

불포화 폴리에스터 수지를 이용한 고강도 폴리머 콘크리트의 역학적 특성

Mechanical Properties of High Strength Polymer Concrete Using Unsaturated Polyester Resin

연구석*

김관호**

이필호***

Yeon, Kyu-Seok Kim, Kwan-Ho Lee, Phil-Ho

김동수****

박윤제*****

Kim, Dong-Su Park, Yoon-Je

요 약

이 연구는 불포화 폴리에스터 수지를 이용한 고강도 폴리머 콘크리트를 제조하여 구성재료와 첨가제의 변화에 따른 역학적 특성을 실험적으로 구명한 것이다. 그 결과 제조된 폴리머 콘크리트는 재령 7일에서 압축강도 1,291~1,445 kg/cm², 할열인장강도 106~145 kg/cm², 휨강도 182~235 kg/cm²를 발현하였으며, 이들에 대한 탄성계수 및 포아슨비를 구해 보았던 바 각각 2.8~3.8×10⁵ kg/cm², 0.21~0.32 였고, 최대압축변형도는 0.005~0.0065로서 시멘트 콘크리트에 비해 매우 크게 나타났다.

Abstract

This study was carried out to develop a procedural method to produce high strength polymer concrete using unsaturated polyester resin and to examine its mechanical properties. Various mechanical properties were analyzed with respect to materials and additives.

A method to produce high strength polymer concrete was successfully developed. Compressive strength of 1,291~1,445 kg/cm², splitting tensile strength of 106~145 kg/cm² and flexural strength of 182~235 kg/cm² at age of 7days were achieved from the cylindrical and beam specimen prepared with the method. Modulus of elasticity, Poisson's ratio and the ultimate compressive strain of cylindrical specimen were 2.8~3.8×10⁵ kg/cm², 0.21~0.32, and 0.005~0.0065, respectively. Modulus of elasticity of the polymer concrete was smaller than that of high strength cement concrete while the maximum compressive strain was very larger than that of high strength cement concrete.

Keywords : unsaturated polyester resin, polymer concrete, compressive strength, splitting tensile strength, flexural strength, modulus of elasticity, Poisson's ratio, maximum compressive strain

* 정회원, 강원대 농공학과 교수
** 정회원, 강원대 농공학과 대학원 박사과정
*** 정회원, 강원대 화학과 조교수
**** 정회원, 한국통신 선로기술연구소 선임 연구원
***** 정회원, 한국통신 선로기술연구소 책임 연구원

• 본 논문에 대한 토의를 1994년 8월 30일 까지 학회로 보내 주시면 1994년 10월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 緒 論

폴리머 콘크리트는 骨材를 有機材料인 폴리머로 결합시킨 것으로서, 시멘트와 물을 전혀 사용하지 않는 특수 콘크리트이다. 이것은 고분자 재료를 사용하기 때문에 시멘트 콘크리트와는 현저히 다른 性質을 갖고 있다. 즉 높은 인장·휨·압축강도, 양호한 내약품성, 내마모성, 방수성, 절연성, 접착성을 특징으로 하고 있으며, 이같은 장점을 이용한 각종 제품개발이 활발히 전개되고 있다.

이에 따라 외국에서는 폴리머 콘크리트의 장점을 이용한 工場製品이 개발되어 建設産業用 구조물로서 이미 실용화된지 오래이며, 우리나라에서도 이와 같은 工場 製品의 개발이 다각적으로 시도되고 있다. 폴리머 콘크리트가 공장제품의 개발에 있어서 적극적으로 응용될 수 있는 것은 耐久性이 좋을 뿐만아니라 고강도로서 斷面의 치수를 줄일 수 있고, 중량 감소를 통해 재료비나 운반 설치비의 절감을 가져올 수 있기 때문이다. 이러한 공장제품의 개발에는 강도가 매우 중요한데, 일본의 경우는 1970년대 중반 이후에 壓縮強度 1,200 kg/cm² 정도를 갖는 폴리에스터 폴리머 콘크리트를 개발한 바 있으며⁽¹⁷⁻²⁰⁾, 다른 나라에서는 600~900 kg/cm² 내외의 압축강도를 갖는 폴리에스터 폴리머 콘크리트를 실용화 하고 있다.

(3.4.5,13,14,22,23) 한편, 국내에서는 지금까지 발표된 연구 결과^(7,16,25,26,27)를 보면 700~800 kg/cm² 정도의 압축강도를 갖는 폴리에스터 폴리머 콘크리트가 개발 되어 있으나 이와 같이 낮은 강도는 결국 공장제품 제조시 두께를 두껍게 하여 경제적인 면에서 불리한 요소로 작용하게 된다.

따라서, 본 연구에서는 공장제품에의 응용을 목적으로 불포화 폴리에스터 수지를 이용하여 高強度 폴리머 콘크리트를 제조하고, 이에 대한 力學的 性質을 실험적으로 究明하여 보았던 바, 그 결과를 여기에 보고 한다.

2. 材料 및 方法

2.1 使用材料

2.1.1 不飽和 폴리에스터 樹脂

不飽和 폴리에스터 樹脂는 올소타입(ortho type)으로서 그 성질은 다음의 Table 1과 같다.

Table 1 Properties of unsaturated polyester resin

Specific gravity(25°C)	Viscosity (25°C, poise)	Acid value	Styrene content(%)
1.13	3.0	20.0	40

2.1.2 促進劑 및 開始劑

不飽和 폴리에스터 樹脂가 硬化하는 데는 硬化 促進劑와 開始劑가 첨가되어야 한다. 본 연구에서 사용된 不飽和 폴리에스터 樹脂는 公장에서 생산될 때 이미 硬化 促進劑가 첨가되어 있으므로 개시제만 첨가(수지량의 1.5%) 시키면 硬化 反應을 일으키게 되어 있으며, 그 성질은 Table 2와 같다.

Table 2 Properties of initiator

Component	Specific gravity(25°C)	Active oxygen
MEKPO 55% DMP 45%	1.12	10.0

2.1.3 充填材

樹脂에 充填材를 첨가하는 주목적은 單位體積當 수지 사용량을 줄이고 콘크리트의 물성개선을 목적으로 微粒 充填材를 사용한다. 본 연구에서 사용된 重質 炭酸칼슘의 性質은 Table 3과 같다.

Table 3 Properties of heavy calcium carbonate used

Specific gravity(gr/cc)	Absorption (cc/gr)	Water content (%)	Mean grain size(μm)
0.75	0.20	0.3 이하	13

2.1.4 骨 材

본 연구에 사용된 細骨材는 강원도 洪川江에서 채취된 河川 모래이며, 粗骨材는 강원도 춘천군 남면 광관리에서 생산되고 있는 花崗岩 碎石이다.

이에 대한 물리적 성질 및 粒度曲線은 Table 4 및 Fig. 1과 같다.

Table 4 Physical properties of aggregates

Items	Coarse aggregate (I)	Coarse aggregate (II)	Fine aggregate
Kinds	Granite	Granite	River Sand
Max size, aggregate	19 mm	13 mm	-
Gravity	2.62	2.62	2.60
Unit weight	1701 kg/m ³	1652 kg/m ³	1500 kg/m ³
Solid volume percentage	58.5 %	57.2 %	62.5 %
Fines modulus	7.10	6.42	2.73
Absorption	0.65 %	0.65 %	0.75 %

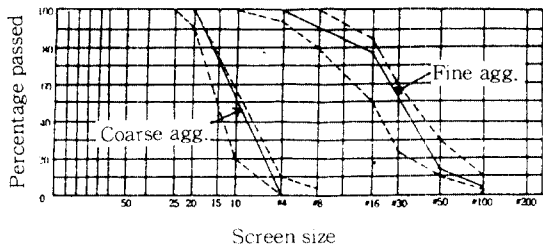


Fig. 1 Grading curves of aggregates

2.1.5 架橋劑

폴리머 콘크리트는 有機質인 폴리머 매트릭스와 無機質인 骨材와의 결합이기 때문에 化學的 接着力이 약해진다. 이와 같은 결합을 보완하기 위해 架橋劑로서 시란(silane)을 사용하였는데, 본 연구에서는 그 효과를 구명키 위해 수지량의 1%를 넣었으며, 넣지 않은 경우와 비교 하였다.

2.2 試驗體 製作

폴리머 콘크리트는 樹脂量, 骨材의 粒度, 充填材의 종류 등에 의해 硬化 前後의 성질이 변하므로 成形 對象物에 적합한 配合比의 산출을 위해서는 시험배합을 통해 결정하는 것이 바람직하다.

본 연구에서는 예비시험결과 결합재량이 10 wt.% 미만인 경우 워커빌리티가 급격히 떨어지고, 11 wt.% 이상일 경우 블리이딩이 일어났다.

이상과 같은 점들을 고려하여 결정된 폴리머 콘

크리트의 配合比는 Table 5와 같으며, 試驗體는 KS F 2419에 규정된 방법에 의하여 제작되었다.

이때 混畵은 콘크리트용 믹서로 하였고, 다짐은 테이블 바이브레이터(3,000 rpm)로 하였으며, 캐핑은 타설 후 標準砂를 사용한 폴리머 모르타르로 하였다. 시험체는 온도 25±3°C, 습도 50~60%에서 7일간 養生시켰다.

2.3 試驗方法

폴리머 콘크리트의 力學的 性質은 材齡 7일에서 다음과 같은 방법에 의해 시험하였다.

압축 및 할열인장강도 시험은 $\phi 7.5 \times 15$ cm 크기의 공시체를 제작하여 KS F 2481(폴리에스테르 레진 콘크리트의 압축강도 시험방법)과 KS F 2480(폴리에스테르 레진 콘크리트의 인장강도 시험방법)에 규정된 시험방법에 따라 시험하였다. 그리고 휨강도 시험은 KS F 2482(폴리에스테르 레진 콘크리트의 휨강도 시험방법)에 따라 시험하였다. 탄성계수 및 포아슨비는 $\phi 7.5 \times 15$ cm 크기의 공시체에 스트레인 게이지(67 mm 및 30 mm)를 부착하여 KS F 2438(콘크리트 圓柱型 공시체의 정탄성계수 및 포아슨비 시험방법)에 규정된 방법에 따라 破壞強度의 1/3 까지 反復的으로 가해 얻어진 값으로 하였다. 사용된 강도시험기는 Shimadzu사의 UTM으로서 최대용량은 200t이었으며, 시험은 Stress(Load) Control로 하였다.

Table 5 Mixture proportions of polymer concrete (Unit : wt.%)

Max. size, aggregate	Materials		Proportions		
13mm	Binder(UP+ST)		10	10.5	11
	Filler		10	10.5	11
	Coarse agg.	10-13 mm	11.2	11.0	10.9
		5-10 mm	16.7	16.6	16.4
	Fine agg.	1.2-5 mm	10.3	10.2	10.1
<1.2 mm		41.4	41.0	40.6	
19mm	Binder(UP+ST)		10	10.5	11
	Filler		10	10.5	11
	Coarse agg.	10-19 mm	16.2	16.0	15.6
		5-10 mm	16.2	16.0	15.6
	Fine agg.	1.2-5 mm	9.6	9.5	9.4
<1.2 mm		38.0	37.5	37.4	

*UP : Unsaturated polyester resin
ST : Styrene monomer

3. 結果 및 考察

3.1 強度特性

3.1.1 壓縮強度

不飽和 폴리에스터 樹脂를 結合材로 한 폴리머 콘크리트의 압축강도를 시험한 결과는 Fig. 2와 같다.

이 결과에서 볼 수 있는 바와 같이 압축강도는 1,291~1,445 kg/cm² 으로서 폴리머 콘크리트의 압축강도에 대한 외국에서의 연구 결과^(1,2,8,17,19,20,22,24) 들을 훨씬 상회하는 값이며, 국내에서의 연구 결과^(7,16,25,26,27) 들과 비교해 보아도 80~90%가 높은 값이다. 시험 결과를 분석해 보면 骨材의 最大치수가 작은 것이 높은 압축강도를 나타냈고, 시란을 첨가한 것이 첨가하지 않은 것보다 강도가 높았으며, 結合材 含量이 많을수록 강도가 증가하였다.

그러나 결합재의 함량을 12% 이상 過多하게 늘리면 압축강도는 감소하는 것으로 되어 있고⁽²²⁾, 콘크리트 價格의 상승을 가져오므로 適正量을 선택하는 것이 바람직하다.

골재의 최대치수에 따른 강도의 변화를 살펴보면 13 mm인 경우가 19 mm인 경우보다 평균 30 kg/cm² 높게 나타났는데, 이는 2.2%가 높은 값이다. 그리고 시란첨가에 따른 영향을 살펴보면 시란을 첨가한 경우가 시란을 첨가하지 않은 경우보다 평균 68 kg/cm² 정도 높았는데, 이는 5.1% 정도 높은 경향을 보인 것이다. 또한 결합재량에 따른 영향을 살펴보면 10 wt.%를 기준으로 할 때 10.5 wt.%에서 25 kg/cm², 11 wt.%에서 56 kg/cm² 높았는데, 이는 각각 1.8%, 4.2% 높은 경향을 보인 것이다.

이로부터 폴리머 콘크리트의 압축강도는 骨材의 最大치수가 작을수록, 結合材의 含量이 증가할수록 커지며 이와함께 시란의 添加效果도 큼을 알 수가 있었다.

한편 압축강도의 變動係數를 살펴보면 0.13~0.97%로서 대단히 작게 나타나 品質管理面에 있어서 시멘트 콘크리트 보다 유리할 것임을 예측할 수 있다.

3.1.2 割裂引張強度

폴리머 콘크리트에 대한 割裂引張強度를 시험한 결과는 Fig. 3과 같다.

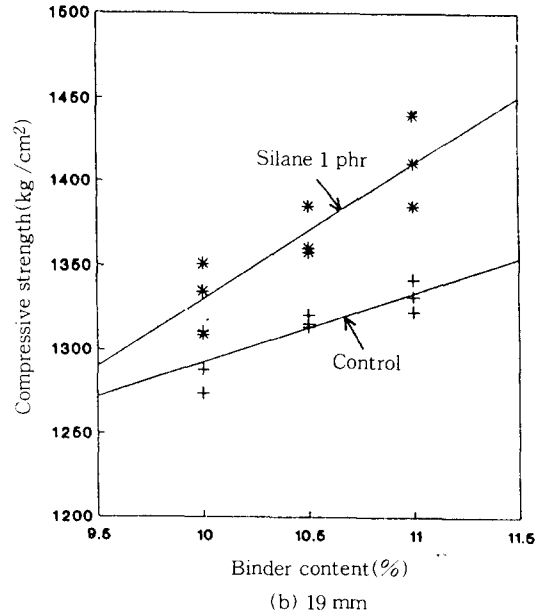
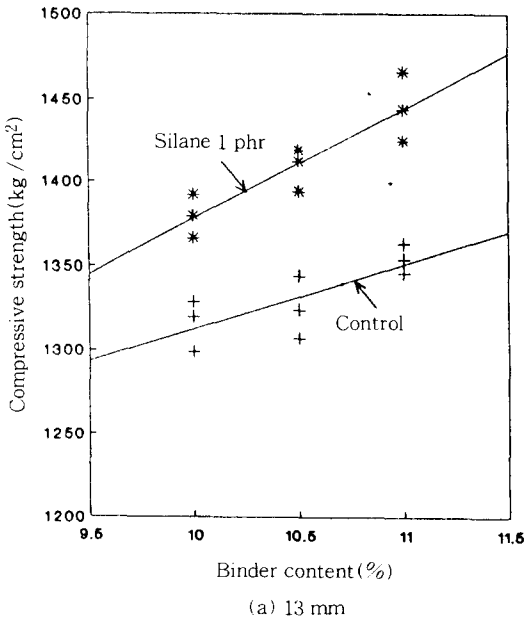


Fig. 2 Relationships between compressive strength and binder content depending on the maximum aggregate size

이 결과에서 볼 때 할열인장강도는 106~145 kg/cm²로서 선행 연구결과들^{1,2,7,8,11,17,19,20,22,24}과 비슷하거나 상회하는 값을 보였다. 이것을 압축강도 1,200 kg/cm²인 초고강도 시멘트 콘크리트의 할열인장강도가 79~89 kg/cm²인 것⁹⁾과 비교해 볼 때 34~62%나 높은 값을 보여 폴리머 콘크리트의 할열인장강도가 매우 높음을 알 수 있다.

골재 최대치수에 따른 영향을 살펴보면, 13 mm인 경우가 평균 110~145 kg/cm², 19 mm 경우가 평균 106~139 kg/cm²로서 13 mm일 때가 더 높게 나타났다. 그리고 시란을 첨가한 경우가 첨가하지 않은 경우보다 높게 나타났다.

골재의 최대치수에 따른 할열인장강도의 차이를 살펴보면 13 mm인 경우는 19 mm보다 평균 5 kg/cm² 높아 약 4.1%의 차이가 나는 경향을 보였다. 시란을 첨가한 경우는 첨가하지 않은 경우보다 평균 13 kg/cm² 높아 약 11.1% 증가하는 경향을 보였다. 그리고 결합재의 증가에 따른 영향은 10 wt.%를 기준으로 할 때 10.5 wt.%에서는 평균 11 kg/cm², 11 wt.%에서는 평균 20 kg/cm²의 증가를 보였는데, 이는 각각 9.7%

17.7%가 증가한 것이다.

3.1.3 휨강도

폴리에스터 폴리머 콘크리트에 대한 휨강도를 시험한 결과는 Fig. 4와 같다.

이 결과에서 볼 때 휨강도는 182~235 kg/cm²로서 선행 연구결과^(1,2,7,8,11,17,19,20,22,24)들보다 비교적 높게 나타났으며, 이는 超高強度로서 압축강도가 1,200 kg/cm²인 시멘트 콘크리트가 갖는 휨강도가 94~117 kg/cm²인 것⁹⁾과 비교해 볼 때 93~100%나 높은 값이다.

이와 같은 휨강도에 미치는 영향을 분석해 보면, 골재의 최대치수 13mm일 때가 19mm일 때보다 평균 11 kg/cm² 높아 5.5%의 차이가 나는 경향을 보였다. 시란을 첨가치 않은 경우에 비해 1 phr을 첨가한 경우는 21 kg/cm²가 높아 10.8% 증가하는 경향을 보였다. 그리고 결합재 함량에 따른 영향을 살펴보면 결합재량 10 wt.%을 기준으로 할 경우 10.5 wt.%에서 평균 9 kg/cm², 11wt.%에서 평균 23 kg/cm²가 높았는데, 이는 각각 4.6%, 11.9%의 증가하는 경향을 나타내는 것이다.

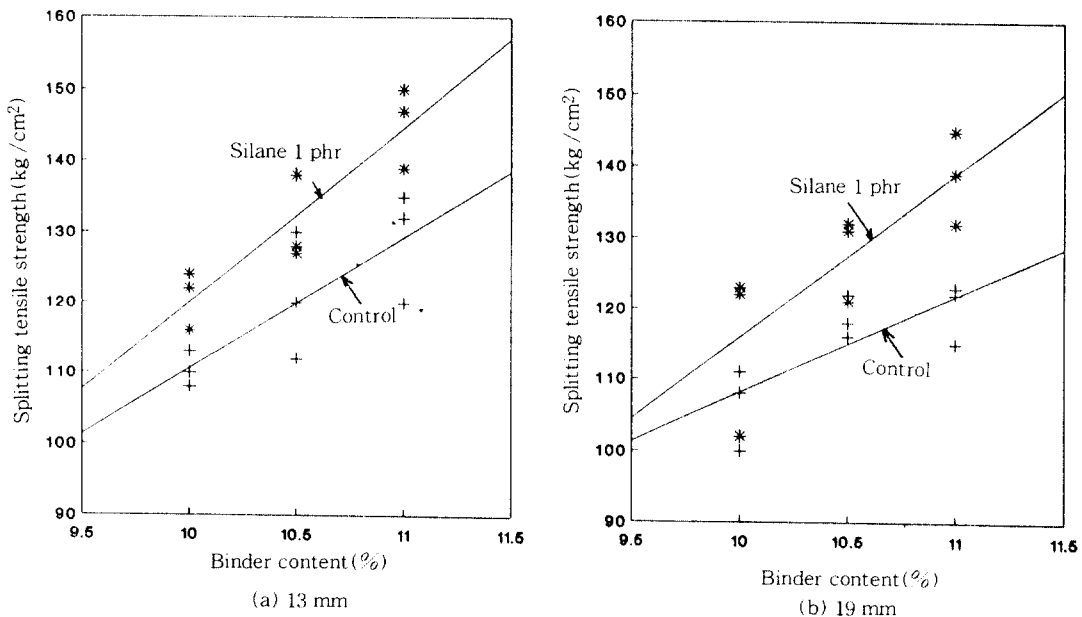
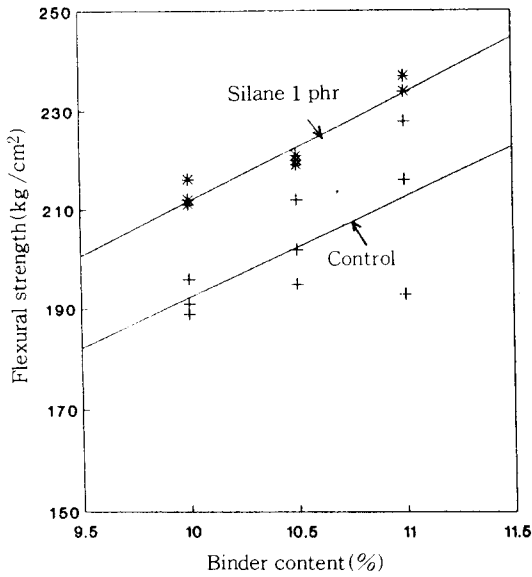
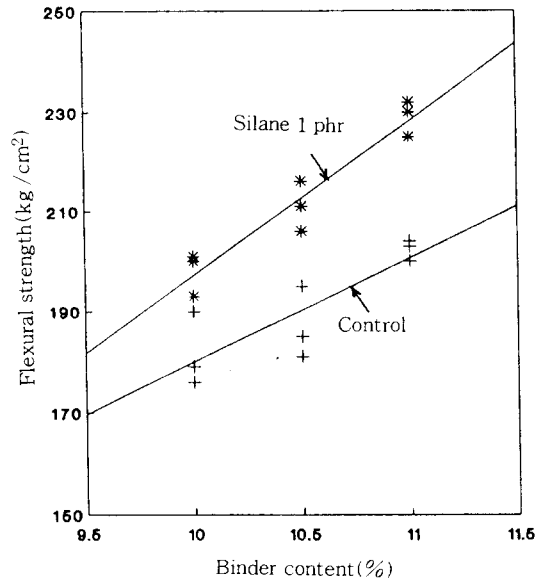


Fig. 3 Relationships between splitting tensile strength and binder content depending on the maximum aggregate size



(a) 13 mm



(b) 19 mm

Fig. 4 Relationships between flexural tensile strength and binder content depending on the maximum aggregate size

3.1.4 各 強度의 관계

폴리머 콘크리트에 있어서 압축강도와 활열인장강도의 관계, 압축강도와 휨강도의 관계를 회귀分析해 보았던 바 Fig. 5 및 Fig. 6과 같다. 즉, Fig. 5는 압축강도와 활열 인장강도의 관계를 나타낸 것으로서 이로부터 회귀方程式이 유도되었는데, 相關係數는 $r=0.87$ 정도로서 비교적 높게 나타났다. 그리고 Fig. 6은 압축강도와 휨강도의 관계를 나타낸 것으로 이들 사이의 회귀방정식이 유도되었으며, 상관계수는 $r=0.90$ 로서 비교적 높게 나타나, 이 相關式의 적용에는 무리가 없을 것으로 판단된다.

이와 같이 폴리머 콘크리트에 대한 압축강도만 알면 회귀方程式을 이용하여 활열인장강도 및 휨강도를 추정할 수 있으므로 強度의 性質의 판단에 수월성을 제공 할 것으로 사료 된다.

한편, 高強度인 폴리머 콘크리트에 있어서 各 強度間의 關係를 究明키 위하여 強度比를 산출해 보았던 바 Table 6과 같다.

이 결과에서 볼 때 골재의 최대치수, 結合材의 含量, 시란 添加의 有無에 따라 약간의 차이가 있

으나 대체적인 범위는 다음과 같다.

우선 폴리머 콘크리트의 경우 활열인장강도는 압축강도의 8.8~9.3 %로서 이와같은 압축강도(σ_c)와 활열인장강도(σ_t)의 비를 脆性係數(coefficient of brittleness)라 하며 材料의 特性을 나타내는데 사용된다. 그리고 폴리머 콘크리트의 휨강도 역시 압축강도의 15~15.5 %로서 이는 콘크리트 鋪裝이나 無筋 콘크리트 工場製品을 설계함에 있어서 대단히 중요한 요소가 된다.

이상과 같은 폴리머 콘크리트의 強度比를 高強度 및 超高強度 시멘트 콘크리트의 경우와 비교해 보기로 한다. 압축강도에 대한 활열인장강도는 압축강도 200 kg/cm² 과 600 kg/cm² 일 경우 각각 9 %, 7 %⁽¹⁵⁾, 1,113 kg/cm² 일 경우 6 %⁽¹²⁾, 1,200 kg/cm² 정도인 경우 7~8 %⁽⁹⁾ 라는 시멘트 콘크리트에 대한 연구결과들과 비교해 볼 때, 폴리머 콘크리트는 압축강도 1,300~1,450 kg/cm² 일때 활열인장강도는 8.8~9.3 %로서 상대적으로 크게 나타났다. 또한 압축강도에 대한 휨강도는 압축강도 200 kg/cm² 과 600 kg/cm² 일 경우 각각 16.3 %, 11.3 %⁽³¹⁾, 1,113 kg/cm²

일 경우 9 %⁽²⁴⁾, 1,200 kg/cm² 정도인 경우 7.8~10.9 %⁽¹⁶⁾ 라는 연구들과 비교해 볼 때 폴리머 콘크리트는 압축강도 1,300~1,450 kg/cm² 에서 15~15.5 %로 휨강도比가 높음을 알 수 있다.

일반적으로 시멘트 콘크리트의 경우 압축강도

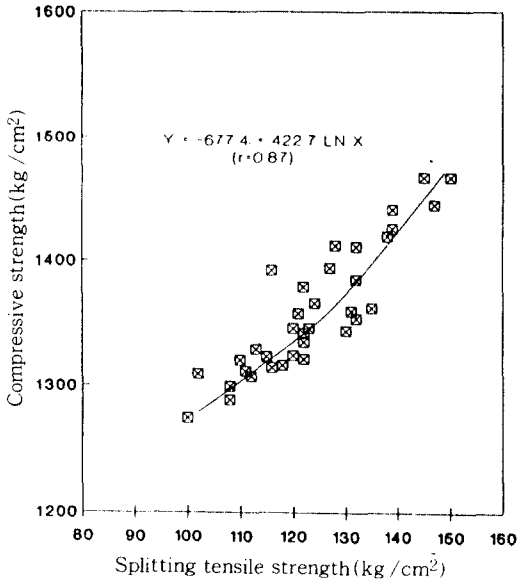


Fig. 5 Relationships between compressive strength and splitting tensile strength

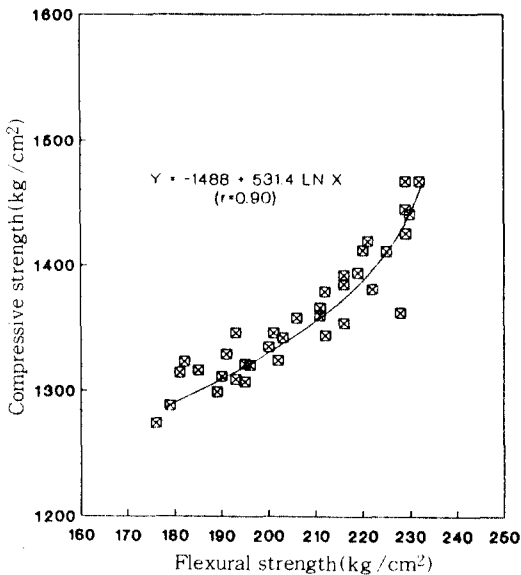


Fig. 6 Relationships between compressive strength and flexural strength

Table 6 Computed strength ratio among compressive strength(σ_c), tensile strength(σ_t) and flexural strength(σ_b)

Max. size, aggregate	Binder content (wt,%)	Control			Silane 1 phr		
		σ_t/σ_c	σ_b/σ_c	σ_t/σ_b	σ_t/σ_c	σ_b/σ_c	σ_t/σ_b
13mm	10	0.084	0.146	0.573	0.087	0.150	0.568
	10.5	0.091	0.153	0.596	0.093	0.156	0.595
	11	0.096	0.157	0.608	0.100	0.160	0.617
19mm	10	0.082	0.140	0.582	0.087	0.149	0.586
	10.5	0.090	0.140	0.636	0.093	0.154	0.607
	11	0.092	0.150	0.594	0.098	0.162	0.607
Mean		0.088	0.150	0.598	0.093	0.155	0.596

의 증가에 비례해서 할열인장강도 및 휨강도가 증가하지 않아 높은 압축강도를 가짐에도 높은 할열인장 및 휨강도를 기대할 수 없으며, 이는 휨을 받는 無筋 콘크리트 構造物에 응용할 경우 불리한 조건이라 할 수 있겠다.

그러나 이와 같은 시멘트 콘크리트의 強度特性에 비해 폴리머 콘크리트의 경우 압축강도에 대한 할열인장 및 휨강도의 비율이 상대적으로 높게 나타난 것은 無筋 콘크리트 構造物에의 이용에 유리함을 보여 주는 결과로서, 현재 地下에 매설되고 있는 맨홀과 같은 構造物의 構造解析을 無筋으로 할 수 있는 것도 이와 같은 強度特性 때문이라고 하겠다.

3.1.5 應力-變形 特性

골재의 最大치수, 시란의 添加 有無, 結合材 含量에 따른 圓柱型 공시체에 대한 압축응력과 변형도와의 관계는 Fig. 7 및 Fig. 8과 같다. 이 결과에서 볼 때 폴리머 콘크리트의 강도가 높을수록 탄성계수가 크며, 최대응력에 대한 變形度 역시 작아짐을 알 수 있다. 그리고 폴리머 콘크리트에서는 시멘트 콘크리트와 달리 破壞強度의 약 60~70%에 이를 때 까지 압축응력-변형도 곡선이 거의 直線으로 변화 하면서 極限狀態에 도달하였다.

이와 같은 경향은 高強度 시멘트 콘크리트 경우 傾斜가 급하며, 直線的으로 상승하여 極限強度에 도달하여 파괴되는 연구결과⁽⁶⁾와 유사한 결과라고 하겠다.

이렇게 볼 때 강도가 높을수록 變形性이 작아져 결국 에너지 吸收性이 작게 되고 이로 인해 脆性이 증가함을 알 수 있었다. 폴리머 콘크리트의 壓

縮應力-變形度 곡선의 기울기는 골재의 최대치수가 작을수록, 결합재의 함량이 많을수록 더 컸으며, 시란을 첨가한 경우 보다 첨가하지 않은 경우가 더 크게 나타났으나 그 차이는 크지 않았다. 그러나 폴리머 콘크리트의 彈性舉動은 壓縮強度의 60~70% 범위에 있음에 비추어 보아, 이들 요인이 폴리머 콘크리트의 強度의 特性을 크게 좌우하나, 彈性的 性質에는 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

한편, 최대응력에 대한 變形도는 0.0050~0.0065의 범위로서 선행 연구결과^(11,18,24) 등과 비슷한 값을 보였다. 그러나 보통 시멘트 콘크리트의 최대응력에 대한 변형도는 0.002~0.003이고, 高強度 시멘트 콘크리트의 극한 변형도가 0.003 정도라는 결과^(6,21)와 비교해 볼 때 약 2배에 달하는 값을 나타냈다.

이와 같은 결과의 분석을 통해 볼 때 폴리머 콘크리트는 고강도이면서도 높은 變形도를 수반함으로써 시멘트 콘크리트, (특히 高強度 시멘트 콘크리트)보다 脆性이 작음을 알 수 있었다.

이밖에 壓縮應力-휨 變形度의 관계에 대한 시험결과를 분석해 보았던바, 強度가 높을수록 變形

도는 작았으나 기울기는 급하게 나타났으며, 壓縮強度의 60~70% 정도까지 直線의인 변화양상을 보였다. 최대 가로 변형도는 0.0009~0.002 정도였으며, 이를 압축강도 1,000~1,300 kg/cm²일 경우 가로 변형도가 0.0010~0.0017인 것⁽¹⁰⁾과 비교해 볼 때 큰 차이를 보이지 않았다.

이상과 같은 실험결과들로 부터 탄성계수 및 포아송비를 산출하여 보았던 바 다음과 같다.

Fig. 9에 나타난 탄성계수는 壓縮強度의 1/3점에서의 割線彈性係數로서 그 값은 $2.8\sim 3.8 \times 10^5$ kg/cm²의 범위를 보였다. 이 결과는 압축강도가 1,000 kg/cm² 정도인 폴리머 콘크리트의 탄성계수가 2.5×10^5 kg/cm² 인 것^(20,24)과 비교하면 높은 값이지만, 압축강도 1,000~1,300 kg/cm²인 高強度 시멘트 콘크리트의 탄성계수가 $4.10\sim 4.48 \times 10^5$ kg/cm² 인 것⁽¹⁰⁾과 비교할 때는 작은 값이다. 이렇게 볼 때 폴리머 콘크리트의 탄성계수는 그 분포범위가 대체적으로 넓어 強度의 차이에 민감함을 알 수 있는데, 이는 高強度일수록 폴리머 콘크리트의 結合材인 不飽和 폴리에스터 樹脂의 結晶力이 크게 작용하기 때문이라고 판단된다.

그리고 탄성계수는 強度特性에서와 마찬가지로

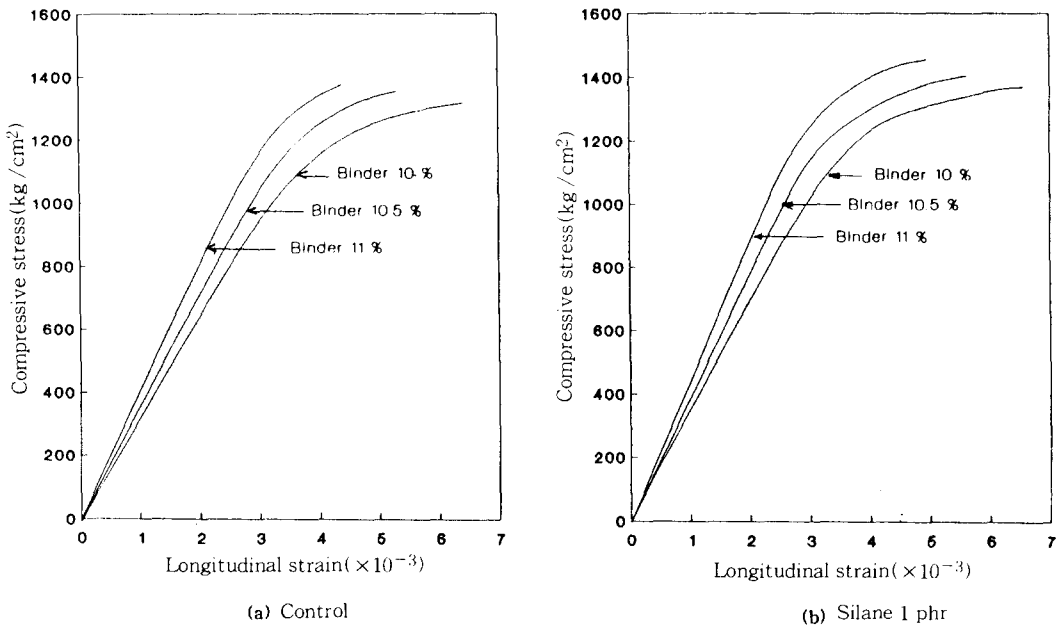


Fig. 7 Compressive stress-longitudinal strain curves on cylindrical specimen with maximum aggregate size of 13 mm

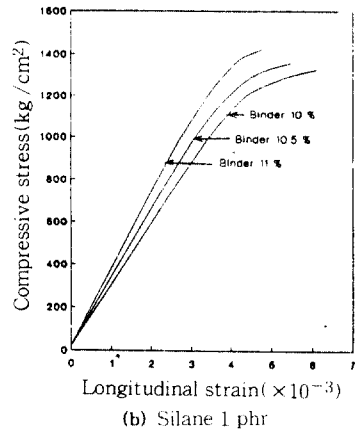
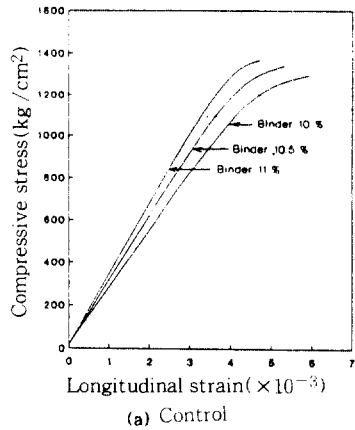


Fig. 8 Compressive stress-longitudinal strain curves on cylindrical specimen with maximum aggregate size of 19 mm

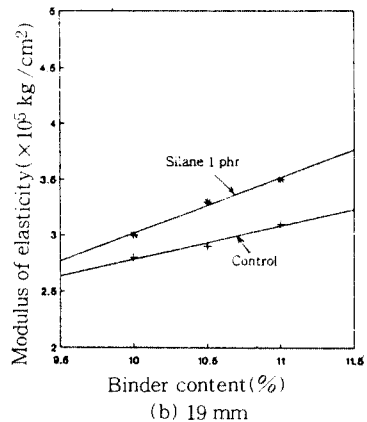
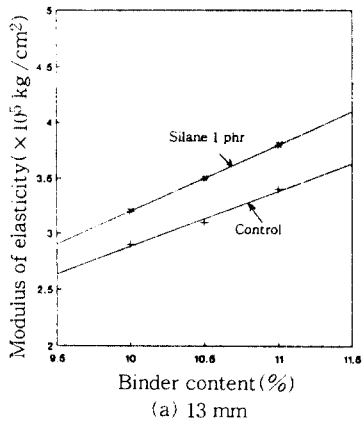


Fig. 9 Relationships between modulus of elasticity and binder content depending on the maximum aggregate size

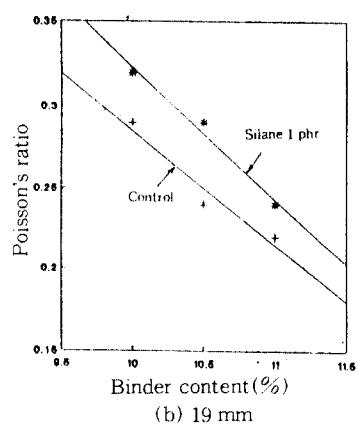
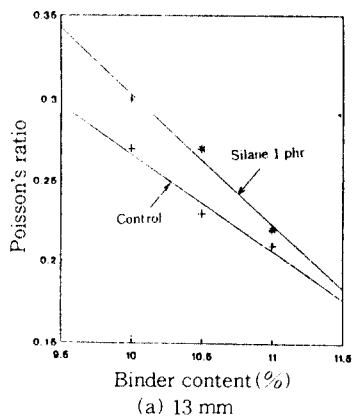


Fig. 10 Relationships between Poisson's ratio and binder content depending on the maximum aggregate size

골재의 최대치수가 작을수록, 결합재 함량이 많을수록 커졌으며, 시란이 첨가된 경우가 첨가되지 않은 경우보다 더 큼을 알 수 있었다.

한편 폴리머 콘크리트의 포아스비는 Fig. 10에서 볼 수 있는 바와같이 0.21~0.32 로서 압축강도 1,000 kg/cm² 인 폴리머 콘크리트의 포아스비인 0.22⁽²⁰⁾와 비슷했으며, 보통 시멘트 콘크리트의 포아스비 0.15~0.2⁽¹⁰⁾보다는 크게 나타났다. 그러나 압축강도 560~800 kg/cm² 인 高強度 콘크리트의 포아스비인 0.2~0.28⁽¹⁰⁾과 비슷했으며, 압축강도 1,000~1,300 kg/cm² 인 超高強度 시멘트 콘크리트의 포아스비인 0.4⁽¹⁰⁾ 보다는 작게 나타났다. 이는 전술한 바와 같이 폴리머 콘크리트의 경우 가로 변형도에 비해 세로 변형도가 상대적으로 크게 나타났기 때문이다.

그리고 골재의 최대치수가 클수록, 결합재의 함량이 작을수록 포아스비가 컸으며, 시란을 첨가한 경우가 첨가하지 않은 경우보다 크게 나타났다.

4. 結 論

본 연구는 불포화 폴리에스터 수지를 이용한 고강도 폴리머 콘크리트를 제조하여 이에 대한 強度特性과 應力-變形 特性을 실험적으로 구명하여 보았던 바, 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 재령 7일에서 압축강도 1,291~1,445 kg/cm², 할열인장강도 106~145 kg/cm², 휨강도 182~235 kg/cm²를 갖는 고강도 폴리머 콘크리트가 제조되었다. 이러한 강도는 골재의 최대치수가 작은 것이 큰 것보다 높았다. 시란을 첨가한 것이 첨가하지 않은 것보다 높았다.
- (2) 폴리머 콘크리트에 있어서 σ_t/σ_c 는 8.8~9.3 %이고, σ_b/σ_c 는 15~15.5 %로서 시멘트 콘크리트에 대한 강도비 보다 훨씬 크게 나타났다. 이는 무근으로 설계 할 경우 매우 유리한 조건을 제공해 주는 결과라고 하겠다.
- (3) 원주형 공시체에 대한 압축 시험결과 탄성계수는 $2.8\sim 3.8 \times 10^5$ kg/cm² 이고, 포아

스비는 0.21~0.32 였다. 이 결과를 고강도 시멘트 콘크리트와 비교해 보면 탄성계수는 작은 값이며, 포아스비는 비슷한 값이다. 그리고 최대 압축 변형도는 0.005~0.0065로서 시멘트 콘크리트에 비해 훨씬 크게 나타났다.

참 고 문 헌

1. Aguado H., Martinez A., "Effects of Different Factors in Mixing and Placing of Polymer Concrete", Proceedings of the First ICPC, pp. 299-303, 1984
2. Broniewski T., Jamroz Z., and Kapko J., "Long Life of Strength Polymer Concrete", Proceedings of the First ICPC, pp. 179-184, 1975
3. Eldarwish I. A., Shehata H. E., "Structural Properties of Concrete Polymer Materials", Proceedings of the Third ICPC, pp. 56-67, 1981
4. Fowler D. W., "Static and Cyclic Behaviour of Polymer Concrete Beams", Proceedings of the Fourth ICPC, pp. 159-164, 1984.
5. Haddad M. U., Fowler, D. W., and Paul D. R., "Factors Affecting the Curing and Strength of Polymer Concrete", ACI Journal, Vol. 80, No. 5, pp. 369-402, 1983,
6. 홍성목, "고강도 콘크리트에 대하여", 대한건축학회지, 제 22 권 81 호, pp. 36-41, 1978
7. 한국도로공사 도로연구소, "폴리머 콘크리트를 이용한 시멘트 콘크리트 포장의 긴급보수에 관한 연구", pp. 61-119, 1992
8. 伊藤和五郎, 姫野梶彦, 清水輝雄, 村井信夫, "新しい構造材料としてのレジコンクリート", 日本土木學會誌, Vol. 54, No. 10, pp. 55-62, 1969
9. 장일영 외 2인, "초고강도 콘크리트의 재료특성 및 휨 거동에 관한 연구", 콘크리트 학회 논문집, 제 4 권 2 호, pp.111~118, 1992
10. 장일영, "고강도 콘크리트에 골재성능이 미치는 영향에 관한 연구", 대한건축학회 논문집, 제 5 권 6 호, pp.287~296, 1989
11. Kim K. S., "Relation between Hardness and Compressive Strength of Polymer Concrete",

- Construction & Building Materials, Vol. 1, No. 4, pp. 209-214, 1987
12. 김진근, "고강도 콘크리트의 재료 역학적 특성 연구", 한국 콘크리트 학회 학술 발표회 논문집, 제 4 권 2 호, pp. 111-118, 1992
 13. Mani P., "Some Studies on the Development and Properties of Polyester Resin Based Polymer Concrete", Ph. D. Thesis, Indian Institute of Technology, pp. 52-225, 1983
 14. Mohamed S. H., "Experimental Study of Mechanical Properties and Structural Applications of Polymer Concrete", Rice University, pp. 29-39, 1978
 15. 문한영, "건설재료학", 동명사, pp. 109-127, 1989
 16. 오병환, "섬유보강 폴리머 콘크리트의 강도 및 역학적 특성", 한국콘크리트학회지, 제 4 권 3 호, pp. 147-155, 1992
 17. Ohama Y., Demura K., "Effect of Coarse Aggregate on Compressive Strength of Polyester Resin Concrete", The International Journal of Cement Composites, Vol. 1, No 3, pp. 111-115, 1979
 18. 大浜嘉彦, 出村克宜, 小宮山正, "ポリエステルレジンコンクリートの強度などの性狀に及ぼすチレン-ポリエステル比の影響", 材料, Vol. 29, No. 318, pp. 60-65, 1980
 19. 岡田 清, "プラスチックコンクリートの問題點", 콘크리트 ジャーナル, Vol. 7, No. 8, pp. 58-64, 1979
 20. Okada K., Kobayashi K., and Tokunaga M., "Fundamental Studies on Structural Use of Resin Concrete", Proceedings of the Third ICPIIC, pp. 538-552, 1981.
 21. Tognon G., Ursella P., and Coppetti G., "Design and Properties of Concretes with Strength Over 1500 kgf/cm²", ACI Journal, Vol. 77, No 3, pp. 171-178, 1980
 22. Vipulanandan C., Dharmarajan N., and Ching E., "Mechanical Behavior of Polymer Concrete System", Materials and Structures, Vol. 21, No. 124, pp. 268-277, 1988
 23. Vipulanandan C., "Aggregates, Fibers and Coupling Agent in Polyester PC", Proceeding of the First Materials Engineering Congress, ASCE, Denver, Colorado, pp. 785-794, 1990
 24. 渡邊明, 高山俊一, 山崎竹博, "レジンコンクリートに関する基礎的研究", 九州工業大學研究報告(工學), No. 30, pp. 7-20, 1975
 25. 연구석, 김광우, 허남석, "폴리머 콘크리트의 강도특성에 미치는 조골재의 영향", 한 일 공동학술대회발표 논문집, pp. 219-228, 1990
 26. 연구석, 이봉학, 김광우, "폴리머 콘크리트의 조기강도에 미치는 양생온도의 영향", 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 제 2 권 2 호, pp. 151-156, 1990
 27. 연구석, "철근보강 폴리머 콘크리트 보의 변형특성", 한국 농공학회지, 제 31 권 2 호, pp. 125-134, 1989

(접수일자 : 1994. 2. 18)