찬언, “불포화 폴리에스테르 수지의 고무에 의한 강인화,” Polymer(Korea) Published by the Polymer Society of Korea, Vol. 14, No .3, 1990.
- 민경은, “폴리우레탄으로 개질한 불포화 폴리에스테르 수지의 강인성,” Polymer(Korea) Published by the Polymer Society of Korea, Vol. 25, No. 1, 2001, pp.7 1~77.
- 김화중, “불포화 폴리에스테르 모르타르의 인성강화에 관한 실험 연구,” 한국콘크리트학회 가을학술발표논문집, 제12권 2호, 2000, pp.1115~1120.
- 최근배, “건축용 일액형 폴리우레탄 소재 개발,” 통상산업부, 1996, pp.64~90.

요 약

일반적으로 불포화 폴리에스테르 모르타르 및 콘크리트는 강도가 우수하고 내약품성이 좋지만, 취성적이어서, 내충격성이 요구되는 용도로는 사용하기 어렵다. 그러므로, 본 연구에서는 재생골재와 불포화 폴리에스테르 액상수지를 사용한 바닥마감재를 개발하기 위해 불포화 폴리에스테르 모르타르의 취성을 개선시켜보고자 하였다. 불포화 폴리에스테르 모르타르의 취성을 개선하기 위한 재료로 폴리우레탄 액상고무를 사용하였으며, 폴리올의 분자량과 폴리우레탄 액상고무의 치환율에 따른 모르타르의 특성을 검토했다. 실험결과, 폴리우레탄 액상고무의 사용에 따라 불포화 폴리에스테르 모르타르의 점도가 증가하였고, 경화수축은 감소하였다. 그리고, 모르타르내에 생성된 고무입자에 의해 압축강도 및 휨강도는 다소 저하하였지만, 내충격성이 향상되고, 휨파괴시험결과에서 파괴하중이후에도 급격한 파괴를 보이지 않는 결과를 얻을 수 있었다. 따라서, 본 연구의 결과는 폴리올의 분자량 2000, 3000인 폴리우레탄 액상고무를 불포화 폴리에스테르 모르타르에 사용하여 취성의 개선효과를 얻을 수 있다는 것을 제시하고 있다.

핵심용어 : 불포화 폴리에스테르 수지, 폴리우레탄 액상고무, 재생골재, 취성, 내충격성