

섬유를 혼입한 지하층 누름콘크리트의 균열저감을 위한 연구

김대건¹, 박현정², 이동운^{3*}

¹삼성제일모직 건설사업부, ²신라대학교 건축학부, ³동서대학교 건축토목공학부

A Study on Crack Reduction of Covering Concrete with Fibers in Basement

Dae-Geon Kim¹, Hyun-Jung Park², Dong-Un Lee^{3*}

¹Division of Architecture, Cheil Industries,

²Division of Architecture, Silla University,

³Division of Architecture & Civil Engineering, Dongseo University

요약 본 연구에서는 섬유를 혼입한 지하층 누름콘크리트의 균열 저감 특성에 관하여 분석되었다. 섬유의 최적 혼입량과 종류를 알아보기 위해 공기량, 슬럼프, 압축강도, 인장강도 및 소성수축시험을 실시하였다. 공기량 시험결과, 섬유를 혼입한 시편들이 플레인에 비하여 높은 공기량이 나타났다. 그리고 유동성 측정결과, 섬유를 혼입한 시편들이 플레인에 비하여 40-80%낮은 슬럼프를 나타냈다. 강도 특성에서는 섬유를 혼입한 시편들이 무근콘크리트에 비하여 높은 압축 및 인장강도를 나타냈다. 소성수축 시험결과 섬유를 혼입한 시편들이 플레인에 비하여 균열발생이 감소하였으며, 특히 NY섬유를 혼입한 시편의 경우에는 균열이 발생하지 않았다. 결과적으로 NY섬유를 0.6% 혼입하였을 때 누름 콘크리트에 최적의 특성을 나타내는 것을 알 수 있었다.

Abstract The purpose of this study is to estimate crack reduction properties of covering concrete with fibers in basement. Air contents, slump, compressive strength, tensile strength and plastic shrinkage has been tested to conduct the optimum addition ratio and type of fiber. The results is a following. For the properties of air contents, all of the specimens added fibers shown the higher than plain concrete. For the flowability, slump decreased about 40-80% when all of the specimens added fibers. For the strength properties, the specimens added nylon fiber shown higher compressive and tensile strength about 5-15% comparing with other concrete. For the plastic shrinkage, cracking decreased when the fiber added comparing with plain concrete. Especially, when nylon fiber added in the concrete, the plastic shrinkage did not occurred. For the overall consideration, when the addition ratio of nylon fiber is 0.6%, the press concrete is identified as showed optimum properties.

Key Words : Press Concrete, Nylon Fiber, Slump, Compressive Strength, Plastic Shrinkage

1. 서론

1.1 연구 계획 및 목적

콘크리트의 균열은 크게 구조적인 균열과 비구조적 균열로 분류할 수 있다. 구조적인 균열은 여러 가지가 있으나 크게 건조수축과 크리프(Creep)로 인한 균열과 철

근부식에 의한 균열 등이 있다. 그리고 비구조적인 균열의 경우 콘크리트 타설 직후 경화초기에 발생하는 소성수축을 들 수 있다.

소성수축 균열은 콘크리트 표면에 발생하는 비구조적인 균열로 타설 후 초기에 발생하여 내구성 저하와 콘크리트 구조물의 미관을 저하하는 문제점이 발생하게 된다.

*Corresponding Author : Dong-Un Lee(Dongseo Univ.)

Tel: +82-51-320-1931 email: ldu21@gdsu.dongseo.ac.kr

Received August 22, 2014

Revised (1st December 11, 2014, 2nd December 23, 2014)

Accepted January 8, 2015

이러한 균열이 발생하는 이유는 외기온도, 상대습도, 풍속과 같은 환경조건 및 콘크리트의 내부온도, 블리딩 특성 등이 있다. 특히 소성수축현상은 건조되지 않은 내부 콘크리트의 구속력에 의해 표면에 인장응력이 발생하게 되고 콘크리트의 초기인장 강도를 초과하게 될 경우에는 균열이 표면에 크게 발생된다.

특히 공동주택이나 대규모건물의 주차장 및 옥상층 바닥에 최종적으로 타설되는 누름콘크리트의 경우 타설 직후 넓은 면적이 외기에 노출되어 소성수축에 매우 취약한 조건이 발생된다. 또한 현재 타설되고 있는 누름콘크리트의 경우 거의 대부분의 현장에서 25-18-150을 사용하기 때문에 이러한 소성수축이 발생할 경우 응력을 제어하기에는 매우 불리한 조건을 가지고 있다. 따라서 소성수축이 발생하여 균열이 다수발생 되어 마감재손상 및 하부 누수 등의 2차 하자가 연속적으로 나타나고 있는 실정이다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 와이어 메쉬를 바닥 콘크리트 타설 전에 설치하여 균열을 저감시키는 방법을 사용하여 왔다. 그러나 와이어 메쉬를 적정위치에 설치하기에는 작업상 어려움이 있으며, 콘크리트 타설시 작업자에 의해 파손되는 등 시공상의 문제로 그 효과는 미미한 것으로 보고되고 있다.

이에 소성수축균열을 제어하기 위한 다른 방법은 섬유를 사용하여 콘크리트를 보강하는 방법이다. 각종 섬유와 시멘트 페이스트 및 골재가 혼합된 섬유보강 콘크리트 (Fiber reinforced concrete, FRC)는 콘크리트의 낮은 인장강도 및 취성과파괴 특성의 개선과 건조수축을 포함한 각종 균열을 방지하기 위하여 국내·외적으로 많은 연구들이 진행되고 있다. 섬유보강 공법은 기존의 메탈라스 사용에 비해 시공성 및 경제성 측면에서 우수하여 과거는 물론 현재에도 수많은 연구가 진행되고 있으나, 지금까지 사용됐던 섬유들은 콘크리트 매트릭스 내에서 시멘트 페이스트와의 부착력이 부족하여 섬유보강재의 구조적 역할을 감당하지 못하는 단점이 있었다. 그리고 콘크리트 비빔시 섬유 뭉침 현상으로 인한 유동성 저하 및 표면 마감 시 섬유 노출로 인한 마감성능저하 등 여러 가지 해결해야 할 문제점이 남아 있어 지속적인 연구와 개발이 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 지하주차장에 타설되는 누름콘크리트에 각종 섬유를 혼입하여 기초적 특성을 분석하고, 압축강도, 인장강도 및 소성수축균열발생 유무를 통해

누름 콘크리트에 혼입시에 최적의 섬유 종류 및 적정 혼입율을 도출하고자 한다.

1.2 연구 계획 및 목적

본 연구에서는 무기섬유와 유기섬유중 시공성 및 경제성 등을 고려하여 유기섬유 중에서 셀룰로오스 슈퍼콘셀 섬유(이하 CL-S), 울트라 섬유(이하 CL-U), 폴리프로필렌섬유(이하 PP), 폴리비닐알콜섬유(이하 PVA), 나일론섬유(이하 NY)를 선별하여 섬유종류 및 혼입율 변화에 따라 실험을 진행하였다.

실험측정 항목은 굳지 않은 콘크리트는 공기량, 슬럼프, 단위용적질량을 측정하는 것으로 실험계획을 하였고, 경화 콘크리트의 경우 압축강도, 인장강도 및 소성수축 균열 발생 유무를 대상으로 실험을 진행하였는데, 그 방법은 KS 규격에 준하여 실시하였다.

2. 실험계획

2.1 배합설계 및 평가항목

본 연구에서의 배합설계는 Table 1과 같으며 실험 인자 및 평가항목은 Table 2와 같다.

[Table 1] Experiment factor and assessment

Experiment Factor and Standard	W/B Ratio	0.55
	Slump(mm)	180±25
	Air Contents(%)	4.5±1.5
	Fiber Tyoe	PP ¹⁾ , PVA ²⁾ , NY ³⁾ , CL-S ⁴⁾ , CL-U ⁵⁾
	Fiber Content Amount (%)	0.6, 1.2
Assessment	Air Content(Min)	Initial, 30, 60
	Slump (Min)	Initial
	Plastic Shrinkage (Day)	7
	Compressiv Strength (Day)	3, 7, 28
	Tensile Strength (Day)	28

1) PP: Polypropylene

2) PVA: Polyvinyl Alcohol

3) NY: Nylon

4) CL-S: Cellulose Super Cone Cell

5) CL-U: Cellulose Ultra Fiber

배합설계의 경우 현장에서 가장 많이 사용되는 배합으로 계획하였으며, 결합재비는(이하 W/B) 0.55로 설정하였다. 그리고 섬유를 혼입하지 않은 것을 Plain 배합으로 하였으며, 목표 슬럼프는 180 ± 25 mm이고 목표 공기량 4.5 ± 1.5 %로 계획 하였다. 섬유 혼입율은 결합재에 대하여 0.6 %, 1.2 %로 설정하여 혼입하였으며 섬유의 종류는 폴리프로필렌(이하 PP), 폴리비닐알코올(이하 PVA), 나일론(이하 NY), 셀룰로오스 슈퍼 콘셀(이하 CL-S)등을 사용하였다.

[Table 2] Mixing Design

Type	Specific Weight(kg/m ³)				
	Water	Cement	Sand	Gravel	Admixture
25-18-150	180	328	940	805	1.46

2.2 실험재료

2.2.1 시멘트

본 실험에서 사용한 시멘트는 S사에서 제조된 국내산 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였으며 시멘트의 화학적 성분과 물리적 성질은 아래의 Table 3에 자세히 나타내었다.

[Table 3] Chemical and Physical composition of Cement

Type	Type I Portland Cement				
Fineness(cm ² /g)	3.266				
Density(cm ² /g)	3.15				
Chemical composition (%)	SiO ₂	20.71	Compound composition (%)	C ₃ S	48.20
	Al ₂ O ₃	5.56		C ₂ S	23.00
	Fe ₂ O ₃	3.03		C ₃ A	9.60
	CaO	62.25			
	MgO	3.40		C ₄ AF	9.20
	SO ₃	2.50			
L.OI	1.42				

2.2.2 골재

굵은골재는 25mm 이하의 쇄석을 사용하였고, 잔골재는 5mm 이하의 강모래를 사용하였으며, 입도는 굵은골재와 잔골재 모두 표준입도분포곡선 안에 들도록 조정하여 사용하였다. 골재의 물리적 특성은 Table 4에 나타내었다.

[Table 4] Chemical and Physical Composition of Aggregate

Type	Coarse Aggregate	Fine Aggregate
Maximum size of aggregate (mm)	25	5
Fineness Modulus	6.8	2.85
Specific Gravity (g/cm ³)	2.57	2.57
Absorption(%)	1.32	2.33
Bulk Density of Aggregate (kg/m ³)	1,700	1,750

2.2.3 혼화제

본 연구에 사용된 감수제의 경우 고성능 감수제로서 물리적 특성은 Table 5와 같다.

[Table 5] Physical properties of Superplasticizer

Main component	Type	Color	Density	Chloride	Toxicity
Polycarbon	Liquid	light brown	1.18 ±0.05	X	X

2.2.4 섬유

본 실험에서 사용한 섬유는 CL-S섬유, CL-U섬유, PP 섬유, PVA섬유, NY섬유로서 각 섬유의 물리적 특성은 Table 6과 같다.

[Table 6] Physical Composition of Fiber

	Type				
	CL-S	CL-U	PP	PVA	NY
Fiber Diameter (mm)	0.015	0.016	0.07	0.010	0.023
Density(cm ² /g)	1.5	1.10	0.9	1.26	1.16
Fiber Length (mm)	2.92	5	19	10	6, 9, 12
Melting Point(°C)	270	230	162	220	225
Tensile Strength(MPa)	510	700	560	1000	896
Modulus of Elasticity (GPa)	6.1	8.5	3.5	15	5.17



[Fig. 1] Images of Fiber

2.3 실험방법

2.3.1 콘크리트 혼합 및 공시체 제작 방법

콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 혼합을 실시하였다. 강제식 팬타입 믹서에 시멘트, 골재 및 혼화재를 투입한 다음 섬유를 분산이 잘 되도록 손으로 골고루 뿌려준 후 건비빔을 30초간 저속(20 rpm)으로 실시하였다. 그리고 건비빔 후 물을 넣고 60초간 중속(30 rpm)으로 비빈 후, 고성능 감수제를 첨가하여 고속(40 rpm)으로 90초간 다시 비빔 하여 혼합을 완료하였다. 압축 및 인장강도시험을 실시하기 위해 공시체는 KS F 2403 규정에 의거 Ø100×200 mm의 원주형 공시체를 제작하였고, 양생은 각 실험요인에 따라 계획된 재령별로 실시하였다.

2.3.2 슬럼프 및 공기량 시험

굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 측정시험은 KS F 2402 “포틀랜드시멘트 콘크리트의 슬럼프 시험방법”에 따라 슬럼프를 측정하였다. 그리고 굳지 않은 콘크리트의 공기량측정은 KS F 2421의 규정에 따라 측정하였다.

2.3.3 압축강도 및 인장강도

경화된 콘크리트의 역학적 특성을 파악하기 위하여

압축강도는 KS F 2405 “콘크리트의 압축강도 시험방법” 규정에 따라 측정하였으며, 인장강도는 KS F 2423에 의거하여 실시하였다.

2.3.4 소성수축 실험

콘크리트의 소성수축 실험은 60mm × 60mm × 50mm의 아크릴판을 제작하여 중심부에 원형 구속점을 만든 후 실험을 진행하였다. Fig. 2는 소성수축발생유무를 측정하기 위해 아크릴판에 콘크리트를 타설한 모습이다.



[Fig. 2] Test of Plastic Shrinkage

3. 실험결과

3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

3.3.1 공기량 시험

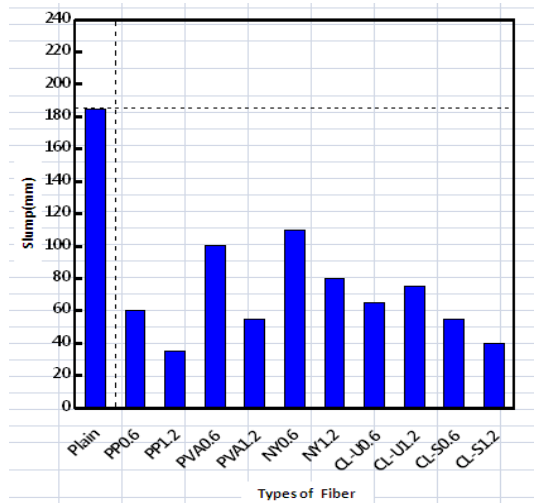
Table 7은 섬유 종류변화와 혼입율에 따른 공기량 측정결과를 나타내었다. 섬유의 종류와 혼입율에 관계없이 전체적으로 Plain에 비하여 높은 값을 나타내었으며 목표공기량 4.5±1.5 %를 만족하였다. Plain의 경우 배합즉시 공기량 측정결과 3.8%로 나타났으며 60분이 경과한 시점에도 3.4%로 공기량 변화도 크지 않게 나타난 것을 알 수 있었다. 섬유를 혼입한 시편의 경우 전체적으로 Plain에 비하여 공기량은 증가하였으나 섬유의 혼입량이 1.2%일 때는 공기량의 감소가 나타났다. 이는 섬유보강재를 일정부분 혼입하였을 때 섬유와 시멘트 페이스트의 부착표면에 미세공극이 증가하였기 때문에 0.6%까지는 공기량이 증가하였으며 그 이상의 경우에는 그 효과가 미비하기 때문에 공기량이 다소 감소된 것으로 사료된다.

[Table 7] Results of Air Contents Test

Type	Air Contents(%)		
	Initial	30min	60min
Plain	3.8	3.5	3.4
CL-S0.6	4.2	3.8	3.5
CL-S1.2	3.9	3.5	3.4
CL-U0.6	4.4	4.0	4.0
CL-U1.2	4.3	4.0	3.9
PP0.6	4.4	4.4	4.0
PP1.2	4.3	4.2	3.8
PVA0.6	4.3	3.8	3.5
PVA1.2	4.1	3.6	3.3
NY0.6	4.2	3.6	3.6
NY1.2	4.0	3.4	3.4

3.3.2 슬럼프 시험

그림 Fig. 3는 섬유종류 및 혼입을 변화에 따른 슬럼프를 나타내었다. Plain의 경우 185 mm로 목표 범위 180±25 mm를 만족하였지만 섬유를 혼입한 시편의 경우 전반적으로 섬유 혼입에 따라 슬럼프가 크게 감소하는 경향을 나타내었으며 목표공기량을 만족하지 못하였다.



[Fig. 3] Slump Test Results of Fiber Types

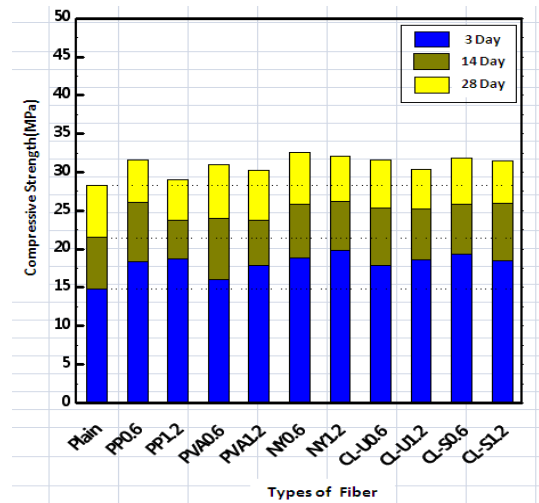
이러한 현상은 섬유의 가교작용으로 시료 서로간의 네트워크 형성이 치밀해져 나타난 결과 및 섬유 자체의 흡수율로 인해 배합 시 수분을 흡수함으로써 저하하는 복합작용 효과로 판단된다. NY섬유의 경우 친수성을 갖

는 특성으로 인해 슬럼프 저하가 비교적 크지 않은 것으로 나타났지만 Plain에 비하여 매우 낮은 Slump를 나타내었다. 특히 CL-S 섬유는 섬유 자체의 높은 흡수율로 인해 슬럼프 저하가 크게 나타난 것으로 판단된다. 따라서 섬유를 혼입하였을 때 목표 슬럼프를 만족하기 위해서는 배합 시 고성능 감수제의 혼입량을 증가시켜야 될 것으로 사료된다.

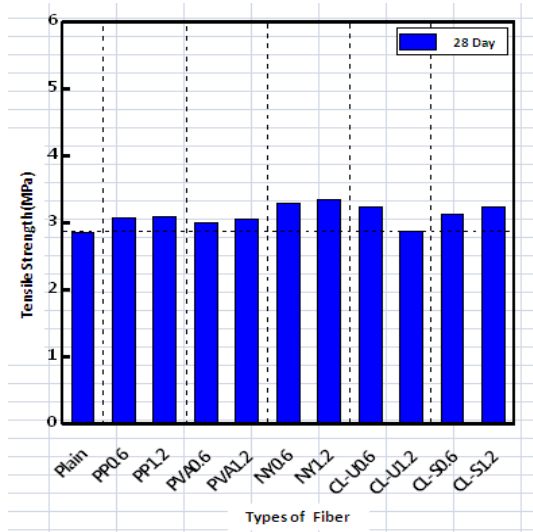
3.2 경화콘크리트의 특성

3.2.1 압축강도 및 인장강도

Fig. 4 및 Fig. 5는 섬유종류 및 혼입을 변화에 따른 제령별 압축강도 및 인장강도를 나타낸 그래프이다. 전반적으로 압축강도는 Plain에 비해 증가하는 결과를 나타냈는데, 그중 NY섬유에서 가장 높은 강도를 나타내었다. 이는 NY섬유의 높은 친수성에 기인하여 시멘트 매트릭스와 결합력이 높아진 것과 섬유의 흡수에 따른 W/C 저하에 기인하여 나타난 결과로 판단된다. 또한, 이와 같은 이유로 콘크리트의 인장강도 역시 비슷한 경향을 나타내었다.



[Fig. 4] Compressive Strength of Fiber Types

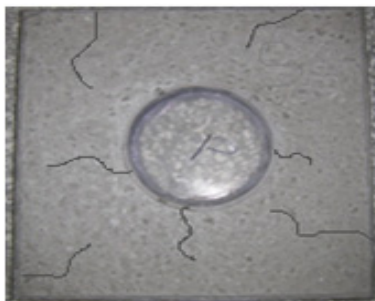


[Fig. 5] Tensile Strength of Fiber Types

3.2.2 각 시편별 소성수축시험 결과

1) Plain

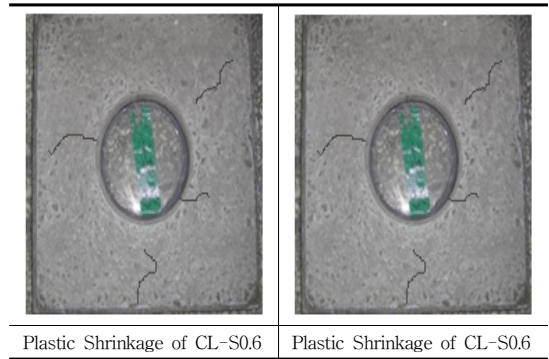
Fig. 6은 Plain 배합의 소성수축균열을 나타낸 사진이다. 소성수축균열은 광범위한 면적에 타설 할 경우 심하게 발생하게 되는데, 본 실험의 경우는 60 cm × 60 cm × 5 cm의 아크릴판을 제작하여 실험을 진행하였기 때문에 균열이 크게 발생하지 않았지만 섬유를 혼입한 배합에 비하여 소성수축균열이 많이 발생한 것을 알 수 있다. 이는 섬유를 혼입한 콘크리트에 비해 결합제간의 결합력이 저하되는 이유로 판단되어 진다.



[Fig. 6] Plastic Shrinkage of Plain

2) CL-S섬유

Fig. 7은 CL-S 0.6 % 및 CL-S 1.2 %의 소성수축균열을 측정하는 사진이다. 섬유를 혼입하지 않은 Plain에 비하여 소성수축균열은 감소하는 것으로 나타났으나, 타 섬유를 혼입한 시편에 비하여 균열은 많이 발생한 것으로 나타났었다. 이는 CL-S섬유의 특성상 콘크리트 배합 시 분산성이 타 섬유에 비하여 저조하기 때문에 이러한 결과가 나타난 것으로 판단된다.

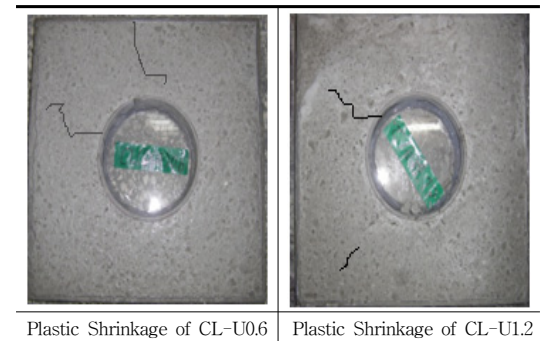


Plastic Shrinkage of CL-S0.6 Plastic Shrinkage of CL-S0.6

[Fig. 7] Plastic Shrinkage of CL-S

3) CL-U섬유

Fig. 8은 CL-U 0.6 % 및 CL-U 1.2 %의 소성수축균열을 측정하는 사진이다. CL-U 섬유를 사용한 경우 CL-S 섬유를 혼입한 콘크리트에 비해 소성수축균열이 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 친수성인 CL-U섬유의 경우 CL-S와 비교하였을 때 분산성이 좋기 때문에 매트릭스 내 결합제간의 결합력을 증대시킨 이유로 이러한 결과가 나타난 것으로 판단된다.



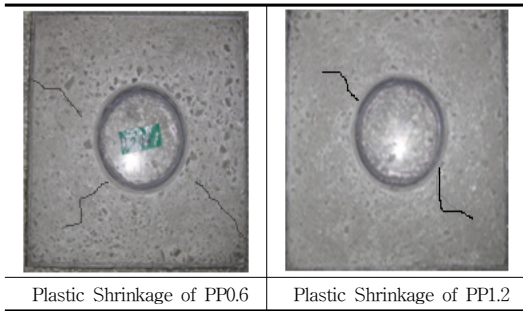
Plastic Shrinkage of CL-U0.6 Plastic Shrinkage of CL-U1.2

[Fig. 8] Plastic Shrinkage of CL-U

4) PP섬유

Fig. 9는 PP 0.6 % 및 PP 1.2 %의 소성수축균열을 측정하는 사진이다. Plain에 비해 소성수축균열은 크게 저감된 것을 알 수 있었으며, 혼입율 0.6 %에 비해 1.2 %에서

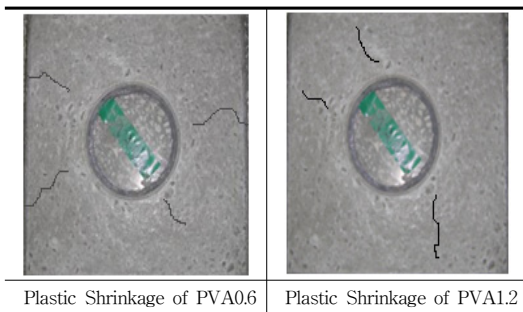
효과가 우수한 것을 알 수 있었다. 그리고 CL-S와 균열 저감효과는 비슷한 것으로 나타났다.



[Fig. 9] Plastic Shrinkage of PP

5) PVA섬유

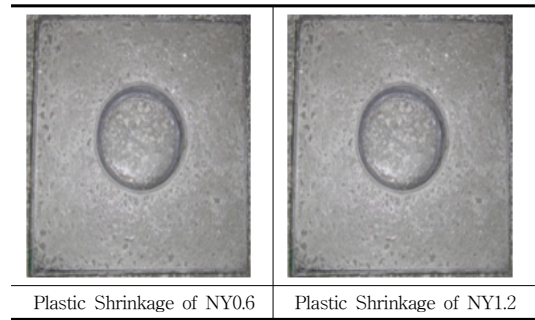
Fig. 10은 PVA 0.6 % 및 PVA 1.2 %의 소성수축균열을 측정된 사진이다. PP섬유와 매우 비슷한 경향을 나타내었는데 Plain에 비해 소성수축균열은 크게 저감된 것을 알 수 있었으며, 혼입율 0.6 %에 비해 1.2 %에서 효과가 우수한 것을 알 수 있었다.



[Fig. 10] Plastic Shrinkage of PVA

5) NY섬유

Fig. 11은 NY 0.6 % 및 NY 1.2 %의 소성수축균열을 측정된 사진이다. Plain와 다른 섬유를 혼입한 배합과 비교하였을 때 소성수축균열은 전혀 발생하지 않는 것으로 나타났다. 이는 NY섬유의 경우 부착력 및 균열저감 효과가 타 섬유에 비하여 매우 우수한 특성을 지니고 있기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 표면마감에서도 헤어노출이 없었으며, 혼입율 0.6 %에서도 콘크리트의 소성수축균열이 전혀 발생되지 않아 소성수축균열을 억제하는 효과가 가장 큰 것으로 나타났다.



[Fig. 11] Plastic Shrinkage of NY

4. 결론

본 연구에서는 지하층 누름콘크리트의 배합에 있어 섬유 종류 및 혼입을 변화에 따른 소성수축저감 효과를 알아보고자 공기량, 슬럼프, 압축 및 인장강도, 소성수축 균열발생 시험을 진행하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 공기량 시험결과 섬유의 종류에 관계없이 전체적으로 공기량은 전체적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 섬유보강재를 일정부분 혼입하였을 때 섬유와 시멘트 페이스트의 부착표면에 미세공극이 증가하였기 때문인 것으로 판단된다.
- 2) 슬럼프 시험결과 전반적으로 섬유종류에 관계없이 혼입율이 증가 할수록 감소하는 것으로 나타났는데 이는 섬유에 의해 시멘트 매트릭스의 부착력과 점착력이 증가하기 때문인 것으로 사료된다.
- 3) 압축강도의 경우 섬유 혼입율 1.2%였을 때 섬유 혼입율이 0.6%일 때보다 전반적으로 강도가 다소 감소하는 경향이 나타났고, 인장강도의 경우 무근 콘크리트에 비해 강도가 증가하지만 큰 차이는 나타나지 않는 것으로 나타났다. 그리고 섬유의 혼입량이 동일할 때 나일론섬유를 사용한 배합이 다른 배합에 비해 약 5~15 % 정도 우수한 강도 발현율을 나타내었다.
- 4) 소성수축균열의 발생유무는 Plain 및 여타배합에서 미소하게 발생하였지만 이중 나일론 섬유 0.6% 사용 시 소성수축균열이 방지되는 것으로 나타났다. 이상의 실험결과를 종합하면, 유동성, 압축강도 및 소성수축균열 발생 유무를 검토한 결과 나일론 섬유가 혼입된 배합이 가장 우수한 것으로 나타났는데, 소성수축

균열발생이 억제된 범위에서 나일론 섬유를 0.6 % 혼입 시 1.2 %를 혼입한 경우에 비해 유동성은 증가하고, 압축 강도 발현을 측면에서도 큰 차이가 없어 나일론0.6 %가 콘크리트의 내구성, 품질향상 및 소성수축균열 저감을 위한 최적의 섬유 및 혼입율로 나타났다.

References

- [1] Won, JP, Park, CG, and Ahn, TS, "Experimental Study for Plastic Shrinkage Cracking of Cellulose Fiber Reinforced Concrete," Korea Concrete Institute Fall Conference, Vol.02, No.2, pp.12-19, 1998.
- [2] Oh, BH, Lee, HJ, and Kang, YJ, "Strength and Mechanical Characteristics of Fiber-Reinforced Concrete," Journal of the Korean Society of Civil Engineering, Vol.19, No.3, pp.49-56, 1989.
- [3] Benter, A. and Mindess, S, "Fiber Reinforced Cementitious Composites," Elsevier Science, London, 1990.
- [4] Betterman, LR, Ouyang, CS, and Shah, P, "Fiber Matrix interaction in Micro Fiber-reinforced Mortar," Advanced Cement Based Materials, Vol.2, No.2, pp.53-61, 1995.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/1065-7355\(95\)90025-X](http://dx.doi.org/10.1016/1065-7355(95)90025-X)
- [5] Lawer, JS, Zampini, D, and Shah, SP, "Permeability of Cracked Hybrid Fiber-reinforced under Load," American Concrete Institute (ACI) Materials Journal, Vol.99, No.4, pp.15-23, 2000.
- [6] Banthia and Nandakumar, N, "Crack Growth Resistance Hybrid Fiber-reinforced Cement Composites," Cement Concrete Comp, Vol.25, No.1, pp.3-9, 2003.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0958-9465\(01\)00043-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0958-9465(01)00043-9)

김 대 건(Dae-Geon Kim)

[정회원]



- 2004년 2월 : 부산대학교 일반대학원 건축공학과 (공학석사)
- 2013년 2월 : 부산대학교 일반대학원 건축공학과 (공학박사)
- 2003년 12월 ~ 2012년 7월 : 풍림산업(주) 기술연구소 과장
- 2012년 8월 ~ 2013년 9월 : 포스코A&C 기술연구소 과장
- 2013년 10월 ~ 현재 : 삼성제일모직(주) 건설사업부 책임

<관심분야>

건축재료, 건축시공

박 현 정(Hyun-Jung Park)

[정회원]



- 1995년 2월 : 부산대학교 일반대학원 건축공학과 (공학석사)
- 2001년 2월 : 부산대학교 일반대학원 건축공학과 (공학박사)
- 2001년 5월 ~ 2003년 2월 : (주) 유진구조 이사
- 2003년 3월 ~ 현재 : 신라대학교 건축학부 교수

<관심분야>

건축재료, 건축시공

이 동 운(Dong-Un Lee)

[정회원]



- 1996년 2월 : 부산대학교 일반대학원 건축공학과 (공학석사)
- 2002년 2월 : 부산대학교 일반대학원 건축공학과 (공학박사)
- 2001년 1월 ~ 2005년 1월 : (주) 본구조 엔지니어링 이사
- 2006년 3월 ~ 현재 : 동서대학교 건축공학과 교수

<관심분야>

건축재료, 건축시공