

섬유 및 ERCO 혼입을 변화에 따른 HPFRCC의 기초적 특성 및 자기수축 저감

Fundamental Properties and Reduction of Autogenous Shrinkage of HPFRCC Depending on Various Fiber Contents and ERCO Dosages

조 성 준

한 천 구*

Jo, Sung-Jun

Han, Cheon-Goo*

Department of Architectural Engineering, Cheong ju University, Naedeok-Dong, Cheongju-City,360-764 Korea

Abstract

Recently, because of the terrorisms or warfare, the damages of human life or facilities have been increased. Hence, the Korean government launched the research group for high performance fiber reinforced cementitious composite (HPFRCC) with increased demanding on protecting and anti-explosive structures. Therefore, in this research, to apply the HPFRCC on military facilities with optimum performance on workability and performance, the fundamental properties and reduction of autogenous shrinkage of HPFRCC with various combinations of steel and organic fiber and emulsified refined cooking oil (ERCO) were evaluated. As a result, based on the comprehensive analysis, for favorable workability, strength, and autogenous shrinkage, 1.5 % of combined fiber of short steel fiber and long organic fiber and 0.5 % of ERCO was suggested as an optimum conditions.

Keywords : HPFRCC, ERCO, fiber contents, autogenous shrinkage

1. 서 론

최근 전 세계적으로는 폭탄테러 및 폭발사고가 빈발하여, 인명 및 재산피해가 증가하고 있는 추세이다. 특히 우리나라의 경우에는 2010년 11월에 북한으로부터 연평도 포격 사건이 발생하여 인적·물적 많은 피해를 입은 일이 있다. 따라서 국토교통부에서는 방호·방폭 성능을 갖는 고성능 시멘트 복합재료(High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites : 이하 HPFRCC)에 대한 관심이 증가하여, 이에 관한 연구단이 발족된 바 있다.

HPFRCC는 변형경화 특성과 복수균열 특성을 갖는 섬유

보강 시멘트계 재료로서 우수한 내충격 성능과 큰 인성을 발휘하는 장점이 있다. 하지만, 섬유 뭉침 현상과 섬유재료의 높은 가격으로 인한 경제성 문제 및 낮은 W/B(물결합재비)에 의한 자기수축 균열의 문제점이 발생 하고 있다[1,2]. 특히, 본 연구팀에서는 2015년도에 폭발 위험이 있는 현장에 HPFRCC를 Test-bed로 벽체 부분에 적용한바 있는데, 수화열 및 자기수축에 의한 복합적인 균열이 발생하는 문제점이 발생한 바 있다. 이에 금번 연구에서는 자기수축 저감제로 개발된 유화처리 정제식용유(Emulsified Refined Cooking Oil : 이하 ERCO)와 아울러, 기존연구에서 도출된 유·무기 복합 섬유를 적용하여[3] HPFRCC의 품질 향상을 검토할 필요가 제기되었다.

그러므로 본 연구에서는 최적의 섬유 및 ERCO 혼입율을 도출하여 균열이 저감된 HPFRCC를 군부대 시설에 실질적으로 적용하기 위해 유·무기 복합섬유 혼입율 및 ERCO 혼입율 변화에 따른 HPFRCC의 기초적 특성 및 자기수축 저감 성능에 대하여 분석 하고자 한다.

Received : August 2, 2016

Revision received : October 20, 2016

Accepted : January 6, 2017

* Corresponding author : Han, Cheon-Goo

[Tel: 82-43-229-8480, E-mail: cghan@cju.ac.kr]

©2017 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획 및 배합사항은 Table 1 및 Table 2와 같다. 먼저 실험계획으로, W/B는 25%의 1수준에 대하여, 결합재 구성은 시멘트에 대한 질량비로 고로슬래그 미분말 (이하 BS)을 45% 치환하는 것으로 하였다. 섬유 종류로는 길이가 짧은 강섬유 (이하 SS)와 길이가 긴 유기섬유(이하 OL)를 1 : 1.5로 혼합한 유·무기 복합섬유를 사용하는 것으로 계획하였다. 이때 Plain 모르타르의 목표 플로는 260 ± 20mm, 목표 공기량은 3.0 ± 1.0%의 범위를 만족하도록 배합설계 한 후 기타 배합에도 동일하게 적용하였다. 실험변수로는 SS + OL 섬유의 섬유 혼입을 변화로 0, 0.5, 1.0, 1.5, 1.75%의 5수준과 ERCO의 혼입을 0, 0.5, 1.0%의 3수준으로 총 15 배치를 실험 계획 하였다.

Table 1. Experimental plan

Items		Variables	
Mixture	W/B (%)	25	
	Binder (%)	OPC : BS = 55 : 45	
	Target flow (mm)	260 ± 20	
	Target air content (%)	1	3.0 ± 1.0
	Fibers compositions	SS ¹⁾ + OL ²⁾	
	Fiber mixing ratio (SS : OL)	1 : 1.5	
	Fiber content (%)	5	0, 0.5, 1.0, 1.5, 1.75
Test	ERCO dosage (%)	3	0, 0.5, 1.0
	Fresh mortar	2	· Flow test · Air content
Test	Hardened mortar	3	· Compressive strength (3, 7, 28 days) · Flexural strength (3, 28 days) · Autogenous shrinkage (28days)

1) SS : Short steel fiber 2) OL : Long organic fiber

실험사항으로는 굳지 않은 모르타르에서 플로 및 공기량을 측정하는 것으로 하였고, 경화 모르타르에서 압축강도, 휨강도 및 자기수축 길이변화율을 측정하는 것으로 실험 계획하였다.

2.2 사용재료

본 실험의 사용재료로 잔골재는 충청권 석산 잔골재를 사용하였고, 그 물리적 성질은 Table 3과 같다.

Table 3. Physical properties of fine aggregate

Density (g/cm ³)	Absorption (%)	Distribution of grain shape (%)	Fineness modulus
2.62	1.31	56.2	2.75

시멘트와 고로슬래그 미분말은 시중에서 제조·판매되는 재료를 사용 하였는데, 각각의 물리· 화학적 성질은 Table 4, Table 5와 같다. 섬유는 SS섬유와 OL 섬유를 복합 사용 하였는데, 각각의 물리적 성질은 Table 6과 같고, 그 모습은 Figure 1과 같다. 본 연구에 사용되는 SP제는 폴리칼본산계 를 사용 하였고, ERCO는 국내의 D사에서 사용 후 폐기된 식용유를 수거하여 정제한 후 I사 에서 생산 되는 에멀전 타입의 유화제를 교반하여 제조하였는데, 그 물리적 성질은 Table 7과 같다. 단, ERCO를 장기 저장 할 때에는 산패 및 재료분리가 발생하여 성능저하가 발생할 수 있으므로 3개월을 초과 저장하지 않도록 하고 또한, 잘 흔들어 사용할 필요가 있다.

Table 2. Mixing proportions

ERCO (%)	Fiber (%)	W/B (%)	C:S	SP/C (%)	Unit weight (kg/m ³)						
					W	C	BS	S	SS	OL	ERCO
0	0	25	1 : 0.7	0.8	308	677	554	724	0	0	0
	0.5				306	673	550	720	15.6	3.3	0
	1.0				304	670	548	716	31.2	6.7	0
	1.5				303	666	545	712	46.8	10.0	0
	1.75				302	664	544	711	54.6	11.7	0
0.5	0	25	1 : 0.7	0.8	308	677	554	724	0	0	6.2
	0.5				304	669	548	716	15.6	3.3	6.1
	1.0				304	669	548	716	31.2	6.7	6.1
	1.5				303	666	545	712	46.8	10.0	6.0
	1.75				302	664	544	711	54.6	11.7	6.0
1.0	0	25	1 : 0.7	0.8	308	677	554	724	0	0	12.3
	0.5				306	673	551	720	15.6	3.3	12.2
	1.0				304	670	548	716	31.2	6.7	12.2
	1.5				303	666	545	712	46.8	10.0	12.1
	1.75				302	664	544	711	54.6	11.7	12.0

Table 4. Physical properties of cement

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	Setting time (min.)		Compressive Strength (MPa)		
		Initial	Final	3 D	7 D	28 D
3.15	3 390	230	345	24.8	39.3	56.9

Table 5. Physical and chemical properties of BS

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	L. O. I. (%)	Chemical composition (%)		
			SiO ₂	MgO	Cl ⁻
2.89	4 520	1.2	34.2	5.26	0.002

Table 6. Physical properties of fiber

Types	Length (mm)	Diameter (mm)	Aspect ratio	Density (g/cm ³)	Tensile Strength (MPa)
SS (Steel)	35	0.12	108	7.8	2 650
OL (Organic)	30	0.47	63	1.11	650



Figure 1. Shape of fiber

Table 7. Physical and chemical properties of ERCO

Density (g/cm ³)	Main ingredient (%)			Viscosity (cP)
	Saturated acid	Multi Unsaturated acid	Omega-3 Acids	
0.98	15	54	8	200

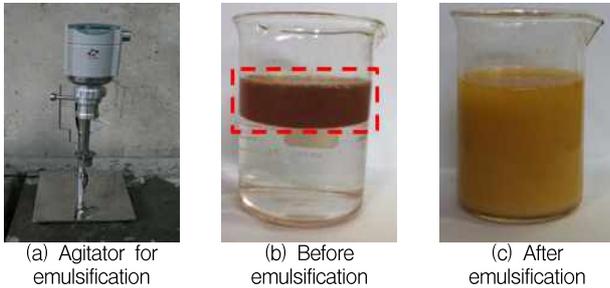


Figure 2. Emulsification

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 ERCO의 유화 작업은[4] Figure

2의 (a)와 같은 유화처리 기계를 사용하여 2000 rpm의 속도로 20분간 교반하였다. Figure 2의 (b)와(c)는 유화작업 실시 유무에 따른 정제 식용유의 모습을 나타낸 것이다. 유화처리 전에는 물과 정제식용유가 혼합되지 못하고 서로 분리된 반면에 유화처리 후에는 (c)와 같이 물과 식용유가 적절히 혼합된 모습을 볼 수 있다.

모르타르의 혼합은 트윈샤프트 믹서를 사용하여 Figure 3과 같이 혼합하였다. 굳지 않은 모르타르의 Flow는 KS L 5111, 공기량은 워싱턴 에어미터를 사용하여 KS F 2421에 따라 측정하였다.

경화모르타르의 실험으로 압축 및 휨강도 시험체는 KS F 2405, KS F 2408의 규정에 따라 제작하여 20 °C ± 2 °C의 양생수조에 실험 재령동안 양생한 후 강도를 측정하였다. 자기수축 길이변화율은 KS F 2586에 따랐다. 즉, 40 × 40 × 160mm철제 몰드에 Figure 4[5]와 같이 테프론시트와 PE 필름을 깔고 매립형 와이어 스트레인 게이지(Length : 60mm, Gauge factor : 2.11 ± 1%, Gauge resistance : 120 ± 0.5Ω)를 설치한 후 HPRCC를 타설하여 20 ± 2°C의 항온·항습이 유지되는 실에서 양생을 진행하면서 데이터로거를 사용하여 측정하였다. 이때, 자기수축 길이변화율의 측정 시점은 KS F 2436의 응결시간 시험방법에서 측정한 초결 시점부터 측정하였다.

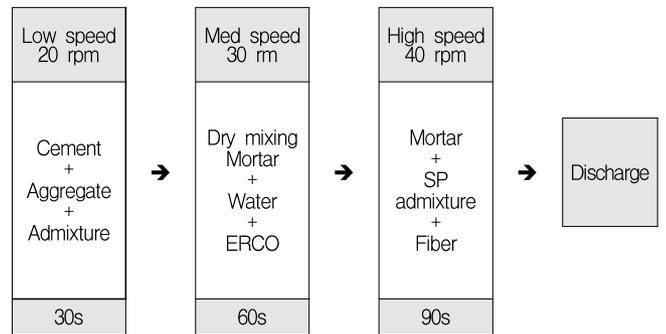


Figure 3. Mixing process of mortar

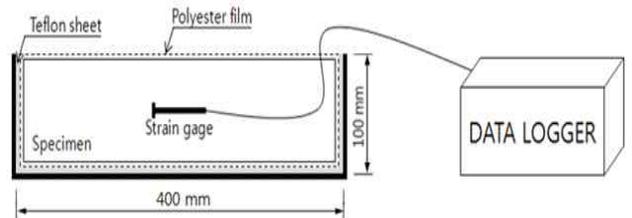


Figure 4. Test method of autogenous shrinkage

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지 않은 모르타르의 특성

3.1.1 Flow

Figure 5와 Figure 6은 ERCO 혼입을 별 섬유혼입을 변화에 따른 플로의 초기치 및 표준치를 나타낸 그래프이다. 여기서 초기치는 충격 없이 플로콘을 들어 올린 직후에 측정 한 값이고, 표준치의 경우는 초기치 측정 후 15초에 25회 자유낙하 충격을 가한 후 측정 한 값을 나타낸 것이다.

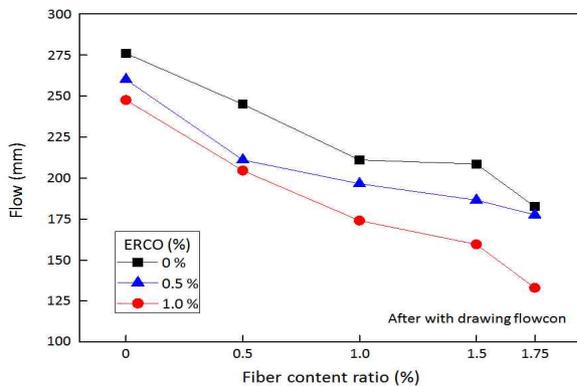


Figure 5. Influence of fiber content and ERCO dosage on flow (initial flow : right after the cone was removed)

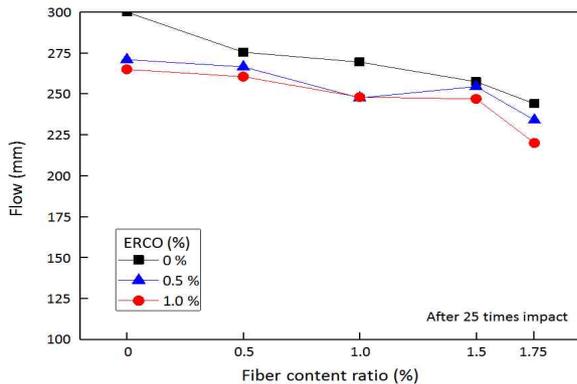


Figure 6. Influence of fiber content and ERCO dosage on flow (standard flow : after 25 times of impact)

전반적으로 섬유혼입율이 증가할수록 플로가 감소하는 경향을 나타 내었다. 특히 섬유를 혼입하지 않은 Plain 보다 섬유를 혼입하였을 때 더욱 낮은 플로치를 나타내었는데, 이는 섬유혼입율이 증가함에 따라 섬유와 결합재 간의 부착 력이 증가되어 유동성이 감소된 것으로 사료된다. ERCO를

혼입한 경우에도 혼입율이 증가할수록 플로치가 감소하였는 데, 이는 ERCO의 경우 점도가 200 cP로 물보다 크기 때문 에 사용량이 증가할수록 점성이 증가한 것 및 ERCO 혼입에 따라 배합 시 단위 수량이 감소됨에 상대적으로 배합수가 부족하여 플로치가 감소한 것으로 사료 된다.

3.1.2 Air content

Figure 7은 ERCO 혼입을 별 섬유혼입을 변화에 따른 공기량을 나타낸 그래프이다. 전반적으로 섬유혼입율이 증가할수록 공기량은 증가하는 경향을, ERCO 혼입율이 증가 할수록 감소하는 경향을 나타내었다. 즉, 섬유혼입율 0%에 서 가장 낮은 공기량을 나타내었으며 섬유혼입율이 증가할 수록 1% 이내이지만 갇힌 공기량 증가에 기인하여 미미하게 증가하는 경향을 나타내었다. 단, ERCO를 혼입함에 따라 공기량은 감소하였는데, 이는 ERCO 성분 중 유화제가 친수 기와 친유기로 나누어져 유지류를 물속에 분산시키는데, AE 제의 친유성분을 함유한 부분에 공기대신 ERCO의 유지 성 분이 흡착됨에 따라 공기량이 감소한 것으로 판단된다.

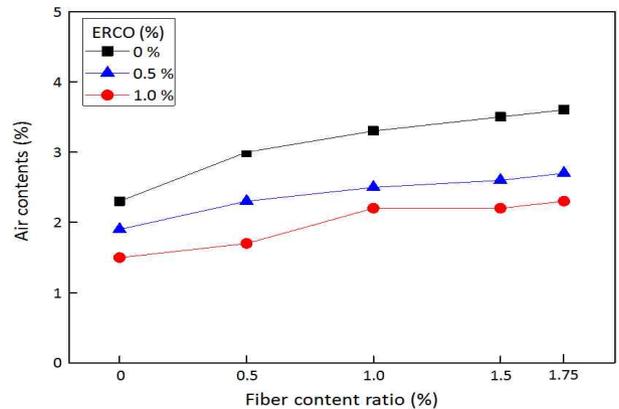


Figure 7. Influence of fiber content and ERCO dosage on air content

3.2 경화 모르타르의 특성

3.2.1 Compressive strength

Figure 8~10은 ERCO 혼입을 별 섬유혼입을 변화에 따 른 재령 3, 7, 28일 압축 강도를 나타낸 그래프이다. 전반적 으로 섬유혼입율이 증가할수록 압축강도가 증가한 반면, ERCO 혼입율이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다.

먼저 재령 3일의 경우 섬유혼입율에 상관없이 50~

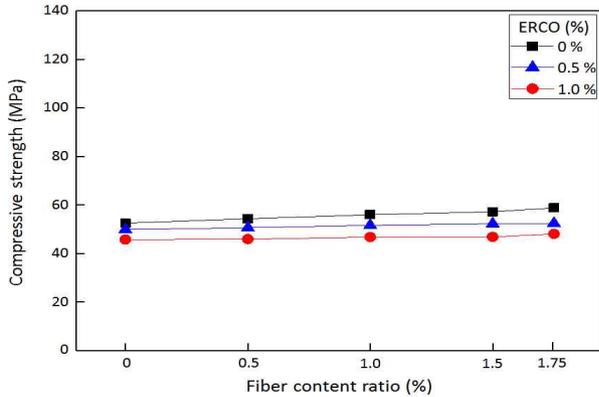


Figure 8. Influence of fiber content and ERCO dosage on compressive strength (at 3 days)

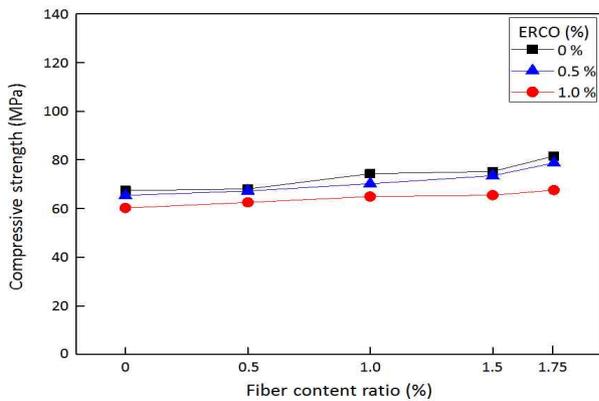


Figure 9. Influence of fiber content and ERCO dosage on compressive strength (at 7 days)

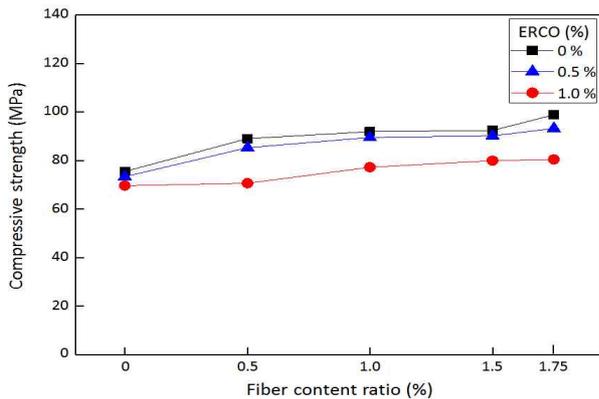


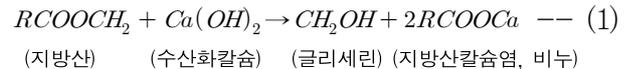
Figure 10. Influence of fiber content and ERCO dosage on compressive strength (at 28 days)

60MPa 정도의 압축강도를 나타내었는데, ERCO를 1.0% 혼입하면 약 15% 압축강도가 저하하였다.

재령 7일의 경우 섬유혼입을 0%인 경우 약 65MPa를 나타내었고, 섬유가 1.75% 혼입된 배합에서는 약 18% 증가한 78MPa의 강도를 나타내었다. 단, ERCO 1.0%에서는 약

13% 저하한 63MPa 전·후의 압축강도를 보였다. 재령 28일의 경우, 섬유혼입을 0%에서는 약 73MPa이었고, 섬유가 혼입된 배합에서는 약 29% 증가한 95MPa 전·후의 강도를 나타내었고, ERCO를 1.0% 혼입한 배합에서는 75MPa 전·후로 약 15%정도 낮은 압축강도를 나타내었다. 원인 분석으로 먼저, 섬유혼입을 증가에 따른 압축강도 상승현상은 기존의 섬유보강 콘크리트의 연구 경향과는 다른 현상으로 즉, 일반강도의 작은 유동성 조건에서 섬유가 혼입 되게 되면 섬유간의 밀실한 가교 구조가 형성되지 않아 강도 증진이 없거나 혹은 저하하는 경향이였다. 그러나, 본 연구와 같이 고강도 및 고유동 조건으로 섬유가 충분히 분산 혼합되는 조건이면 모르타르 매트릭스 내에 섬유간의 밀실한 가교 구조가[6] 형성되어 압축응력 작용 시 횡방향의 변형을 구속하는 효과가 작용하여 압축강도가 상승된 것으로 사료된다.

또한, ERCO 첨가율 증가에 따라 압축강도가 저하하는 현상은 ERCO 중 유지류 성분이 시멘트 수화 생성물인 수산화칼슘과 식(1)과 같은 반응으로 모세관공극 속에 비누가 생성되는데, 이 비누의 팽창작용에 의해 조적을 완화시킴에 따른 원인 및 비누화 생성물이 모세관공극 내에서 시멘트 수화반응을 저지시킨 원인 등의 복합작용에 기인하여 압축강도가 저하된 것으로 분석된다.



3.2.2 Flexural strength

Figure 11 및 Figure 12는 ERCO 혼입을 별 섬유혼입을 변화에 따른 재령 3, 28일 휨강도를 나타낸 그래프이다. 전반적으로 재령 3, 28일 모두 4MPa 전·후의 휨강도를 나타내었는데, 섬유의 혼입 여부에 상관없이 유사한 강도를 나타내었다. 단, ERCO 혼입율이 증가할수록 휨강도는 미소하게 감소하였다.

일반적으로 섬유가 혼입된 보통강도 영역의 모르타르는 휨강도가 증가하는 것으로 보고되고 있지만 본 연구의 경우는 80 MPa 이상의 고강도 영역이기 때문에 일반 모르타르보다 취성파괴 양상을 나타내어 4Mpa 전·후의 휨강도가 측정되었다. 단, 별도의 연구의 경우[5] 섬유혼입율이 증가하면 직접인장강도 시험 시 큰 인성의 증가 경향을 볼 수 있는데, 본 연구에서도 Figure 13과 같이 섬유가 혼입되면 휨강도의 증가보다는 휨 인성이 증가하는 모습을 확인할 수 있다.

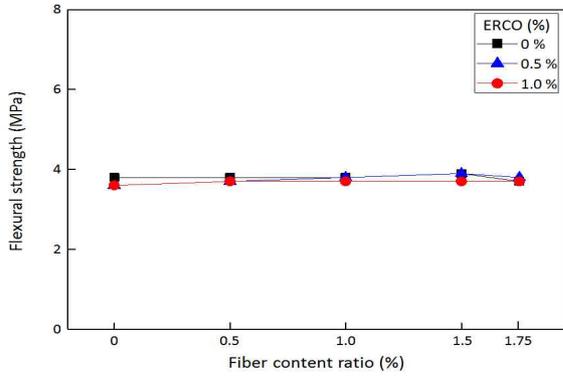


Figure 11. Influence of fiber content and ERCO dosage on flexural strength (at 3 days)

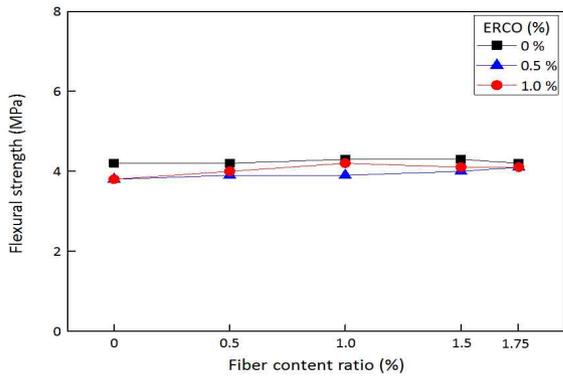


Figure 12. Influence of fiber content and ERCO dosage on flexural strength (at 28 days)



(a) No-fiber reinforcement (b) Fiber reinforcement

Figure 13. Different toughness depending on fiber reinforcement

3.3 자기수축 저감

Figure 14~16은 ERCO 혼입율 및 섬유 혼입율 별 재령 경과에 따른 자기수축 길이 변화율을 나타낸 그래프이다. 전반적으로 ERCO 및 섬유 혼입율이 증가할수록 자기수축은 저감되는 경향을 나타내었다. Figure 17, 18은 섬유 및 ERCO 혼입율 변화에 따른 재령 28일의 자기수축 길이 변화량을 나타낸 그래프이다. 먼저 섬유 혼입율이 증가함에 따라 자기수축이 저감되는 경향을 나타내었는데, 이는 섬유가 혼입됨에 따라 섬유가 모르타르 매트릭스에 구속되어 자기수축이 저감된 것으로 판단된다. 또한, ERCO 혼입율이 증가할수록 자기수축이 저감되었는데, 이는 식(1)과 같은 반응으

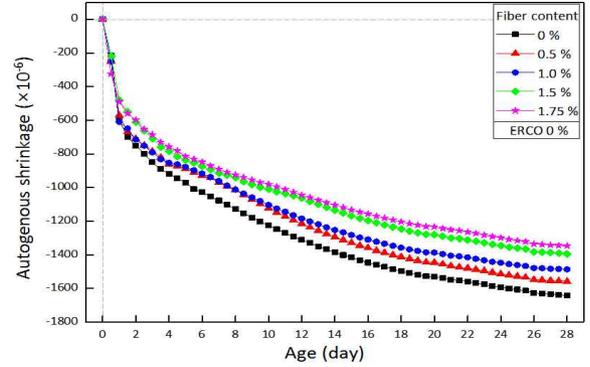


Figure 14. Influence of fiber content and ERCO dosage on autogenous shrinkage (ERCO 0%)

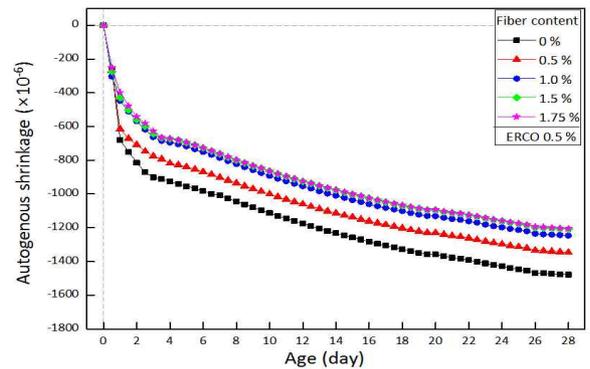


Figure 15. Influence of fiber content and ERCO dosage on autogenous shrinkage (ERCO 0.5%)

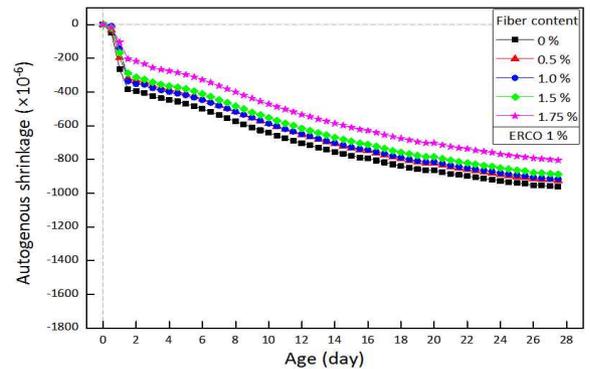


Figure 16. Influence of fiber content and ERCO dosage on autogenous shrinkage (ERCO 1%)

로 지방산 칼슘염(비누)을 생성하게 되는데[7], 이러한 수화 생성물들이 모르타르 경화체 내의 모세관 공극을 충전함으로써 자기수축이 저감된 것으로 판단된다.

특히, Figure 17과 Figure 18을 비교해 보았을 때 섬유 혼입율 0%에 비해 1.75%에서 약 18%의 자기수축저감 효과가 있었고, ERCO 혼입율 0%에 비해 1.0%에서 약 40%의 자기수축 저감 효과가 있었다. 따라서, HPFRCC의 자기수

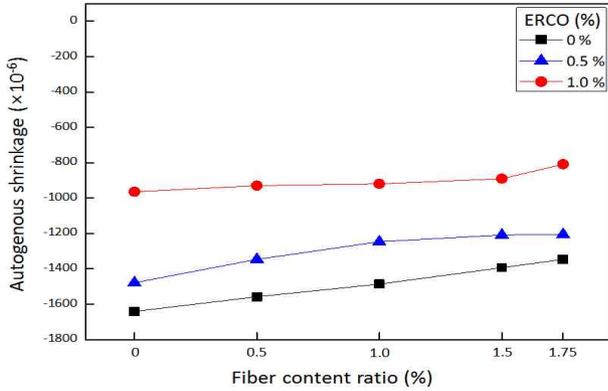


Figure 17. Influence of fiber content on deformation due to the autogenous shrinkage depending on ERCO dosage (at 28 day)

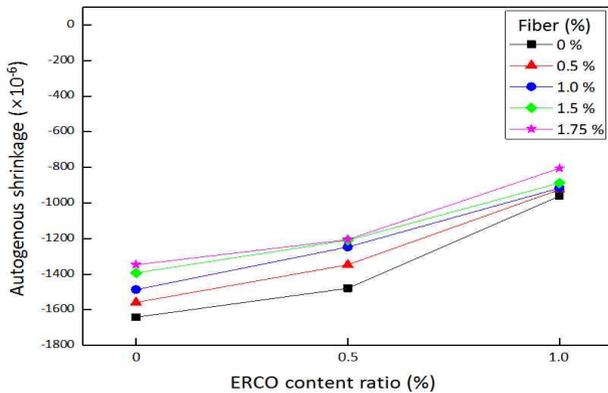


Figure 18. Influence of ERCO dosage on deformation due to the autogenous shrinkage depending on fiber content (at 28 day)

축 저감은 섬유보다 ERCO가 더 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

3.4 종합분석

본 연구에서는 SS섬유와 OL 섬유를 1 : 1.5의 비율로 혼합한 고성능 상태에서 섬유 및 ERCO 혼입을 변화에 따른 유동성, 공기량 및 강도측면의 기초적 특성과 자기수축저감 성능을 분석하고자하였다.

그러나 분석결과 어느 혼입율에서 변곡점이 생겨 그 점이 가장 양호한 것과 같은 결과를 나타내지 않아 최적치를 결정하기에는 어려움이 따른다. 따라서 경험적인 상황을 고려하여 플로치가 180 mm 이상이고, 공기량 3% 전·후, 압축강도 60 MPa이상, 28일 자기수축 1200×10^{-6} 이하인 것을 고려하고, 기존의 문헌[8]을 참고하여 섬유혼입량 1.5%, ERCO 혼입율 0.5%를 최적치로 결정하였다.

이때 Plain 대비 섬유혼입량 1.5%인 경우는 플로우 25% 감소, 공기량 및 28일 압축강도 34% 및 19% 증가, 28일 자기수축은 10% 감소한 결과이었다. 또한 ERCO 0.5% 혼합한 경우는 Plain 대비 플로우 11%, 공기량 25%, 28일 압축강도 3%로 저하하여 불리하였지만, 28일 자기수축은 15% 감소하여 우수해짐을 알 수 있었다.

참고적으로 섬유 및 ERCO 혼입을 증가에 따른 HPFRCC의 특성을 분석하면 Table 8과 같다.

Table 8. Properties of HPFRCC depending on various fiber content and ERCO dosage

Division	Fiber content	ERCO dosage
Flow	↘	↘
Air content	↗	↘
Compressive strength	↗	↘
Autogenous shrinkage	↘	↘

* ↗ : Increase, ↘ : Decrease

4. 결 론

본 연구에서는 방폭성능과 자기수축저감 성능을 향상시키기 위하여 유·무기 복합섬유의 섬유혼입율 및 ERCO 혼입율 변화에 따른 HPFRCC의 기초적 특성 및 자기수축저감 성능을 분석하여 최적치를 도출, 군 시설물에 활용하고자 하였는데 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 유동성의 경우는 섬유 및 ERCO의 혼입율이 증가할수록 플로치는 감소하는 경향을 나타내었는데, 이는 섬유 혼입이 증가됨에 따라 섬유와 결합재간의 부착력 증가 및 ERCO 혼입에 따른 점성증가로 인하여 플로우가 감소한 것으로 판단된다.
- 2) 공기량의 경우는 섬유혼입율이 증가할수록 증가, ERCO 혼입율이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었는데, 특히, AE제는 ERCO의 지방분을 친유기로 흡착함에 따라 공기량이 감소하는 것으로 분석되었다.
- 3) 경화 모르타르의 강도 특성의 경우 전반적으로 섬유가 혼입됨에 따라 증가, ERCO가 혼입됨에 따라 감소하였

는데, 이는 섬유와 결합재간의 부착력 및 점성 증가로 인해 강도가 증가되었고, ERCO는 시멘트 모세관 공극 내의 조직의 팽창 및 물과 시멘트의 수화반응을 저지시킴에 기인하여 강도가 저하하는 것으로 판단된다.

- 4) 자기수축 길이변화율은 섬유 및 ERCO 혼입율이 증가할수록 저감되는 경향을 나타내었다. 이는 섬유가 혼입됨에 따라 모르타르 매트릭스를 구속함에 기인한 것 및 ERCO를 혼입함에 따라 미세비누 입자가 모르타르의 모세관 공극을 밀실하게 채워 자기수축이 저감된 것으로 판단된다.

이상을 종합하여 볼 때, Plain인 섬유 및 ERCO 혼입율 0%에 비해 유동성은 저하하지만 자기수축이 저감되고 방호·방폭 성능이 뛰어난 HPFRCC를 실제 구조체에 적용하기 위해서는 복합섬유(SS+OL) 혼입율 1.5%에 ERCO 0.5%의 혼입이 가장 효과적인 것으로 판단되었다.

요 약

최근 전 세계적으로 폭탄테러 및 폭발사고가 빈발하여, 인명 및 재산피해가 증가하고 있다. 따라서 방호·방폭 성능을 갖는 고성능 시멘트 복합재료(HPFRCC)에 대한 관심이 증가하고 있다. 이에 본 연구에서는 최적의 HPFRCC를 군부대 시설에 실제적으로 적용하기에 앞서 유·무기 복합섬유 혼입율 및 ERCO 혼입율 변화에 따른 HPFRCC의 기초적 특성 및 자기수축 저감 성능을 분석하고자 하였다. 그 결과, 적절한 유동성, 강도, 자기수축저감 효과를 종합적으로 고려할 때 복합섬유(SS+OL) 혼입율 1.5%에 ERCO 0.5%의 혼입이 가장 효과적인 것으로 평가 되었다.

키워드 : HPFRCC, ERCO, 섬유혼입율, 자기수축

Acknowledgement

This research was supported by a grant from a Construction Technology Research Project (Development of impact/blast resistant HPFRCC and evaluation technique thereof, 13SCIPS02) funded by the Ministry of Land, Infrastructure, and Transport.

References

1. Ali Hemmati, Ali Kheyroddin, Mohammad Sharbatdar, Yeonho Park, Ali Abolmaali, Ductile behavior of high performance fiber reinforced cementitious composite (HPFRCC) frames, *Journal of Elsevier Construction and Building Materials*, 2016 Apr;115: 681–89.
2. Kim GY, Kim YD, Cho BS, Yun HD, Kim MH, The present status of application and the demanding forecasting of fiber reinforced cementitious, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 2006 Jan;18(1):44–51.
3. Park YJ, Field applications and engineering properties of combined fiber reinforced concrete [Dissertation], [CheongJu (Korea)]: CheongJu University; 2016. 92 p.
4. Han MC, Woo DH, Effect of emulsified refine cooking oil on the engineering properties of high volume admixture concrete, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 2013 Sep;29(9):57–64.
5. Lee HG, Engineering properties of ultra-high strength concrete depends on fine aggregates types and mixing methods [Dissertation], [CheongJu (Korea)]:CheongJu University; 2016. 112 p.
6. Lee JT, Han CG, Engineering properties of HPFRCC including both organic and inorganic fibers, *Journal of the Korean Institute of Building Construction*, 2015 Dec;15(6):615–20.
7. Han MC, Kim TC, Autogenous shrinkage of the high strength concrete using emulsified waste cooking oil, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 2012 Sep;28(9):139–46.
8. Korea Concrete Institute, Structural using and performance evaluation of high performance fiber reinforced cementitious composite, 1st ed, Seoul: Kimoon dang; 2014. 176 p.
9. Kim YL, Park DS, Seo CH, Variations of material characteristics of high-strength concrete according to increase of steel fiber volume, 2005 Jan;21(2):95–101.