

성숙도가 폴리에스터 폴리머 콘크리트의 강도발현에 미치는 영향

Effect of Maturity on Strength Development of Polyester Polymer Concrete

연 규 석*
Yeon, Kyu-Seok

김 광 우**
Kim, Kwang-Woo

김 관 호***
Kim, Kwan-Ho

이 윤 수****
Lee, Youn-Su

ABSTRACT

The strength development of polymer concrete using an unsaturated polyester polymer varies depending on many factors. However, the strength development is mostly dependent upon the age and curing temperature if the mixture ratios are the same.

This study conducted to experimentally describe the relationship between the strength development and maturity which is defined as a function of $\Sigma(\text{time} \times \text{temperature})$.

The research result may be applied to predict the compressive, tensile and splitting strengths of the polymer concrete by computing the maturity of the concrete.

1. 서론

산업이 고도화로 건설분야에 있어서도 기술적인면에서는 비약적인 발전을 이루어 왔다고 할 수 있지만 건설재료에 있어서는 아직도 시멘트 콘크리트, 강재 목재가 주종을 이루고 있다. 그러나 석유화학의 발달로 점차적으로 많은 고분자 재료가 개발되어 자동차 산업, 항공산업, 기계산업분야 등에 적용이 급격히 증가되어지고 있는 실정이다.

폴리머 콘크리트가 다양하게 이용되는 것은 속경성이고 고강도이면서 제조 및 가공이 용이하기 때문이라 할 수 있다. 일반

적으로 폴리머 콘크리트 재료의 특성을 나타내는 것에는 여러가지 항목이 있지만 일단은 강도적 성질이 대표적인 것이라 할 수 있겠다. 강도적 성질에 미치는 요인은 경화제의 양, 골재의 종류, 배합비 등 여러가지 들 수 있겠으나 무엇보다 중요한 것은 온도와 재령이라 할 수 있다. 특히 폴리머 콘크리트는 속경성으로서 온도와 밀접한 관계가 있으므로 위의 2가지 조건은 폴리머의 강도를 추정하는 데에는 필수적 요인이라 할 수 있다.

이와 관련된 연구는 일본, 미국을 중심으로한 세계 각국에서의 선행연구도 많이 있으나 대부분의 연구가 강도에 미치는 각 요인들을 개별적으로 구명한 것들이다.

본 연구에서는 Plowman, Chin에 의해 제안되어 지금까지 시멘트 콘크리트에 적용되어 강도추정에 사용되어온 재령과 온도의 함수 즉, $\Sigma(\text{온도} \times \text{재령시간})$ 로 표시되는 성숙도(적산온도, Maturity)가 폴리에스테르 폴리머 콘

* 강원대학교 농공학과 교수

** 강원대학교 농공학과 조교수

*** 강원대학교 농공학과 대학원 박사과정

**** 강원대학교 농공학과 대학원 석사과정

콘크리트의 강도발현에 미치는 영향을 실험적으로 구명코저한다.

2. 재료 및 방법

2. 1. 사용재료

(1) 불포화 폴리에스터 수지

사용된 불포화 폴리에스터 수지는 올소타입으로서 성분은 다음의 표 1과 같다.

표 1. Properties of Unsaturated Polyester Resins

Specific gravity (25°C)	Viscosity (25°C, poise)	Acid value	Styrene content (%)
1.138	3.0	20.0	40

(2) 개시제

본 연구에서 사용된 개시제의 성질은 표 2와 같다.

표 2. Properties of Initiator

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

(3) 충전재

충전재를 첨가하는 주목적은 단위체적당 수지 사용량을 줄이고 점성을 향상시킬 목적으로 미립 충전재를 사용한다. 본 연구에서 사용된 중질 탄산칼슘의 성질 및 화학적 조성은 표 3과 4와 같다.

표 3. Properties of Heavy Calcium Carbonate Used

Specific gravity (gr/cc)	Absorption (cc/gr)	Water content (%)	PH	Mean grain size (μm)
0.75	0.20	0.3이하	8.8	13

표 4. Chemical Components of The Heavy Calcium Carbonate Used
(Unit : %)

CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	Ig.loss
53.7	0.25	0.09	2.23	0.66	42.4

(3) 골재

본 연구에 사용된 세골재는 강원도 홍천강에서 채취된 하천 모래이며, 조골재는 강원도 춘천군 남면 광판리에서 생산되고 있는 화강암 쇄석이다. 사용전 수분함량이 0.1 % 이하가 되도록 충분히 건조 시켰으며, 이들에 대한 물리적 성질의 시험결과는 표 5와 같고, 입도 곡선은 그림. 3과 같다.

2.2 시험체 제작

본 연구에 사용된 배합비는 시험을 통해 얻어진 배합비를 사용하였다.

이와같이 결정된 폴리머 콘크리트의 배합비는 표 6과 같으며, 시험체는 KS F 2419 (폴리에스터 레진 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법)에 규정된 방법에 의하여 모든 조건을 동일하게하여 제작하였다.

표 5. Physical Properties of Aggregates

Items	Coarse aggregate	Fine aggregate
Kinds	Granite	River Sand
Max size, aggregate	13 mm	-
Gravity	2.62	2.60
Unit weight	1652 kg	1500 kg
Solid volume percentage	57.2 %	62.5 %
Finess modulus	6.42	2.73
Absorption	0.65 %	0.75 %

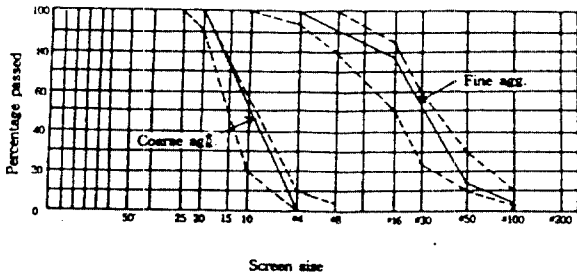


그림 1 Grading Curves of Aggregates

이 때 배합은 콘크리트용 믹서로 하였으며, 다짐은 원주형 시험체의 경우 3층, 각주형 시험체의 경우 2층으로 각각 나누어 붓다짐한 후 테이블 바이브레이터 (3,000 rpm)로 충분히 다졌다.

표6. Mixture Proportions of Polymer Concrete
(Unit : wt.%)

Max. size, aggregate	Materials	Mix proportions	
13mm	Binder (UP+ST)	10.5	
	Filler	10.5	
	Coarse agg.	10-13 mm	11.0
		5-10 mm	16.6
	Fine agg.	1.2-5 mm	10.2
<1.2 mm		41.0	

* UP : (Unsaturated polyester)
ST : (Styrene monomer)

2. 3 시험방법

본 연구에서는 배합 조건을 동일하게 하

여 폴리머 콘크리트 강도에 미치는 온도와 재령의 복합적인 관계를 살펴보기 위해 가열양생 방법을 택하였다. 온도는 10 °C ~ 70 °C로 하여 10 °C간격으로 변화 시켰으며, 각 온도에 따라 재령을 1, 2, 3, 5, 7일 간격으로 변화시켜 압축강도, 휨강도, 할렬인장강도를 측정하였다. 그리고 위와같이 측정된 각 강도치와 온도와 재령의 함수로 표시되는 성숙도와의 관계를 비교·검토 하였다.

성숙도 계산에 사용된식은 Plowman과 Chin에 의해 제안된 식을 사용 하였으며 이 식에 사용된 온도의 원점, 즉 콘크리트가 시간에 따라 강도의 증가가 없는 온도는 실험을 통해 구하여 폴리머 콘크리트의 성숙도 계산식에 사용 하였다.

시험체의 크기는 압축강도 측정을 위해 $\phi 7.5 \times 15$ cm의 원형공시체를 사용 하였으며, 휨강도는 $6 \times 6 \times 24$ cm의 각주형 공시체, 그리고 인장강도 측정에는 $\phi 7 \times 14$ cm의 원주형 공시체를 사용 하였다.

그리고 압축, 인장강도시험은 KS F 2481 (폴리에스터 레진 콘크리트의 압축강도 시험방법)과 KS F 2480(폴리에스터 레진 콘크리트의 인장강도 시험방법)에 따랐으며, 휨강도 시험은 KS F 2482(폴리에스터 레진 콘크리트의 휨강도 시험방법)에 따라 시험 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 온도와 강도 관계

3.1.1 온도와 압축강도 관계

각 재령별 온도에 따른 압축강도의 변화를 나타낸 것이 그림 2이다. 결과를 살펴보면 압축강도는 60 °C에서 가열양생한 경우가 가장 높게 나타났으며, 70 °C부터 강도가 저하되기 시작했다. 그 원인은 온도가 70 °C로 가열될 경우 결합체인 폴리에스터 수지가 높은 열에 의해 결합력 저하를 가져오기 때문이라 볼

수 있다. 대략 60 ℃에서 압축강도는 1270 ~ 1322 kg/cm² 정도로 나타났으며 10 ℃에서 낮은 강도를 보였다. 또한 재령에 따른 압축강도 변화양상을 살펴볼 때 재령이 길수록 높은 강도를 보여주고 있다.

3.1.2 온도와 휨강도 관계

각 재령별 온도에 따른 휨강도의 관계를 나타낸 것이 그림 3이며, 이 결과에서도 압축강도와 같이 60 ℃에서 가장 높은 강도를 보였으며, 그원인도 압축강도와 같은 경우로 판단된다. 재령별 강도를 살펴 볼 때, 재령이 길수록 강도의 증가를 보였으며 30 ℃에서 40 ℃사이에서 강도가 크게 증가 되었다.

3.1.3 온도와 할렬 인장강도 관계

각 재령별 할렬 인장강도의 관계를 그림 4에 나타냈으며 모든 강도의 변화가 압축, 휨강도와 같은 경향을 보이고 있다. 그리고 특이한것은 압축, 휨강도에 비해 재령에 따른 강도의 차이가 크게 나타났다는 점이다.

3.2 폴리머 콘크리트의 성숙도 산출식

폴리머 콘크리트의 강도는 일반적으로 골재의 최대치수, 결합제의 비율, 배합조건 등에 의해 좌우되지만 무엇보다도 온도와 재령에 의해 큰 변화를 나타낸다. 시멘트 콘크리트의 경우 온도와 재령의 관계를 연구한 결과 온도와 재령의 곱으로 강도를 추정하는 성숙도 (Maturity, 적산온도)라 정의되는 식이 Plowman과 Chin에 의해 60년대에 제안되었다.

본 연구에서는 이와같은 시멘트 콘크리트에 사용되고 있는 제안식을 이용하여 폴리머 콘크리트에 적용하였으며, 그 식은 다음과 같다.

$$M = \sum(T-T_0) \cdot \Delta t$$

T : Δt 동안의 양생온도 (℃)

T₀ : 콘크리트의 강도가 더이상의 증가를

보이지 않을때의 온도 (℃)

Δt : 재령기간 (hr, Day)

이 식에서 시멘트 콘크리트의 경우 T₀를 -12.℃ ~ -10 ℃로 보았지만 폴리머 콘크리트의 경우 실험결과 -10 ℃ ~ 0 ℃로 얻어졌는데 안전성 확보를 위해 0℃를 사용하였다.

3.3 성숙도와 각 강도 관계

3.3.1 성숙도와 압축강도 관계

성숙도의 계산치와 압축강도의 관계를 그림 5에 나타내었다. 그림에 나타낸 식은 X, Y의 관계를 SAS를 통해 분석된 식이며 결과치들의 분포가 다른 강도분포에 비해 넓게 분포된 것으로 보아 폴리머 콘크리트는 시멘트 콘크리트에 비해 재령온도에 상당히 민감한 것으로 사료된다. 실험값을 살펴보면 성숙도의 값이 7,200 ℃·hr 이상일 때 압축강도는 1,300 kg/cm²을 상회하고 있다.

3.3.2 성숙도와 휨강도의 관계

성숙도와 휨강도의 관계를 그림 6에 나타냈으며 압축강도보다 그 값의 편차가 작게 나타났으며, 압축강도에 비해 강도 증가는 완만한 경향을 보였다. 실험값을 살펴보면 성숙도의 값이 7,200 ℃·hr 이상일 때 휨강도는 205 ~ 215 kg/cm²을 나타냈다.

3.3.3 성숙도와 할렬인장강도 관계

성숙도와 할렬 인장강도의 관계를 그림 7에 나타냈으며 성숙도가 6,000 ~ 7,200 ℃·hr 일때 할렬 인장강도는 120 kg/cm²를 상회하는 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서 성숙도가 압축, 휨, 할렬 인장강도에 미치는 영향을 실험적으로 구명하여 보았던바 다음과 같은 결론을 얻었다,

1. 재령 온도를 볼때 모든강도가 60 ℃에서 가장 큰 강도를 보였으며 그 이상의 온도에서 강도가 저하됨을 알 수 있었다.
2. 성숙도값이 7200 ℃·hr에서 가장높은 강도를 보였는데 압축강도는 약 1322 kg/cm²이며 휨강도는 215 kg/cm²며 할렬인장강도는 125 kg/cm²을 나타냈다. 그리고 240 ℃·hr에서 최저의 강도를 보였다.
3. 성숙도에 따른 압축, 휨, 할렬인장의 관계식이 추정 되었으며, 분석결과 상당히 높은 상관성을 보였다.
4. 온도와 재령의 함수로 표시되는 성숙도 산출을 통해 폴리에스터 폴리머 콘크리트의 압축, 휨, 할렬인장강도의 추정이 가능한 것으로 판단된다.

5. 참고 문헌

- 1 Carino, N. J. and Lew, H. S., "Temperature Effects on The Strength-Maturity Relations of Matar", ACI Journal, Title no 80-17, May, 1983, pp. 177-182.
- 2 十代田知三, "促進養生によるコクリート強度早期判定方法-各國における研究概況", セメント・コクリート, No. 222, 1986.
- 3 出村克宣, "ポリエスチル레ジン코크리트의 養生條件と壓縮強度의關係", 日本建築學會大會學術講演梗概集(構造系), Sept. 1980, pp. 241-242.
- 4 大濱嘉彦, "プラスチック콘크리트用材料について", 코크리트저널, 11(4), 1973, pp. 72-79.
- 5 연규석, 이봉학, 김광우, "폴리머 콘크리트의 초기강도에 미치는 양생온도의 영향", 한국콘크리트학회 학술발표회의 논문집, 제 2 권 2 호, pp.151-156, 1982.

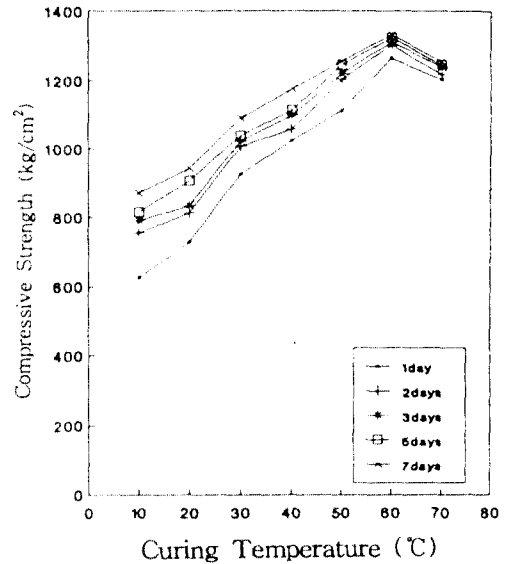


Fig. 2 Relation between Curing Temperature and Compressive Strength depending on the Age

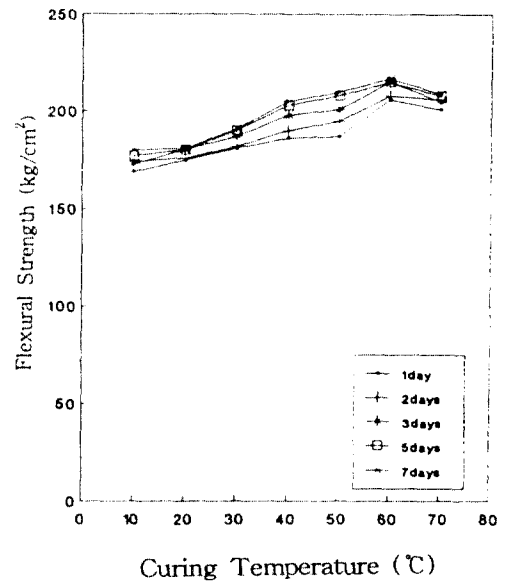


Fig. 3 Relation between Curing Temperature and Flexural Strength depending on the Age

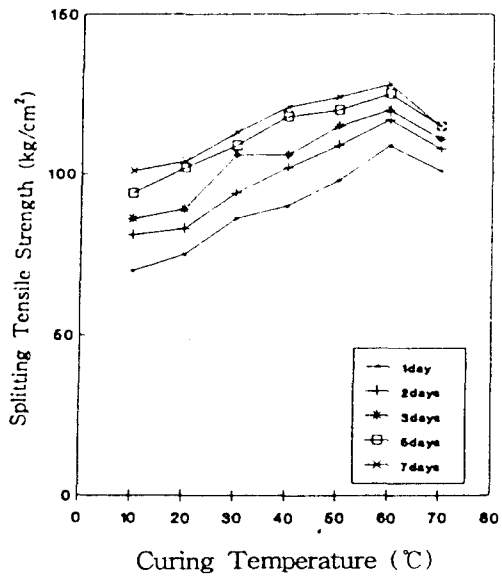


Fig. 4 Relation between Curing Temperature and Splitting Tensile Strength

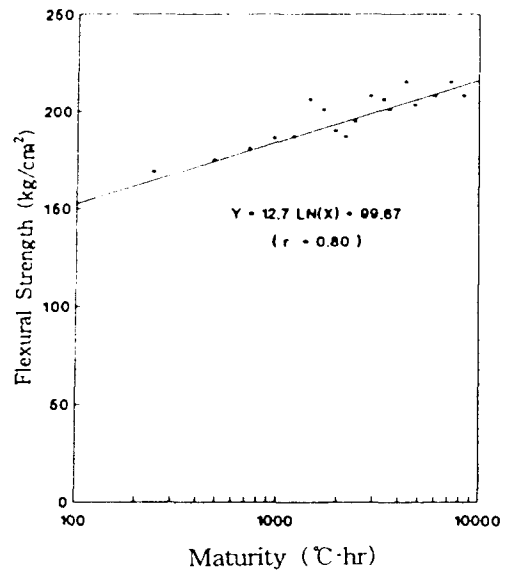


Fig. 6 Relation between Maturity and Flexural Strength

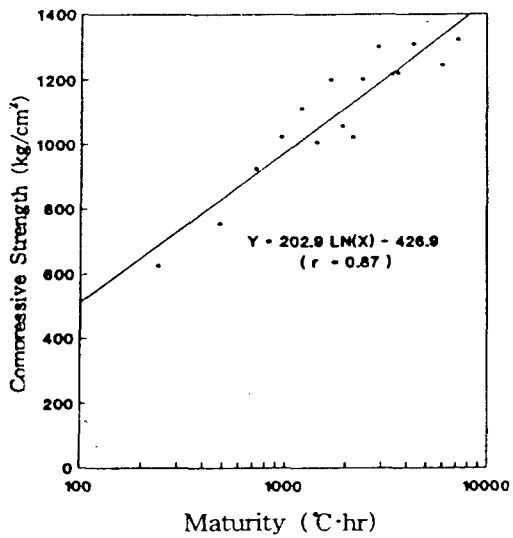


Fig. 5 Relation between Maturity and Compressive Strength

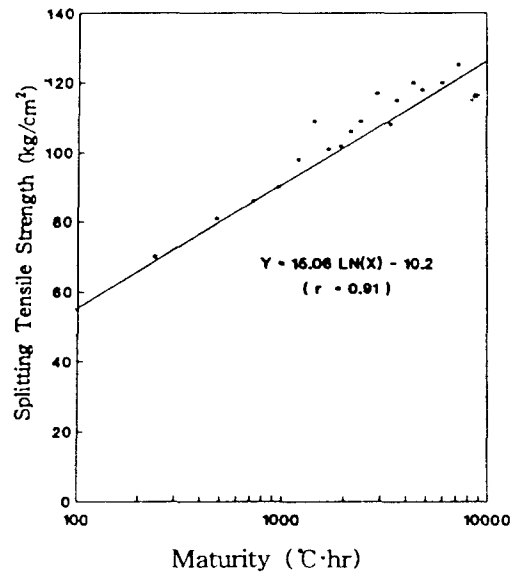


Fig. 7 Relation between Maturity and Splitting Tensile Strength