

횡구속재 변화에 따른 고성능 콘크리트의 역학적 특성

한천구¹⁾ · 정덕우¹⁾ · 김은호^{1)*}

¹⁾청주대학교 건축공학과

(2002년 8월 26일 원고접수, 2002년 12월 5일 심사완료)

Mechanical Properties of High Performance Concrete with Material for Lateral Confinement

Cheon-Goo Han¹⁾, Duk-Woo Jung¹⁾, and En-Hao Jin^{1)*}

¹⁾ Dept. of Architectural Engineering, Chongju University, Chongju, 360-764, Korea

(Received August 26, 2002, Accepted December 5, 2002)

ABSTRACT

Recently, as concrete structure becomes high rise and large scaled tendency, demands for high performance concrete such as high strength, high fluidity and high durability has been increased. Even though high performance concrete performs high strength, workability and durability, compared to with those of normal concrete, it is more brittle than normal concrete. Accordingly, this paper is intended to improve toughness and compressive strength through investigating the mechanical properties of the high performance concrete confined with metal lath, glass fiber and carbon fiber laterally in the case of 30% and 40% of W/B. According to the results, the compressive strength increases in order of metal lath, carbon fiber and glass fiber. Considering 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. Elastic modulus increases slightly in case of confined concrete, like the compressing strength.

Keyword : high performance concrete, lateral confinement, metal lath, glass fiber, carbon fiber

1. 서 론

최근, 고강도, 고유동, 고내구성과 같은 고성능 콘크리트의 연구 및 실용화가 국내외적으로 활발히 진행되고 있다.

그런데, 이와 같은 고성능 콘크리트는 일반강도인 보통 콘크리트에 비하여 압축강도가 크고, 시공성 및 내구성이 우수한 장점이 있는 반면, 압축강도 증진에 따라 파괴형태가 취성적으로 되는 단점을 가지고 있다. 이러한 고성능 콘크리트의 취성적인 파괴는 굵은 골재의 강도가 매트릭스의 강도보다도 상대적으로 작아지기 때문에¹⁾ 나타나는 것으로, 인장력에 대한 인성증대가 매우 중요하게 검토되고 있다. 또한, 건축구조물이 고층화될수록 고강도를 요구함과 동시에 수평하중(지진 및 풍하중)에 대한 저항성도 점점 크게 강조됨에 따라 콘크리트의 인성증대는 고성능 콘크리트의 품질향상 방안에 중요한 과제로 대두되고 있다²⁾.

그러므로, 본 연구에서는 강성이 큰 메탈라스, 유리섬유

및 탄소섬유 등 횡구속재의 종류를 변화시켜 그에 따른 고성능 콘크리트의 압축강도와 응력-변형도 곡선 등 역학적 특성을 검토하므로써 고성능 콘크리트의 압축강도 향상 및 인성증진 방안을 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같다.

먼저, 실험요인으로 플레인 콘크리트는 플라리아쉬를 20% 치환한 조건에서 물결합재비(W/B)를 30%와 40% 2종류로 하였고, 목표 유동성은 고유동 콘크리트 범위인 슬럼프플로우 60±5cm, 목표 공기량은 4.5±1.5%를 만족하도록 배합설계를 하였다.

실험요인으로, 횡구속재 종류로는 메탈라스, 유리섬유 및 탄소섬유의 3수준로 변화시켜 실험계획하였다. 이는 Fig. 1에서와 같이 콘크리트에 축하중이 작용함(a)에 따라 축방향으로 수축변형함과 동시에 횡방향으로 팽창변형하여 파괴(b)에 이르게 되는데, 횡구속재로 보강하게 되면

* Corresponding author

Tel : 043-229-8480 Fax : 043-229-8480

E-mail : jinenhao@hotmail.com

Table 1 Experimental design

Factors					Experiments	
W/B (%)	Fly ash (%)	Slump flow (cm)	Air content (%)	Material for lateral confinement	Fresh concrete	Hardened concrete
30 40	20	60±5	4.5±1.5	<ul style="list-style-type: none"> · Plain · Metal lath* <ul style="list-style-type: none"> - M₁ - M₂ - M₃ - M₄ · Glass fiber · Carbon fiber 	<ul style="list-style-type: none"> · Slump · Slump flow · Air content · Unit weight 	<ul style="list-style-type: none"> · Compressive strength (∅10×20, ∅15×30) · Stress-strain curves

* Reference of table 7

Table 2 Mixture proportions

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

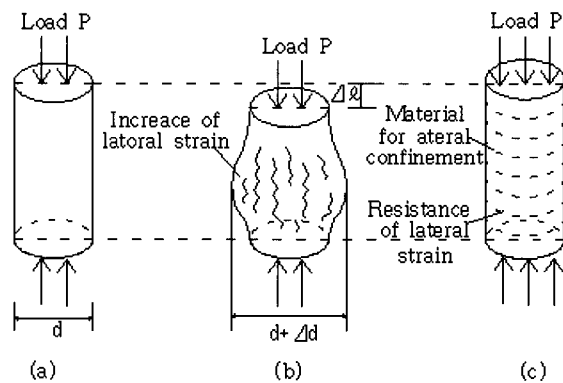


Fig. 1 Principles of lateral confinement

축하중을 받는 콘크리트가 횡방향으로 변형하는 것을 구속하므로써 콘크리트의 내력증진 및 최대하중시 파산방지에 효과가 있을 것(c)으로 판단되어 실험요인으로 결정하였다. 이때, 메탈라스의 경우는 눈금크기가 동일하고 두께를 0.4 mm(이하 M₁ 이라 함)와 1.2 mm(이하 M₃라 함)로 변화시킨 경우와 눈금크기 및 두께를 함께 변화시킨 경우(M₂, M₄)로 구분하여 실험계획하였다.

굳지않은 콘크리트의 실험사항은 Table 1에서와 같이 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량 및 단위용적중량을 측정하도록 하였고, 경화 콘크리트의 실험으로는 ∅10×20 cm 공시체의 재령 7, 28일 압축강도와 ∅15×30 cm 공시체의 28일 압축강도를 측정하였으며(공시체에서 구조체에 이르기까지의 단면크기에 의한 압축강도차이를 검토하기 위해), 재령 28일의 ∅10×20 cm 공시체의 압축강도시험시는

응력-변형도 곡선도를 측정하였다. 이때, 배합사항은 Table 2와 같다.

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트로서, 그 물리적 성질은 Table 3과 같다. 잔골재는 충북 청원군 부강산 강모래를 사용하였고, 굵은골재는 경기도 퇴촌산 20 mm 부순 굵은골재를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 Table 4와 같다. 또한, 혼화재료로 플라이애쉬는 분급 정제된 보령 화력산을 사용하였고, 고성능감수제는 국내산 J사의 폴리칼본산계를 사용하였는데, 혼화재료의

Table 3 Physical properties of cement

Specific gravity	Blaine (cm ² /g)	Soundness (%)	Setting time (min.)		Compressive strength (kgf/cm ²)		
			Initial	Final	3 days	7 days	28 days
3.15	3,522	0.16	209	353	214	305	392

Table 4 Physical properties of aggregates

Type of Aggregate	Specific gravity	Fineness modulus	Absorption ratio (%)	Unit weight (kg/m ³)
Fine agg.	2.57	2.7	1.83	1,470
Coarse agg.	2.63	6.9	1.2	1,526

물리적 성질은 Table 5, 6과 같다. 황구속재료로 메탈라스 (KS 규격품), 유리섬유(외단열공법 보강재) 및 탄소섬유 (구조물 보수·보강재)는 국내산이었는데, 메탈라스 종류 별 표준규격은 Table 7과 같고, 각 재료의 물리적 성질은 Table 8과 같다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬 믹서를 사용하여 Fig. 2의 순서에 따라 실시하였다.

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

압축강도시험용 공시체의 제작은 Photo 1과 같이 원주형 공시체안에 황구속재를 미리 제작하여 넣고 KS F

Table 5 Physical properties of fly ash

Specific gravity	Blaine (cm ² /g)	Ig. loss (%)	Ratio of comp. st. (%)	SiO ₂	Absorption (%)	Ratio of unit water (%)
2.2	3,850	4.2	92	67.5	0.2	100

Table 6 Physical properties of chemical admixture

Kind	Ingredient	Type	Color	Specific gravity (20°C)
AE agent	Sodium Lauryl Sulfate	Fluid	Yellow	1.17
Superplasticizer	Polycarbonic acid	Fluid	Dark brown	1.06

Table 7 Size of metal lath

Kind	SW (mm)	LW (mm)	T (mm)
M ₁	15	30	0.4
M ₂	6.6	13.3	0.6
M ₃	15	30	1.2
M ₄	24	48	1.6

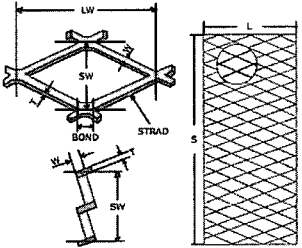


Table 8 Physical properties of material for lateral confinement

Kind	Tensile strength (kgf/cm ²)	Modulus of elasticity (×10 ⁶ kgf/cm ²)	Specific gravity
Metal lath	4,390	-	7.85
Glass fiber	34,800	0.86	2.53
Carbon fiber	38,000	2.45	1.80

2403에 의거 표준적인 방법으로 제작하였다. 이때 부착방법으로 메탈라스, 유리섬유의 겹침이음은 인장응력으로 간주하여 황구속재 두께의 40D로 하였고, 탄소섬유는 40D만큼 에폭시수지로 부착하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 압축강도시험은 하중재하 변위조절 방식의 200 tonf 용량의 만능시험기를 이용하여 KS F 2405 규정에 의거 측정하였고, 응력-변형도의 측정은 압축강도시험시 Photo 2와 같이 스트레인게이지와 로드셀을 이용하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

Table 9는 본 연구의 실험결과를 나타낸 것이다.

Fig. 3은 W/B 변화에 따른 굳지않은 콘크리트의 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량 및 단위용적중량을 나타낸 것이다.

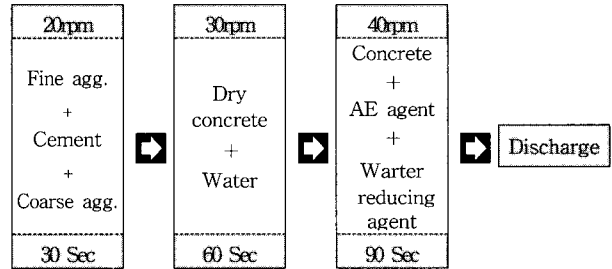


Fig. 2 Mixing procedure

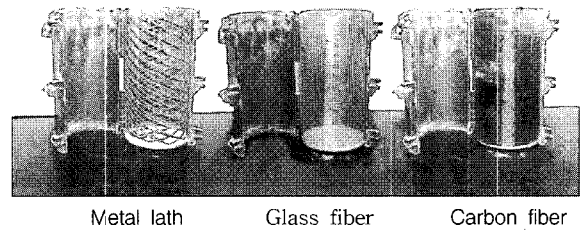


Photo 1 Kinds of lateral confinement material for making the specimens

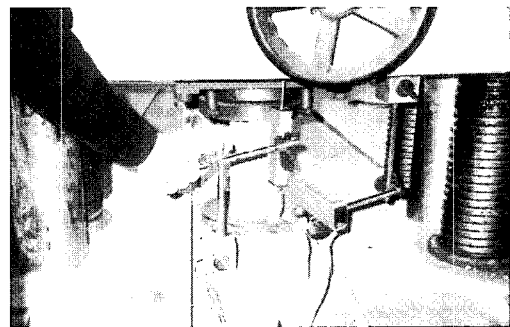


Photo 2 Measurement of strain-stress

Table 9 Results of experiment

과

Division		Fresh concrete				Hardened concrete			
W/B (%)	Lateral confinement	Slump (cm)	Slump flow (cm)	Air content (%)	Unit weight (kg/m ³)	Compressive strength* (kgf/cm ²)			Static modulus of elasticity* (×10 ⁵ kgf/cm ²)
						Ø10×20cm		Ø15×30cm	
						7days	28days	28days	
30	Plain	27.0	63.8	4.3	2,336	468	585	584	4.24
	M ₁					501	626	628	4.30
	M ₂					502	628	630	4.45
	M ₃					505	631	632	4.40
	M ₄					509	636	637	4.38
	Glass fiber					505	623	620	4.48
	Carbon fiber					498	631	655	4.50
40	Plain	26.0	58.8	5.4	2,280	280	384	382	2.70
	M ₁					285	395	393	2.68
	M ₂					287	403	405	2.75
	M ₃					290	407	409	2.80
	M ₄					292	414	412	2.85
	Glass fiber					295	408	408	2.88
	Carbon fiber					302	401	397	2.86

* Measurement values are average of three specimens.

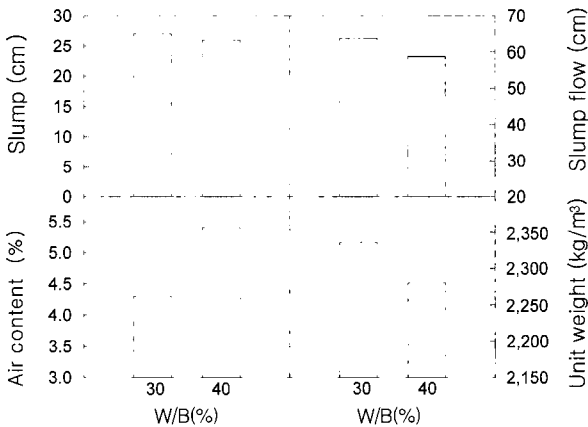


Fig. 3 Slump, slump flow, air content and unit weight with W/B

먼저, 본 연구는 배합설계를 실시한 것으로, 유동성은 슬럼프플로우 60±5 cm를 만족하였고, 공기량은 목표 공기량 4.5±1.5 %를 만족하였으며, 단위용적중량은 2,300 kg/m³ 전후로 나타났다.

3.2 경화 콘크리트의 특성

Fig. 4는 W/B별 황구속재 변화에 따른 Ø10×20 cm 공시체의 재령 7, 28일 및 Ø15×30 cm 공시체의 28일 압축강도를 나타낸 것이다.

먼저, W/B별 압축강도는 W/B가 작을수록, 재령이 경

할수록 증가하였고, 메탈라스, 유리섬유 및 탄소섬유의 황구속재 변화에 따른 압축강도는 플레인과 비교하여 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 Fig. 1과 같이 황구속재에 의한 황구속력의 증대에 기인한 것으로 분석된다.

또한, 황구속재 중 메탈라스의 경우는 두께가 두꺼울수록 플레인보다 압축강도가 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 메탈라스 두께가 두꺼울수록 콘크리트에 대한 황구속력이 증가함에 따른 것으로 사료된다.

Fig. 5는 Fig. 4를 W/B 30% 및 40%의 플레인 7일 및 28일의 압축강도를 100으로 한 것에 대하여 황구속재 변화에 따른 재령 7일 및 28일의 압축강도비를 나타낸 것이다.

먼저, W/B별 압축강도비는 메탈라스로 황구속한 경우 8%, 유리섬유 및 탄소섬유로 황구속한 경우 6% 전후로 플레인보다 증가하여 메탈라스가 유리섬유 및 탄소섬유보다 압축강도의 증진효과가 크게 나타났다. 또한, 메탈라스의 경우는 두께가 두꺼울수록 황보강 효과가 우수하여 M₄, M₃, M₂, M₁의 순으로 압축강도비가 크게 나타났으며, 시험체 크기별로는 Ø15×30 cm 공시체가 Ø10×20 cm보다 약간 큰 효과로 나타났다. 이는 일반적인 콘크리트인 경우, Ø15×30 cm 공시체가 Ø10×20 cm 공시체보다 결함분포확률 등의 원인인 Size효과로 작은 것과는 반대적인 경향으로, 즉 고성능 콘크리트에서 메탈라스 등으로 황보강한 경우 Ø15×30 cm와 같은 큰 단면에서 Ø10×20 cm 공시체에 비하여 파괴부분에서의 취약부분의 응력을 전체콘크리트에 골고루 분산시키는, 즉 황구속력의 많은 손실을 억제함에 기인한 것으로 사료된다. 따라서, 실무의

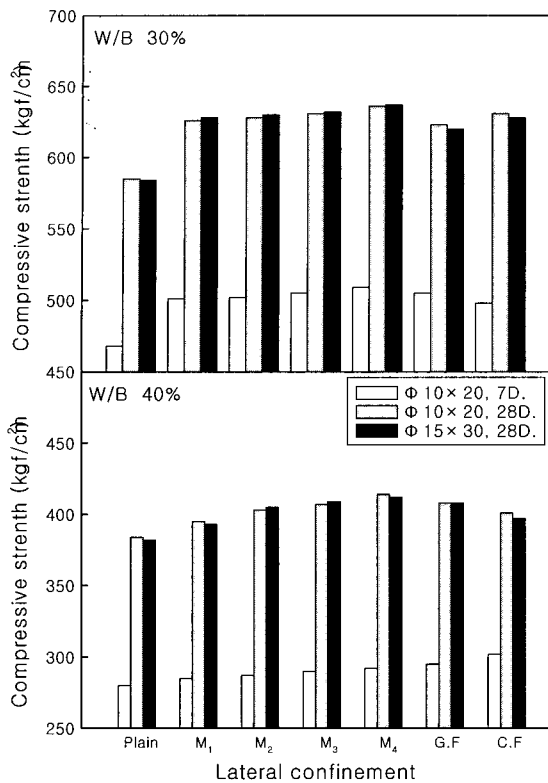


Fig. 4 Compressive strength with the lateral confinement material

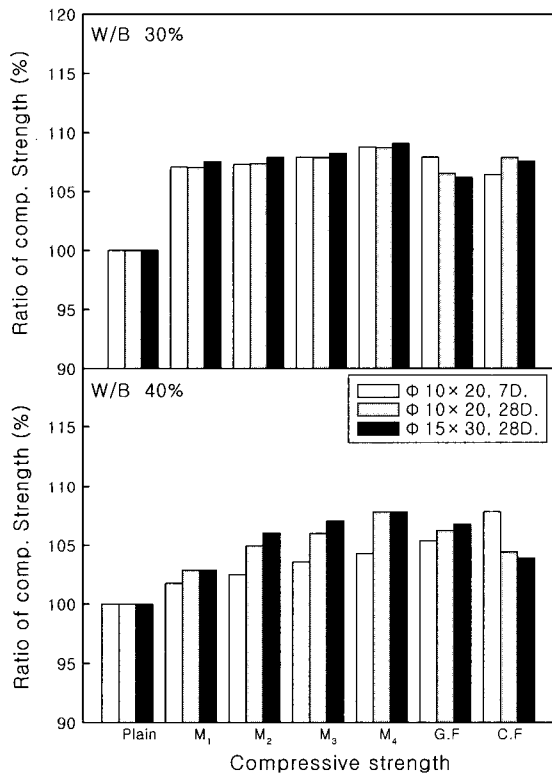


Fig. 5 Ratio of compressive strength with the lateral confinement material

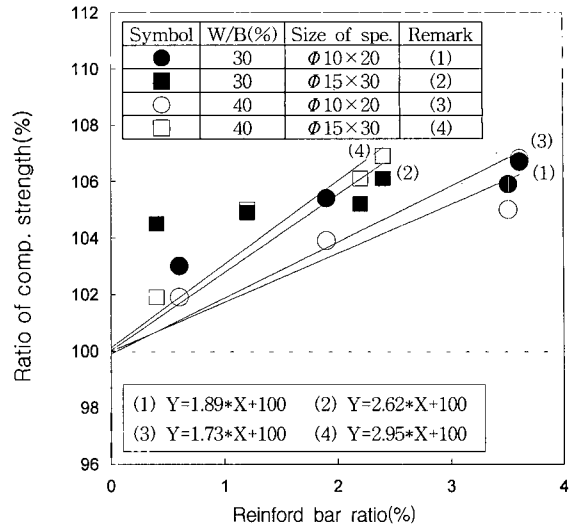


Fig. 6 Compressive strength ratio with the reinforced bar ratio

단면이 큰 기둥부재일 경우로 띠철근(Hoop)의 대응으로 메탈라스 등을 횡구속시켜 준다면 횡구속력에 의한 어느 정도의 강도증진 효과를 기대할 수 있을 것으로 분석된다.

Fig. 6은 W/B를 종합하여 보강철근비에 따른 28일 압축강도비를 회귀식으로 나타낸 것이다.

보강철근비가 증가할수록 압축강도비는 증가하는 것으로 나타났는데, 이때의 회귀식은 Fig. 6에 유도된 바와 같다.

Fig. 7은 W/B별 횡구속재 변화에 따른 응력-변형도 곡선을 나타낸 것이다.

먼저, W/B별 응력-변형도 곡선은 W/B 30%가 40%보다 최대응력도가 크고, 최대응력점의 변형량도 크게 나타났다.

또한, 횡구속재 변화에 따른 응력-변형도 곡선은 횡구속하지 않은 플레인의 경우 최대하중 이후 급격하게 취성적인 파괴로 나타난 반면, 메탈라스, 유리섬유 및 탄소섬유로 보강한 경우는 최대응력에 도달한 이후에도 파괴되지 않고 횡구속재의 횡구속력에 의한 인성증가로 최대하중 이후 어느 정도 변형율이 증가하였다. 특히, 메탈라스의 경우, 메탈라스 두께가 두꺼울수록 콘크리트와의 부착력에 의한 횡구속력 증가에 기인하여 변형율이 증가하는 것으로 나타났다. 단, M_4 는 M_3 에 비하여 최대하중 이후의 변형이 더 작게 나타났는데, 이는 메탈라스 M_4 의 눈금크기가 골재의 최대치수보다 크므로 인하여 골재가 메탈라스로 빠져나오는 횡구속력 손실에 기인한 것으로 분석되어, 횡구속력에 따른 인성증진에 메탈라스의 눈금크기도 신중하게 고려해야 함을 알 수 있었다. 또한, 횡구속재료별로는 메탈라스가 인성증대에 가장 유리하고, 탄소섬유, 유리섬유의 순이었다.

횡구속된 콘크리트의 탄성계수는 Fig. 8과 같이 플레인 과 비교하여 약간의 큰 값으로 압축강도 경향과 유사한 양상이었다.

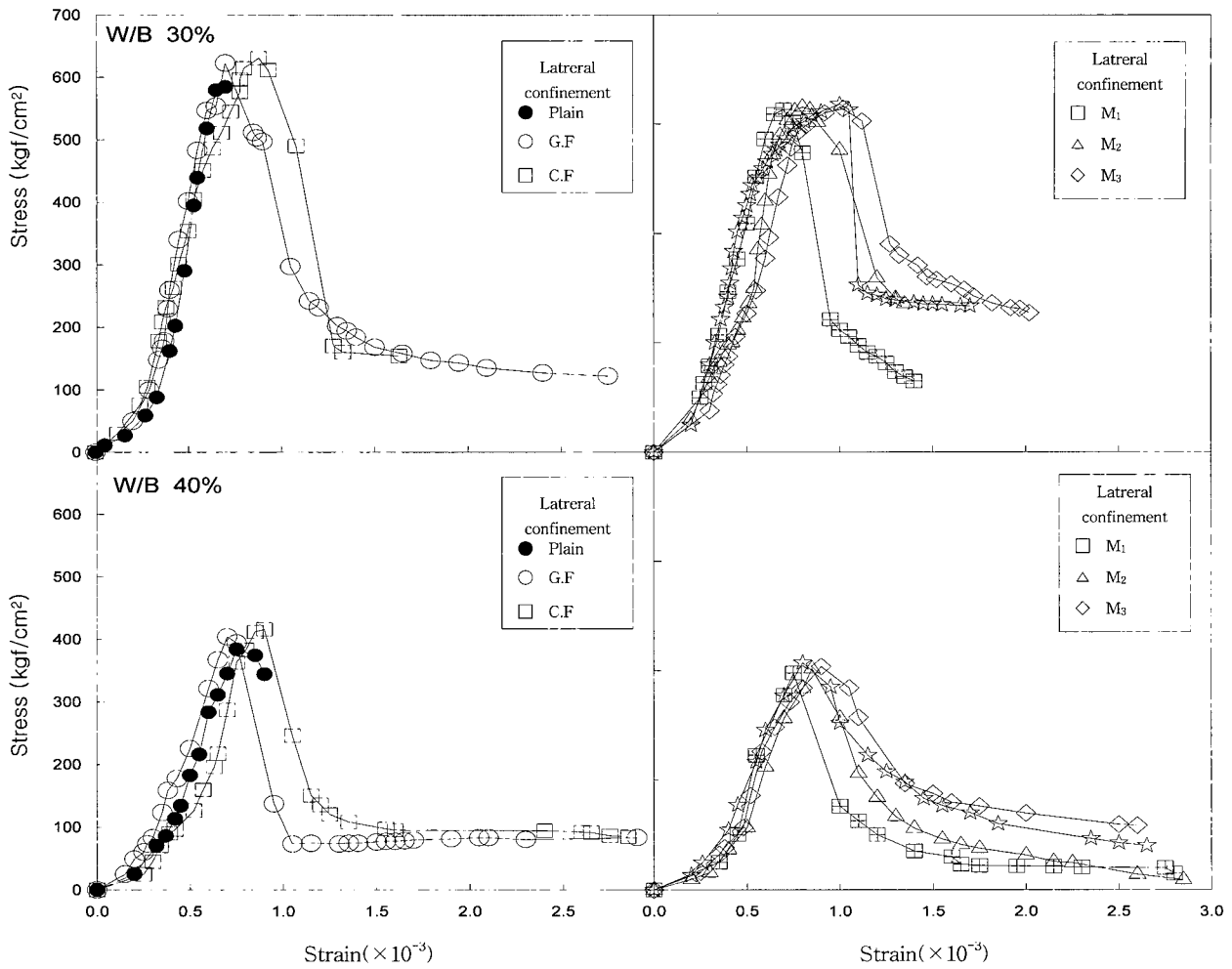


Fig. 7 Stress-strain curves with the lateral confinement material

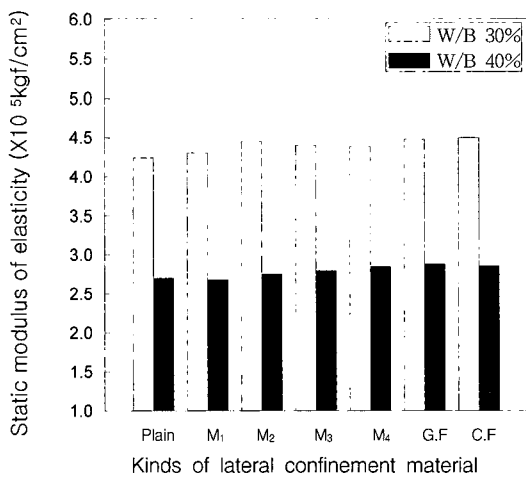


Fig. 8 Static modulus of elasticity with the lateral confinement material

4. 결 론

메탈라스, 유리섬유 및 탄소섬유로 황구속한 고성능 콘크리트의 압축강도, 응력-변형도 곡선 등 역학적 특성을 검토한 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) W/B별 황구속재 변화에 따른 고성능 콘크리트의 압축강도는 황구속재에 의한 황구속력 증대에 기인하여 증가하였는데, 재료별로는 메탈라스, 탄소섬유, 유리섬유의 순이었으며, 메탈라스는 두께가 두꺼울수록, 시험체 크기별로는 $\phi 15 \times 30$ cm 공시체가 $\phi 10 \times 20$ cm보다 약간 큰 효과로 나타났다.
- 2) 황구속재 변화에 따른 응력-변형도 곡선은 황보강하지 않은 플레인과 비교하여 최대응력에 도달한 후에도 어느 정도까지는 황구속에 의한 인성증가로 변형율이

증가하여 취성이 개량됨을 알 수 있었다. 황구속재 종류별로는 메탈라스에서, 특히 두께가 두꺼울수록 유리 하였으나, 단 굵은 골재의 최대치수보다 큰 M_4 는 M_3 보다 인성개량 효과가 저하하여 골재의 최대치수와 연 관한 눈금크기의 고려도 중요함을 알 수 있었다. 또한, 각종 황구속재로 보강된 콘크리트의 탄성계수는 보강 하지 않은 콘크리트와 비교하여 약간 큰 값으로 압축 강도의 경향과 비슷한 양상으로 나타났다.

- 3) 이상과 같은 실험결과에서 RC기둥과 같은 압축부재의 경우 띠철근의 대응으로 메탈라스를 활용하게 되면 고성능 콘크리트의 황구속에 따른 압축강도 향상효과와

아울러 어느 정도의 인성증진 효과를 기대할 수 있을 것으로 분석되었다.

참고문헌

1. 부척량, 김화중, 이상재, “탄소섬유보강콘크리트의 1축 압축재하시의 역학적특성에 관한 실험적 연구,” 한국콘크리트 학술발표회논문집, Vol.2, No.3, 1990, pp.55~64.
2. 정일영, “콘크리트의 황구속으로 인한 역학적 특성에 관한 연구,” 대한건축학회논문집, Vol.9, No.3, 1993, pp.133~138.

요 약

근년, 콘크리트구조물이 고층화, 대형화됨에 따라 고강도, 고유동, 고내구성인 고성능 콘크리트의 수요가 많아지고 있다. 이러한 고성능 콘크리트는 보통콘크리트에 비하여 압축강도가 크고, 시공성 및 내구성이 우수한 것이 장점이지만, 보통강도 콘크리트에 비하여 파괴형태가 취성적인 것이 단점으로 제시되고 있다. 따라서, 본 연구는 W/B 30% 및 40%에서 메탈라스, 유리섬유 및 탄소섬유로 황구속된 고성능 콘크리트의 역학적 특성을 분석하여 압축강도 및 인성개량방법을 제안하고자 하였다. 연구결과 압축강도는 황구속재의 황구속력의 증대에 기인하여 메탈라스, 탄소섬유 및 유리섬유의 순으로 증가하였다. 또한, 황구속재 변화에 따른 응력-변형도곡선에서 플레인의 경우는 최대하중 이후 취성파괴로 나타난 반면, 황구속된 경우로, 특히 메탈라스로 황구속하였을 때에는 인성증가로 변형율이 증가하여 어느 정도 취성이 개량됨을 알 수 있었다. 탄성계수는 보강하지 않은 콘크리트와 비교하여 약간 큰 값으로 압축강도의 경향과 비슷한 양상이었다.

핵심용어 : 고성능 콘크리트, 황구속재, 메탈라스, 유리섬유, 탄소섬유