

각종 폴리머 콘크리트의 강도특성

Strength Characteristics of Various Polymer Concrete

연 규 석, 허 남 석**
Yeon Kyu Seok Hur Nam Suk

A B S T R A C T

This study was conducted to evaluate strength characteristics of various polymer concretes which were produced using materials available in Korea. Compressive strength, splitting tensile strength and flexural strength were evaluated in this study. Eight different polymer binders were used, including two types of epoxy resin, five types of unsaturated polyester resin, and a type of MMA monomer.

The results of this study showed that the product made from PC-100 of SH company was the best performing concrete. However, since this result was based on strength and economics point of view, further study has to be conducted for comprehensive analysis.

1. 서 론

폴리머 콘크리트 (polymer concrete)란 결합재로서 무기질 시멘트를 전혀 사용하지 않고, 폴리머만으로 골재를 결합시킨 것으로서 외국에서는 약 30년전부터 실용화되어 있다. 과거에 일부 외국에서는 이것을 수지 콘크리트 (resin concrete)라고 불렀지만 합리성이 부족하기 때문에 외국의 학회와 국제기관에서 '폴리머 콘크리트'라고 그 용어의 통일을 보았다.

폴리머 콘크리트의 결합재에는 여러 종류가 있지만 불포화 폴리에스터 수지, 에폭시 수지 및 MMA 모노머가 주로 이용되고 있다. 특히 종래에는 가격과 성능을 고려하여 불포화 폴리에스터 수지가 많이 이용되어 왔지만 최근에는 폴리머 콘크리트의 워커빌리티, 저온경화성, 내후성 등이 우수한 MMA가 주목을 끌고 있다.

그러나 외국의 여러나라들은 원료사정이나 개발의 역사가 달라 사용되는 폴리머의 종류도 다르다. 예를 들면 미국에서는 MMA와 에폭시 수지, 서독에서는 불포화 폴리에스터 수지와 MMA, 소련 등 동구에서는 후란 (furan) 수지가 보급되어 있다.

이상에서와 같이 여러 외국에서는 폴리머가 특징있

게 이용되고 있으나 우리나라에서는 이에 대한 연구가 초보적인 단계에 머무르고 있는 실정이기 때문에 앞으로 많은 연구를 필요로 하고 있다.

따라서 이 연구에서는 폴리머류를 한국제 6종과 일본제 2종 등 8종을 구입, 1차적으로 이에 대한 강도적 특성을 실험적으로 구명하여 보았던 바 몇가지 결과를 얻었으므로 여기에 보고한다.

2. 재료 및 방법

2.1 사용재료

2.1.1 폴리머

사용된 폴리머류는 에폭시 수지 시스템 2종, 폴리에스터 수지 시스템 5종, MMA 모노머 시스템 1종이었으며, 상품명 및 생산회사명은 표-1과 같다.

표 1. 사용된 폴리머의 종류

시스템	상 품 명	생산회사	색 상	점도(25°C, 스탁스)
에폭시 수 지	KB clear	KB사 (한)	엷은 미색	11.71
	# 303 A	SB사 (일)	//	3.34
불포화 폴 리 에스터 수 지	PC-100	SH사 (한)	엷은분홍색	0.62
	G - 650	MW사 (//)	//	1.61
	G - 152	MW사 (//)	엷은 미색	3.80
	CM-688	MW사 (//)	엷은오렌지색	2.06
	# 505	SB사 (일)	진한검정색	1.06
MMA 모노머	RC-301 X	SH사 (일)	진한고등색	0.19

*정회원, 강원대학교 농공학과 부교수

**강원대학교 대학원 석사과정 수료

2.1.2 골재

이 시험에서 사용된 세골재 및 조골재 (최대치수 10 mm)는 강원도 홍천강에서 채취된 자연산 골재이고, 폴리머 콘크리트용 골재는 0.1% 이하의 흡수율을 가져야 하므로 오븐에서 24시간 건조시켰으며, 이들 골재의 물리적 성질은 표-2와 같다.

표 2. 사용된 골재의 물리적 성질

구분	비중	흡수율 (%)	조립률
세골재	2.68	0.73	3.2
조골재	2.63	0.57	6.4

2.1.3 충전재

주로 증량효과를 목적으로 쓰이며 1~30 μm 정도의 입경을 가진 것이면 된다. 이 시험에서는 규사로부터 산출된 석분을 사용하였다.

2.2 공시체 제작

2.2.1 배합비 결정

배합비는 시행착오법에 의해 얻어진 최소공극을 갖는 세골재와 조골재의 비율에 기초를 두고 워커빌리티를 고려하여 결정되었으며, 이 결과 얻어진 재료의 배합비는 표-3과 같다.

표 3. 폴리머 콘크리트의 배합비 (단위: kg/m³, %)

결합재	세골재	조골재	충전재	계
272	884	884	136	2,176
(12.5)	(40.6)	(40.6)	(6.3)	(100)

2.2.2 제작 및 양생

배합은 세골재, 조골재 및 충전재를 잘 혼합한 후 결합재를 투입하는 순서로 하였으며 비빔은 물량이 작아 삽비빔을 하였다. 공시체는 타설후 3-4시간이 지난 다음 탈형하여 온도 25℃, 습도 60%이하로 조절된 항온기에서 소정의 재령까지 양생시켰다.

2.3 시험방법

압축강도 및 활열인장강도 시험은 φ 50 × 100 mm의 공시체를 제작하여 KS F 2405 및 KS F 2423에 규정된 시험방법에 따라 수행하였으며, 휨강도 시험은 40 × 40 × 160 mm의 공시체를 제작하여 KS F 2408에 규정된 3등분점 하중법으로 측정하였다.

그리고 각 강도는 재령 1일, 3일, 7일, 14일, 28일에서 측정되었다.

3. 결과 및 고찰

폴리머 콘크리트에 있어서 골재 등 재료의 조건이

동일할 경우 강도의 발현에 영향을 미치는 가장 큰 요소는 양생온도이다. 그 온도를 이 시험에서는 상온이라 할 수 있는 25℃로 하였으며, 습도는 크게 영향을 미치지 않으나 낮은 것이 유리하므로 60%이하로 조절된 상태에서 양생시켰다.

3.1 압축강도

결합재로 쓰인 폴리머의 종류별로 재령에 따라 압축강도를 시험한 결과는 표-4와 같고, 이를 도시한 것이 그림-1이다.

이 결과를 재령별로 보면 압축강도의 대부분이 7일 이내에 발현되고, 특히 1일내에 강도가 높게 나타났는데, 이는 양생온도를 상승시키면 더 짧게 할 수 있다.

그리고 이 시험에서 압축강도의 최대치는 폴리머의 종류에 따라 다르나 그 범위는 478~855 kg/cm²로서 이는 일본, 미국 등 미국에서 얻어내고 있는 압축강도 1,000~1,500 kg/cm²의 절반 수준에 머무르는 값이다.

폴리머의 종류별 압축강도 특성을 보면 에폭시계인 KB Clear가 가장 높았고, 불포화 폴리에스터계인 G-152가 가장 작았다.

표 4. 압축강도 시험결과 (단위: kg/cm²)

종류	1일	3일	7일	14일	28일
KB Clear	615	804	834	851	855
# 303 A	452	662	687	705	708
PC-100	522	735	742	755	762
G-650	417	524	570	590	595
G-152	221	425	457	467	478
CM-688	371	502	560	580	585
# 505	571	676	724	732	739
RC-301 X	503	567	620	665	685

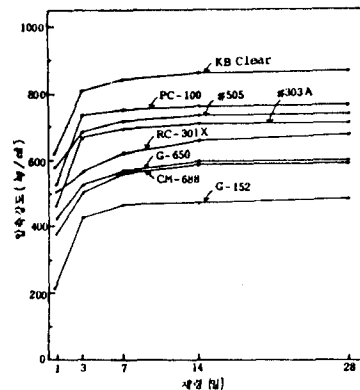


그림 1. 재령별 압축강도 변화

3.2 할열인장강도

폴리머의 종류별로 재령에 따른 할열인장강도를 시험하였던 바 그 결과는 표-5 및 그림-2와 같다.

이 결과에서 볼 수 있듯이 할열인장강도를 압축강도와 달리 14일이 되어야 거의 강도의 발현이 이루어짐을 알 수 있다.

그리고 할열인장강도의 최대치는 폴리머의 종류에 따라 다르나 그 값은 81~117 kg/cm² 범위에 있었는데 이것 역시 일본, 미국 등 여러나라에서 얻어내고 있는 할열인장강도 100~150 kg/cm²에 비하면 다소 낮은 강도임을 알 수가 있다.

폴리머 종류별로 할열인장강도의 특성을 살펴보면 에폭시계인 KB Clear가 가장 높았고, MMA계인 RC-301 X와 불포화 폴리에스터계인 G 152가 매우 낮게 나타났다.

표 5. 할열인장강도 시험결과 (단위: kg/cm²)

종류	재령	1 일	3 일	7 일	14일	28 일
KB Clear		93	103	107	115	117
# 303A		77	87	92	94	95
PC-100		93	100	105	109	110
G-650		74	84	91	95	98
G-152		54	69	76	80	82
CM-688		67	76	85	89	92
# 505		84	93	96	99	101
RC-301 X		63	71	76	79	81

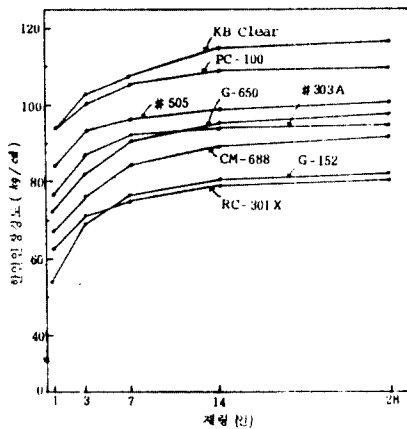


그림 2. 재령별 할열인장강도 변화

3.3 휨강도

폴리머의 종류와 재령에 따른 휨강도의 시험결과

표-6 및 그림-3과 같다.

이 결과에서 휨강도 역시 할열인장강도와 마찬가지로 14일까지도 강도의 증가가 나타나고 있음을 알 수 있다.

그리고 휨강도의 최대치는 102~192 kg/cm²로서 외국에서 얻어내고 있는 휨강도 200~350 kg/cm²에 비하면, 절반정도의 수준에 머무르는 값이다.

폴리머의 종류별 휨강도 특성을 살펴보면 압축 및 할열인장강도와 같이 에폭시계인 KB Clear가 가장 큰 강도를 가졌고, 불포화 폴리에스터계인 G-152가 가장 작은 강도를 가졌다.

표 6. 휨강도 시험결과 (단위: kg/cm²)

종류	재령	1 일	3 일	7 일	14 일	28 일
KB Clear		132	146	167	188	192
# 303A		89	124	138	154	161
PC-100		112	130	150	159	167
G-650		87	104	124	143	149
G-152		75	83	89	98	102
CM-688		90	107	124	133	138
# 505		111	120	128	133	137
RC-301 X		96	112	124	127	130

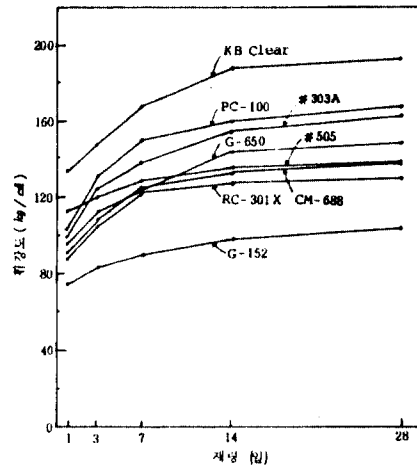


그림 3. 재령별 휨강도 변화

3.4 각 강도간의 비교

폴리머의 종류별로 압축, 할열인장 및 휨강도가 최대인 경우를 기준으로 하였을 때의 강도비는 표-7과 같다.

여기서 볼 때 폴리머 콘크리트의 인장강도는 압축강도보다 작아 1/5.8~1/8.4에 지나지 않으므로

멘트 콘크리트의 1/10~1/13에 비하면 큰 값이다. 또한 시멘트 콘크리트의 경우 취성계수 (coefficient of brittleness) 즉 σ_c/σ_t 는 압축강도가 클수록 크나 폴리머 콘크리트의 경우는 그러한 경향을 찾아보기 어렵다.

이에 비해 σ_b/σ_t 및 σ_c/σ_b 는 각각 1/1.2 ~ 1/1.7 및 1/4.0~1/5.4로 시멘트 콘크리트의 경우와 비슷한 경향을 보이고 있었다.

그러나 각종 강도의 절대값은 시멘트 콘크리트에 비해 월등히 높은 값을 나타냈는데, 특히 1일 이내의 조기강도가 매우 높은 것으로 나타났다.

표 7. 폴리머 콘크리트의 강도비

구 분	σ_c/σ_t	σ_b/σ_t	σ_c/σ_b
KB Clear	7.3	1.6	4.5
# 303A	7.4	1.7	4.4
PC-100	6.9	1.5	4.6
G-650	6.1	1.5	4.0
G-152	5.8	1.2	4.7
CM-688	6.4	1.5	4.2
# 505	7.3	1.4	5.4
RC-301X	8.4	1.6	5.3

4. 결 론

(1) 양생온도를 25℃로 하였을때 압축, 활열인장 및 휨강도는 재령 7일에서 거의 발현되며, 14일 이후에는 거의 강도증가를 나타내지 않고 있는바, 설계기준 강도는 7일 정도로 하는 것이 적합한 것으로 사료된다.

(2) 이 시험에서 사용한 8가지의 폴리머류 중 강도 특성 및 재료의 단가만을 고려할 때에는 불포화 폴리 에스터계인 SM사의 PC-100이 가장 유리한 것으로 나타났다.

(3) 압축강도에 대한 인장강도의 비가 1/5.8~1/8.4로서 시멘트 콘크리트의 1/10~1/13 보다 훨씬 크게 나타났으나 σ_b/σ_t 및 σ_c/σ_b 는 커다란 차이를 보이지는 않았다.

(4) 압축, 활열인장 및 휨강도 모두 외국에서 얻고 있는 강도보다 훨씬 낮은 값을 갖는 것으로 나타난바, 사용재료 및 제조법에 대한 좀더 깊은 연구가 필요하다.

(5) 이 연구는 기초단계로 폴리머 콘크리트의 강도적 특성만 다루었으나 이의 실용화를 위해서는 다각적인 면에서 많은 연구가 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 岡田清, "プラスチックコンクリート", 콘크리트工學, 16(1), 1978, pp. 18-28.
2. 清水茂夫, "レジンコンクリートの概要と製造技術", 工業材料, 22(5), 1974, pp. 81-88.
3. 大濱嘉彦, "プラスチックコンクリート用材料について", 콘크리트ジャーナル, 11(4), 1973, pp. 72-79.
4. Kobayashi, K. and Ito, T., "Several physical properties of resin concrete", Proceedings of ICPIC '75, pp. 236-240.
5. Demura, K., Ohama, Y. and Shinizu, A., "Proposed mix proportioning of polyester resin concrete", Proceedings of ICPIC '84, pp. 265-269.
6. 문한영, "건설재료학", 동명사, 1986, pp. 118-120.
7. 연구석·강신업, "에폭시 수지 모르타의 강도특성", 한국농공학회지, 24(3), 1982, pp. 92-99.