

# 횡구속 재료변화에 따른 고성능 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Mechanical Properties of High Performance Concrete with Material for Lateral Confinement

김 은 호\*      정 덕 우\*\*      홍 상 희\*\*\*      윤 기 원\*\*\*      한 천 구\*\*\*\*  
Jin, En Hao      Jung, Duk Woo      Hong, Sang Hee      Yoon, Gi Won      Han, Cheon Goo

### ABSTRACT

This paper is a fundamental study on the mechanical properties of the high performance concrete confined with metal lath, glass and carbon fiber laterally. According to the results, it shows that the compressive strength increases by 9%, 8% and 6% in metal lath, carbon fiber and glass fiber in case of W/B 30% respectively. In case of W/B 30% and 40%, flexural strength shows largely in order of carbon fiber, metal lath, glass fiber. In strain-stress curve with the kinds of material for lateral confinement, while brittleness failure occurs in plain concrete just after maximum load, it is improved in some degree in confined concrete due to increase of the strain by increase of toughness. But, elastic modulus shows the similar tendency between confined concrete and plain concrete. Length change ratio by drying shrinkage shows little a bit in order of carbon fiber, glass fiber and metal lath due to confinement.

### 1. 서 론

최근, 철근콘크리트 건축물은 대형화 및 고층화되어짐에 따라 고강도, 고유동과 같은 고성능 콘크리트의 수요가 증가하고 있다. 그러나, 고성능 콘크리트는 일반강도인 보통콘크리트에 비하여 시공성, 압축강도 및 내구성이 크다는 장점이 있는 반면, 압축강도 증진에 따른 파괴형태가 취성적인 단점을 가지고 있다. 이러한, 고성능 콘크리트의 취성적인 파괴는 굵은 골재의 강도가 매트릭스 강도보다도 상대적으로 작기 때문이다.

따라서 인장력에 의한 고성능 콘크리트의 인성 증대가 매우 중요하게 검토되고 있으며, 아울러 구조물이 고층화될수록 고강도를 요구함과 동시에 수평하중(지진 및 풍하중)에 대한 저항성도 점점 강조되고 있다. 이에 따라 고성능 콘크리트는 인성증대와 같은 품질향상방안이 중요한 과제로 대두되고 있다.

그러므로, 본 연구에서는 강성이 큰 횡구속재료(메탈라스, 유리섬유 및 탄소섬유)를 실험변수로 고성능 콘크리트를 횡구속하는 조건에서 콘크리트의 압축 및 휨강도 등 역학적 성질을 기초적으로 분석

\* 정희원, 청주대 대학원, 석사과정

\*\* 정희원, 청주대 대학원, 박사과정

\*\*\* 정희원, 청주대 산업과학연구소 연구원, 공학박사

\*\*\*\* 정희원, 주성대 건축공학과 조교수, 공학박사

\*\*\*\*\* 정희원, 청주대 건축공학부 교수, 공학박사

함으로써 고성능 콘크리트의 품질향상방안에 한 참고자료로 제시하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 배합사항은 표 2와 같다.

즉, 실험요인으로 고성능 콘크리트는 플라이애쉬를 20% 치환한 물결합재비(W/B) 30% 및 40%에 대하여 보강하지 않은 플레인과 메탈라스(사용철판의 두께가 1.6mm), 유리섬유시트 및 탄소섬유시트를 각각 한겹 횡구속하는 것으로 변화시켜 역학적 특성을 분석하는 것으로 실험계획하였다.

이때, 굳지 않은 콘크리트와 경화 콘크리트의 실험사항은 표 1과 같다.

표 1 실험계획

실험요인					실험사항	
W/B (%)	플라이애쉬 (%)	목표 유동성 (cm)	목표 공기량 (%)	횡구속재료* 종류	굳지않은 콘크리트	경화 콘크리트
30 40	20	슬럼프 플로우 60±5	4.5±1.5	플레인 M G C	· 슬럼프 · 슬럼프 플로우 · 공기량 · 단위용적중량	· 압축강도 · 용력-변형도곡선 · 휨강도 · 길이변화율

\* M : 메탈라스 G : 유리섬유시트 C : 탄소섬유시트

표 2 배합사항

W/B (%)	W (kg/m <sup>3</sup> )	S/a (%)	SP/C (%)	AE/C (%)	절대용적배합 (ℓ/m <sup>3</sup> )				중량배합 (kg/m <sup>3</sup> )			
					C	FA	S	G	C	FA	S	G
30	175	48	1.5	0.0125	148	53	278	301	467	117	715	792
40	175	51	1.05	0.005	111	39	321	309	350	88	825	811

표 3 시멘트의 물리적 성질

비 중	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	안정도 (%)	응결시간 (분)		압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,522	0.16	209	353	214	305	392

### 2.2 사용재료

본 연구의 사용재료로써 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였고, 잔골재는 충북 청원군 부강산 강모래를 사용하였으며, 굵은골재는 경기도 퇴촌산 20mm 부순 굵은골재를 사용하였다.

또한, 혼화재료로 플라이애쉬는 분급 정제된 보령 화력산을 사용하였고, 혼화제로 AE제와 고성능 감수제는 국내산 J사의 나프탈린계와 폴리칼본산계를 사용하였는데, 각 재료의 물리적 성질은 표 3~7과 같다.

표 4 골재의 물리적 성질

구 분	비 중	조립률	흡수율 (%)	단위용적중량 (kg/m <sup>3</sup> )	0.08mm체 통과량 (%)
잔골재	2.57	2.7	1.83	1.470	1.8
굵은골재	2.63	6.9	1.2	1.526	0.3

### 2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은

표 5 플라이애쉬의 물리적 성질

비 중	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	강열감량 (%)	압축강도비 (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	습 분 (%)	단위수량비 (%)
2.22	3.850	4.2	92	67.5	0.2	100

표 6 혼화제의 물리적 성질

구 분	주 성분	형 태	색 상	비중(20℃)
AE제	음이온계	액 체	노란색	1.17
고성능 감수제	폴리칼본산계	액 체	연황색	1.055

표 7 횡구속재료의 물리적 성질

종 류	인장강도 (×10 <sup>3</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )	인장탄성계수 (×10 <sup>6</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )	비 중 (g/cm <sup>3</sup> )
메탈라스	4.39	-	7.85
유리섬유	34.8	86	2.53
탄소섬유	38.0	245	1.8

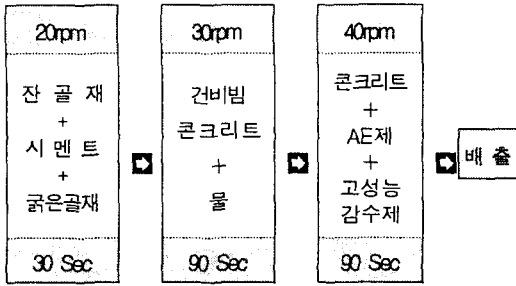
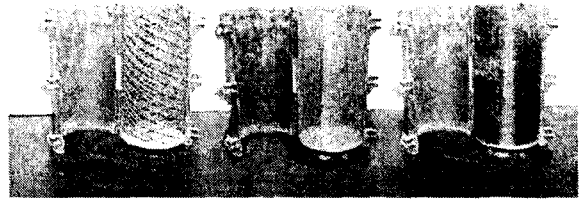


그림 1 콘크리트의 혼합



메탈라스                  유리섬유                  탄소섬유

사진 1 공시체 제작용 섬유

강제식 팬믹서를 사용하여 그림 1의 순서에 따라 실시하였다.

굳지 않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402규정에 의거 실시하였고, 슬럼프플로우는 슬럼프 측정이 끝난 후 최대직경과 이에 직교하는 직경의 평균치로 하였으며, 공기량 및 단위용적중량은 KS F 2421 및 2409의 규정에 의거 측정하였다.

공시체의 제작은 사진 1에서와 같이 Ø10×20cm의 원주형몰드안에 형구속재료를 미리 넣고 KS F 2403에 의거 표준적인 방법으로 제작하였다. 이때 메탈라스의 겹침이음은 인장응력으로 간주하여 메탈라스 두께의 40D로 하였으며 유리섬유와 탄소섬유의 겹침이음은 섬유두께의 40D로 하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 압축 및 휨강도(사진3 참조)는 KS F 2405 및 2407규정에 의거 측정하고, 길이변화율은 KS F 2424규정에 따라 실시하였다. 응력-변형도의 측정은 사진 2와 같이 스트레인게이지와 로드셀을 이용하여 실시하였다.

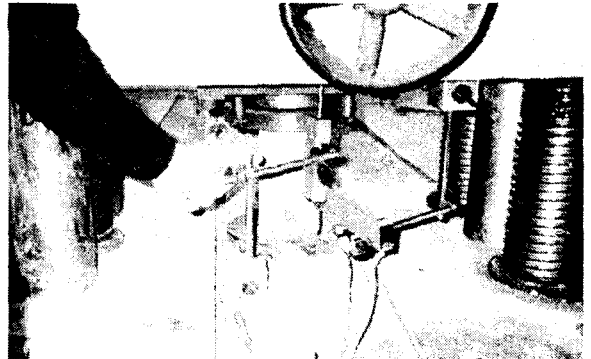


사진 2 응력-변형도 측정

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

표 8은 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량 및 단위용적중량의 실험결과를 나타낸 것이다.

슬럼프플로우는 목표 유동성인 60±5cm를, 공기량은 목표 공기량인 4.5±1.5%를 만족하였다.

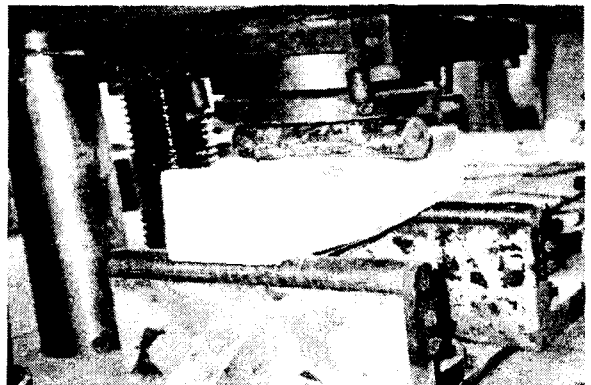


사진 3 휨강도 측정

표 8 실험결과

W/B (%)	슬럼프 (cm)	슬럼프플로우 (cm)	공기량 (%)	단위용적중량 (kg/m <sup>3</sup> )
30	27.0	63.8	4.3	2,336
40	26.0	58.8	5.4	2,280

### 3.2 경화 콘크리트의 특성

그림 2는 W/B 30% 및 40%에서 플레인과 횡구속재료종류 변화에 따른  $\text{\O}10\times 20\text{cm}$  공시체의 7일, 28일 압축강도를 나타낸 것이다. 먼저, 당연한 결과이겠지만 W/B가 작을수록 재령이 증가할수록 압축강도는 증가하였고, 횡보강된 공시체의 압축강도는 보강하지 않은 공시체의 압축강도와 비교하여 다소 증가하는 것으로 나타났다.

그림 3은 그림 2를 또 다른 각도로 W/B 30% 및 40%에서 횡보강하지 않은 경우를 100으로 한 것에 대한 횡구속한 재료의 종류변화에 따른 압축강도비를 나타낸 것이다.

먼저, W/B 30%의 경우, 횡보강된 공시체의 압축강도는 보강하지 않은 공시체의 압축강도와 비교하여 7일 재령에서는 메탈라스, 유리섬유, 탄소섬유의 순이었고, 28일 재령에서는 메탈라스의 경우 9%, 탄소섬유의 경우 8%, 유리섬유의 경우 6%의 순으로 증가하는 내력상승효과가 있는 것으로 나타났는데, 특히 메탈라스의 횡보강 효과는 매우 우수한 것으로 나타났다.

W/B 40%인 경우, 재령 7일에서의 압축강도비는 탄소섬유, 유리섬유, 메탈라스의 순으로 증가하는 것으로 나타났으나, 재령 28일에서의 압축강도비는 재령 7일의 경우와 다른 경향으로 보강하지 않은 공시체의 압축강도와 비교하여 메탈라스의 경우 5%, 유리섬유의 경우 4%, 탄소섬유의 경우 2%의 순으로 증가하는 내력상승효과가 나타났다.

그림 4는 W/B별 횡구속재료 변화에 따른 응력-변형도 곡선을 나타낸 것이다.

전반적인 경향으로 응력-변형도는 횡구속하지 않은 플레인의 경우 최대하중 이후 내력이 급격히 저

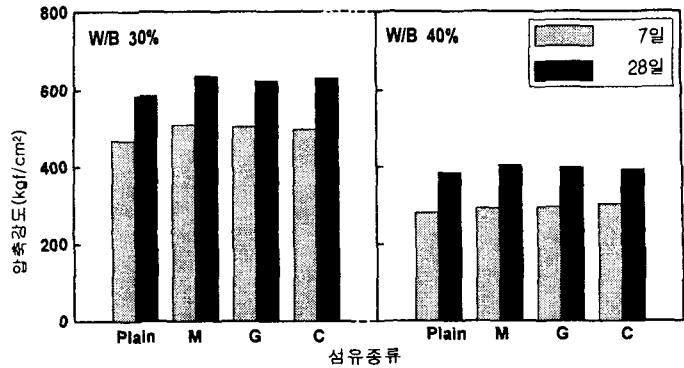


그림 2 W/B별 섬유종류 변화에 따른 압축강도

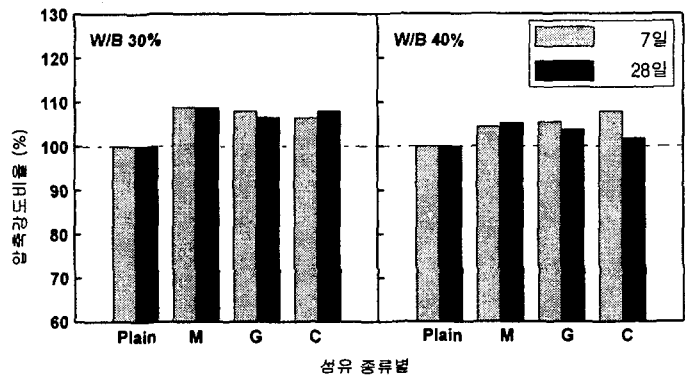
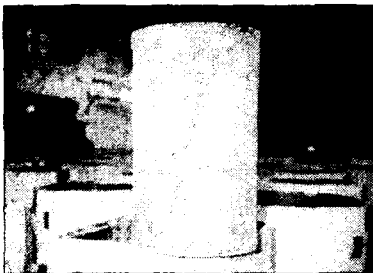


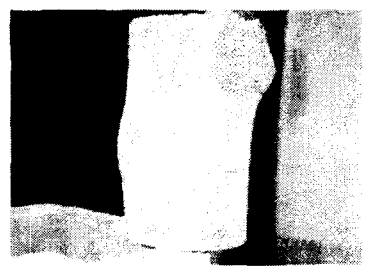
그림 3 W/B별 섬유종류 변화에 따른 압축강도비율



메탈라스



유리섬유



탄소섬유

사진 3 공시체 파괴모양

하하는 취성적인 파괴로 나타났다. 그러나 횡구속재료로 보강한 경우는 보강하지 않은 플레인과 비교하여 최대응력에 도달한 후에도 파괴되지 않고(사진3 참조) 보강재료의 횡구속에 의한 인성증가로 변형율이 증가하였는데, 단, 각종 횡구속 콘크리트의 탄성계수는 플레인과 비교하여 비슷한 양상으로 나타났다. 또한, W/B 40%에서의 변형율은 W/B 30%와 비교하여 더 크게 나타났는데, 이는 큰 물시멘트비일수록 콘크리트의 인성증가가 더 큼에 기인한 결과로 사료된다.

그림 5는 W/B 30% 및 40%에서 횡구속재료 변화에 따른 휨강도를 나타낸 것이다. 전체적으로 횡구속재료로 보강된 공시체의 휨강도는 보강하지 않은 공시체의 휨강도보다 크게 나타났는데, 휨강도는 탄소섬유의 보강효과가 가장 우수한 것으로 나타났으며 다음으로 메탈라스, 유리섬유의 순이었다.

그림 6은 횡구속재료종류별 재령 경과에 따른 건조수축 길이변화율을 나타낸 것이다. 초기 7일까지 수중양생기간에는 길이변화가 증가하다가 그 이후 기중양생 기간에는 건조에 의해 모두 감소하는 것으로 나타났다.

특히, 탄소섬유, 유리섬유, 메탈라스의 순으로 플레인보다 길이변화가 작게 나타났는데, 이는 건조에 의해 수축하려는 콘크리트의 응력을 보강재료의 구속력 효과에 의해 억제하므로 건조수축이 작게 나타난 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

본 연구는 횡구속재료 종류변화에 따른 고성능 콘크리트의 역학적

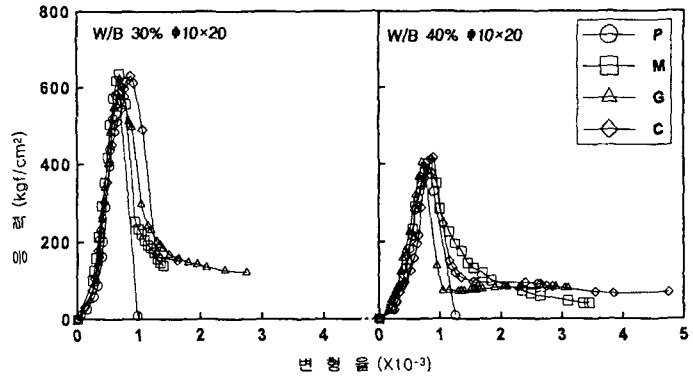


그림 4 섬유종류 및 공시체크기 변화에 따른 응력-변형도 곡선

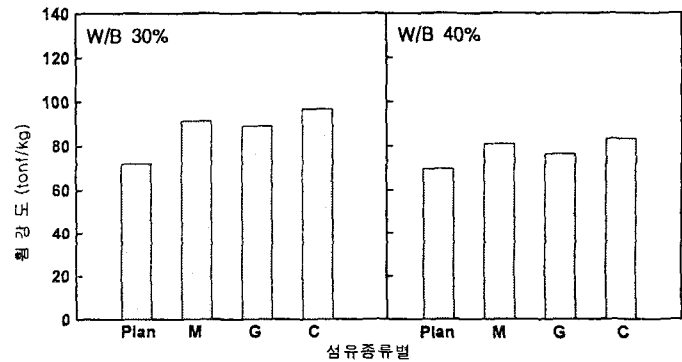


그림 5 섬유종류 변화에 따른 휨강도

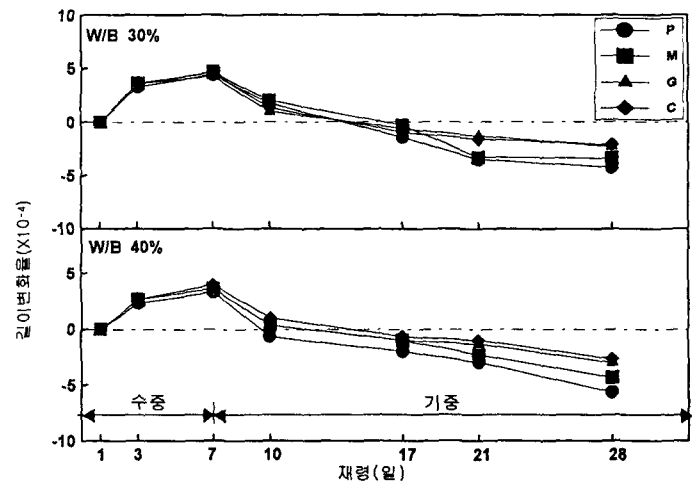


그림 6 섬유종류별 재령경과에 따른 길이변화율

특성에 관한 기초적 연구로서 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 경화 콘크리트의 특성으로 압축강도는 W/B 30%인 경우, 메탈라스, 탄소섬유 및 유리섬유의 증가율이 9%, 8%, 6%의 순으로 크게 나타났고, W/B 40%는 탄소섬유, 유리섬유, 메탈라스의 순이었다.

2) 휨강도는 W/B 30% 및 40%의 경우 공히, 탄소섬유의 보강효과가 가장 우수한 것으로 나타났으며 다음으로 메탈라스, 유리섬유의 순이었다.

3) 횡구속재료종류 변화에 따른 응력-변형을 곡선에서는 보강하지 않은 플레인과 비교하여 최대응력에 도달한 후에도 어느 정도까지는 횡구속에 의한 인성증가로 변형율이 증가하여 취성을 개량할 수 있었다. 단, 각종 횡구속재료로 보강된 콘크리트의 탄성계수는 보강하지 않은 콘크리트와 비교하여 비슷한 양상으로 나타났다.

4) 횡구속재료종류 변화에 따른 건조수축 길이변화율은 섬유의 구속력에 기인하여 탄소섬유, 유리섬유 및 메탈라스의 순으로 다소 작게 나타났다.

#### 참 고 문 헌

1. 정일영 ; 콘크리트의 횡구속으로 인한 역학적 특성에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제9권 제3호, pp.133~138, 1993
2. 김진근, 이태규, 서용표 ; 횡보강 효과를 고려한 콘크리트의 응력-변형도 관계, 한국콘크리트 학술발표회논문집, 제2권, 제1호, pp. 116~121, 1990
3. 신영수, 홍영균, 홍기섭, 최완철 ; 탄소섬유시트로 횡보강된 콘크리트의 강도특성, 한국건축학회논문집, 제11권, 제10호, pp.323~328, 1995
4. 장정수, 조성찬, 강충렬 ; 複合纖維 橫補強콘크리트의 強度 特性에 관한 研究, 한국구조물진단학회지, 제5권 제2호, pp. 93~102, 2001. 4
5. 신성우, 반병열, 이광수, 안종문 ; 탄소섬유시트로 횡구속된 콘크리트의 압축거동, 1997년도 가을학술발표회논문집, 제1권, 제1호, pp. 241~246, 1997. 8