J Rec Const Resources 7(3)210-215(2019)
https://doi.org/10.14190/JRCR.2019.7.3.210

Print ISSN : 2288-3320
Online ISSN : 2288-369X

슬러리형 셀룰로오즈 파이버를 혼입한 시멘트 모르타르의 강도 특성
Strength Properties of Cement Mortar with Slurry-Typed Cellulous Fiber

류화성[1] · 신상헌[2] · 권성준[3*]
Hwa-Sung Ryu[1] · Sang-Heon Shin[2] · Seung-Jun Kwon[3*]

(Received June 11, 2019 / Revised July 1, 2019 / Accepted July 2, 2019)

Concrete members with wide surface area are vulnerable to cracking due to material behavior such as hydration heat and drying shrinkage. Recently many researches have been performed on improvement of strength and cracking resistance through fiber reinforcement, which are mainly focused on enhancement of tensile strength against cracking due to material behavior. In this paper, CFs(Cellulous Fibers) are manufactured for slurry type, and the engineering properties in cement mortar incorporated with CFs are evaluated for flow-ability, compressive, and flexural strength. Through SEM analysis, a pull-off characteristics of CF in matrix are analyzed. With CF addition of 0.5kg/m^3~1.0kg/m^3, flexural strength is much improved and enough toughness of pull-off is also observed unlike plastic fiber containing smooth surface.

키워드 : 셀룰로오즈 섬유, 시멘트 모르타르, 균열, 휨강도, SEM
Keywords : Celluose fiber, Cement mortar, Crack, Flexural strength, SEM

1. 서 론

콘크리트는 초기 수화반응을 거치면서 다양한 재료적 거동을 가지게 되며, 구속 작용에 따라 균열이 발생하게 된다. 압축강도가 인장강도에 비하여 8~10배 수준으로 크기 때문에, 균열저항성은 주로 작용하는 인장응력과 콘크리트가 가지는 인장강도의 비교로 평가된다(Song et al. 2001; Kim et al. 2010). 콘크리트 재료거동에 기반한 균열발생기구로는 수화열과 건조수축을 들 수 있다. 수화열의 경우 체적 팽창 이후 지반 구속 또는 콘크리트 구체의 내·외부 온도 변화에 따라 균열이 발생하게 되므로 발열량이 낮은 시멘트 또는 타설 높이의 감소를 통하여 제어할 수 있다(ACI 2002; Xiao and Li 2008; Jansen et al. 2011). 건조수축의 경우 외부의 습도차이에 따른 수분이동과 이에 따른 수축이 주된 원인이다. 외부로부터 수분이동이 없는 상태라 하더라도 단위 결합재량이 많은 배합에서는 자기수축이 지배적이게 되어 균열의 위험성이 존재하며, 외부 하중과의 조합을 통하여 균열이 더욱 빠르게 발생하기도 한다(Ulm et al. 2001; Yoo et al. 2012). 비표면적이 큰 구조체에서는 소성수축균열(Plastic Shrinkage)이 발생하는데, 현재로서는 비표면적, 풍속, 노출환경 등이 영향인자로 고려될 뿐 명확한 균열 예측기법은 없는 상태이다(Uno 1998; Naaman et al. 2005).

초기재령에서의 인장강도 개선을 위하여 많은 연구가 진행되고 있는데, 그 중 섬유재를 활용한 균열저항성 개선은 효과적인 균열저항성 개선기법이 될 수 있다. 1960대 이후부터 사용된 강섬유 콘크리트는 직경 2~3mm 의 강섬유를 체적비 1~2% 수준으로 혼입함으로서 강도 및 부착력을 개선한 콘크리트이다(ACI 1999, Cho et al. 2012). 이외에도 PVA(Poly Vinyl Alcohol) 섬유, PP(Poly Propylene) 섬유 등을 혼입한 콘크리트 등이 개발되었는데, 친수성을 가진 재료로서 콘크리트의 강도 개선 등에 효과적으로 사용되었으며, 폭렬방지, 내부수화(Internal Curing) 등에도 효과적인 재료로 보고되고 있다(Meddah and Bencheikh 2009; Karahan and Atis 2011). 또한 PLA와 같은 특수 섬유재 역시 내부공극의 연결성 및 절연성 등의 장점으로 건설재료 접목되고 있는

* Corresponding author E-mail: jjuni98@hannam.ac.kr

[1]한양E&C 대표이사 (Hanyang Experiment and Consulting, Hanyang University ERICA, Ansan, 15588, Korea)
[2]한양E&C 연구팀장 (Hanyang Experiment and Consulting, Hanyang University ERICA, Ansan, 15588, Korea)
[3]한남대학교 토목환경공학과 부교수 (Department of Civil and Environmental Engineering, Hannam University, Daejeon, 34430, Korea)

Copyright ⓒ 2019 by Korean Recycled Construction Resources Institute

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

수준이다(Rasoulia et al. 2015).

최근 들어 목재재원으로 추출된 셀룰로오즈 섬유(CF: Cellulose Fiber)에 대한 연구가 진행되고 있는데, 비교적 높은 탄성계수와 시멘트 페이스트의 부착력을 가지는 것으로 보고되고 있다. 특수 CF 표면은 수산기로서 산성 및 알칼리에 안정적이며 콘크리트 내에서 부착과 분산을 촉진시키고, 시멘트 입자 크기와 비교하여 0.015mm 이하의 작은 유효직경을 가지고 있는 특징이 있다. 초기재령하의 균열저항성을 증가시키는 데 매우 효과적으로 알려져 있으나, 제한적인 분산효과 및 품질관리 변동성 등으로 인해 적극적으로 활용되지는 못하고 있는 실정이다.

본 연구는 CF를 활용한 모르타르의 구조체 적용을 위한 기초연구로서 최종적으로는 비표면적이 큰 구조제를 대상으로 한 균열저항성 개선에 있다. 강섬유와 같이 휨 강성이 있는 섬유재의 경우 분산성을 기대하여, Chip형태로 사용할 수 있지만 천연목재 섬유 기반의 CF의 경우 슬러리 타입으로 활용하여 분산효과를 높일 수 있으며, 시공성에 도움을 줄 수 있다. 이를 위해 최적의 분산효과를 나타낼 수 있는 슬러리 CF 처리와 이를 활용하여 최적의 강도특성을 나타낼 수 있는 모르타르 배합특성을 제안하였다.

2. CF를 혼입한 콘크리트의 특성

CF는 목질섬유를 주원료로 하는 친수성 재료이므로 배합 시 우수한 분산력을 가지고 있다. 믹싱과정에 투입되면, 골재 간에 부딪치는 물리적인 힘에 의해서 개개의 독립적인 화이버 가닥으로 분리되어 분산성이 유지된다. 기존의 연구에서는(Pichor et al. 2000) 일반적으로 콘크리트 안의 골재와 다른 섬유들의 경계면에서 전형적으로 볼 수 있는 수산화칼슘 결정(Portlandite Crystal)의 이중피막이 천연 면화섬유(Cotton Fiber)를 사용함으로서 현저히 줄어드는 것을 보고하였는데, 이는 천연섬유재와 콘크리트 구체와의 좋은 적용성을 나타낸다. CF의 경우 수산기를 가지고 있으며, 친수성이므로 시멘트계 재료에 혼입 시 우수한 적합성을 가지고 있다(Soroushian and Marikunte 1994). 또한 CF를 혼입한 콘크리트는 일반콘크리트와 비교하여 소성수축균열(Plastic Shrinkage Cracking) 저항성에 매우 유리하며(Soroushian and Ravanbakhsh 1998; Soroushian 1996), CF 혼입에 의하여 건조상태의 휨강도 증진(Vinson and Daniel 1990), 동결융해 저항성 증가, 알카리 골재 반응에 의한 모르타르의 팽창 감소 등의 장점 등이 보고되고 있다(Vares et al. 1997). 또한 다공성이므로 흡음효과 및 절연성에서도 우수한 특성을 나타내며(Neithalath et al. 2004), 최근 들어서는 SCC(Self Compacting Concrete)에도 강도 개선용으로 사용되고 있다(Mohamed et al. 2010).

Table 1. Physical properties of various fiber utilized in concrete

Types	Tensile strength (×10 MPa)	Elasticity ($\times10^3$ MPa)	Elongation at break(%)	Density
Steel fiber	49～98	200	-	7.85
PVA fiber	69～150	11～36	3～13	1.30
PE fiber	25～70	1.4～2.2	10～15	0.95
PP fiber	30～75	1.4～2.2	10～15	0.91
Acrylic fiber	20～39	2～11	25～45	1.18
Aramid fiber	200～290	62～130	2～4	1.45
Carbon fiber	250～360	230～350	1～2	1.90
PE fiber (High strength)	220～480	70～175	3～6	0.98
PVA fiber (High strength)	200～260	39～41	5～6	1.30

Table 2. Physical properties of CF in the work

Items	CF
Length(mm)	1.9～2.3
Diameter(μm)	14～17
Number of fiber(fibers/g)	1,590,000
Density(g/cm^3)	1.10
Surface area(cm^2/g)	25,000
Tensile strength(MPa)	600～900
Elasticity(MPa)	8,500

3. 시멘트 모르타르의 기초물성 시험

3.1 실험계획 개요

일반적인 아파트 구조의 미장용 모르타르 배합을 참고하여 물-결합재 비를 0.6으로 고정 후, 바인더로서 OPC(Ordinary Portland Cement)와 플라이애쉬를 사용하였으며, 잔골재로 부순 모래 및 세척사를 사용하였다. 섬유로서는 CF와 비교군으로 PP(Poly Propylene)를 사용하였다. 분산성능을 평가하기 위하여 CF(Chip type)와 CF(Slurry type)을 선행적으로 실험하였으며, 슬러리 타입의 CF와 PP섬유를 실험변수로 하여 0.5kg/m^3, 1.0kg/m^3, 2.0kg/m^{3}의 수준으로 혼입하였다. 평가항목은 모르타르 플로우, 압축강도, 휨강도, SEM 측정을 통한 뽑힘현상 등을 평가하였다. Table 3에서는 사용된 모르타르의 배합표를 나타내고 있다. 슬러리형 CF의 경우 시제품을 사용하여 외할혼입 하였으며, 대단위

혼입 시에는 물–시멘트비의 보완이 필요하다. 본 연구에서는 소량 투입 하였으므로 물–결합재 비를 보정하지 않았다.

Table 3. Mortar mix proportions in this paper

Items	W/B	Unit weight(kg/m^3)						
		W	OPC	FA	CF	PP	Crushed sand	Washed sea sand
CF 0.0	0.6	293	390	98	0	-	439	1025
CF 0.5					0.5	-		
CF 1.0					1.0	-		
CF 2.0					2.0	-		
PP 1.0					-	1.0		

3.2 분산 CF 제조 과정

실험에 앞서, 모르타르의 다양한 비빔조건을 고려하여 분산성 및 작업성을 평가한 결과, 일반 모르타르 믹서에서는 믹싱방법 및 믹싱시간에 상관없이 CF의 분산을 얻지 못하였으며, 압축된 칩 상태에서 마찰에 의해 화이버를 분산시키는 것은 상당한 배합시간이 필요하였다. 씻기 실험 결과, 2분 믹싱 후에 Chip CF의 경우는 분산은 되었으나 덩어리가 눈에 많이 띄어 완전히 분산된 것으로 보기 어려웠다. Fig. 1에서는 제품상태 및 체가름 후 남아있는 Chip 형태의 CF를 나타내고 있으며, Fig. 2에서는 슬러리 타입의 CF를 나타내고 있다. Fig. 3에서 알 수 있듯이 액상형으로 사용할 수 있으며, CF의 지름 및 길이가 매우 작으므로 잔골재 사이에 충분히 분산되어 있음을 알 수 있다.

(a) Chip typed CF (b) Residual CF through sieve

Fig. 1. Photos for chip typed CF

Fig. 2. Slurry-typed CF

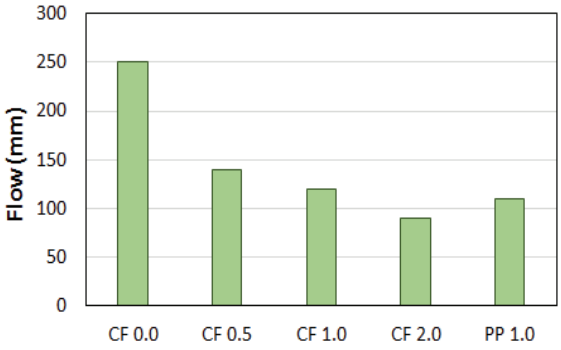


Fig. 3. Decreasing flow with addition of CF

3.3 시공성 및 역학적 성능 평가

3.3.1 플로우와 CF 첨가율

슬러리 CF 혼입률에 따른 모르타르의 플로우와 감소율은 Table 4에 나타내었으며 Fig. 3에 도시하였다. 섬유 혼입이 없는 상태에서는 플로우치가 250mm 였으나 CF 혼입률의 증가에 따라서 플로우는 크게 감소하였다. 이것은 CF의 분산성이 매우 우수하여 모르타르의 점성을 크게 향상시켰기 때문이다. 또한 PP의 경우와 비교할 경우 큰 플로우 차이는 발생하지 않았다. Fig. 4에서는 모르타르 제조과정과 플로우 측정사진을 나타내고 있다.

Table 4. Results of flow with addition of CF

Types	CF 0.0	CF 0.5	CF 1.0	CF 2.0	PP 1.0
Flow(mm)	250	140	120	90	110
Decreasing ratio(%)	-	44	52	64	56

(a) Mortar mixing (b) Flow measurement

Fig. 4. Photos of mixing and flow measurement

3.3.2 CF 혼입률에 따른 압축강도 및 휨강도

Table 5와 Fig. 6에서는 CF 혼입률에 따른 모르타르의 압축강도 및 휨강도를 나타낸다. 압축강도의 경우, 재령에 따라 편

차는 있지만 CF 첨가에 따라 약간 증가하는 경향을 나타내었다. PP 섬유 혼입에 따라서는 약간 감소하는 경향을 나타내고 있다. 휨강도의 경우, CF 첨가율 1.0kg/m^3 까지는 휨강도가 증가하나 그 이상에서는 약간 감소하였다. 이는 CF 섬유길이가 5mm로써 비교적 짧으며 직경이 작기 때문으로 판단된다. 콘크리트에 혼입되는 섬유재의 경우 그 특성으로 인해 0.5~1.0kg/m^{3}의 중량 첨가량을 가지며(Kwon et al. 2014), CF의 경우 1.0kg/m^3 보다 낮은 첨가량을 혼입할 경우 역학적 특성이 개선됨을 알 수 있다.

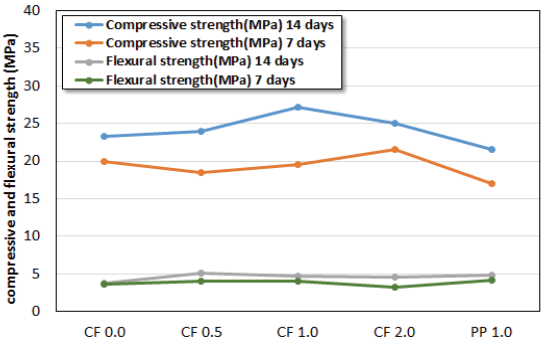


Fig. 5. Changing strength with addition of CF

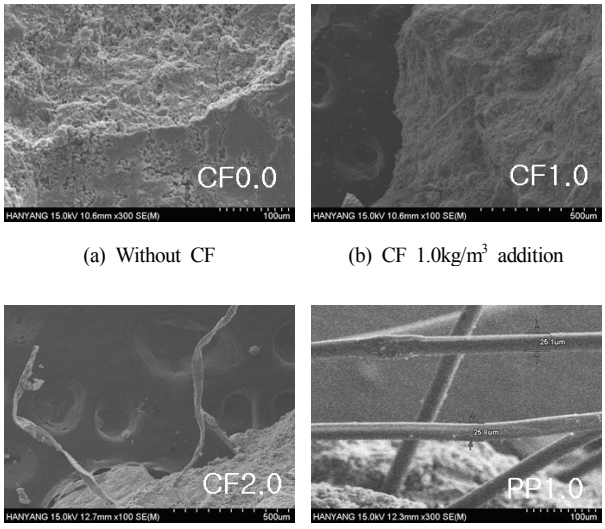
Table 5. Results of compressive and flexural strength

Type		CF 0.0	CF 0.5	CF 1.0	CF 2.0	PP 1.0
Compressive strength(MPa)	7days	20.0	18.5	19.5	21.6	17.0
	14days	23.3	24.0	27.2	25.0	21.5
Flexural strength(MPa)	7days	3.6	4.0	3.95	3.15	4.2
	14days	3.8	5.1	4.7	4.5	4.85

(a) Test samples (b) Flexural test

Fig. 6. Photos of tests

재령 14일 기준 시, 첨가율이 1.0kg/m^{3}인 경우 27.2%의 압축강도 증가율을, 휨강도에서는 0.5kg/m^3 첨가 시 34.2%를 나타내었다. CF의 경우 0.5~1.0kg/m^{3}의 범위에서 플로우 손실을 고려하여 사용할 경우, 효율적으로 사용할 수 있다고 판단된다. PP섬유를 혼입한 경우 휨강도는 섬유길이가 15mm 정도로 길기 때문에 압축강도 개선보다 휨강도 개선에 효과적임을 알 수 있다. Fig. 7에서는 모르타르 시험체 전경 및 휨강도 실험사진을 나타내고 있다.



(a) Without CF (b) CF 1.0kg/m^3 addition

(c) CF 2.0kg/m^3 addition (d) PP 1.0kg/m^3 addition

Fig. 7. SEM analysis with different fibers

3.3.3 SEM을 통한 CF의 분산 및 뽑힘특성

Fig. 7에서는 SEM에 의하여 모르타르 경화체 내의 섬유 분산특성과 뽑힘 특성을 평가한 사진을 나타내고 있다.

CF 0.0에서는 섬유가 관찰되지 않으나, CF 1.0에서는 섬유의 뽑힘 현상에 따라 CF가 관찰되었고 CF 2.0에서는 섬유혼입량이 많아 CF 수가 많고 넓게 분산된 것을 확인할 수 있다. CF를 슬러리형으로 제조해 혼입하면 분산성능이 우수함을 규명하였는데, PP 섬유의 경우, 표면이 매끄럽고 직선으로 뽑히는 데 비하여 CF의 경우 섬유의 비정형으로 뽑히고 있음을 알 수 있다. 이는 Spacing Ratio(길이/지름의 비)가 확보될 경우 거친 표면에 의하며 인장강도 개선에 매우 효과적일 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 셀룰로오즈 섬유재를 슬러리 형태로 혼입하여 시멘트 모르타르내의 분산성능 및 강도 개선효과를 평가하였다. 슬러리형 파이버를 혼입한 시멘트 모르타르의 강도 개선을 통하여 도출된 결론은 다음과 같다.

1. 압축된 상태의 CF는 일반 모르타르 믹싱에서 소요의 분산성을 못하였으나, 슬러리형 CF을 사용한 경우는 미세한 분산 섬유가 관찰되었으므로 슬러리 형태의 CF가 적합함을 알 수 있었다.
2. 초기 플로우치가 250mm 였으나 CF 혼입률이 0.5kg/m^{3}에서 1.0kg/m^{3}으로 증가함에 따라 140mm에서 120mm로 감소하였다. 이는 CF의 분산성이 매우 우수하여 모르타르의 점성을 크게 향상시켰기 때문이다.
3. 재령 14일 기준시, 첨가율이 1.0kg/m^{3}인 경우 27.2%의 압축강도 증가율을, 휨강도에서는 0.5kg/m^3 첨가시 34.2%를 나타내었으며, 0.5~1.0kg/m^{3}의 범위에서 플로우 손실을 고려하여 사용할 경우, 인장강도 개선에 효과적임을 알 수 있다.
4. SEM에 측정결과 슬러리형 CF의 경우 분산성능이 우수하고 PP(Poly-Propylene) 섬유와 다르게 충분한 조도를 가지고 인발되는 형상을 확인하였다.

Conflict of interest

None.

감사의 글

이 논문은 2019학년도 한남대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

References

ACI 207.2R-95. (2002). Effect of Restraint, Volume Change, Reinforcement on Cracking of Massive Concrete, ACI Committee 207, USA.

ACI 544.4R-88. (1999). Design Consideration for Steel Fiber Reinforced Concrete, ACI Committee 544, USA.

Cho, C.G., Han, S.J., Kwon, M.H., Lim, C.K. (2012). Seismic performance evaluation of reinforced concrete columns by applying steel fiber-reinforced mortar at plastic hinge region, Journal of the Korea Concrete Institute, **24(3)**, 241-248 [in Korean].

Jansen, D., Neubauer, J., Goetz-Neunhoeffer, F., Haerzschel, R., Hergeth, W.D. (2012). Change in reaction kinetics of a portland cement caused by a superplasticizer-calculation of heat flow curves from XRD data, Cement and Concrete Research, **42(2)**, 327-332.

Karahan, O., Atis, C.D. (2011). The durability properties of polypropylene fiber reinforced fly ash concrete, Materials & Design, **32(2)**, 1044-1049.

Kim, D.S., Khil, B.S., Goo, S.H., Moon, G.H., Kim, J.W., Park, J.S. (2010). Application technology of special concrete realized resistance for crack and watertightness simultaneously, Journal of the Korea Concrete Institute, **22(1)**, 52-58 [in Korean].

Kwon, S.J., Jo, H.J., Park, S.S. (2014). Applicability evaluation and development of high strength spacer with plastic fiber and slag cement, Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance Inspection, **18(4)**, 92-98 [in Korean].

Meddah, M.S., Bencheikh, M. (2009). Properties of concrete reinforced with different kinds of industrial waste fibre materials, Construction and Building Materials, **23(10)**, 3196-3205.

Mohamed, M.A.S., Ghorbel, E., Wardeh, G. (2010). Valorization of micro-cellulose fibers in self-compacting concrete, Construction and Building Materials, **24(12)**, 2473-2480.

Naaman, A.E., Wongtanakitcharoen, T., Hauser, G. (2005). Influence of different fibers on plastic shrinkage cracking of concrete, ACI Materials Journal, **102(1)**, 49-58.

Neithalath, N., Weiss, J., Olek, J. (2004). Acoustic performance and damping behavior of cellulose-cement composites, Cement and Concrete Composites, **26(4)**, 359-370.

Pichor, W., Petri, M., Deja, J. (2000). Properties of FRC with Modified Cellulose Fibers, Fifth International RILEM Symposium on Fibre-Reinforced Concrete(FRC), RILEM Publications SARL, 643-652.

Rasoulia, H.R., Golestani-Fard, F., Mirhabibia, A.R., Nasab, G.M., Mackenzie, K.J.D., Shahraki, M.H. (2015). Fabrication and properties of micro porous metakaolin-based geopolymer bodies with poly lactic acid(PLA) fibers as pore generators, Ceramics International, **41(6)**, 7872-7880.

Song, H.W., Cho, H.J., Park, S.S., Byun, K.J., Maekawa, K. (2001). Early-age cracking resistance evaluation of concrete structure, Concrete Science and Engineering, **3(10)**, 62-72.

Soroushian, P. (1996). "Cellulose fibers reinforced concrete," Proceedings of the Materials Engineering Conference, **4(1)**, 809-818.

Soroushian, P., Marikunte, S. (1994). Durability characteristics of cellulose fiber reinforced cement composites, Special Publication, **142**, 73-90.

Soroushian, P., Ravanbakhsh, S., (1998). Control of plastic shrinkage cracking with specialty cellulose fibers, ACI Material Journal, **95(4)**, 429–435.

Ulm, F.J., Bazant, Z.P., Wittman, F.H. (2001). Creep, Shrinkage, and Durability Mechanics of Concrete and other Quasi–Brittle Materials, Elsevier Science Ltd, Cambridge, England, 735–740.

Uno, P.J. (1998). Plastic shrinkage cracking and evaporation formulas, ACI Materials Journal, **95**, 365-375.

Vares, S., Sarvaranta, L., Lanu, M. (1997). Cellulose Fiber Concrete, VTT Publications.

Vinson, K.D., Daniel, J.L. (1990). Specialty cellulose fibers for cement reinforcement, Special Publication, **124**, 1–18.

Xiao, L., Li, Z. (2008). Early–age hydration of fresh concrete monitored by non–contact electrical resistivity measurement, Cement and Concrete Research, **38(3)**, 312–319.

Yoo, S.W., Kwon, S.J., Jung, S.H. (2012). Analysis technique for autogenous shrinkage in high performance concrete with mineral and chemical admixtures, Construction and Building Materials, **34**, 1–10.

슬러리형 셀룰로오즈 파이버를 혼입한 시멘트 모르타르의 강도 특성

비표면적이 큰 콘크리트 구조체의 균열의 경우 재료적인 거동(수화열 및 건조수축)으로 균열이 발생하기 쉽다. 최근 들어 섬유를 혼입함으로서 콘크리트의 강도 및 균열 저항성 개선에 대한 많은 연구가 진행 중인데 주로 압축강도 개선보다는 인장강도 개선을 통하여 재료적 균열에 대한 저항을 높이는 연구에 집중되고 있다. 본 연구에서는 셀룰로오즈 섬유를 슬러리형으로 제조하여 이를 혼입한 시멘트 모르타르의 작업성, 압축강도 및 휨강도를 평가하였으며, SEM 측정을 통하여 섬유재의 뽑힘특성을 평가하였다. CF 혼입률을 0.5kg/m^3~1.0kg/m^3으로 혼입할 경우, 휨강도를 크게 향상 시킬 수 있으며, 일반 플라스틱 섬유재와 달리 뽑힘 시 충분한 조도를 가지고 있음이 관측되었다.