

# 강섬유를 혼입한 HPC Pile의 역학적 특성에 관한 연구

## A Study on the Mechanical Properties of HPC Pile Using Steel Fiber

박승범\*      신동기\*\*      박병철\*\*\*      권혁준\*\*\*\*  
Park, Seung Bum      Shin, Dong Gi      Park, Byung Cheol      Kwon, Hyuk Joon

---

### Abstract

This study is aimed for manufacturing a High Performance Concrete(HPC) Pile as using steel fibers, investigation the mechanical properties of HPC Pile and proposition the potential application.

At this study, We found that mechanical properties(cracking moment and fracture moment) of Pretensioned spun High strength Concrete(PHC) Pile using steel fibers is much superior to without steel fibers.

Therefore, we think that using steel fibers in Concrete Pile is to progress flexural strength, energy absorption capacity and post-cracking resistance.

---

### 1. 서 론

국내의 급속한 산업발전과 함께 콘크리트 구조물도 대형화·고층화 및 복합화 됨으로써 일반 콘크리트뿐만 아니라 콘크리트 2차제품에서도 고성능·고품질화가 크게 요구되고 있다. 특히 국토개발계획에 따른 서해안 지역의 대규모 개발과 공공구조물의 대형화에 따른 대형 구조물의 기초용 PC Pile의 고강도화 및 고인성화에 의한 구조물의 안정성 확보 및 공용수명의 선진국 수준으로의 확보가 시급

---

\* 정회원, 충남대학교 토목공학과 교수  
\*\* 정회원, 동부건설(주) 기술연구소장  
\*\*\* 정회원, 한국원자력 안전기술원  
\*\*\*\* 정회원, 충남대학교 대학원 박사과정

한 당면과제로 대두되고 있다.

또한 최근 주변국가와 국내의 크고 작은 지진피해 사례보고에 의하면 우리나라도 지진에 대한 완전한 안전지대가 아님을 고려할 때 지진의 작용에 의한 고강도 PC 파일의 취성적 파괴가 일어나지 않도록 수평력, 균열저항 능력 및 에너지 흡수능력 등을 증대시킬 대책이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 고성능 PC 파일의 제조·개발 및 활용가능성을 제시하기 위한 연구로서 강섬유를 보강재로 사용한 압축강도 800kg/cm<sup>2</sup> 이상의 고성능 PC 파일을 제조하여 그 역학적 특성을 평가하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구에서는 강섬유를 혼입한 고성능 콘크리트 파일을 제조·개발을 목적으로 기초실험을 통하여 시제품을 제작해 압축강도 및 휨강도 시험을 실시하였으며, 강섬유의 혼입에 의한 콘크리트 파일의 역학적 특성을 고찰하기 위하여 동일배합에 강섬유 혼입률을 변화시켜 배합하였다.

### 2.2 사용재료

시멘트는 국내 T사의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 굵은골재는 No.67 쇄석골재를 사용하였으며, 잔골재는 화강암질 부순모래를 사용하였다. 또한 증기양생에 의한 고강도화를 위한 혼화제로 국내 T사의 시그마1000을 사용하였으며, 혼화제는 국내 Y사의 고성능감수제를 사용하였다. 한편, 보강용 섬유로서 B사의 양단 Hook형 Bundle Type의 치수  $\phi$ 0.5(직경)×30mm(길이)인 강섬유를 사용하였다. 본 실험에서 사용된 재료의 물리적, 역학적 성질은 각각 표 1, 2, 3, 4에 나타난 바와 같다.

표 1 시멘트의 물리적 성질

시멘트의 종류	비중	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	응결시간(min)		압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )		
			초결	종결	3일	7일	28일
보통포틀랜드 시멘트	3.14	3315	225	410	216	320	406

표 2 골재의 체가름분석결과 및 물리적 성질

구 분	체크기(mm)	중량통과백분율(%)								조립률	비 중	
		25	20	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3			0.15
잔 골 재	-	-	-	100	92.3	71.4	50.4	34.7	21.8	10.0	3.19	2.6
굵은골재	100	95.5	32.7	7.3	4.0	-	-	-	-	-	6.61	2.7

표 3 혼화제의 물리적 성질

비 중	pH	고형분(%)
1.2	9.4~9.5	41

표 4 강섬유의 화학적 성분 및 물리적 성질

구 분	C	Mn	P	S	인장강도 (kg/mm <sup>2</sup> )	탄성계수 (kg/cm <sup>2</sup> )	형 상
강섬유의 성질	0.08	0.35	0.035	0.035	약 110	2.1×106	

### 2.3 실험방법

#### (1) 배합 및 비빔방법

강섬유보강 고강도 콘크리트 파일의 배합은 현장의 골재상태를 고려하여 표 5와 같이 하였다. 재료의 투입은 먼저 잔골재와 굵은골재를 투입하여 혼합하며 강섬유를 투입하여 일정한 속도로 혼합한 후 시멘트, 물과 고유동화제를 투입하여 혼합하였다.

표 5 강섬유보강 고강도 콘크리트 파일의 배합표

W/(C+Σ) (%)	S/a (%)	S.F (vol.%)	Unit Weight (kg/m <sup>3</sup> )							H.W.R.A (C×%)	비 고
			C	Σ1000	W	S	G	S.F	S.P		
23	35	0	540	54	130.46	622.19	1188.1	0	9.45	1.75	
		0.5	540	54	130.55	613.15	1170.8	39.25	9.72	1.8	
		0.7	540	54	130.57	611.31	1167.3	54.95	10.26	1.9	

#### (2) 압축강도 및 휨강도 측정용 공시체의 제작

강섬유보강 고강도 콘크리트 Pile의 압축강도를 측정하기 위하여 강섬유혼입률 0, 0.5, 0.7 vol.%에 대하여 그림 1과 같이  $\phi 20 \times 30$ cm, 두께 4cm의 중공 원심공시체를 제작하였다. 또한 강섬유 보강 PHC 파일의 휨강도를 측정하기 위하여 그림 2와 같이  $\phi 350$ (바깥지름)×60(두께)×7000(길이)mm와  $\phi 350$ (바깥지름)×60(두께)×8000(길이)mm의 유효프리스트레스 40kg/cm<sup>2</sup>의 A종 PHC 파일을 제작하였다.

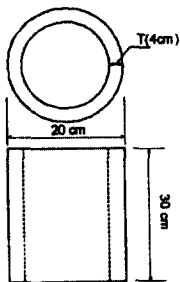


그림 1 압축강도 시험용 중공원심공시체의 모습

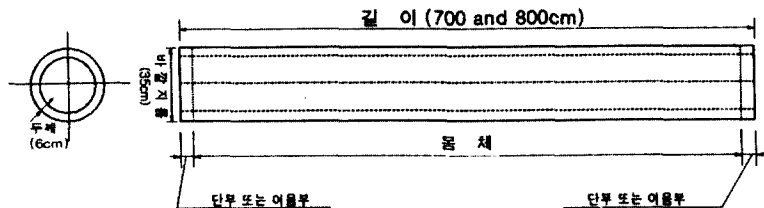


그림 2 휨강도 시험용 PHC Pile의 모습

(3) 원심조건 및 양생조건

중공 원심공시체 및 PHC 파일 제작시 사용된 원심조건은 기본실험을 통하여 현장에서 도출한 최적의 원심조건을 사용하였으며, 표 6에 나타낸 바와 같다.

표 6 강섬유보강 PHC 파일 제조시의 원심조건

원심조건 \ 구분	저 속	중 속	중 고속	고 속
원심력	2G	8G	22G	32G
R P M	150	300	500	600
시 간 (분)	4	1	1	4

원심 성형한 콘크리트 파일의 양생은 증기양생만을 실시하였으며, 증기양생의 조건은 KS F 4301 「원심력 철근 콘크리트 말뚝」에서 규정한 방법을 기준으로 하여 현장조건에 맞추어 콘크리트 타설후 전치시간을 2시간으로 하였고, 승온속도 20℃/h 이하로 80℃ 까지 승온하였으며, 최고온도 80℃에서 5시간 양생후 양생실 내부에서 냉각하였다.

표 7 강섬유보강 PHC 파일 제조시의 증기양생조건

구 분	전치양생	승 온	최고온도 유 지	냉각과정	총양생
시 간 (hr)	2	3 (매시 20℃ 이하 상승)	5 (최고 80℃)	2 이상	17

(4) 중공 원심공시체의 압축강도 및 PHC 파일의 휨강도 시험

(가) 중공 원심공시체의 압축강도 시험

강섬유보강 원심력 고강도 콘크리트의 압축강도 시험은 KS F 2454 『원심력으로 다져진 콘크리트의 압축강도 시험방법』에 준하여 UTM을 사용하여 각 재령별로 압축강도를 측정하였다.

(나) PHC 파일의 휨강도 시험

PHC 파일의 휨강도시험은 그림 3과 같이 KS F 4306 『프리텐션 방식 원심력 고강도 콘크리트 말뚝』에 준하여 파일 길이의 3/5을 지간으로 하여 지지하고, 지간의 중앙에 연직하중 P를 재하였다. 한편, 다음 식(1)에 따라 PHC 파일에 발생한 휨모멘트를 산정하였다.

$$M = \frac{1}{40} g_n mL + \left(\frac{P}{4}\right) \left(\frac{3}{5} L - 1\right) \quad (1)$$

- 여기에서 M : 휨모멘트 (tf · m)
- g<sub>n</sub> : 중력가속도 (1tf/t)
- m : 고강도 말뚝의 무게 (t)
- L : 고강도 말뚝의 길이 (m),
- P : 하중 (tf) {kN}

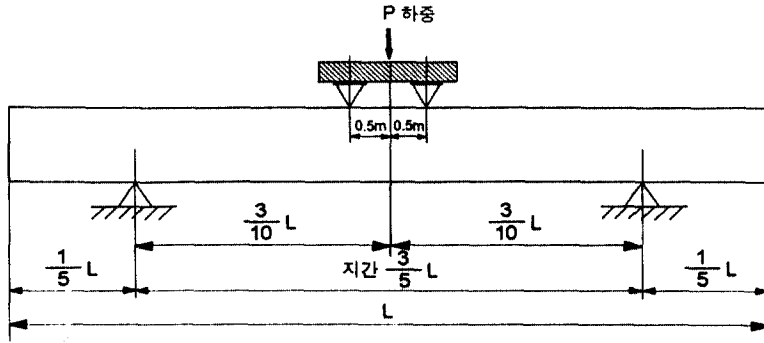


그림 3 PHC 파일의 휨강도 시험방법

이때 균열휨모멘트는 휨인장 균열이 발생하는 시점으로 하였으며, 파괴휨모멘트는 파일이 파괴될 때의 하중 P의 최대값에서 산출하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 성형성 및 작업성

강섬유를 혼입한 압축강도 시험용 중공 원심공시체와 휨강도 시험용 PHC 파일의 성형성은 모두 양호한 것으로 나타났으며, 강섬유 혼입률이 증가함에 따라 고성능감수제의 사용이 증가되어 시간의 경과에 따라 작업성이 약간 떨어지는 경향이 있으나, 작업성에 큰 문제는 발생하지 않았다.

#### 3.2 중공 원심공시체의 압축강도 시험결과

강섬유를 혼입한 중공 원심공시체( $\phi 20 \times 30$  두께 4cm)의 재령 1일, 3일 및 7일에 대한 압축강도 시험결과는 표 8에 나타낸 바와 같다.

압축강도 시험결과를 고찰하여 보면, 재령이 증가함에 따라 압축강도는 모두 증가하였으며, 재령 7일에서 강섬유를 혼입한 경우에 강섬유를 혼입하지 않은 경우와 같이 압축강도가  $800\text{kg/cm}^2$ 를 상회하는 것으로 나타나 KS F 4306「프리텐션 방식 원심력 고강도 콘크리트 말뚝」의 압축강도 기준을 만족하였다. 또한 강섬유를 혼입한 경우가 강섬유를 혼입하지 않은 경우에 비하여 압축강도가 약간 증가되는 것으로 나타났으나, 강섬유 혼입률의 증가에 의한 압축강도의 큰 차이는 발생하지 않아, 강섬유

표 8 압축강도 시험결과

강섬유 혼입률 (vol.%)	압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )		
	1일	3일	7일
0	747.6	769.3	824.1
0.5	769.9	782.8	858.0
0.7	758.2	806.5	849.8

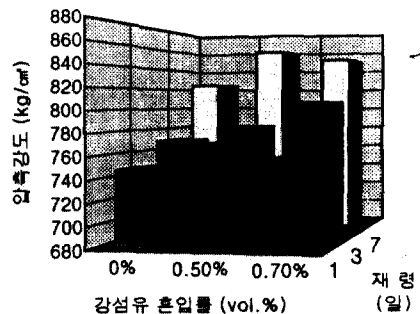


그림 4 강섬유 혼입률과 압축강도와의 관계

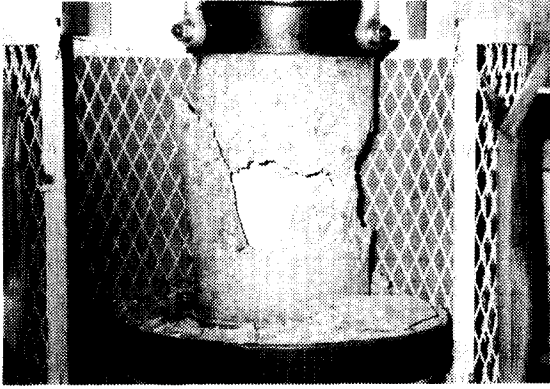


사진 1 압축강도 시험후의 공시체 파괴모습(강섬유 혼입률 0 vol.%)

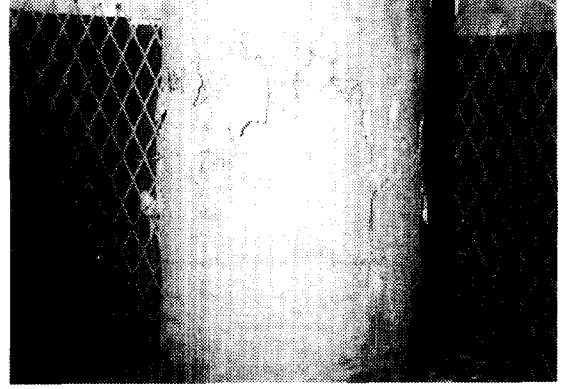


사진 2 압축강도 시험후의 공시체 파괴모습(강섬유 혼입률 0.5 vol.%)

의 혼입이 압축강도에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 판단된다.

또한 중공 원심공시체의 압축강도 시험후의 공시체 파괴양상을 고찰하면, 강섬유를 혼입하지 않은 공시체의 경우에는 급격한 취성파괴가 일어나 공시체가 완전히 파괴되었으나, 강섬유 혼입률이 높아질수록 공시체의 최초 파괴이후에도 어느 일정시간동안 원형을 유지하였으며, 급격한 파괴는 발생하지 않았다. 다음 사진 1, 2, 3은 공시체의 압축강도 시험후의 공시체의 파괴모습을 나타낸 그림이다.

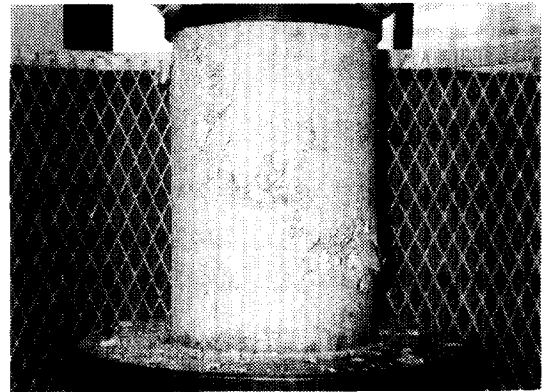


사진 3 압축강도 시험후의 공시체 파괴모습(강섬유 혼입률 0.7 vol.%)

표 9 PHC 파이프의 휨강도 시험결과

파일 종류	강섬유 혼입률 (vol.%)	재령 1일						재령 7일			
		균열휨모멘트 (t·m)			파괴휨모멘트 (t·m)			균열휨모멘트 (t·m)		파괴휨모멘트 (t·m)	
		측정값	허용 기준값	안전율	측정값	허용 기준값	안전율	측정값	안전율	측정값	안전율
PHC-A350-7	0	3.81 (100)	3.5	1.09	5.89 (100)	5.3	1.11	4.27 (100)	1.22	6.36 (100)	1.20
	0.5	4.34 (113.9)		1.24	6.62 (112.4)		1.25	4.80 (112.4)	1.37	7.26 (114.2)	1.37
	0.7	4.70 (123.4)		1.34	7.15 (121.4)		1.35	5.32 (124.6)	1.52	7.90 (124.2)	1.49
PHC-A350-8	0	3.82 (100)	3.5	1.09	5.93 (100)	5.3	1.12	4.22 (100)	1.21	6.31 (100)	1.19
	0.5	4.23 (110.7)		1.21	6.97 (117.5)		1.32	4.85 (114.9)	1.39	7.34 (116.3)	1.38
	0.7	4.74 (124.1)		1.35	7.35 (123.9)		1.39	5.30 (125.6)	1.51	7.85 (124.4)	1.48

### 3.3 PHC 파일의 휨강도 시험결과

강섬유 혼입률에 따른 PHC 파일( $\phi$ 350(바깥지름) $\times$ 60(두께) $\times$ 7000(길이)mm,  $\phi$ 350(바깥지름) $\times$ 60(두께) $\times$ 8000(길이)mm)에 대한 휨강도 시험 결과를 표 9에 나타내었다.

강섬유를 혼입한 PHC 파일의 휨강도 시험결과를 고찰하면, 강섬유를 0.5 vol.%와 0.7 vol.% 혼입한 PHC 파일의 균열휨모멘트는 강섬유를 혼입하지 않은 경우에 비하여 10.7~14.9%와 23.4~25.6% 증가하였으며, 파괴휨모멘트는 12.4~17.5%와 21.4~24.4% 증가하였다. 재령 1일에서는 허용균열휨모멘트에 비해서는 21~24%와 34~35% 증가하였으며, 허용파괴휨모멘트에 비해서는 25~32%와 35~39%가 증가하였다.

또한 PHC 파일의 재령이 증가함에 따라 파일의 휨강도가 증진되었으며, 재령7일에서 강섬유 혼입률 0.7 vol.%의 PHC 파일의 균열휨모멘트와 파괴휨모멘트가 허용기준값에 비해 약 50% 증가되었다. 이와 같은 시험결과로부터 콘크리트 파일에 강섬유를 혼입함으로써 휨에 의한 균열의 발생을 억제시키고 휨모멘트 및 인성의 증대 등 역학적 성능을 크게 증진시키는 것으로 나타났다.

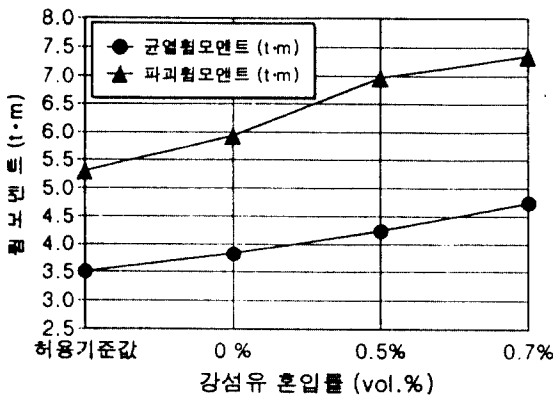


그림 5 강섬유 혼입률과 휨모멘트의 관계(재령1일)

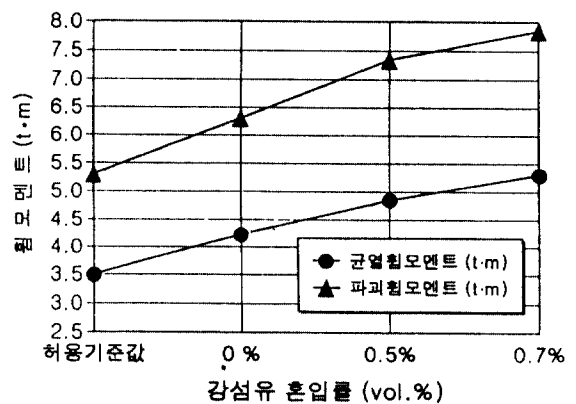


그림 6 강섬유 혼입률과 휨모멘트의 관계(재령7일)

## 4. 결 론

본 연구결과 고강도 콘크리트 파일에 대한 강섬유의 혼입은 파일의 휨균열발생을 억제하고 휨모멘트와 인성을 증진시켜 파일의 급격한 취성파괴를 억제시키는데 대단히 효과적인 것으로 나타났다. 따라서 본 연구결과를 바탕으로 강섬유를 사용한 고성능 콘크리트 2차제품의 개발 및 응용이 가능할 것으로 판단된다.

## 참고 문헌

1. JCI, "Method of Test for Flexural Strength and Flexural Toughness of Fiber Reinforced Concrete", Standard SF4, JCI Standards for Test Methods of Fiber Reinforced Concrete, 1983
2. ACI Pub. SP-105, "Fiber Reinforced Concrete Properties and Applications", 1987
3. Lankard, D. R., "Fibre Concrete Application", Fibre Reinforced Cement and Concrete, RILEM

Symposium 1975. The Construction Press. Ltd., pp.5-19, 1975

4. 龜田泰弘 外, "鋼纖維補強コンクリートの建築2次製品への應用", セメントコンクリート, No. 354, 1976
5. 小林一輔, "纖維補強コンクリート-特性と應用", オーム社, 1981
6. 慎谷榮次 他, "纖維補強コンクリート(FRC)技術資料集成", 情報開發, 1988
7. 小林一輔, 田澤榮一, "纖維補強コンクリート ポリマコンクリート", 山海堂, 1980
8. 한국공업규격, "프리텐션방식 원심력 고강도 콘크리트 말뚝", KS F 4306
9. 한국공업규격, "원심력으로 다져진 콘크리트의 압축강도 시험방법", KS F 2454
10. 한국콘크리트학회 編, "最新 콘크리트工學", 技文堂, 1992
11. 朴承範, "新編 土木材料學", 文運堂, 1995