

분할된 코일을 이용한 전자기장 유도가 강섬유보강몰탈의 파괴에너지에 미치는 영향

Effect of Induction of Electromagnetic Field by Partitioned Coils on Fracture Energy of Steel Fiber Reinforced Mortar

문도영^{1*} · 누르 인다 무카로마²

Do-Young Moon^{1*} · Nur Indah Mukharromah²

(Received August 23, 2022 / Revised September 21, 2022 / Accepted September 23, 2022)

In this experimental study, the effect of continuously changing the position of electromagnetic force using several coils and a relay switch on fracture energy was investigated. Normal mortar and steel slag mortar specimens in which 50 % and 100 % of sand was replaced with steel slag were cast and exposed to electromagnetic field. The electric field was induced by one coil without a relay switch as an existing method and by partitioning the coil and continuously changing the position using a relay switch. The fracture energy was calculated from the load-vertical displacement curve obtained from the experiment and compared with each other. As a result of the experiment, it was confirmed that the method of partitioning the coil and changing the position of electromagnetic force by using a relay switch is effective in increasing the fracture energy even if the same amount of power is used.

키워드 : 강섬유, 전자기장, 코일분할, 파괴에너지

Keywords : Steel fibers, Electro-magnetic field, Partition of a coil, Fracture energy

1. 서론

콘크리트와 같은 시멘트 복합체에 강섬유를 혼입하였을 때 인성(Toughness)이 크게 증가된다는 것은 널리 알려져 있다. 강섬유의 혼입량, 강섬유의 형태와 형상비 등 다양한 인자에 대한 연구가 진행되었으며(Li et al. 2018), 그 중에서 강섬유의 방향이 성능증진에 중요한 역할을 한다는 것이 수년 동안 실험에 의해 밝혀졌다(Blanco et al. 2015). 이에 따라 몰탈 또는 콘크리트에 혼입된 강섬유의 방향을 인위적으로 조정하기 위한 하나의 방안으로서 전자기장을 사용하는 연구가 진행되고 있다(Mu et al. 2015; Mu et al. 2019; Michels and Gams 2016; Javahershenas et al. 2021; Hajforoush et al. 2020; Ferrández et al. 2019).

전자기장을 이용한 강섬유 정렬방법은 직류의 전류를 코일에

통과시킴으로서 얻어지는 벡터력을 이용하는 방법이다. 강섬유는 코일에 흐르게 되는 직류 전류(DC)에 의하여 일정하게 발생하는 전자기력에 의해 코일회전방향에 직각으로 힘을 지속적으로 받게 됨으로서 회전하게 된다. 이때 전자기력에 의한 회전력은 저항력(drag force)을 초과하여야 한다. 이 분야의 대부분의 연구는 이와 같이 한 개의 코일에 일정하게 흐르는 전류에 의한 전자기력을 주로 사용한 방법을 주로 연구하였다. 이때 전자기력은 강섬유의 회전 정렬을 유도하는 힘으로서 유도방식과 사용하는 전류에 따라 다양한 시도를 통해 효율을 증진시키려는 연구가 필요하다. 이를 위하여 Shin et al.(2022)은 모터에 사용되는 SRM을 이용한 강섬유의 원주방향 정렬을 위한 연구를 수행한 바 있다.

본 연구에서는 한 개의 코일을 장치 전면에 고르게 감고, 코일의 양단에 일정한 DC 전류를 흘려 전자기장을 유도하는 기존의 방식

* Corresponding author E-mail: dymoon@ks.ac.kr

¹경성대학교 토목공학과 부교수 (Department of Civil Engineering, Kyungsoong University, Busan, 48434, Korea)

²경성대학교 토목공학과 석사과정 (Department of Civil Engineering, Kyungsoong University, Busan, 48434, Korea)

과 함께 코일을 위치에 따라 분할하여 수개의 코일로 분리하고 모든 코일의 단부를 Relay switch에 연결한 후 프로그램을 통하여 전류를 일정한 간격으로 교차적으로 흐르게 함으로서 전자기장의 위치를 교란하는 방식의 효과를 비교하는 실험적 연구를 수행하였다. 이때 통전 전류량을 조정하여 모든 경우에 대하여 동일한 전자기력이 발생하도록 하였다. 본 실험적 연구는 동일한 전류량을 사용하더라도 섬유방향에 효과적인 코일링 방법을 고찰, 증명한다는 관점에서 그 공학적 의미가 있다.

본 실험적 연구에서 코일분할 방법, 강섬유의 종류(마이크로 강섬유와 일반 후크강섬유), 잔골재의 종류(일반모래, 스틸슬래그)를 변수로 하였으며, 원형 몰탈 시편의 휨파괴 시험을 통해 획득한 파괴에너지를 상호 비교, 분석하였다.

2. 전자기장유도 장치

2.1 전자기 유도를 통한 강섬유 방향 정렬

전자기장은 코일에 의해 형성된다. 앙페르의 오른손 법칙에 의하여 엄지를 제외한 4개의 손가락이 전류의 방향일 때 엄지손가락의 방향으로 힘이 발생한다. 이는 코일의 회전수와 전류의 크기에 비례한다(Fig. 1 참고).

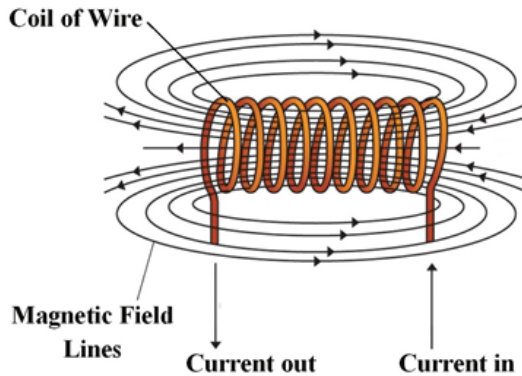


Fig. 1. Principal of electromagnetic field induction by coils

2.2 섬유방향정렬을 위한 필요 전자기력

굳지 않은 콘크리트 내부에 있는 전자기력에 의하여 강섬유에 작용하는 힘을 Fig. 2와 같이 f_m 으로 정의하고 이에 저항하는 힘은 f_r 로 정의하며, 각 힘에 대한 섬유중심점에서의 모멘트를 계산하여 강섬유가 회전할 때 필요한 시간과 힘을 수학적으로 정의할 수 있다.

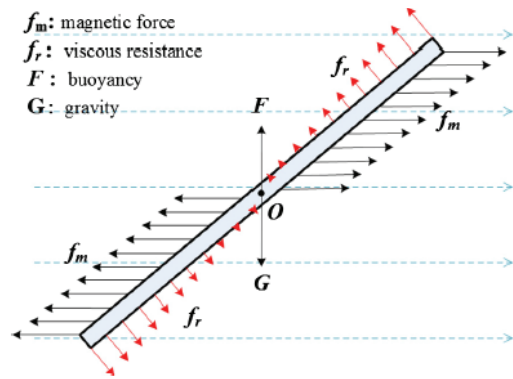


Fig. 2. Forces acting on a steel fiber exposed to magnetic fields Mu et al. (2015)

$$f_m = \frac{B^2 A}{2\mu_0} \left(\frac{\mu_m - \mu_0}{\mu_0} \right) \quad (1)$$

$$f_r = C_D \rho \frac{v^2}{2} A_f = C_D \rho \left(\frac{(w(t)r_f)^2}{2} \right) A_f \quad (2)$$

식 (1), 식 (2)에서 f_m 은 물체에 작용하는 분포력(N/m), A 는 물체의 단면적(m^2), B 는 식 (3)으로 계산하거나 전자기력 측정장치로부터 획득한 값을 사용할 수 있으며, l 은 물체의 길이(m), μ_m 와 μ_0 는 각각 물체와 진공에서의 투자율로서, $\mu_m = 10^4 \mu_0$, $\mu_0 = 1.256 \times 10^{-6} (N/A^2)$ 이다.

$$B = \mu n I (N/mA) \quad (3)$$

식 (3)에서 B 는 전자기장의 세기(Gauss = N/mA), $\mu = 4\pi \times 10^{-7} (N/A^2)$, $n = N/L(1/m)$ 로 코일의 회전수를 슬레노이드의 길이로 나눈 값을 의미한다.

본 연구에서 몰탈내부에서 함유된 강섬유의 방향을 정렬하기 위해서는 식 (1)의 힘이 식 (2)의 힘 보다 충분히 커야 한다. 이를 위하여 필요한 코일의 회전수와 필요한 인가전류량은 전자기장 해석을 통해 획득하였으며, 자세한 사항은 다음 장에 제시한 바와 같다.

2.3 전자기장 유도장치

원형 몰탈시편 내부에 혼입된 강섬유의 방향을 조정하기 위한 전자기장 유도장치를 제작하였다. 3D 프린터로 제작된 높이 150 mm, 내경 75 mm, 외경 80 mm의 원형 몰드 외부에 코일을 감았다. 코일은 구리 동선으로서 직경은 0.8 mm이며, 은 총 코일 회전수는

1500회로 동일하다. 한 개의 코일을 사용한 경우와 이를 2개로, 또는 3개로 분리하여 제작한 장치로 총 3개의 유도장치를 제작하였다. Fig. 3은 본 연구에서 제작한 3개의 전자기장 유도 장치를 보여주고 있다. 전자기장 유도 장치의 인가전류량과 측정된 전자기력은 Table 1과 같다. 전자기력은 각 장치에 대하여 10회 측정된 후 평균한 결과이다. Table 1에서 C1은 Fig. 3의 Container 1을, C2는 Container 2를, C3는 Container 3을 의미한다. 측정된 전자기력에서 알 수 있듯이 C1, C2 및 C3에 대하여 거의 100 Gauss로 유사하다.

C1의 경우 코일의 양단을 DC 전원공급 장치에 직접 연결하고 5분 동안 1.8 A의 전류를 인가하였다. C2와 C3의 경우 코일이 한 개가 아닌 다수의 코일이 감겨 있는 경우 이므로 Fig. 4와 같이 모든 코일을 Relay switch에 연결하고 3.4 A, 5.0 A의 전류를 각 코일에 1초의 간격으로 순차적으로 인가하는 방식을 사용하였다.

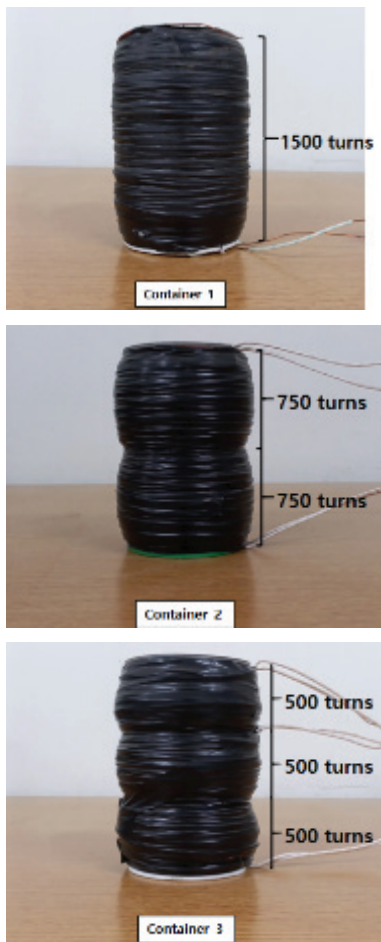


Fig. 3. Electromagnetic equipment for alignment of steel fibers

Table 1. Details of electromagnetic equipments used

ID.	Number of turns	Partition	Applied current (A)	Measured MF intensity (G)
C1	1500	None	1.8	99.6
C2	750	Top	3.4	97.0
	750	Bottom		
C3	500	Top	5.0	104.2
	500	Middle		
	500	Bottom		

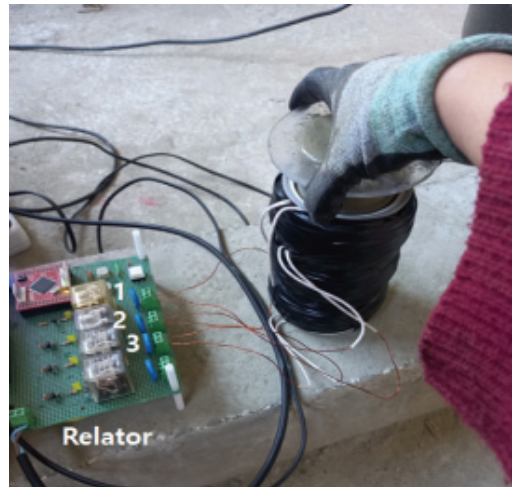


Fig. 4. Magnetic field inducing for C2 and C3

3. 시험개요

3.1 사용재료 및 배합

강섬유보강 물탈 배합의 배합표와 28일 압축강도 시험결과는 Table 2에 제시하였다. 총 6개의 큐빅물드를 제작하고 실험하였으며, 평균값을 제시하였다. 강섬유는 Fig. 5와 같이 두 종류를 사용하였다. 첫 번째는 후크형으로, 길이 30 mm, 직경 0.5 mm의 일반 강섬유를 사용하였으며, H type의 명명하였다. 두 번째 강섬유 S는 정착형태가 없는 마이크로 강섬유로, 길이 13 mm, 직경 0.2 mm이다(Fig. 5 참고). 강섬유의 혼입비는 0.5 %Vol.이다.

실험에 사용된 재료는 스틸슬래그는 에코마이스터에서 생산하고 있는 PS Ball 제품으로 제철소에서 발생하는 슬래그를 재활용하기 위해 가공한 제품이며 기존에 콘크리트 제조에 사용하는 모래 대체재로 사용되고 있다.

물탈 타설 후 Fig. 6과 같은 아크릴 폼에 담긴 상태로 Fig. 7과 같이 전자기장 유도장치에 삽입되고 5분간 전자기장에 노출하였다.

Table 2. Mix proportion and compressive strength

Type	Steel fibers	Composition (kg/m ³)				Comp. strength (MPa)
		Cement	Water	Sand	Steel slag	
H_NM	H Type 0.5 %Vol.	865	364	939	-	56.65 ± 7.36
H_NSSM		865	364	469	469	64.87 ± 6.93
H_SSM		865	364	-	939	56.09 ± 6.72
S_NM	S type 0.5 %Vol.	865	364	939	-	52.51 ± 1.59
S_NSSM		865	364	469	469	46.06 ± 8.03
S_SSM		865	364	-	939	47.19 ± 4.20

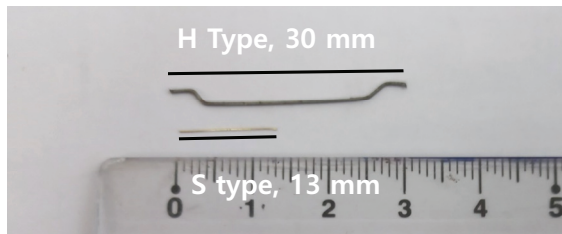


Fig. 5. Steel fibers used

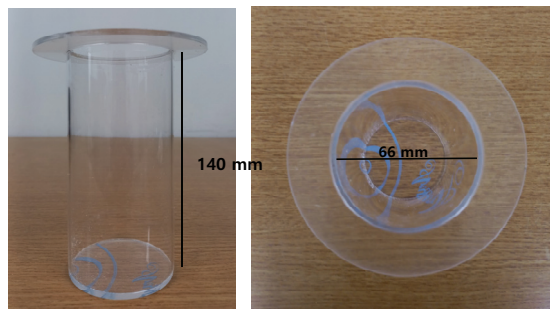


Fig. 6. Acryl form for mortar



Fig. 7. Exposing to magnetic field for C1

3.2 실험변수

실험변수는 Table 3과 같다. 모든 배합에 대하여 실험을 수행하였으며, 전자기장에 전혀 노출시키지 않은 시편(Table 3의 “No_MF”)과 Fig. 30에 제시된 Containers 1, 2와 3(Table 3의 “C1”, “C2”, “C3”)에 5분 동안 노출시킨 시편을 제작하였다. 각 변수에 대하여 3개씩 총 72개의 시편을 제작하고 실험을 수행하였다.

Table 3. Test summarization

Type	Magnetic field inducing				No. of specimens
	No_MF	C1	C2	C3	
H_NM	3	3	3	3	12
H_NSSM	3	3	3	3	12
H_SSM	3	3	3	3	12
S_NM	3	3	3	3	12
S_NSSM	3	3	3	3	12
S_SSM	3	3	3	3	12

3.3 실험방법 및 분석

실험체는 직경 66 mm, 높이 140 mm의 원형 몰탈이다. 실험은 힘파괴 실험을 수행하였으며, 안정적인 결과도출을 위하여 노치를 인위적으로 제작하였다. 노치는 원형몰탈의 표면으로부터 10 mm 깊이로 하였으며, 양생 후 그라인더를 이용하여 시험체의 높이 중앙에 폭 1 mm의 노치를 두었다.

단순지지 상태에서 3점 재하상태에서 시험체의 파괴가 발생할 때까지 실험을 수행하였다. 경간 길이는 120 mm이며, Fig. 8은 실험 Set-up을 보여준다. 실험 중 LVDT를 이용하여 수직변위를 측정하였다.

실험결과로부터 획득한 하중-수직변위 그래프로부터 파괴에너지를 계산하고 비교하였다. 파괴에너지는 계산은 Kazemi et al.(2007)에 제시된 식 (4)~(5)에 따라 계산하고 상호 비교하였다.

$$G_F = \frac{W_F}{A} \tag{4}$$

$$W_F = W_o + 2P_o u_o \tag{5}$$

여기서, A 는 노치를 제외한 나머지 단면의 면적(mm²), W_o 는 하중-변위 곡선의 하부면적(kNmm), P_o 는 보의 자중(kN), u_o 는 측정된 최대변위(mm)로서 본 실험에서는 경간 길이의 10 %에 해당하는 12 mm까지 측정을 하였으므로 이 값은 12 mm이다.

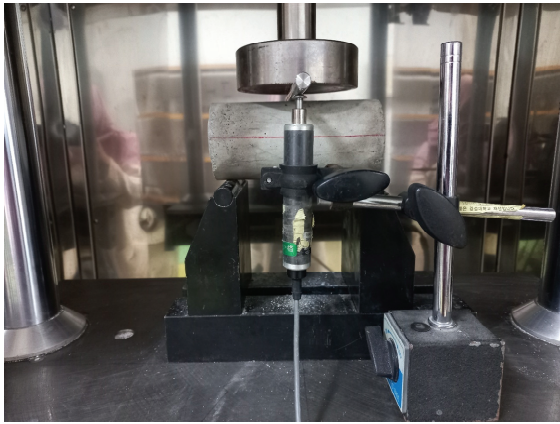


Fig. 8. Test set-up

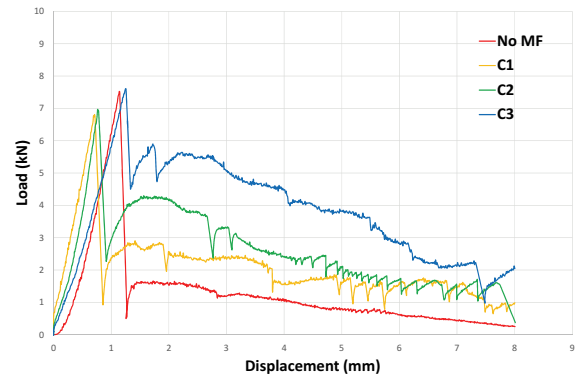


Fig. 9. P-D Curves for NM control specimen series

4. 실험결과 및 고찰

4.1 하중-변위곡선

실험결과로부터 획득한 H_NM 시리즈의 하중-수직변위 곡선은 Fig. 9와 같다. 모든 그래프에서 최대하중에 이르러 급격한 하중감소와 변위의 증가가 나타난다. 그러나 하중감소정도는 전자기장의 노출방법에 따라 다른 것을 볼 수 있다. 전자기장에 노출되지 않은 경우의 하중 감소가 가장 크며, C3의 하중감소는 가장 적은 것을 볼 수 있다.

균열 발생 이후 급격한 하중감소가 발생하지만 강섬유가 저항하면서 다시 하중이 증가하는 것을 볼 수 있다. 하중감소가 작은 것은 C3, C2와 C1의 순서로서 다수의 코일을 사용할 때 균열 저항 성능이 우수한 것으로 나타났다.

4.2 파괴에너지 비교

Table 4는 각 실험체의 파괴에너지 결과를 나타내고 있으며, Fig. 10에는 이를 막대그래프로, Fig. 11은 각 배합의 No_MF의 파괴에너지 값으로 나눈 비의 결과를 보여주고 있다.

Fig. 11을 통해 모든 배합에서 코일 분할에 의한 영향을 상대적으로 명확하게 확인할 수 있다. 우선 마이크로 강섬유가 혼입된 S_NM, S_NSSM 및 S_SSM의 결과를 보면, 모든 배합에서 C2의 파괴에너지가 가장 큰 것으로 나타났다. No_MF의 파괴에너지 보다 1.15~1.87 배 수준이다. C1 보다는 미세하기 크며, C3는 오히려 파괴에너지가 크게 감소하는 것을 볼 수 있다. 한편, H_NM, H_NSSM 및 H_SSM의 결과를 살펴보면, H_NM에서는 C1, C2 및 C3의 결과가 확연한 차이가 발생하지만, H_NSSM과 H_SSM에서는 C1, C2 및 C3의 파괴에너지가 No_MF와 비슷하거나 오히려 작은 것을 볼 수 있다. H_NM에서는 C1, C2 및 C3일 때 파괴에너지

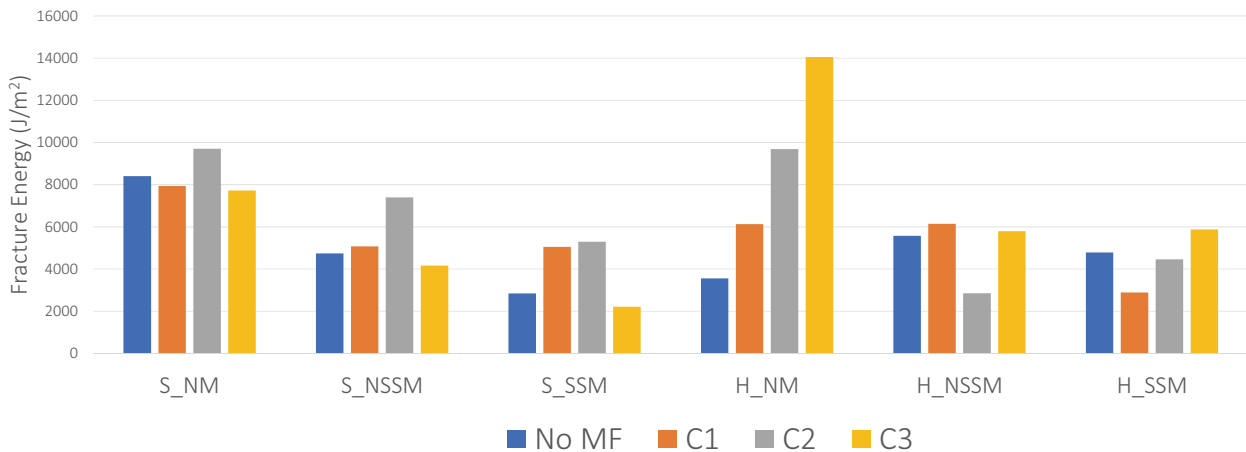


Fig. 10. Comparison of fracture energy

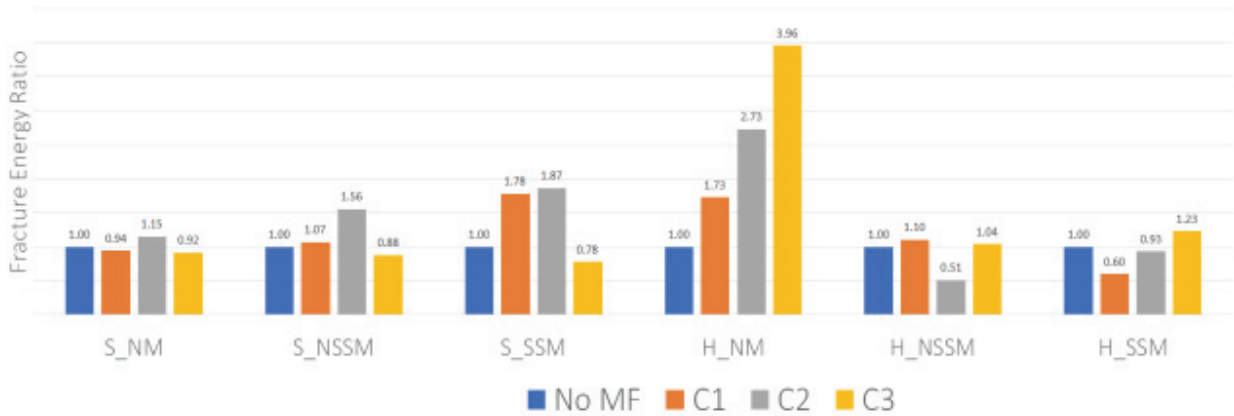


Fig. 11. Fracture energy ratio

Table 4. Fracture energy calculated and ratio

ID.	No_MF	C1	C2	C3
S_NM	8408.67	7938.36	9703.94	7719.87
	1.00	0.94	1.15	0.92
S_NSSM	4740.82	5074.61	7390.78	4159.24
	1.00	1.07	1.56	0.88
S_SSM	2839.92	5052.46	5300.80	2213.83
	1.00	1.78	1.87	0.78
H_NM	3551.34	6132.98	9693.26	14052.46
	1.00	1.73	2.73	3.96
H_NSSM	5570.52	6145.58	2850.87	5795.42
	1.00	1.10	0.51	1.04
H_SSM	4787.07	2887.28	4460.93	5879.36
	1.00	0.60	0.93	1.23

가 크게 증가하는데, 2배에서 4배까지 증가하는 것을 확인할 수 있다.

4.3 고찰

힘파괴시 파괴에너지는 파괴면에 존재하는 강섬유의 방향이 파괴면에 직각일수록 증가한다(Huang et al. 2018). 본 실험에서는 전자기장이라는 외부의 힘이 몰탈에 혼입된 강섬유를 수직으로 정렬하게 하는데 파괴에너지의 증가에 기여하는 것을 확인하였다. 특별히 본 실험에서는 기존의 연구와 달리 한 개의 코일을 이용하여 시험체의 전면에 동일하고 일정한 전자기장을 형성하는 방법과 수개의 코일을 상중하로 분할 사용하고 일정한 간격으로 교차되도록 하는 방법이 효과를 파괴에너지를 통해 비교하였으며, 코일을 분할하는 방법을 적용하였을 때 파괴에너지의 증가가 크다는 것이 확인되었다. 이는 대상 전체에 일정한 자기장을 노출시키는 것 보

다 동일한 전자기장의 세기라 할지라도 코일을 분할하여 위치에 변화를 주는 것이 강섬유의 방향을 정렬하는데 효과적이라는 것을 보여준다.

그러나 주목할 것은 코일의 분할에 의한 뚜렷한 영향을 나타낸 것은 일반 후크강섬유가 혼입된 일반 몰탈(NM)에서만 뚜렷한 경향성을 나타냈다. 마이크로 강섬유와 스틸슬래그의 배합에서는 그 영향이 분명하게 나타나지 않았다.

마이크로 강섬유를 사용하였을 때 그 영향이 제한적이었던 것은 마이크로 강섬유의 형상에 그 원인이 있는 것으로 사료된다. S 강섬유는 정착단의 형태가 없이 직선으로 되어 있기 때문에 정착능이 상대적으로 낮으며, 이것이 작은 파괴에너지의 원인이 된다. 이와 같은 연구결과는 Li et al.(2018)과 Manaf et al.(2021)의 결과에서도 확인할 수 있다. 이들의 연구결과에서 후크강섬유의 횡강도와 파괴에너지가 스트레이트형태의 강섬유에 비하여 20~30 % 큰 것으로 보고하고 있다. Abdallah et al.(2018)의 연구에서는 후크의 꺾임의 증가에 따른 에너지를 비교하였는데, 꺾임이 증가할수록 파괴에너지가 증가하는 것을 볼 수 있다. 그러나 Fig. 11의 비교에서 전자기장에 노출시킨 경우의 파괴에너지가 노출되지 않은 시편의 파괴에너지보다 크며, 특히 C1, 즉 전체 높이에 1개의 코일을 감은 경우 보다는 위와 아래를 분리하여 2개의 코일을 감은 경우(C2)가 파괴에너지가 모든 S 시리즈의 실험결과에서 큰 것으로 확인되었다. 이와 같은 마이크로 강섬유의 결과를 종합할 때, 코일의 분할에 대한 영향은 분명히 존재하지만, 후크형태가 없기 때문에 그 영향이 크지 않고 제한적이었던 것으로 판단된다.

한편, 일반 후크 강섬유가 사용된 H 시리즈의 결과 중에서 NSSM과 SSM 몰탈의 경우 코일의 분할에 의한 영향이 거의 나타나지 않는 것을 확인하였다. NSSM과 SSM은 잔골재의 50 % 또는 전부를 steel slag로 치환한 배합이다. 압축강도 결과에서는 SSM



Fig. 12. Steel slag and fibers under magnetic field

과 NSSM의 압축강도는 NM의 압축강도의 86 ~ 88 %이다. 또한 전자기장의 노출 시 Fig. 12와 같이 자성체인 골재가 전자기의 영향을 받아 기둥을 형성하는 것을 확인하였다. 전자기장에 노출되는 5분 동안 이와 같은 기둥의 형성은 배합에 나쁜 영향을 주어 강도저하 및 강섬유의 정착성능 저하에 직접적으로 영향을 미치는 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 전자기장을 이용하여 몰탈내 강섬유의 방향을 조정하는 연구의 일환으로서, 전자기장의 도입방법의 효율을 증대하기 위하여 코일 분리가 시편의 휨파괴에너지에 미치는 영향을 분석하였다. 본 실험적 연구를 통해 획득한 결론은 다음과 같다.

1. 노출되는 전자기장의 강도가 동일하더라도 코일을 분할하여 노출시킨 경우 파괴에너지의 증가하는 것으로 확인되었다. 코일을 상중하로 분할하고 전류를 일정한 간격으로 교차해줌으로서 전자기력이 일정하게 유도되는 것이 아니라 교란됨으로서 강섬유의 방향정렬에 효과적으로 작용함으로서 파괴에너지의 증가가 발생한 것으로 사료된다.
2. 상기 1)번의 결과는 마이크로 강섬유와 일반강섬유 보강 몰탈에서도 확인되었으나, 마이크로 강섬유의 경우에는 후크가 없어 그 영향이 제한적이었으며, 일반 후크 강섬유의 실험결과에서 명확한 경향성이 확인되었다.
3. 스틸슬래그가 50 %와 100 % 치환된 배합의 전자기장에 의한 파괴에너지의 증가는 거의 발생하지 않는 것으로 확인되었다. 이는 스틸슬래그 배합의 낮은 배합품질이 영향을 준 것으로 판단된다. 몰탈을 구성하는 골재가 자성체인 스틸슬래그인 경우 전자기력이 강섬유와 스틸슬래그를 수직의 기둥으로 형성하게

함으로서 시멘트와 골재의 분리를 유발하며, 강섬유와의 부착 성능을 저하시킴으로서 파괴에너지의 증가가 제한된 것으로 판단된다.

Conflicts of interest

None.

감사의 글

이 논문은 한국연구재단 이공분야기초연구사업 중 기본연구지원사업(과제번호: 2020R1F1A1076566)의 연구비 지원으로 수행, 작성되었으며, 이에 감사합니다.

References

- Abdallah, S., Rees, D.W., Ghaffar, S.H., Fan, M. (2018). Understanding the effects of hooked-end steel fibre geometry on the uniaxial tensile behaviour of self-compacting concrete, *Construction and Building Materials*, **178**, 484–494.
- Blanco, A., Pujadas, P., De la Fuente, A., Cavalaro, S.H.P., Aguado, A. (2015). Assessment of the fibre orientation factor in SFRC slabs, *Composites Part B: Engineering*, **68**, 343–354.
- Ferrández, D., Saiz, P., Morón, C., Dorado, M. G., Morón, A. (2019). Inductive method for the orientation of steel fibers in recycled mortars, *Construction and Building Materials*, **222**, 243–253.
- Hajforoush, M., Kheyroddin, A., Rezaifar, O. (2020). Investigation of engineering properties of steel fiber reinforced concrete exposed to homogeneous magnetic field, *Construction and Building Materials*, **252**, 119064.
- Huang, H., Gao, X., Li, L., Wang, H. (2018). Improvement effect of steel fiber orientation control on mechanical performance of UHPC, *Construction and Building Materials*, **188**, 709–721.
- Javahershenas, F., Gilani, M.S., Hajforoush, M. (2021). Effect of magnetic field exposure time on mechanical and microstructure properties of steel fiber-reinforced concrete (SFRC), *Journal of Building Engineering*, **35**, 101975.
- Kazemi, M.T., Fazileh, F., Ebrahimezhad, M.A. (2007). Cohesive crack model and fracture energy of steel-fiber-reinforced-concrete notched cylindrical specimens, *Journal of Materials in Civil Engineering*, **19(10)**, 884–890.
- Li, B., Xu, L., Shi, Y., Chi, Y., Liu, Q., Li, C. (2018). Effects of fiber

- type, volume fraction and aspect ratio on the flexural and acoustic emission behaviors of steel fiber reinforced concrete, *Construction and Building Materials*, **181**, 474–486.
- Michels, J., Gams, M. (2016). Preliminary study on the influence of fibre orientation in fibre reinforced mortars, *Gradevinar*, **68(8)**, 645–655.
- Manaf, A.F.A., Shahidan, S., Mazlan, M.F.N., Ramasamy, S., Zuki, S.S.M., Azmi, M.A.M., ... Rahim, M.A. (2021). Strength Capacity of Concrete Using Micro Steel Fiber: A Review, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, **1144(1)**, 012023.
- Mu, R., Qiu, X., Zhao, Q., Li, H. (2015). Aligned steel fibre reinforced cement based composites (I), orientation control of steel fibres, *Journal of Building Materials*, **18(2)**, 208–213.
- Mu, R., Xue, Y., Qing, L., Li, H., Zhao, Y., Zhou, J., Su, J. (2019). Preparation and mechanical performance of annularly aligned steel fiber reinforced cement-based composite pipes, *Construction and Building Materials*, **211**, 167–173.
- Shin, S.C., Mukharromah, N.I., Moon, D.Y., Park, D.W. (2022). Double punch tensile strength of cylindrical mortar with steel fibers aligned in circumferential direction by electro-magnetic field, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, **10(1)**, 40–47.

분할된 코일을 이용한 전자기장 유도가 강섬유보강물탈의 파괴에너지에 미치는 영향

본 실험적 연구에서는 수개의 코일과 릴레이 스위치를 활용하여 전자기력 위치를 지속적으로 교란하는 방법이 파괴에너지에 미치는 영향을 분석하였다. 마이크로 강섬유와 일반 후크 강섬유로 보강된 일반물탈, 모래의 50 %와 100 %를 스틸슬래그로 치환한 스틸슬래그 물탈을 제작하고, 전자기에 노출하였다. 전자기력이 유도방식은 기존의 방식인 한 개의 코일을 사용하고 릴레이 스위치 없이 일정한 전자기력을 유도하는 기존의 방법과 이를 상과 하로 두 개로, 상중하 세 개로 분할하고 릴레이 스위치를 두어 지속적으로 변화시키는 방법으로 하였다. 실험결과로부터 획득한 하중-수직변위곡선으로부터 파괴에너지를 계산하고 이를 상호 비교하였다. 실험결과, 동일한 전력량을 사용하더라도 코일을 분리하고 릴레이 스위치를 활용하여 전자기력을 교란하는 방식이 파괴에너지를 증가시키는데 효과적인 것으로 확인되었다.