

고강도 콘크리트의 섬유 혼입에 따른 크리프 특성 분석에 관한 연구

An Analytic Study on the Creep Properties for Fibers Mixed of High Strength Concrete

박 희 곤* 권 해 원** 이 보 형*** 배 연 기*** 이 재 삼***** 정 상 진*****
Park, Hee-Gon Kwon, Hae-Won Lee, Bo-Hyeong Bae, Yeoun-Ki Lee, Jae-Sam Jung, Sang-Jin

Abstract

In the recent years, the high strength concrete has increasingly been used according to extending market of tall buildings. However, Ministry of Land, transport and Maritime Affairs was established by law with an alternative plan after June 2008 because of the weakness of high strength concrete accompanied spalling phenomena in fire. The mix design of concrete has to properly meet standards which are the spalling resistance of concrete and limited temperature of steel reinforcement. The fire proof concrete mixed fiber has widely been used to meet spalling safety on the many construction sites, the most researches about the fire proof concrete mixed fiber had being carried out focused on fire resistance, compressive strength and cast in place of concrete. But the most important thing is column shortening used the fire proof concrete within the vertical members. In this paper, the fire proof concrete filled spalling safety standards was experimented by required material when the column shortening is revised between normal concrete and fire proof concrete mixed fiber and then the results have done a comparative analysis. Also, The paper aimed to indicate a basic data for revision of column shortening of fire proof concrete.

키 워 드 : 기동축소량, 압축크리프, 정탄성계수, 건조수축
Keywords : Column Shortening, Creep of Compression, Static Modulus of Elastic, Drying Shrinkage

1. 서 론

최근 사회적, 산업적인 수요에 따라 초고층 건축물의 수요가 증가하고 있으며, 국내에서도 주상복합을 중심으로 초고층 건축물 시대가 시작되었다. 이렇듯 초고층 건축물의 규모가 80층, 100층 이상의 매우 높은 건축물의 등장으로 인하여 구조체에 사용되는 재료의 고성능화가 불가피 해졌으며, 이로 인하여 콘크리트 또한 고강도화 되어 지고 있다.

현재 80층 규모의 초고층 건축물에는 기본적으로 60MPa급의 고강도 콘크리트를 사용하고 있으며, 100층 이상의 경우 80MPa 이상의 초고강도 콘크리트의 사용이 불가피 할 것으로 판단된다.

하지만 이러한 고강도 콘크리트 사용으로 인하여 발생될 수 있는 가장 큰 문제점은 화재로 인한 내화에 대한 문제가 심각한 문제로 대두되기도 하였다.

이러한 문제점에 대하여 2008년 7월 국토 해양부에서는 내화안정성 기준을 발표함으로써 50MPa이상의 고강도 콘크리트를 사용하는 모든 현장에서는 구조체의 내화안정성 인증을 받도록 기준을 제정하였다.

따라서 이러한 내화 안정성 기준을 만족하기 위해서는 내화 보드, 내화 모르타르 등의 여러 가지 방안을 제시하고 있지만 가장 많이 사용되고 있는 것은 콘크리트에 섬유를 혼입하여 폭열을 방지하면서 내화안정성 기준을 만족하도록 하는 방법이다.

하지만 이러한 섬유를 혼입한 구조체 콘크리트의 경우 내화에는 매우 유용하지만 기동축소량에서 유용하게 사용되는 크리프 특성에서 있어서는 어떠한 영향을 미치는지에 대해서는 연구된 바가 없다.

따라서 본 연구에서는 섬유를 혼입한 고강도 콘크리트의 기동축소량에 사용되는 재료시험을 통하여 크리프 특성을 분석하고, 이를 통하여 섬유를 혼입한 경우와 혼입하지 않은 경우의 크리프 특성을 비교함으로써 기동축소량에 미치는 영향을 사전에 검토하여 축소량 보정을 위한 기초자료로 제시하고자 하는데 목적이 있다.

* (주)렉스콘 연구개발팀, 선임연구원, 공학박사, 정회원
** (주)렉스콘 연구개발팀, 연구원, 정회원,
두산건설 해운대위브터제니스 현장기술담당
*** 두산건설(주) 기술연구소, 차장, 정회원
**** (주)렉스콘 연구개발팀, 차장, 정회원
***** (주)렉스콘 연구개발팀, 팀장, 정회원
***** 단국대학교 건축대학, 교수, 공학박사, 정회원

2. 실험개요

2.1 실험계획

본 실험에서는 50MPa이상의 고강도 콘크리트 2개 규격을 대상으로 기동축소량 보정을 위한 재료시험인 압축강도, 탄성계수, 건조수축, 비재하변형, 압축크리프 시험을 실시하였으며, 굳지않은 콘크리트 시험으로 공기량 및 슬럼프 플로 시험을 실시하였다.

2.2 사용재료

본 연구에 사용된 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트와 고로슬래그시멘트를 사용하였으며, 물리적 성질을 표 1, 2에 나타내었다. 보통포틀랜드 시멘트는 KS L ISO 679에 의거한 시험자료이다.

잔골재와 굵은골재는 강사와 부순모래를 5mm이하로 입도조정하여 혼합하여 사용하였으며, 굵은골재는 20mm이하를 사용하였다. 그 물리적 성질은 표 3에 제시하였다.

유기섬유는 2종류의 섬유를 사용하였으며 그 물리적 성질은 표 4와 같다.

표 1. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm ³)	분말도 (cm ³ /g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.14	3 561	0.15	180	360	30.0	44.7	55.7

표 2. 고로슬래그시멘트의 물리적성질

밀도 (g/cm ³)	분말도 (cm ³ /g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.05	4 053	0.03	280	470	17.2	28.1	44.1

표 3. 골재의 물리적 성질

구분	밀도 (g/cm ³)	조립률	흡수율 (%)	단위용적 질량 (kg/m ³)	0.08mm체 통과량(%)
잔골재(강사)	2.58	1.81	1.47	1.49	1.8
부순잔골재	2.65	3.98	1.68	1.64	2.7
굵은골재	2.65	6.36	0.94	1.54	0.6

표 4. 유기섬유의 물리적 성질

구분	길이 (mm)	직경 (mm)	밀도 (g/cm ³)	인장강도 (MPa)	융해점 (°C)
A섬유	19	0.04	0.91	560	160
B섬유	12	0.012	1.15	918	220

2.3 실험방법

굳지않은 콘크리트 시험으로 공기량, 슬럼프 플로를 실시하였으며, 경화 콘크리트 시험으로는 압축강도, 탄성계수, 길이변화 압축

크리프 및 비재하크리프 시험을 KS 규준에 의거하여 시험을 실시하였다.

압축강도 시험을 재령은 3, 7, 28, 91일 측정을 하였으며, 재령 7, 28, 91일에 정탄성계수를 측정하였다.

압축크리프, 비재하크리프, 길이변화 실험은 매립형 Strain Gage를 이용하여 시험체 제작 초기부터 데이터 로거를 사용하여 요구 재령까지 실시간으로 변형을 측정하였다.

실험 방법 및 규격을 표 5에 나타내었다.

표 5. 실험방법 및 규격

실험방법	규 격	비 고
공기량 슬럼프 플로	KS F 2421 KS F 2594	-
압축강도	KS F 2405	재령 3, 7, 28, 91일
탄성계수	KS F 2438	Strain Gage사용
길이변화	-	매립형 Strain Gage사용
압축크리프 비재하크리프	KS F 2453	부착형 Strain Gage사용

2.4 배합

본 실험에 사용한 배합은 목표강도는 내화안정성 기준에 명시되어 있는 50MPa 이상의 설계기준강도를 기준으로 W/B는 27~30%, W(단위수량) 165kg/m³, 결합재량은 500~600kg/m³으로 배합을 설정하였으며, 고로슬래그 시멘트는 30%치환하여 사용하였다.

섬유를 혼입한 고강도 콘크리트의 경우 섬유를 콘크리트 용적에 0.05%를 혼입하였다.

본 배합의 목표 공기량은 3.5±1.5%, 목표 플로는 600±100 mm으로 설정하여 시험을 실시하였다.

배합 범위 및 수준은 표 6에 나타내었다.

표 6. 배합 범위 및 수준

항 목	배 합 범 위	수 준	기 타
물결합재비 (W/B)	27~30%	* 배 합 : 4개(2종강도, 섬유혼입 유무)	* 목표강도 50MPa이상
단위수량 (W)	165kg/m ³		
단위결합재량 (B)	500~600kg/m ³	* 재 령 : 3, 7, 28, 91일	
섬유혼입량	콘크리트 부피×0.05%		

3. 실험결과 및 고찰

섬유를 혼입한 콘크리트의 경우 Fiber의 이니셜을 붙여 F50, F60으로 명기 하였으며, 섬유를 혼입하지 않은 콘크리트의 경우 Plain의 이니셜 P를 붙여 P50, P60으로 구분하였다.

3.1 물리·역학적 성질

1) 공기량 및 슬럼프 플로

공기량 및 슬럼프 플로 시험 결과를 그림 1에 나타내었다. 시험 결과 목표 공기량 및 슬럼프 플로를 모두 만족하는 것으로 나타났다. 슬럼프 플로의 경우 섬유를 혼입한 콘크리트가 다소 높은 플로치를 나타내고 있다. 이는 섬유 혼입으로 인하여 압축성에 영향성을 고려하여 기준 시험체 보다 다소 높은 플로가 나타나도록 배합을 실시하였다. 하지만 목표 값내에서 모두 만족하고 있어 균질성은 콘크리트 시험에 있어서는 문제가 없을 것으로 판단된다.

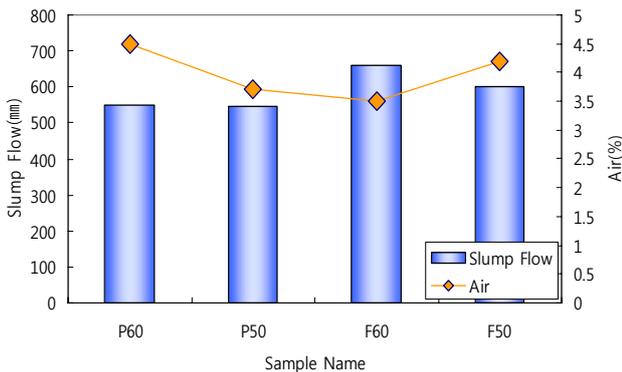


그림 1. 공기량 및 슬럼프 플로 시험결과

2) 압축강도

압축강도 시험 결과 재령 7일에 목표 강도를 모두 만족하고 있으며, 섬유를 혼입한 고강도 콘크리트가 섬유를 혼입하지 않은 콘크리트에 비하여 약 10%정도 높은 강도 값을 나타내고 있었다. 이러한 결과로 보아 콘크리트에 섬유를 혼입하였다 하더라도 강도상에 문제는 없을 것으로 판단된다.

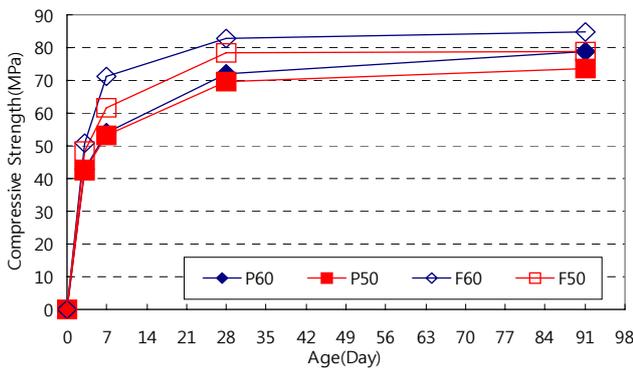


그림 2. 압축강도 시험결과

3) 응력변형 곡선 및 탄성계수

응력변형 곡선 및 탄성계수 시험결과를 그림 3, 4, 5에 제시하였으며, 콘크리트 구조설계 2007과 ACI-363R에서 제시한 탄성계수식과의 비교 값을 표 7에 나타내었다.

응력변형곡선에 있어서 섬유 혼입과 무혼입에 있어서 유사한 기울기 값을 보이고 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 섬유 혼입, 무혼입 모두 응력은 유사하나 변형률에 있어서 섬유를 혼입한 경우가 다소 크게 나타나고 있어 섬유를 혼입한 고강도 콘크리트가 변형능력이 다소 우수한 것으로 사료된다.

탄성계수에 있어서 섬유를 혼입한 콘크리트가 섬유를 혼입하지 않은 콘크리트에 비하여 약 15%정도 높게 나타났다. 이는 섬유와 콘크리트 내부의 계면에서의 섬유의 완충작용으로 인한 결과로 판단된다. 따라서 이러한 탄성계수와 변형률의 결과로 미루어 보아 압축크리프의 탄성변형 부분에 있어서 섬유를 혼입한 콘크리트가 혼입하지 않은 콘크리트에 비하여 변형이 다소 크게 나타날 것으로 사료된다.

측정 탄성계수와 2007 콘크리트 구조설계기준 및 ACI 기준에 따라 산정하여 분석한 결과 고강도 콘크리트에서는 콘크리트 구조설계기준이 ACI기준 식보다 더욱 유사한 결과값을 나타내고 있음을 알 수 있었다. 따라서 탄성계수에 있어서는 ACI 보다는 콘크리트 구조설계기준을 사용하는 것이 다소 정확한 자료를 취득할 수 있을 것으로 사료된다.

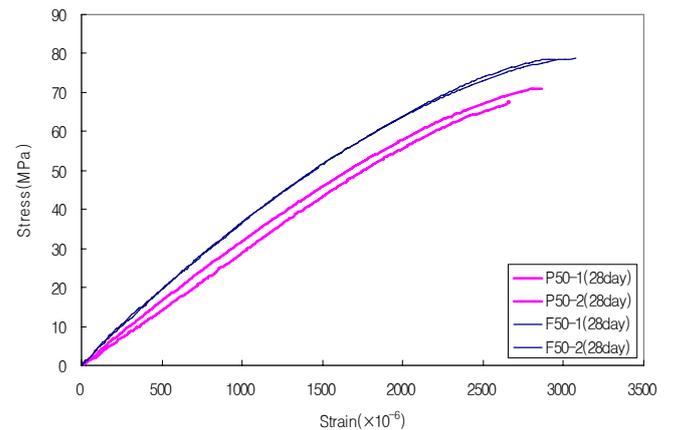


그림 3. 응력변형 곡선(재령28일-P50)

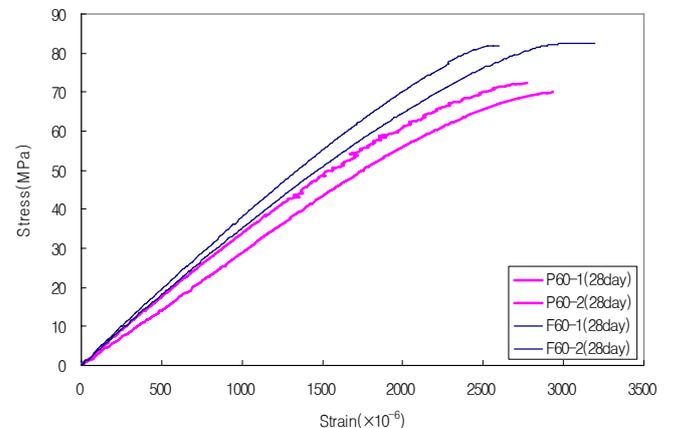


그림 4. 응력변형 곡선 (재령28일-P60)

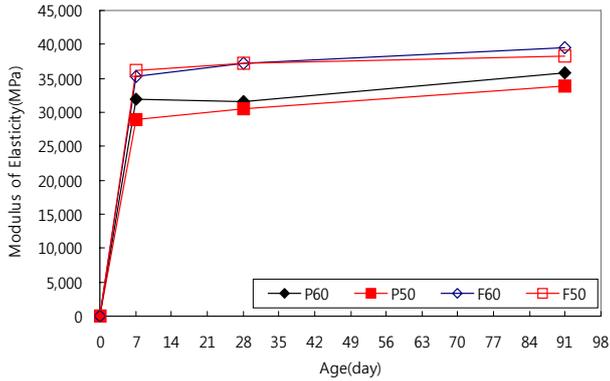


그림 5. 탄성계수 시험결과

표 7. 규준별 탄성계수

시 료 번호	재령 (day)	측정평균 탄성계수 (MPa)	콘크리트구조 설계기준 (2007)		ACI-363R		
			MPa	%	psi	MPa	%
P60	7	31,868	32,127	99.1*	3,505,557	24,646	129.3**
	28	31,612	35,328	89.5*	4,042,243	28,419	111.2**
	91	35,785	36,410	98.3*	4,229,329	29,735	120.3**
P50	7	28,955	31,948	90.6*	3,476,221	24,440	118.4**
	28	30,528	34,947	87.4*	3,976,972	27,960	109.1**
	91	33,844	35,589	95.0*	4,087,034	28,734	117.7**
F60	7	35,348	35,229	100.3*	4,025,318	28,300	124.9**
	28	37,213	37,062	100.4*	4,343,476	30,537	121.8**
	91	39,479	37,358	105.7*	4,395,558	30,903	127.7**
F50	7	36,147	33,551	107.7*	3,741,086	26,302	137.4**
	28	37,247	36,395	102.3*	4,226,638	29,716	125.3**
	91	38,321	36,456	105.1*	4,237,392	29,791	128.6**

*는 시험값/콘크리트표준치×100의 백분율로 표시한 것임
 **는 시험값/ACI-363R×100의 백분율로 표시한 것임

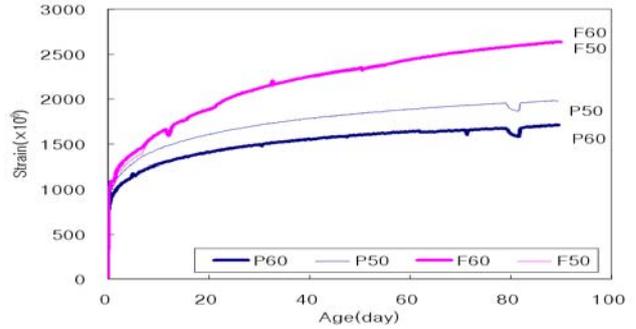


그림 7. 압축크리프 시험결과

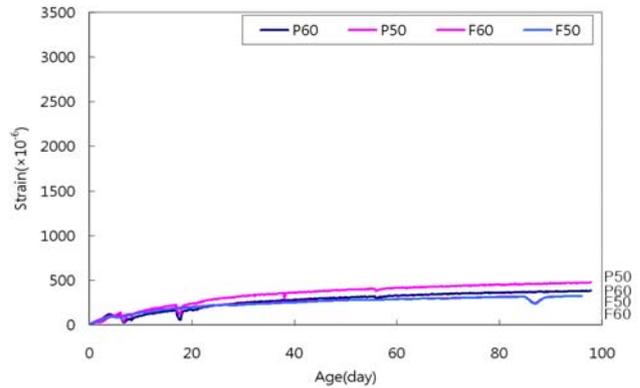


그림 8. 비재하 변형성 시험결과

3.2 기동축소량 특성 분석

1) 건조수축

건조수축시험결과를 그림 6에 나타내었다. 시험결과 그래프상으로는 섬유를 혼입한 고강도 콘크리트가 다소 높게 나타나고 있지만 게이시상의 문제로 인하여 이러한 결과가 나타나는 것으로 판단된다. 실제적으로 편차가 발생되었던 점들을 고려한다면 기준 시험체가 섬유를 혼입한 시험체에 비하여 다소 높거나 유사한 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다. 따라서 섬유를 혼입한 콘크리트의 경우 혼입하지 않은 콘크리트에 비하여 건조수축에 있어서는 다소 유리하게 작용할 수 있을 것으로 판단된다.

2) 압축크리프

압축 크리프 시험결과 초기 탄성변형에 있어서는 섬유를 혼입한 콘크리트가 혼입하지 않은 콘크리트에 비하여 다소 크게 나타나고 있었으며, 장기로 갈수록 그 변형의 차이는 더욱 커지는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 섬유조직 부근의 조직이 콘크리트와의 계면에서 잔류변형이 발생하여 변형이 크게 나타나는 것으로 사료된다. 시험결과를 그림 7에 제시하였다.

3) 비재하 변형

비재하 변형성 시험결과를 그림 8에 제시하였다. 비재하 시험체의 경우 섬유를 혼입한 콘크리트가 혼입하지 않은 콘크리트에 비하여 변형이 작게 나타났다. 이는 건조수축과의 관계에 있어서 다소 유사하게 작용되는 것으로 판단된다.

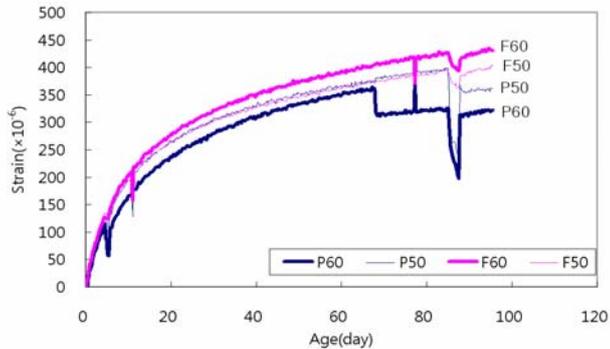


그림 6. 건조수축 시험결과

4) 특정크리프 분석

특정 크리프에 대하여 PCA규준의 범위와 비교·분석한 결과 표 8과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

분석결과 섬유를 혼입하지 않은 콘크리트의 특정크리프는 섬유를 혼입한 콘크리트에 비하여 낮은 값을 나타내고 있었다. 이러한 결과로 미루어 보아 섬유를 혼입한 콘크리트의 경우 기동축소량 보정에 있어서 섬유를 혼입하지 않은 콘크리트에 비하여 다소 보정량이 증가하는 것으로 분석 되었다. 따라서 섬유를 혼입한 고강도 콘크리트 사용시 이러한 문제점을 사전에 파악하여 세심한 관리가 필요할 것으로 판단된다.

표 8. 특정 크리프 비교·분석

시료명		특정크리프(시험값) μ in/in/psi	PCA(3/ft'-5/ft') μ in/in/psi
섬유무혼입	P60	0.352	0.288 ~ 0.480
	P50	0.363	0.298 ~ 0.496
	P40	0.375	0.307 ~ 0.512
폴리론섬유 혼입	F60	0.586	0.249 ~ 0.416
	F50	0.634	0.263 ~ 0.439
	F40	0.677	0.291 ~ 0.485

참 고 문 헌

1. 최신콘크리트공학, 한국콘크리트학회, 2001
2. 2007콘크리트 구조설계기준, 한국콘크리트 학회, 2007
3. 高強度コンクリート施工指針(案)同解説, 日本建築學會, 2005
4. Prediction of Creep, Shrinkage and Temperature Effects in Concrete Structures, ACI Committee 209, 1997

4. 결 론

섬유 혼입 유무에 따른 고강도 콘크리트의 기동축소량 재료시험에 따른 결과를 종합한 결과 다음과 같다.

- 1) 굳지않은 콘크리트에 있어서 목표값을 모두 만족하여 문제가 없는 것으로 사료되며, 압축강도에 있어서는 섬유를 혼입한 콘크리트가 다소 높은 강도를 나타내고 있어 섬유를 혼입하여도 강도상의 문제는 없는 것으로 판단된다.
- 2) 탄성계수에 있어서 섬유를 혼입한 콘크리트가 높은 값을 나타냈으며, ACI규준식 보다는 2007콘크리트 구조설계 기준식이 측정값과 다소 유사한 값을 나타내고 있어 계산식을 사용함에 있어서는 2007콘크리트 구조설계 기준식에 준하는 것이 바람직 할 것으로 사료된다.
- 3) 섬유를 혼입한 고강도 콘크리트의 경우 혼입하지 않은 시료보다 건조수축과 비재하 변형은 작게 나타났으며, 압축 크리프의 경우 다소 높게 나타나고 있어, 순수 크리프에 있어서도 섬유를 혼입한 시료가 변형이 큰 것으로 나타났다.

본 연구를 수행을 위하여 도움을 주신 두산건설(주) 해운대 워브더제니스 현장 및 미래ISE(주) 관계자 분들께 감사드립니다.