

## 발포 폴리스티렌 수지를 수축저감제로 이용한 불포화 폴리에스테르 모르타르의 특성

조영국<sup>1)\*</sup> · 최낙운<sup>2)</sup> · 소양섭<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>청운대학교 건축공학과 <sup>2)</sup>니혼대학 건축학과 <sup>3)</sup>전북대학교 건축학부

(2000년 9월 21일 원고접수, 2001년 1월 12일 심사완료)

### Properties of Unsaturated Polyester Mortar Using Expanded Polystyrene as a Shrinkage-Reducing Additive

Young-Kug Jo<sup>1)\*</sup>, Nak-Un Choi<sup>2)</sup>, and Yang-Seob Soh<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Department of Architectural Engineering, ChungWoon University, Hongsung, 350-701, Korea

<sup>2)</sup> Department of Architecture, Nihon University Koriyama, 963, Japan

<sup>3)</sup> Faculty of Architecture, Chonbuk National University, Chonju, 561-756, Korea

(Received September 21, 2000, Revised January 12, 2001)

#### ABSTRACT

Generally, polymer mortar made with unsaturated polyester(UP) resin has a high curing shrinkage. This is an inadequate as repair material and construction products that have been widely used for years recently. To overcome these problems, polymer researchers and engineers have used shrinkage-reducing additives, which are usually specific thermoplastic polymers.

The objective of this study is to evaluate the effects of shrinkage-reducing additive on the curing shrinkage and strengths of UP mortar. UP mortars are prepared with expanded polystyrene(EPS) ratio in styrene monomer(SM), (EPS/PS, PS=EPS+SM), and the ratio of total polystyrene resin(FS) to UP resin, (PS/UP). And it is tested for viscosity of UP resin, slump-flow, working life, flexural and compressive strengths, and curing shrinkage tests. From the test results, viscosity of resin for UP mortar increases with increasing PS content. Curing shrinkage of UP mortar is considerably smaller than that of plain UP mortar, nevertheless, reduction in the strengths is not recognized according to adding PS resin. In this study, we can obtain the optimum mix proportions of UP mortar using PS resin which made of waste expanded polystyrene.

**Keywords :** *unsaturated polyester(UP) resin, shrinkage-reducing additive, expanded polystyrene, flexural and compressive strengths*

#### 1. 서 론

불포화 폴리에스테르 (Unsaturated Polyester : 이하 UP라 칭함) 수지를 결합제로 한 폴리머 모르타르, 또는 콘크리트(UP 모르타르 또는 콘크리트)는 그 역학적 성질 및 내구성이 우수하기 때문에 바닥재, 포장 보수재, 방식 라이닝재, 접착제, 프리캐스트 제품 등 건설재료로서 널리 사용되고 있다.<sup>1)</sup> 그러나 일반적으로 UP 모르타르 및 UP 콘크리트의 경화수축은 매우 커 매트릭스 내부에 균열이나 내부응력을 발생시켜 접착불량과 치수 불안정 등과 같은 문제를 초래할 수 있다. 그래서 현재 UP 수지 산업업체 및 학

계에서는 이러한 경화수축을 저감시키기 위한 연구가 진행되고 있으나, 뚜렷한 성과를 거두지 못하고 있으며, 특히 상온경화용 저수축 UP 개발은 난제로 남아있는 실정이다. 경화수축 방지의 수단에는 무기질 충전재, 열가소성 수지의 혼입, 가결경화등의 방법이 있다. UP 수지중에 미립(약 0.5  $\mu$ ) 분산상태로 존재하는 열가소성 수지가, 경화시 팽창 및 충전작용을 하여 UP 수지의 경화에 수반한 수축을 보완하기 때문이다.<sup>2)</sup>

본 연구는 열경화성인 UP 수지에 열가소성인 스티렌 수지를 혼합하여 사용함으로써 UP 수지의 경화기구 중 스티렌 수지가 수축보완 작용을 하여 UP 모르타르의 경화수축을 저감시킬 수 있다는 가능성을 확인하고자 실시하였으며 이에 따른 역학적 성질의 변화를 함께 검토하고자 하였다. 본 연구에서 사용한 스티렌 수지는 폐 발포 폴리스티렌

\* Corresponding author

Tel : 041-630-3284 Fax : 041-630-3284

E-mail : ykjo@www.cwunet.ac.kr

(Expanded polystyrene : 이하 EPS)을 스티렌 모노머 (Styrene Monomer : SM)에 액화시킨 것으로서 폐기물로 발생하는 폐 스티로폴의 자원재활용의 측면에도 그 의미가 있다고 할 수 있다.

## 2. 불포화 폴리에스테르의 경화수축

경화란 UP 수지중의 불포화 결합과 모노머와의 공중결합에 의해 분자간에 가교(cross-linking)가 일어나 삼차원 망상구조를 형성하는 것을 뜻한다. UP 모르타르의 경화 특성은 결합제로 사용되는 수지의 경화반응에 의해 결정되므로 UP 수지의 경화반응 과정을 이해하는 것은 매우 중요한 일이다.

UP 모르타르(콘크리트)는 결합재인 수지에 충전재 및 골재를 혼합하게 되므로 경화수축이 어느 정도 완화되겠지만, 다른 수지를 사용한 경우에 비해 상당히 큰 값을 나타내며, UP 모르타르(콘크리트)의 경화수축은 일반 시멘트 모르타르(콘크리트)의 건조수축의 약 5~10배 정도로 크다.<sup>3)</sup> 이러한 경화수축은 경화과정에서 수지의 고분자고리가 가교결합을 진행하면서 자유체적의 감소를 일으키기 때문으로 알려져 있다.<sup>4)</sup> 이러한 경화수축을 제어하기 위하여 일반적으로 열가소성 폴리머를 이용하여 상분리의 개념을 적용하는 방법, 즉 수지의 선 방향 수축을 상회하는 신율을 갖는(약 5~30%정도) 반 경질수지를 이용하여 수지의 신도로 보충하는 방법, 몰딩, 성형 공정조건의 제어를 이용하는 방법, 유리섬유 등의 보강재나 충전재 등을 이용하는 방법 등의 연구들이 진행되어 왔다.<sup>5)</sup>

## 3. 실험계획

SM에 EPS를 용해시킨 수지로 UP 모르타르를 제작할 때, 수축저감제로 사용하므로써, UP 모르타르의 최대 단점 중의 하나인 경화수축을 제어하는데 본 연구의 목적이 있으며, 또한 열가소성 수지를 혼입하여 열경화성 수지인 UP 모르타르의 매트릭스중에서 강도의 영향을 평가하고자 하였다. 즉, 강도의 저하는 적으면서 경화수축을 크게 제어할 수 있는 최적배합을 유도하여 고성능 UP 모르타르를 제작하는데 중점을 두었다.

한편, 본 실험에서는 SM에 의한 EPS의 용해비(EPS/PS, PS=SM+EPS)과, EPS 용해 수지의 UP 모르타르에의 혼입율(PS/UP)을 변경하여 실험하였다.

### 3.1 사용재료

#### 3.1.1 결합재

결합제로 오르토프탈산염계 (Orthophthalate type) 불포화 폴리에스테르 수지를 사용하였으며, 물리적 성질은 Table 1과 같다.

#### 3.1.2 촉매

촉매로서는 메칠 에칠 케톤 퍼옥사이드(Methyl Ethyl Ketone Peroxide : MEKP)를 수지의 중량에 대하여 1.0% 첨가하였다.

#### 3.1.3 충전재

충전재로서는 중질탄산칼슘(입자크기; 2.5× 10-3mm 이하)을 함수율이 0.1% 이하가 되도록 건조시켜 사용하였으며, 골재는 주문진산 표준사(Standard Sand)를 사용하였다. Table 2에는 중질탄산칼슘의 물리적 성질을 나타냈다.

#### 3.1.4 수축저감제

수축저감제로서 흔히 스티로폴(Styropor) 또는 스티로폼 (Styroform)이라 불리는 발포 폴리스티렌(Expanded polystyrene: EPS, 밀도 : 15kg/m<sup>3</sup>)수지를 스티렌 모노머로 액화시켜 사용하였다. 본 실험에서 사용한 재료는 건설폐기물로 발생하는 건축용 단열재를 사용하였다.

## 3.2 실험방법

### 3.2.1 EPS 용해액의 제조

폐 스티로폴은 여러 가지 유기용제로 용해시킬 수 있으며, 용제에 따라서는 1/100의 용적으로 감용화하여 겔상태로 회수할 수도 있다.

본 연구에서는 공업용 SM을 용제로 사용하여 용해시켰는데, 그 과정은 다음과 같다.

먼저, 스티로폴을 세척하여 용해가 잘 되게 하기 위하여 4~6cm 가량으로 잘게 분쇄한 후, 70℃의 항온수조에서 항온상태로 된 용제인 SM에 넣고 교반기를 사용하여 용해시킨다. 이때 항온수조의 온도가 중요한데, 80℃이상에서 장시간 동안 용해할 경우 자칫 스티렌 모노머가 열에 의해

Table 1 Properties of unsaturated polyester resin

Specific gravity (20℃)	Acid value	Viscosity (mPa · s)	Gel time (min.)
1.105	22.6	250	12.4

Table 2 Physical properties of calcium carbonate

Specific gravity	Unit weight (t/m <sup>3</sup> )	Surface area (cm <sup>2</sup> /g)	Water content (%)
2.7	0.984	2,500	≤0.1

겉화 될 수 있으므로 주의해야 한다. 본 연구에서 페 EPS 용해액의 제조에 걸리는 시간은 용해액 농도[EPS/(EPS+SM)] 30%의 경우 2ℓ를 만드는데 약 30~40분 가량이 소요되었다.

### 3.2.2 공시체의 제작 및 양생

본 연구에서의 UP 모르타르의 배합은 Table 3과 같이 결합재 : 충전재 : 골재비(중량비)를 16 : 16 : 68로 하였다. 페 스티로폴 용해액(PS)의 첨가비를 결합재(UP)에 대하여 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%로 변화시켜 첨가했으며 스티로폴의 농도, 즉 EPS/PS 비는 0%, 10%, 20%, 30%, 50%로 하였다. 압축강도 및 휨강도용 공시체는 40×40×160mm, 경화수축 시험용은 75×100×400mm의 강제형몰드를 각각 사용하였으며 공시체 제작 후, 소정의 기간동안 기중양생(20℃, 50% R.H.)을 실시하였다. 여기서 촉매는 결합재량의 1%를 사용하였다. Fig. 1에는 본 연구에서의 공시체 제작과정을 나타냈다.

### 3.2.3 수지의 점도

폴리스티렌 수지를 첨가한 불포화 폴리에스테르 수지의 점도를 브룩필드형 점도계를 사용하여 측정하였다. 측정시 수지온도는 20℃ 항온상태에서 실시하였다.

Table 3 Mix proportions of UP mortar (unit : wt.%)

PS/UP	EPS/PS	Binder(=UP)	Filler	Aggregate
Plain	0	16	16	68
10	0~50			
20				
30				
40				
50				

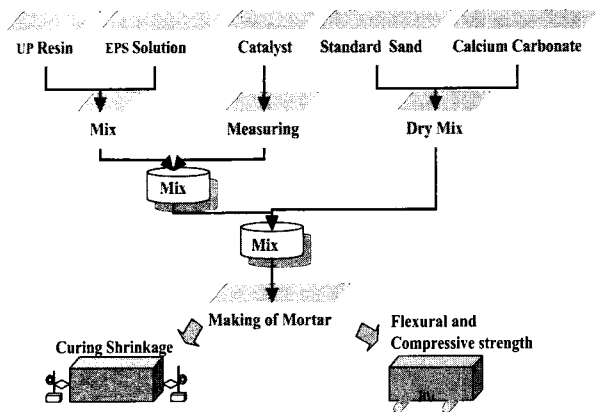


Fig. 1 Mixing process of specimens

### 3.2.4 슬럼프-플로우

폴리머 모르타르(콘크리트)의 유동특성은 시멘트 모르타르(콘크리트)와 상당히 차이가 있다. 플로우치에 있어서 시멘트 모르타르의 경우 시멘트량이 동일할 때 골재의 조립율이나 피이스트의 점성에 따라 차이를 보이지만 폴리머 모르타르의 경우, 혼합후 초기에는 상당히 굳은 것처럼 보이지만 충전성은 의외로 좋다.

또한 경시변화의 특징은 혼합후 최초 20여초간은 플로우치가 급속히 상승하지만 그 후 겉화가 일어나기 전까지는 거의 완전한 상승을 보이거나 거의 증가하지 않는다. 그래서 폴리머 모르타르의 유동성 평가는 시멘트의 경우와 다른 기준이 필요한데 아직까지 폴리머 모르타르의 레올로지를 측정할 뚜렷한 방법이 규정되지 않은 상태이다. 본 실험에서는 혼합후 즉시 슬럼프-플로우 실험을 실시하였으며 별다른 진동이나 충격없이 3분간 두었다가 슬럼프치와 플로우치를 측정하였다. 슬럼프 시험은 KS F 2474(폴리머 시멘트 모르타르의 슬럼프 시험방법)에 준하여 실시하였고, 동시에 플로우치도 측정하였다.

### 3.2.5 사용가능시간

UP 모르타르의 사용가능시간은 KS F 2484(폴리에스테르 폴리머 콘크리트의 사용가능시간 측정방법, 촉감법)에 준하여 양생온도 20℃에서 실시하였다.

### 3.2.6 휨 및 압축강도

휨강도 시험은 KS F 2482(폴리에스테르 폴리머 콘크리트의 휨강도 시험방법), 압축강도 시험은 KS F 2481(폴리에스테르 폴리머 콘크리트의 압축강도 시험방법)에 준하여 실시하였으며, 압축강도 시험은 휨강도 시험 후, 그 절편을 사용하였다.

### 3.2.7 경화수축

공시체의 경화에 의한 수축율은 75×100×400mm 공시체의 양단 중앙부에 다이얼 게이지를 정치하여 길이변화를 측정하였다. 경화수축은 촉매(MEKPO)를 결합재에 첨가할 때부터 측정하여 경화에 의한 수축의 변화가 거의 없는 40시간까지 매시간 측정하였다.

### 3.2.8 주사형 전자 현미경(SEM) 관찰

UP 모르타르의 미세구조를 파악하기 위하여 시료를 소정의 크기로 파쇄하여 진공건조기(50℃)에서 48시간 건조한 후, 주사형 전자 현미경을 이용하여 미세구조를 관찰하였다.

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 수지의 점도

불포화 폴리에스테르 수지의 점도는 불포화 알키드의 분자량, 연화점, 모노머의 종류와 양에 의해 결정되며 수지의 점도는 수지가 골재와 충전재를 잘 적시고 세밀한 요철부분에도 충분히 침투할 수 있는 유동성을 확보해야 한다. UP 수지의 점도는 용도에 따라 화학적 증점법을 이용하여 증가시키기도 하고 수지의 분자량 조절이나 희석제의 첨가를 통해 감소시키기도 한다. 건설재료로서의 폴리머 모르타르를 개발하는데 있어서는 양호한 시공성을 갖는 저점도의 수지가 필요한데 시판되는 UP 수지에는 반응성 희석제인 스티렌 모노머가 30~40%정도 함유되어 있기 때문에 저점도의 액상 수지로 된다. 그러나 스티렌 모노머의 과다한 첨가는 강도를 저하시킬 수 있으므로 그 첨가량을 적절히 조절할 필요가 있다. Fig. 2는 EPS/PS비 및 PS/UP비에 따른 결합재의 점도를 나타내고 있다.

혼합수지의 점도는 EPS/PS비가 증가함에 따라 점차적으로 증가하였으며 EPS/PS비가 30%일 때 보통의 UP 수지와 거의 같은 점도를 나타내었고 EPS/PS비가 30%이상 이 될 경우 급격히 점도가 증가하였다. 또한 EPS/PS비가 30% 미만의 저농도일 경우, PS/UP비의 증가에 따라 점도가 상당히 감소되는 경향을 보였으나, EPS/PS비가 30% 이상인 경우에는 점도가 보통의 UP 수지와 비슷하거나 오히려 증가하였다. 이처럼 EPS의 혼입량에 따라 점도가 변화되어 시공성에 영향을 미칠 수 있기 때문에 적절하게 조정해야 할 것이다.

### 4.2 슬럼프-플로우

폴리머 모르타르는 보통 시멘트 모르타르와는 달리 작업성, 즉 워커빌리티를 보통 슬럼프-플로우 시험을 통하여 평가한다. Fig.3은 UP 모르타르의 슬럼프를, Fig.4는 플로우를 측정된 결과이다. UP 모르타르의 슬럼프 및 플로우는 EPS/PS비의 변화보다는 PS/UP비에 따른 영향을 크게 받는 것으로 나타났는데 앞의 점도 측정의 결과에서와는 달리 EPS/PS비 30% 이상에서도 PS/UP비가 증가함에 따라 슬럼프-플로우 값이 증가하는 경향을 나타낸 것은 모르타르의 유동성을 좌우하는 혼합수지(UP+PS)의 상대적인 양이 증가했기 때문으로 생각할 수 있다. 즉, 점도는 밀도나 비중과 같이 크기에 의존하지 않는 시강변수(示強變數, 세기 변수, intensive variable)이나 슬럼프-플로우는 크기에 의존하는 시량변수(示量變數, 크기 변수, extensive variable)이기 때문이다.

### 4.3 사용 가능시간

Fig.5는 EPS/PS비 및 PS/UP비에 따른 UP 모르타르의 사용가능시간 변화를 측정된 것이다. UP 모르타르 및 콘크

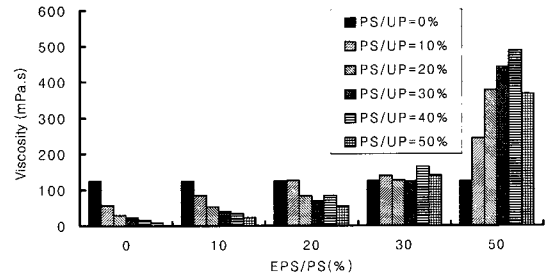


Fig. 2 Viscosity of resin compounds with variation of EPS/PS and PS/UP Ratios

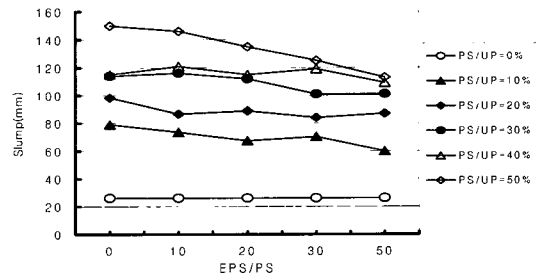


Fig. 3 Slump of UP mortars with variation of EPS/PS and PS/UP ratios

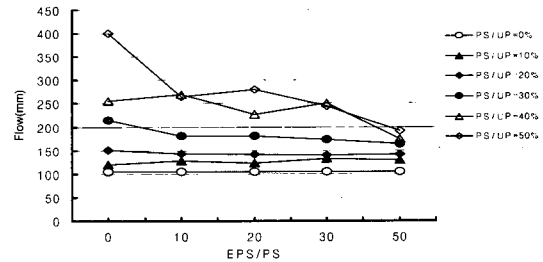


Fig. 4 Flow of UP mortars with variation of EPS/PS and PS/UP ratios

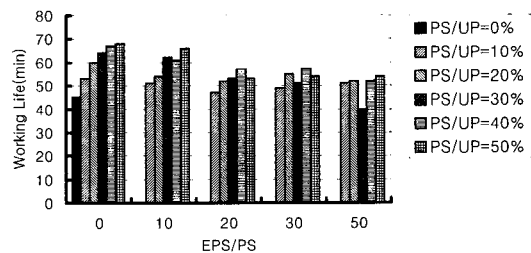


Fig. 5 Working life of UP mortars with variation of EPS/PS and PS/UP ratios

리트의 사용가능시간은 수지의 조성, 양생온도, 개시제, 촉진제, 억제제 등의 종류 및 사용량에 의해서 변화되며 사용개소 및 요구성능에 따라 이들 조건을 변화시켜 작업가능시간을 조정 할 수 있기 때문에 크게 문제가 되지 않는데, 보통 30분~60분 사이에서 사용되고 있다. UP 모르타르의 작업가능시간은 Fig.5에서 보는 바와 같이 EPS/PS비가 20% 이하에서는 PS/UP비의 증가함에 따라 대체적으로 길어지나 EPS/PS비가 30% 이상이면 거의 비슷한 결과를 나타냈다. 또한 EPS/PS비의 증가에 따라 UP 모르타르의 사용가능시간은 전반적으로 소폭 단축되는 경향을 보였으나 대체적으로 약 40분에서 60분 사이의 분포를 보였다.

#### 4.4 압축강도 특성

Fig.6은 EPS/PS비 및 PS/UP비에 따른 UP 모르타르의 압축강도를 나타낸 것이다. 보통 UP 모르타르의 압축강도는 결합재 함유율에 의해서 크게 좌우되며 결합재내의 반응성 희석제 함유율에 의해서도 영향을 받는다. 본 실험에서는 일부 모르타르를 제외하고는 EPS/PS비의 증가에 따른 압축강도의 변화는 매우 적은 것으로 나타났으며, PS/UP비의 증가, 즉 결합재(UP)에 첨가되는 PS의 양이 증가됨에 따라 압축강도가 점차적으로 감소되었는데, 특히 PS/UP비가 40% 이상될 때는 그 감소의 폭이 큰 것으로 나타났다. 이것은 열가소성 수지인 스티렌 모노머의 잉여중

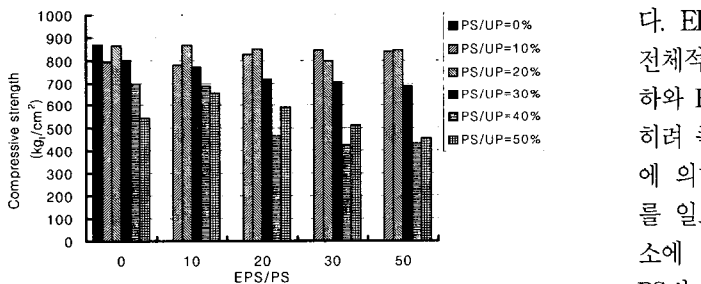


Fig. 6 Compressive strength of UP mortars with variation of EPS/PS and PS/UP ratios

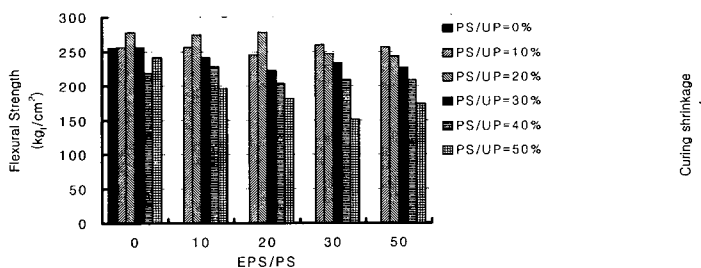


Fig. 7 Flexural strength of UP mortars with variation of EPS/PS and PS/UP ratios

합물이나 혹은 미경화수지가 경화체내에 섞여 있기 때문이며, 또한 UP 모르타르의 강도를 지배할 수 있는 UP의 상대적인 양이 감소되었기 때문인 것으로 볼 수 있다.

#### 4.5 휨강도 특성

Fig.7은 EPS/PS비 및 PS/UP비의 변화에 따른 UP 모르타르의 휨강도를 나타낸 것이다. UP 모르타르의 휨강도는 전술한 압축강도와 유사한 경향을 나타냈다. UP 모르타르의 휨강도 또한 EPS/PS비에 따른 변화는 적었으며, PS/UP비의 증가에 따라 점차 감소하는 경향을 보였는데, 특히 PS/UP비가 50% 일때 그 감소폭이 큰 것으로 나타났다.

#### 4.6 경화수축 특성

##### 4.6.1 PS/UP에 따른 경화 수축

Fig.8은 UP 모르타르의 PS/UP비 및 EPS/PS비의 변화에 따른 경화수축을 나타내고 있다. 보통 UP 모르타르의 경화수축은  $54.5 \times 10^{-4}$  이었으나 EPS 용해액의 첨가량이 증가함에 따라서 현저한 수축감소 효과를 보였는데 최저  $13.62 \times 10^{-4}$ 을 나타내 현저한 수축감소 효과를 얻을 수 있었다. 이는 앞서 언급했듯이 수축저감제의 상분리에 의한 작용과 UP 경화과정 중의 발열에 의해 스티렌 수지가 팽창하여 수축보완 작용을 한 것으로 보여지며 상대적으로 경화의 진척도, 즉 가교수율이 감소하였기 때문으로 사료된다. EPS/PS비와 PS/UP비가 증가함에 따라서 경화수축은 전체적으로 감소되는 경향을 보였으나 EPS/PS비 20% 이하와 PS/UP비 30% 이하에서는 보통 UP 모르타르보다 오히려 큰 경화수축을 나타내었다. 이는 수축저감제의 상분리에 의한 경화수축보상 이론에 대한 간접 증명으로 상분리를 일으키지 않는 단순한 스티렌 모노머의 증가는 수축감소에 오히려 역행하는 것으로 볼 수 있다. 그런데 EPS/PS비 20% 이하의 용해액의 경우도 그 첨가량(PS/UP)을 40%이상으로 과도하게 첨가할 때는 보통 UP 모르타르 보

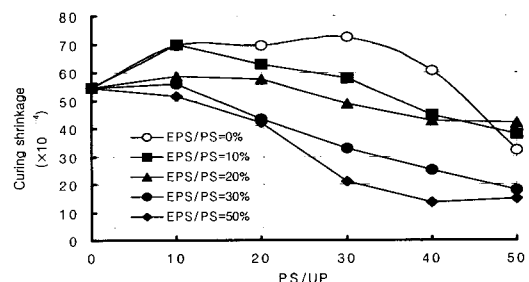


Fig. 8 Curing shrinkage of UP mortars with variation of EPS/PS and PS/UP ratios

다 낮은 경화수축을 나타내었는데 이는 앞서의 강도감소 현상을 종합적으로 고찰해 볼 때 과도한 스티렌 모노머의 첨가에 의한 가교수율의 저하에서 비롯된 것으로 사료된다. 또한 EPS/PS비 변화가 수축에 미치는 영향은 PS/UP비 30%~40%일 때 가장 컸으며 PS/UP비의 증가에 따른 수축감소효과는 EPS/PS비 30%이상일 때 현저하게 나타남을 알 수 있다.

#### 4.6.2 경시변화에 따른 경화수축

Fig. 9에서 Fig. 13에는 스티로폴 용해액을 첨가한 UP 모르타르의 시간경과에 따른 경화수축의 변화를 나타낸 것이다. 폴리머 모르타르의 경화수축은 전반적으로 경화시간 1~3시간 사이에서 급격히 증가하였으며, 그 이후에는 완만하게 증가하여 25시간 이후에는 경화수축변화가 거의 없었다. EPS/PS가 증가함에 따라 경화반응의 진척도와 경화속도는 점점 늦어져 최종적인 경화수축률 또한 적어지는 일련의 경향을 보였으며 PS/UP비 변화에 따른 영향을 보면 EPS/PS가 20% 이하일 경우는 경화속도나 경화반응 진척도에 큰 영향을 미치지 않았으나 EPS/PS가 30% 이상일 경우는 PS/UP가 증가함에 따라 경화속도나 경화반응 진척도가 늦어지는 경향을 보였다. 특히 PS/UP가 50%일 때의 경화수축저동을 보면 초기에 수축을 하다가 3~5시간 사이

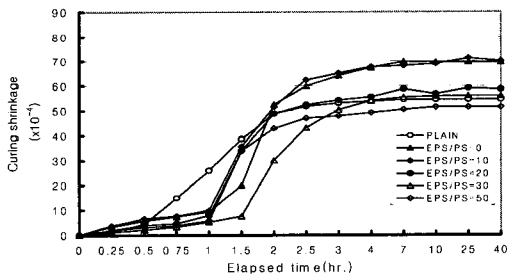


Fig. 9 Elapsed time and curing shrinkage of UP mortars with various EPS/UP ratios (PS/UP=10%)

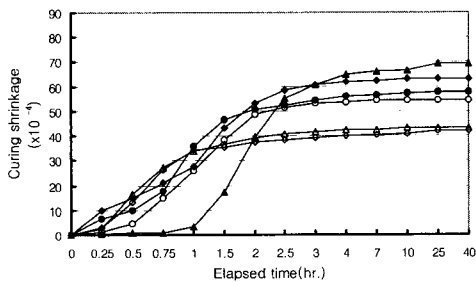


Fig. 10 Elapsed time and curing shrinkage of UP mortars with various EPS/UP ratios (PS/UP=20%)

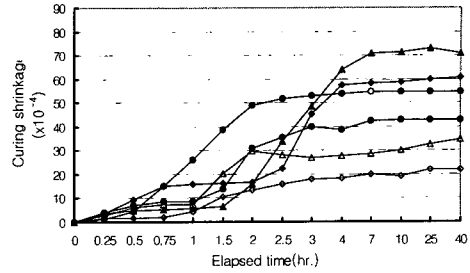


Fig. 11 Elapsed time and curing shrinkage of UP mortars with various EPS/UP ratios (PS/UP=30%)

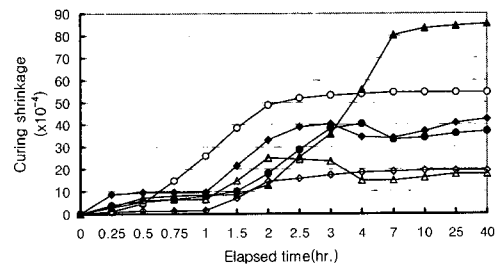


Fig. 12 Elapsed time and curing shrinkage of UP mortars with various EPS/UP ratios (PS/UP=40%)

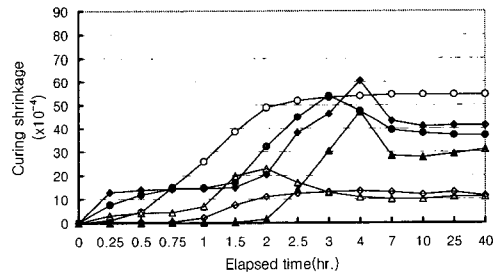


Fig. 13 Elapsed time and curing shrinkage of UP mortars with various EPS/UP ratios (PS/UP=50%)

에서 팽창하게 되고 그 이후, 다시 약간의 수축이 진행되는 것을 볼 수 있는데 이것은 EPS용해액의 과도한 첨가에 의해 UP 모르타르의 경화반응 특성이 EPS용해액에 의해 지배되는 부분이 커지기 때문으로 사료된다.

#### 4.7 SEM에 의한 미세구조 관찰

Photo.1과 Photo.2는 폐 스티로폴 용해액을 첨가한 불포화 폴리 에스테르 모르타르 미세구조를 주사형 전자현미경으로 촬영한 것이다. 보통 UP 모르타르와 스티로폴 용해액을 첨가한 모르타르와의 매트릭스 구조에는 뚜렷한 차이를

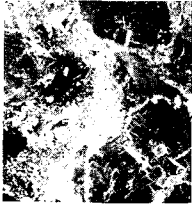
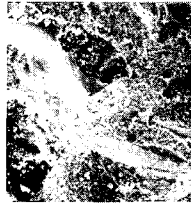


Magnification	Proportion		
	Plain	EPS/PS (%)	PS/UP (%)
		30	10
x100			
x2000			

Photo 1 Microstructures of UP mortars with EPS/PS ratio of 30% and PS/UP ratio of 10%

보이는것을 알 수 있는데 스티로폴 용해액을 첨가한 경우 스티렌 모노머와 스티로폴 용해입자들이 경화 팽창된 모습을 볼 수 있다. 이러한 스티렌 수지가 불포화 폴리에스테르 모르타르 매트릭스안에서 경화에 따른 수축을 억제하였다고 볼 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서 얻어진 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 폐 스티로폴 용해액을 첨가한 불포화 폴리에스테르 수지의 점도 측정결과 EPS/PS비가 30%미만일 경우는 PS/UP비가 증가함에 따라 점도는 감소하는 경향을 보였으며 EPS/PS비가 30% 이상일 때는 PS/UP비가 증가함에 따라 원래의 UP 수치보다 점도가 현저하게 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 시공성 면에서는 EPS/PS비 30% 이내의 범위가 적절하다.
- 2) PS수지를 첨가한 UP 모르타르의 사용가능 시간은 40~60분 사이의 안정된 분포를 보였다.
- 3) EPS/PS비와 PS/UP비가 증가함에 따라 경화수축은 전체적으로 감소되는 경향을 보였으며 EPS/PS비가 30% 이상, PS/UP비가 20% 이상일 때 보통 UP 모르타르보다 적은 경화 수축율을 얻을 수 있었다.
- 4) UP 모르타르의 휨 및 압축강도는 EPS/PS비 보다는 PS/UP비에 따른 영향이 크게 나타났으며 PS/UP비가 40% 이상일 경우 강도감소의 폭이 컸으나 PS/UP비 30%이하에서는 그 감소 정도가 작았다.
- 5) 적절한 시공성과 휨 및 압축강도 특성 그리고 경화수축 시험의 종합적인 결과, EPS/PS비 30%, PS/UP비 30%




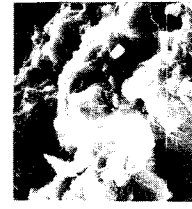
Magnification	Proportion			
	EPS/PS (%)	PS/UP (%)	EPS/PS (%)	PS/UP (%)
	30	30	30	50
x100				
x2000				

Photo 2 Microstructures of UP mortars with EPS/PS ratio of 30% and 50%, PS/UP ratio of 30% and 50%

일 때가 최적의 배합 조건인 것으로 나타났다.

6) 폐 스티로폴을 UP 모르타르의 수축저감제로서 사용함에 있어 적절한 배합을 선택한다면, 강도의 큰 감소 없이 경화수축을 크게 제어 할 수 있다는 결과를 얻었다.

## 감사의 글

본 연구는 2000년 청운대학교 학술연구조성비 지원으로 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Chandra, S., and Ohama, Y., "Polymer in Concrete", CRC Press, Tokyo, 1994, pp.187~193.
2. 大阪市立工業研究所・日本プラスチック技術協會, "最新プラスチック技術", 1998, pp.78~85.
3. Chandra, S., and Ohama, Y., "Polymer in Concrete", CRC Press, Tokyo, 1994, pp.135~146.
4. 出村克寛 "建築用レジンコン크리트の開発に関する研究", 日本大學博士學位論文, 1982, pp.19~38.
5. Huang, Y., and Liang, C., "Volume Shrinkage Characteristics in the Cure of Low Shrink Unsaturated Polyester Resin", *Polymer*, Vol.37, No.3, 1996, pp. 401~412.

---

## 요 약

본 연구에서는 열경화성인 UP 수지에 열가소성 스티렌 수지를 혼합하여 사용함으로써 UP 수지의 경화기구 중 스티렌 수지가 수축보완 효과를 일으켜 UP 모르타르의 경화수축을 저감시킬 수 있다는 가능성을 확인하고자 실시하였으며 그에 따른 역학적 성질의 변화를 함께 검토하였다. 본 연구결과, 페 스티로폴 용해액을 첨가한 불포화 폴리에스테르 수지의 점도는 EPS/PS비가 30% 미만일 경우는 PS/UP비가 증가함에 따라 감소하여 시공성 면에서 EPS/PS비가 30%이내에서 적절하였다. 또한 휨 및 압축강도는 EPS/PS비보다는 PS/UP비에 따른 영향이 크게 나타났으며 PS/UP비 30%이하에서 감소 정도가 작았으며, EPS/PS비와 PS/UP비가 증가함에 따라서 경화수축은 전체적으로 감소되는 경향을 보였다. 적절한 시공성과 휨 및 압축강도 특성 그리고 경화수축 시험의 종합적인 결과, EPS/PS비 30%, PS/UP비 30%일 때 최적의 배합 조건으로 나타났다. 이로서 페 스티로폴을 UP 모르타르의 수축저감제로서 사용함에 있어 역학적 성질의 큰 변화 없이 경화수축을 제어할 수 있다는 결과를 얻어 실제 현장에서의 사용성이 기대되며, 또한 본 연구에서 사용한 스티렌 수지는 페 발포 폴리스티렌을 스티렌 모노머에 액화시킨 것으로서 폐기물로 발생하는 페 스티로폴의 자원재활용의 측면에도 그 의미가 있다고 할 수 있다.

**핵심용어** : 불포화 폴리에스테르 수지, 경화수축 저감제, 발포 폴리스티렌, 휨 및 압축강도, 열경화성수지

---