

# 초속경시멘트를 사용한 보수용 조기강도 콘크리트의 특성

## Characteristics of High Early Strength Concrete using Regulated Set Cement

원 종 필 · 김 현 호\*(건국대)

Won, Jong Pil · Kim, Hyun Ho

### Abstract

The growth in concrete structures repair has prompted major efforts to develop high early strength concrete. The internal or external restraint of thermal shrinkage movements could thus generate tensile stresses in concrete structures if it is used rapid setting repair concrete. Restrained shrinkage and thermal stresses could produce microcracks in concrete which increase its permeability and accelerate its long-term deterioration under weathering and load effects. This study aims at evaluation and increase of the engineering properties of high early strength concrete using regulated set cement.

### I. 서론

현재 우리나라 콘크리트 구조물의 노후화가 진행됨에 따른 유지·관리차원에서 상시보수와 긴급보수가 요구되어지고 있는 추세이다. 이러한 조기강도 발현이 요구되는 한중공사, 공항 활주로, 교량 상판 연결부 및 고속도로의 긴급보수공사에 급결성 보수재료로써 초속경시멘트가 주로 사용되고 있으나, 조기강도 발현을 위한 상대적으로 높은 수화열의 발생으로 콘크리트 내에서 열과 수분의 이동이 증가하는 문제점을 안고 있다.<sup>(2)</sup> 실제현장 조건하에서 열과 수분의 이동은 콘크리트 구조물의 수축을 발생시키고 이와 같은 수축은 콘크리트 내의 철근등에 의한 외부적인 환경요인과 콘크리트 내에 존재하는 수분과 열로 인한 내부적인 환경요인에 의하여 구속됨으로써 콘크리트 매트릭스 내에 인장응력을 발생시키고, 이로 인하여 미소 균열이 발생한다.<sup>(2,3)</sup> 콘크리트 구조물에 있어서 균열의 발생은 투수성의 증가로 인한 다양한 형태의 파괴를 발생시킴으로서 역학적특성 및 내구성을 감소시켜 안정성에 심각한 영향을 미칠 수 있다. 콘크리트내의 미소균열을 줄이는 방법 중의 하나가 콘크리트 보강재료로서 섬유를 혼입하는 방법이 있는데, 섬유는 균열의 발생 및 진행을 억제시켜 균열 폭을 절감시킬 수 있으며, 이로 인해 콘크리트의 투수 및 마모저항성 등의 내구성을 향상시켜 공용연수의 증가에 따른 생애주기 비용(life cycle cost)을 절감시킬 수 있다. 따라서 본 연구에서는 콘크리트 구조물의 긴급보수용으로 사용되고 있는 초속경시멘트 콘크리트의 특성을 파악하고 그 성능을 증진시키기 위하여 섬유를 혼입하여 초속경시멘트 콘크리트의 공학적 성능을 향상시키는 것을 목표로 하였다.

## II. 사용재료 및 배합설계

### 1. 시멘트 및 골재

초속경시멘트는 국내 S사 제품을 사용하였다. 굵은골재는 비중 2.62, 최대치수 25mm의 부순 골재를 사용하였으며, 잔골재는 비중 2.61의 강모래를 사용하였다.

### 2. 콘크리트 보강섬유

콘크리트 보강섬유는 특수 가공된 셀룰로오스섬유와 폴리프로필렌섬유를 사용하였다.

### 3. 배합설계

본 연구에서는 재령 3시간에 휨강도  $35\text{kgf/cm}^2$ 를 설계기준강도로하여 최적배합비를 도출하였다. 굳지않은 콘크리트의 슬럼프는 5~7cm, 공기량은 4~6%로 고정하였다. 폴리프로필렌섬유와 셀룰로오스섬유의 혼입량은 적정혼입률이라 알려진  $0.9\text{kg/m}^3$ 과  $1.3\text{kg/m}^3$ 을 각각 첨가시켰다.<sup>(1)</sup> 배합설계는 Table 1과 같다.

Table 1. Mixture proportions

( $\text{kg/m}^3$ )

Type of concrete	W/C(%)	s/a(%)	C	W	S	G	RA	AE	SP	Cellulose fiber	Polypropylene fiber
Plain	37	45	400	148	789	968	1.2	0.012	8.8	-	-
PP								-	12	1.3	-
Cellulose								-	12	-	0.9

## III. 실험방법

### 1. 굳지않은 콘크리트 특성

KS F 2402에 따라 슬럼프 시험과 KS F 2401에 의해 공기량 시험을 실시하였다. 또한 초속경시멘트 콘크리트의 응결특성을 알아보기 위해 KS F 2436에 의해 콘크리트 응결시간을 측정하였다.

### 2. 수화열실험

믹싱 후 경과시간에 따른 초속경시멘트 콘크리트의 수화반응 현상을 알아보기 위하여 스티로폼 용기로 단열 장치를 제작하여 실험을 실시하였다.  $300 \times 300 \times 250\text{mm}$ 의 몰드에 콘크리트를 채워 중심부에 온도센서(thermocouples) 2개를 묻고 콘크리트의 온도상승을 측정하였다.

### 3. 역학적특성 시험

압축강도는 KS F 2405에 따라 시험을 실시하였고 휨강도는 JCI SF-4에 준해 실시하였다. 충격저항성시험은 ACI Committee 544의 시험방법에 준해서 수행하였다.

### 4. 콘크리트수축실험

콘크리트의 건조수축균열 제어특성에 대한 실험은 링모양의 시편을 사용하는 Ring test로 실시하였고 자기수축 측정은 일본 콘크리트공학협회(JCI)의 실험방법에 따라 실시하였다.<sup>(4)</sup>

## 5. 내구성시험

수리구조물에 주로 문제점으로 지적되고 있는 콘크리트의 투수성을 알아보기 위한 염소이온 투과시험은 ASTM C 1202-94와 AASHTO T 259에 따라 실시하였다. 콘크리트의 마모저항성을 알아보기 위하여 ASTM C 944에 의해 시험을 실시하였으며 동결융해저항성은 100×100×400mm의 각주형 공시체를 2개씩 제작하여 KS F 2456에 따라 시험을 실시하였다. 건조-습윤 반복 실험은 28일간 습윤양생한 공시체를 12시간동안 23±2℃의 물속에서 포화시킨 후, 12시간 동안 60℃의 오븐에서 건조시키는 것을 1사이클로하여 총 25사이클을 수행한 공시체와 건조-습윤반복실험을 하는동안 수중양생시킨 공시체(control)의 압축강도 및 휨강도를 비교하였다.

## IV. 실험결과

### 1. 굳지않은 콘크리트 특성

보통 조기강도 콘크리트와 조기강도 섬유보강 콘크리트의 슬럼프, 공기량 및 응결시간 측정 결과는 Fig. 1~Fig. 3과 같다. 초속경시멘트 특성상 목표 슬럼프치를 맞추기 위해서 많은 양의 고유동화제를 첨가하였으며, 섬유보강 조기강도 콘크리트는 보통 조기강도 콘크리트와 비교하여 섬유 혼입에 의해 슬럼프가 감소하여 고유동화제량을 증가시켰다. 반면에 조기강도 섬유보강 콘크리트는 섬유혼입에 따른 공기량의 증가로 공기연행제를 첨가할 필요 없이 목표 공기량을 얻을 수 있었다. 초속경시멘트를 사용한 보통 조기강도 콘크리트의 응결시간은 콘크리트 타설 후 21분경에서 초결이 나타났으며 그 이후 콘크리트 응결이 빠르게 진행되어 26분경에서 종결이 나타났다.

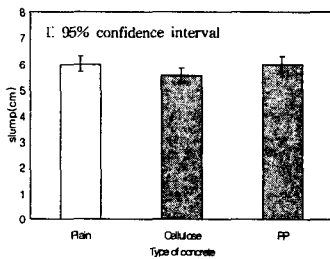


Fig. 1. Slump test results

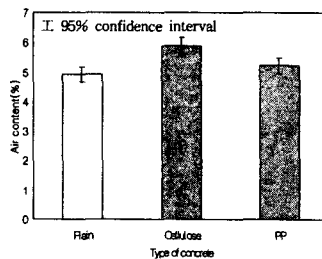


Fig. 2. Air content test results

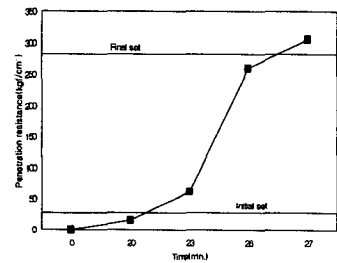


Fig. 3. Setting time of regulated set cement concrete

### 2. 수화열실험

보통 조기강도 콘크리트의 시간에 따른 수화발열 특성은 Fig. 4와 같다. 타설 20분이 지나서 수화반응이 서서히 진행되어 약60분에서 46℃로 최대점을 나타내었다. 이러한 수화열의 빠른 진행은 초기에 상대적으로 높은 수화열을 발생시켜 온도응력으로 인한 수축이 일어나 콘크리트 내부에 인장응력을 유도하여 미세균열이 발생될 가능성을 내포하고 있다.

### 3. 역학적특성 시험

초속경시멘트를 사용한 보통 조기강도 콘크리트와 조기강도 섬유보강 콘크리트의 압축강도, 휨강도 및 충격저항성에 대한 시험결과는 Fig. 5~Fig. 7과 같다. 압축강도의 경우 통계적으로

95%신뢰구간에서 유의차가 없었으며, 휨강도의 경우 셀룰로오스섬유보강 조기강도 콘크리트가 보통 조기강도 콘크리트보다 재령 3시간에서 최고 21%까지 증진을 보였다. 충격저항성의 경우 재령 28일에서 보통 조기강도 콘크리트는 타격 121회에 완전파괴가 일어났고 셀룰로오스섬유보강 조기강도 콘크리트와 폴리프로필렌섬유보강 조기강도 콘크리트가 각각 타격 165회, 157회만에 완전파괴가 일어났다.

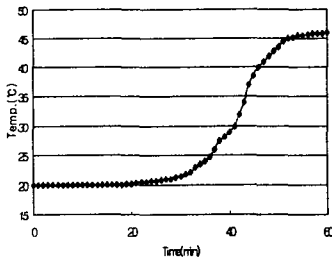


Fig. 4. Heat of hydration of regulated set cement concrete

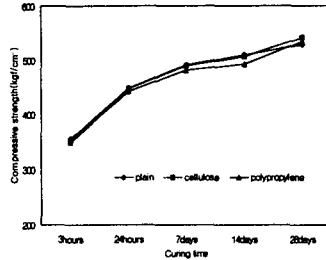


Fig. 5. Compressive strength

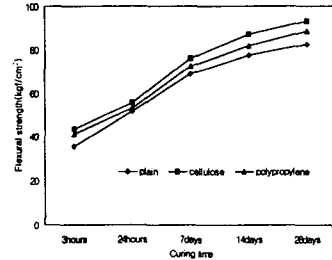


Fig. 6. Flexural strength

#### 4. 콘크리트수축실험

건조수축에 의한 균열제어 실험에 있어서 Fig. 8과 같이 조기강도 섬유보강 콘크리트가 보통 조기강도 콘크리트보다 균열폭이 더 작게 나타났다. 또한 Fig. 9와 같이 자기수축실험 결과에서도 조기강도 섬유보강 콘크리트가 보통 조기강도 콘크리트보다 자기수축량이 더 적게 나타났다.

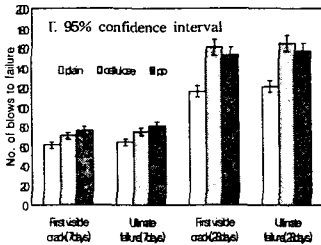


Fig. 7. Impact resistance

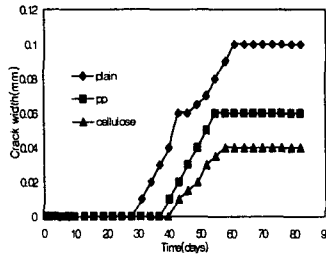


Fig. 8. Drying shrinkage of regulated set cement concrete

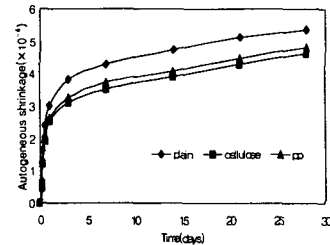


Fig. 9. Autogenous shrinkage of regulated set cement concrete

#### 5. 내구성시험

콘크리트의 간접적인 투수성을 알아보기 위한 염소이온투과시험 결과는 Fig. 10과 같다. 조기강도 섬유보강 콘크리트가 재령 3시간에서는 보통 조기강도 콘크리트보다 다소 우수한 투과저항성을 보였으나 그 이후에는 유사한 결과를 나타냈다. Fig. 11에서와 같이 마모저항성에 있어서 조기강도 섬유보강 콘크리트가 보통 조기강도 콘크리트 보다 재령 28일에서 최고 31%까지 마모저항성이 우수하게 나타났다. 동결융해시험 결과 역시 조기강도 섬유보강 콘크리트가 보통 조기강도 콘크리트와 비교하여 볼 때 다소 우수하게 나타났다(Fig. 12). 건조-습윤반복실험결과 보통 조기강도 콘크리트와 조기강도 섬유보강 콘크리트 모두 건조-습윤을 반복한 공시체와 반복하지 않은 공시체의 압축강도 및 휨강도 측정결과 통계적으로 95%신뢰구간에서 유의차가 없었다(Fig. 13 and Fig. 14).

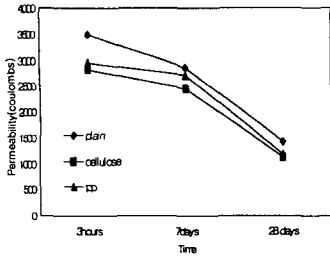


Fig. 10. Chloride permeability

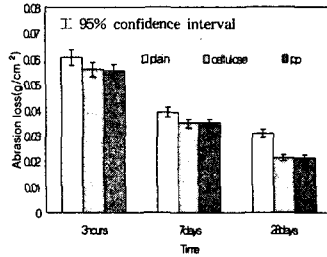


Fig. 11. Abrasion resistance

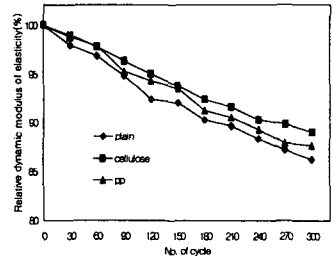


Fig. 12. Freezing and thawing

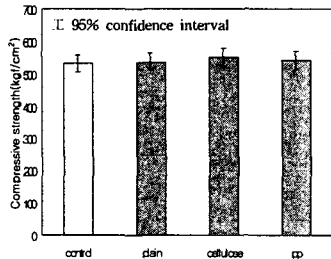


Fig. 13. Repeated wetting and drying on compressive strength

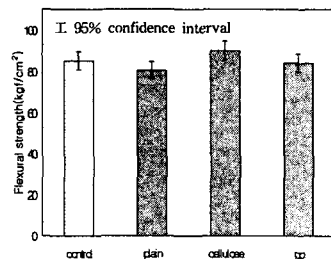


Fig. 14. Repeated wetting and drying on flexural strength

## V. 결론

급결성 보수재료인 초속경시멘트를 사용한 보통 조기강도 콘크리트와 조기강도·섬유보강 콘크리트의 특성에 대한 실험결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 조기강도 섬유보강 콘크리트는 섬유의 가교작용(bridging)으로 인해 보통 조기강도 콘크리트보다 우수한 휨강도 및 마모저항성을 발현하였다.
- (2) 수축특성에 있어서도 섬유가 콘크리트 내부에서 가교작용(bridging)으로 인한 미세균열의 발생과 성장을 억제하여 건조수축에 의한 균열제어 효과가 우수하였으며 자기수축량도 더 적게 나타났다.
- (3) 장기 내구성능을 알아보기 위한 시험에 있어서도 조기강도 섬유보강 콘크리트가 보통 조기강도 콘크리트와 비교하여 불 때 우수한 성능을 보였다.

이상의 결과로 보아 급결성 보수재료인 초속경시멘트를 사용한 조기강도 콘크리트에 섬유의 혼입은 역학적특성, 수축균열제어 및 내구성능이 향상될 것이라 판단된다.

## 참고문헌

1. 원종필, 박찬기(2000), 콘크리트 초기 균열 제어를 위한 특수 가공된 셀룰로오스섬유의 적용에 관한 연구, 대한토목학회논문집, 제20권, 제2-A호, pp. 311-319.
2. Parviz Soroushian and Siavosh Ravanbakhsh(1999), High-Early-Strength Concrete: Mixture Proportioning with Processed Cellulose Fibers for Durability, ACI Materials Journal Vol. 96, No. 5, pp.593-599.
3. M.Langlois, M.Pigeon, B.Bissonnette, and D.Allard(1994), Durability of Pavement Repairs: A Field Experiment, Concrete International, V. 16, No. 8, pp. 39-43.
4. 日本コンクリート工學協會(1996), 自己收縮研究委員會報告書