

강섬유를 이용한 CS-H 벽체의 성능 평가에 관한 연구

Study on the Performance Evaluation of CS-H Wall composed of Steel Fiber

유남재¹, 이강일^{2*}

Nam-Jae YU¹, Kang-Il Lee^{2*}

¹Member, Deputy General Manager, Korea Conformity Laboratories, 85, Danbang-ro, Namdong-gu, Incheon, 21591, Republic of Korea

²Member, Professor, Dept. of Civil Engineering, Daejin University, 11-1, Sundan-dong, Pocheon-si, Gyeonggi-do, 11159, Republic of Korea

ABSTRACT

In this study, CS-H walls with large stiffness were constructed using geosynthetics for use in excavation at a depth of 30 m or more in Korea, and in order to construct the CS-H wall suitable for the site conditions, the formulation was examined according to the change in the mixing ratio of the geosynthetics and the slump value (slump flow) and as a result, in the target slump 180 mm and the slump flow 500 mm, the formulation was confirmed to meet the mechanical properties such as the initial bending strength, the long-term behavior, and the elastic modulus as well as the economic efficiency. However, in the slump flow 600 mm, the result indicated that the formulation was inappropriate in the mechanical properties such as the initial bending strength, the long-term behavior, and the elastic modulus.

요 지

본 연구에서는 국내에서 30m 이상인 대심도에서 강성이 큰 CS-H벽체를 만들기 위하여 지반신소재를 이용하였으며 지반신소재의 혼입율과 슬럼프(슬럼프 플로우) 값에 변화를 주어 현장여건에 맞는 배합을 실시하였으며 목표 슬럼프 180mm 및 슬럼프 플로우 500mm에서는 초기 휨강도, 장기 거동특성 및 탄성계수의 역학적 특성과 동시에 경제성을 모두 만족할 수 있는 배합을 확인하였으나 슬럼프 플로우 600mm에서는 역학적 특성 및 초기, 장기 거동특성에서 취약한 결과를 보였다.

Keywords : Deep excavation, Contiguous wall, Displacement control, Geosynthetic, Compressive Strength

1. 서 론

최근 지하공간의 활용도가 높아감에 따라 30m 이상 대심도 지하굴착 수요가 증가하고 있으며 국내에서 대심도 굴착시 강성이 큰 Soil Cement Wall(SCW)이나 Cast-In-place Pile(CIP)을 이용한 주열식 말뚝 벽체 형태의 시공이 많이 이루어지고 있다. 그러나 케이싱에 과도한 휨이 발생하여 케이싱 인발이 원활히 이루어지지 않음에 따른 벽체 결함이 발생하고(Fig. 1 (a)), 콘크리트 타설시 시공이음으로 인한

콘크리트 말뚝의 결함과 가이드 월 미설치시 벽체의 연직도 불량 그리고 30m 이상 대심도 굴착벽체 시공시 연직도 관리 불량으로 인한 지하수 누수 및 토사 유출이 발생하고 철근 간격이 촘촘하여 콘크리트가 채워지지 못해 벽체의 국부 파손과 높은 시멘트 함유율로 인한 콘크리트 유동성(슬럼프 플로우)이 부족하여 케이싱 제거시 벽체 결함 발생하는 사례가 발생하고 있다(Fig. 1 (b)).

이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 콘크리트에 지반신소재를 사용하여 도심지 및 대심도(30m 이상) 굴착시 발생 가능한 지반함몰 및 주변지반 영향을 최소화하고 강도와 함께 충분한 강성을 확보할 수 있는 CS-H 벽체를 개발하고 벽체의 안정성을 평가하였다.

Received 22 May. 2017, Revised 13 Jun. 2017, Accepted 18 Jun. 2017

*Corresponding author

Tel: +82-31-539-2024; Fax: +82-31-549-2020

E-mail address: kilee@daejin.ac.kr (K. Lee)



(a) Wall defects caused by dense reinforcement



(b) Wall defect due to lack of concrete fluidity

Fig. 1. Wall defects during wall localization and casing removal

2. 지반신소재 활용 현황

100여년이 넘는 기간 동안 콘크리트는 현대사회의 중요 시설 기반을 구축한 주된 건설재료로 사회기반시설물에 따른 가장 좋은 건설재료이다. 특히 섬유를 처음으로 사용한 사례는 4000년 전, 중국의 한 곳에서 점토와 같이 사용한 사례가 나타났으며, 2000년 전에 구축된 만리장성이 그 대표적인 예이다. 최근 경제, 사회 및 문화 전반에 걸친 급속한 발전은 교량, 도로, 철도, 항만, 공항 등 사회기반시설물에 대한 수요를 대량으로 창출하고 있다. 또한 대형화, 고층화 그리고 장대화된 구조물의 건설이 증가함에 따라 기존 재료보다 시공성, 강도, 내구성 등 성능이 향상된 고성능 콘크리트(high performance concrete)의 적용이 요구되고 있다. 세계 각국에서는 기존 콘크리트의 성능을 개선하려는 노력이 성과를 거두어 현장 실무에 고성능 콘크리트가 활발히 적용되는 단계까지 이르게 되었으며, 이렇게 성능이 향상된 콘크리트 재료의 개발로 인해 구조시스템과 공법들도 함께 발전하게 되었다(Go et al., 2013).

섬유 종류로는 폴리에스테르 섬유, 셀룰로오스 섬유, 강 섬유, 유리섬유 등 Fig. 2에 나타내었다. 폴리에스테르 섬유 같은 경우, 고온에서 견고하기 때문에 아스팔트 같은 재료에서 용의하고, 유동성과 피로특성에 미치는 영향 또한 점도에 따라 다른 것으로 확인된다. 셀룰로오스 섬유 같은 경우, 소성변형 저항성, 수분 민감성과 균열성은 물

론 내구성이 개선되는 것으로 확인된다. 또한 유리섬유는 높은 강도를 보유하고 있으며 연신은 약4% 정도 나타나지만 탄성회복은 100% 되는 것으로 확인된다(Park et al., 2009).

강섬유 같은 경우, 숏크리트 시공 중 가장 많이 사용하였다. 강섬유의 문제점은 철근의 부식화로 인한 부식의 문제점을 이야기하지만 겉표면에서의 부식만 일어날 뿐, 안쪽의 공극사이에서는 수화반응이 더 이상 일어나지 않기 때문에 부식의 문제점이 없을 수 있다. 또한, 초기균열 이후 강성이 감소하기도 한다. 섬유의 혼입률이 증가함에 따라 초기균열 이후 강성저하가 작게 나타났으며, 극한 비틀림 모멘트와 비틀림 회전각이 증가하는 경향을 나타냈다. 이를 바탕으로 강섬유에 의한 연성의 증가로 인하여 비틀림 보강철근이 항복강도에 도달한 이후 부재의 극한 강도까지 발현된 것을 알 수 있다(Ju et al., 2017).

3. 역학적 특성 평가

3.1 배합설계

시멘트 매트릭스에 섬유보강재를 사용하는 것은 기본적으로 시멘트 경화체의 기계적 성질, 특히 인장강도와 인성을 개선시키기 위한 것이 목적이거나 섬유의 길이, 섬유의 혼입율에 따라 그 정도의 차이가 있고, 특히 섬유가 매트릭스에 혼입되어 균일하게 분산되는 분산성에 따라 크게 좌우



(a) Cellulose fiber



(b) Polyester fiber



(c) Steel fiber



(d) Glass fiber

Fig. 2. Fiber reinforced material

Table 1. Mixed design table

MIX No.	Gmax (mm)	Slump or Slump flow (mm)	Unit weight of material (kg/m ³)							Ad, (kg/m ³)	steel fiber (kg)
			W	C1	S/P	F/A	S1	S2	G1		
CS-D	25	180	168	280	80	40	413	416	906	3.60	40
CS-E											45
CS-F											50
CS-A	25	500	165	289	83	41	412	416	904	4.54	40
CS-B											45
CS-C											50
CS-G	25	600	165	286	110	44	402	405	899	5.28	40
CS-H											45
CS-I											50

slump (mm) : 25, 65, 50, 80, 120, 150, 180, 210

slump flow (mm) : 500, 600, 700

된다. 따라서 본 연구에서는 실내시험을 통해 보강용 강섬유의 성능평가를 실시하기 위하여 슬럼프 또는 슬럼프 플로우를 고정한 뒤 강섬유 혼입량만을 변수로 하여 현장에서 지반조건에 맞게 사용할 수 있는 배합설계를 하였다.

국내에서 생산 및 판매중인 대표적인 강섬유를 선택하여 적정 혼입량 별로 단계를 두어 배합시험을 실시하였다. 배합표는 Table 1은 본 연구에서 사용된 배합표이며 강섬유의 경우에는 일반적으로 혼입되는 권장 혼입량인 40kg/m³으로 기본으로 하여 5kg/m³ 단위로 증가하여 45kg/m³, 50kg/m³ 배합을 실시하여 비교군으로 활용하였다.

3.2 강섬유 특성

3.2.1 강섬유의 물리적 성질

Fig. 3은 본 연구에 사용된 강섬유로 직경 0.75mm, 굽힘 각 45°, 길이 60mm의 싱글후크 타입으로 국내 K사의 제품



으로 화학성분 및 역학적 특성은 Table 2, Table 3과 같다.

3.2.2 강섬유의 인발 특성

Hooked ends 타입 강섬유와 시멘트 매트릭스와의 향상된 부착강도와 인발거동을 평가하기 위해 JCI SF-8(Method of Test for Bond of Fibers)을 바탕으로 pull-out test를 진행하였다(Kumkang Co., Ltd., 2014). Pull-out test는 dog bone 모양 시편에 강섬유를 20mm 매립하고, 반대편 정착 단부는 강섬유를 인발시키기 위한 평판용 그립의 사용을 위해 매립하지 않았다. 전체적인 pull-out test의 실험모습은 Fig. 4와 같다. 실험에 사용된 시멘트 매트릭스의 압축강도는 30MPa이며, 강섬유는 부착성능 비교를 위해 인장강도 1,100MPa의 hooked ends 타입을 대상으로 진행하였다. Table 4 시험결과로서 최대부착강도는 395N, 부착강도는 8.38MPa로 매립된 길이만큼 강섬유가 인발이 되는 결과를 보였다.

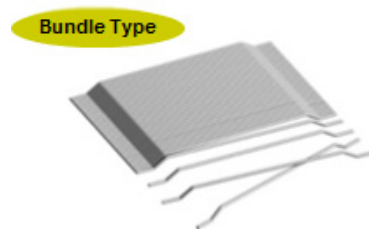


Fig. 3. Single Hook Steel Fiber

Table 2. Chemical composition of steel fiber raw materials

(Unit : %)

C	Si	Mn	P	S
0.002	0.010	0.082	0.010	0.005

Table 3. Mechanical properties of steel fiber

Test	Unit	Result	Test method
Appearance	-	No abnormality	KS F 2564 : 2014
Line diameter	mm	0.72	KS F 2564 : 2014
Length	mm	61.6	KS F 2564 : 2014
tensile strength	N/mm ²	1270	KS F 2565 : 2015
Aspect ratio	-	85.9	KS F 2564 : 2014
Bend test	-	No abnormality	KS F 2564 : 2014

Table 4. Pull-out test Results

Fiber type	Tensile strength (MPa)	Maximum attached load (N)		Bond strength (MPa)		Failure mode
		#	Avg.	#	Avg.	
Hooked ends	1100	387	395	8.21	8.38	pull out
		399		8.47		fracture
		398		8.45		pull out



Fig. 4. Pull-out test

계수 및 포아송비 시험 방법)에 준하여 시험하였다. 탄성 계수 측정장치의 변형측정장치를 부착하여 시험체의 변형을 측정하고 탄성계수와 포아송비를 계산한다.

시험 원주 공시체는 KS F 2403에 따라 성형하고 캐핑하여 규정된 양생 상태를 유지한다. 탄성계수 측정시 측정 전 시험체에 UTM을 사용하여 공시체에 1초당 0.25±0.035 MPa(N/mm²)의 범위로 하중을 가하고 가력은 측정에 앞서 KS F 2405에 의해 측정된 동일 배합 시험체의 압축강도 40%를 가한다. 변위제어 방식을 사용하여 공시체의 파괴시까지 하중을 재하하여 공시체의 최대하중을 측정한다.

탄성계수는 다음 식을 이용하여 계산한다.

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0.000050} \quad (1)$$

여기서, E : 탄성계수(MPa=N/mm²)

S_1 : 세로 변형 0.00005에 대한 응력 (MPa=N/mm²)

S_2 : 가해진 최대 하중에 대한 응력 (MPa=N/mm²)

ϵ_2 : 응력 S_2 로 생긴 세로 변형

3.3 시험방법

3.3.1 압축강도 시험

압축강도 시험은 KS F 2405(콘크리트 압축강도 시험 방법)에 따라 실시하며, 공시체 상하면에 대하여 1/100mm의 정확도를 가진 버니어 캘리퍼스를 이용하여 지름과 높이를 3번 측정 후 단면적 및 길이를 계산한다. 만능재료시험기(UTM)를 사용하여 시험체를 가압할 때 시험체가 시험기 가압판의 중앙에 위치 하도록 한다. 하중은 매초 0.6±0.4N/mm²의 일정한 속도로 시험체가 파괴될 때까지 가압하며, 공시체는 1개조 3개씩으로 하여 각 시험체 마다 시험체가 받는 최대 하중을 단면적으로 나누어 그 평균값을 측정하여 구한다.

3.3.2 탄성계수 시험

탄성계수는 KS F 2438(콘크리트 원주 공시체의 정탄성

3.3.3 휨인성 시험

휨인성 시험은 KS F 2566(강섬유 보강 콘크리트의 휨인성 시험방법)에 준하여 휨인성 측정을 실시하였으며 변위 측정시에는 시험편의 하중-처짐 곡선을 구하는 경우에는 시험편 중앙에서의 순수 처짐을 측정해야 하고, 처짐

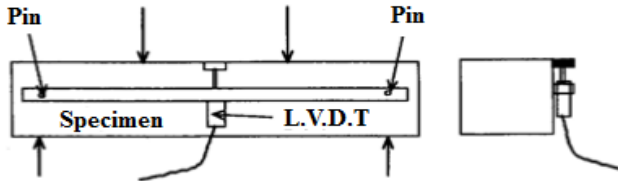


Fig. 5. Central point Pure deflection measuring device for Flexural toughness test

측정의 정밀도를 높이기 위해 전기적인 변위계(LVDT)를 사용하며 휨인성 시험 모식도는 Fig. 5와 같다.

휨강도는 삼등분점 재하(third point loading)시험에서 얻은 최대하중으로부터 다음 식에 의해 계산된다.

$$\sigma_t = \frac{P_u \cdot l}{b \cdot h^2} \quad (2)$$

여기서, P_u : 최대하중

l : 시험편의 지간길이(300mm 또는 450mm)

b, h : 시험편의 폭, 높이(100mm 또는 150mm)

등가휨강도(휨인성계수)는 Moens와 Memeger가 처음으로 슬래브에 섬유를 넣음으로 생기는 이점을 인성을 사용한 지수로 나타냈다. Post-cracking 이후의 섬유보강콘크리트의 인성 향상 또는 잔류강도를 등가휨강도($f_{e,3}$)로 나타냈다. 등가휨강도의 개념은 Fig. 6과 같이 설명할 수 있다. 예로 450mm의 보에 처짐이 3mm일 때 휨인성은 하중-처짐 곡선 하부의 면적, 즉 처짐이 3mm 발생할 때의 에너지 흡수량을 나타내며 등가휨강도는 휨인성과 같은 면적을 가지는 사각형의 면적을 가지는 응력값을 나타낸다.

삼등분점 재하시험에서 얻은 하중-처짐 곡선으로부터

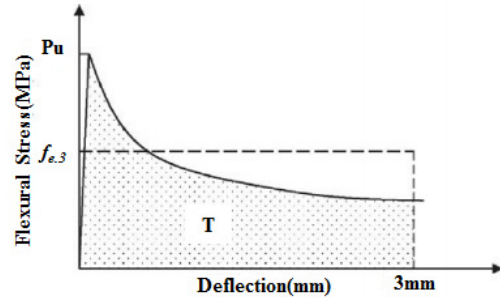


Fig. 6. Criteria for determining the deflection point flexural toughness

규정 처짐 $\delta_{tb} = L/150$ 까지의 인성(toughness)을 기초로 하여 다음 식에 의해 계산된다.

휨인성지수 I5, I10, I20는 하중-처짐 곡선에서 최대하중일 때 발생하는 변위에 3, 5.5 및 10.5를 곱한 값에 대한 하중-처짐 곡선 하부의 면적의 면적이다.

$$f_{e,3} = \frac{T_b}{\delta_{tb}} \times \frac{l}{bh^2} \quad (3)$$

여기서, T_b : 기준 처짐까지의 휨인성(flexural toughness)

δ_{tb} : 기준 처짐($L/150$) (지간이 300mm인 경우 2mm, 45cm인 경우 3mm)

l : 시험편의 지간 길이

b, h : 시험편의 폭, 높이

3.4 시험결과

3.4.1 압축강도 및 탄성계수 시험

슬럼프 및 슬럼프 플로우를 180, 500, 600mm로 3단계

Table 5. Test result of steel fiber reinforced concrete

MIX No.	Slump or Slump flow (mm)	Steel fiber (kg)	Compressive strength (f28, MPa)	Modulus of elasticity (MPa)	Flexural strength (MPa)	Equivalent flexural strength (MPa)	Eq. flexural strength ratio (%)	Flexural toughness index		
								I5	I10	I20
CS-D	180	40	46.1	30,000	6.4	4.9	76.6	5.6	10.7	17.1
CS-E		45	51.5	32,000	5.4	4.1	75.9	2.9	5.8	10.5
CS-F		50	54.2	32,000	4.0	3.7	92.5	4.9	10.2	25.3
CS-A	500	40	40.0	27,000	4.8	3.7	77.1	4.8	9.8	21.9
CS-B		45	48.9	30,000	5.1	3.7	72.5	4.7	9.5	16.9
CS-C		50	53.4	32,000	6.0	4.5	75.0	4.9	9.7	15.2
CS-G	600	40	46.3	31,000	6.7	3.4	50.7	4.1	7.6	11.4
CS-H		45	59.5	33,000	6.7	4.9	73.1	2.0	4.5	8.2
CS-I		50	62.0	34,000	6.9	4.3	62.3	3.5	6.6	9.8

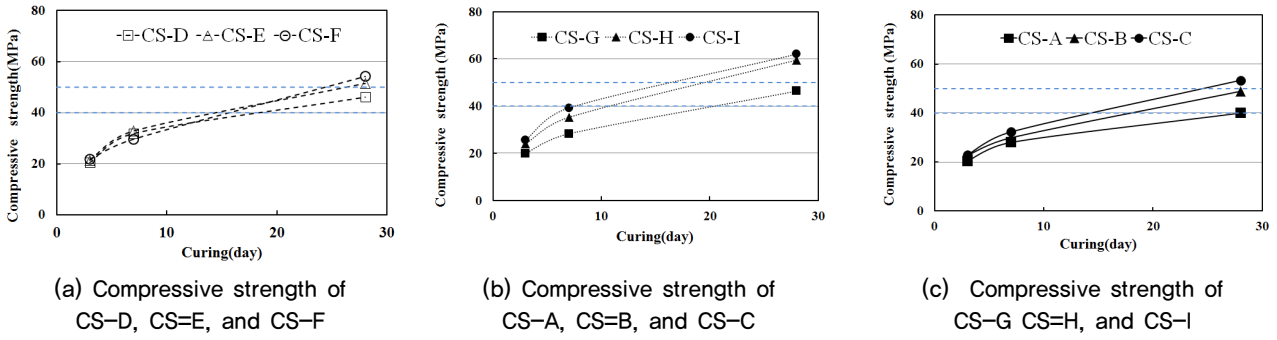


Fig. 7. Relationship between slump and steel fiber content and compressive strength

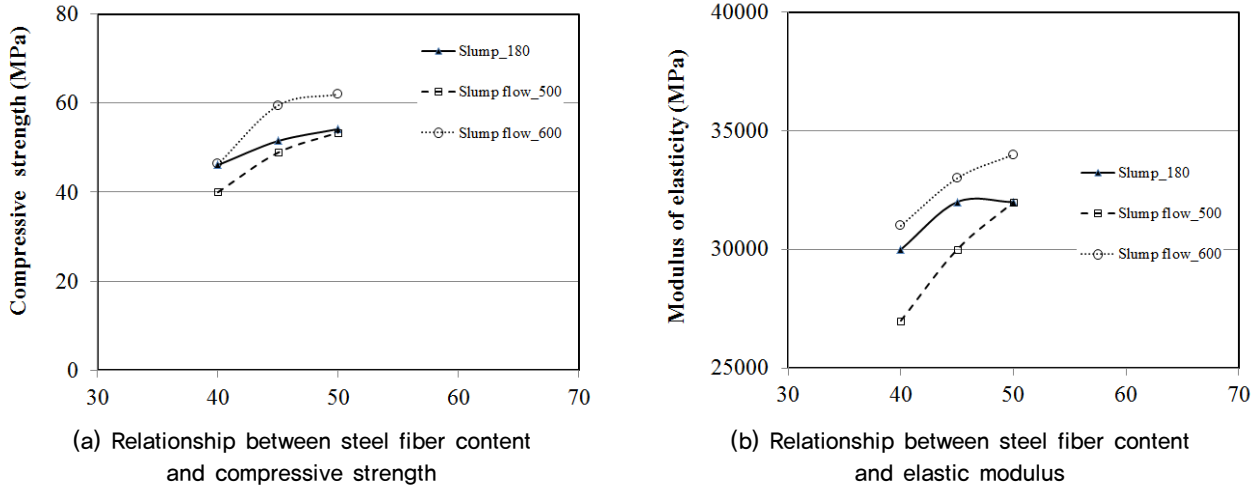


Fig. 8. Mechanical properties according to steel fiber content

로 배합 설계를 하였으며, 적정 슬럼프 및 슬럼프 플로우를 확보하기 위하여 바인더량은 $400\sim 440\text{kg/m}^3$ 으로 설계하였다.

각 배합별로, 강섬유 혼입량은 40, 45, 50kg로 달리하여 시험배합을 실시하였으며, 강섬유 혼입률별 압축강도 및 탄성계수 시험을 3일, 7일, 28일에 실시하였으며 그 결과는 Table 5 및 Fig. 7과 같다. 압축강도 및 탄성계수는 슬럼프 플로우가 60cm가 가장 높고 슬럼프 플로우 500mm에서 가장 낮게 나타났고, 전체적으로 압축강도는 45~62MPa, 탄성계수는 $2.7\sim 3.4\times 10^4\text{MPa}$ 의 범위를 나타내고 있다.

Fig. 8은 CS-D, E, F 배합 시험결과를 나타낸 것으로, 강섬유 혼입율이 45, 50kg인 CS-E, F 배합에서 압축강도 50MPa 탄성계수 $3.2\times 10^4\text{MPa}$ 를 나타내고 있으며, 슬럼프 180mm인 CS-A, B, C에서는 CS-A 배합인 강섬유 혼입율 40kg에서 압축강도 40MPa 및 탄성계수 $2.7\times 10^4\text{MPa}$, 그리고 CS-G, H, I 배합에서 CS-H, I 에서 압축강도는 60MPa 및 탄성계수는 $3.3\times 10^4\text{MPa}$ 의 높은 결과를 보였다.

3.4.2 휨강도 시험

CS-D, E, F 배합 시험결과, 모든 배합에서 휨강도 대비 등가휨강도율이 75.5~93.2% 수준으로 양호한 결과를 나타내었다. 장기거동 특성인 휨인성지수의 시험 분석 결과 CS-D 배합이 가장 우수한 특성을 보였다. 목표 슬럼프 180mm 수준에서의 최적배합은, 초기 휨강도, 장기 거동 특성 및 탄성계수의 역학적 특성과 동시에 경제성을 모두 만족할 수 있는 배합으로 CS-D(강섬유 혼입량 40kg)인 배합이 가장 우수한 것으로 나타났다.

목표 슬럼프 플로우 500mm인 CS-A, B, C 배합 시험결과, 모든 배합에서 휨강도 대비 등가휨강도율이 71.3~75.6% 수준으로 양호한 결과를 나타내었으며, 강섬유 혼입량이 5kg 수준으로 달라져도, 등가휨강도율의 변화폭이 가장 작아 안정적인 역학적 특성을 보였다. 휨강도와 탄성계수는 CS-C 배합에서 각각 6.0MPa, $3.2\times 10^4\text{MPa}$, 수준으로 가장 우수한 특성을 보였다. CS-C 배합은 강섬유 혼입량이 50kg 수준으로 다소 경제성에 취약하나, 휨강도, 장기거동특성 및 탄성계수의 결과값이 모두 양호하여 목

표 슬럼프 플로우 500mm에서의 최적배합으로 선정하였다.

CS-G, H, I 배합 시험결과, 휨강도 수준을 모두 비슷하게 나타냈으나, 등가휨강도율이 51.6%~72.9% 수준을 기록하여 초기 거동특성 분석결과 매우 취약한 특성을 보였다. 3가지 배합중 CS-G배합의 휨인성지수가 가장 양호한 결과를 나타내었지만, 목표 슬럼프 및 슬럼프 플로우 180, 500mm인 배합보다는 현저히 낮은 장기거동 특성을 나타냈다. 따라서 목표 슬럼프 플로우 600mm인 배합의 사용은 역학적 특성 및 초기, 장기 거동특성에서 취약한 결과를 보여, 최종 목표 배합의 선정에서는 제외하는 것이 타당하다.

최종 시험분석결과, 목표 슬럼프가 180mm가 요구되는 배합에서의 최적 배합은 CS-D 배합이 가장 우수하며, 목표 슬럼프 플로우 500mm가 요구되는 배합에서의 최적 배합은 CS-C 배합이 가장 우수한 것으로 나타났다. 목표 슬럼프 및 슬럼프 플로우의 구분 없이 경제성 및 역학적 특성을 고려한 최적 배합은 40kg의 강섬유를 사용하며 6.4MPa 수준의 휨강도와 75.5% 수준의 등가 휨강도율 및 우수한 휨인성 지수를 나타내는 CS-D 배합이 가장 효과적인 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 대심도 굴착 시 발생 가능한 지반함몰 및 주변지반 영향을 최소화하고 강도와 함께 충분한 강성을 확보할 수 있도록 지반신소재를 사용하여 벽체를 구성하였으며 슬럼프 및 슬럼프 플로우와 지반신소재의 혼입율에 변화를 주어 실내시험을 실시하였다. 이들 시험결과를 토대로 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 본 연구에 사용된 강섬유는 직경 0.75mm, 굽힘 각 45°, 길이 60mm의 싱글후크 타입으로 인발시험결과 최대 부착강도는 395N, 부착강도는 8.38MPa를 나타내었으며 매립된 길이만큼 강섬유가 인발이 되는 결과를 보였다.
- (2) 배합시험 결과 목표 슬럼프 180mm 수준에서의 최적 배합은, 초기 휨강도, 장기 거동특성 및 탄성계수의 역학적 특성과 동시에 경제성을 모두 만족할 수 있는 배합으로 CS-D(강섬유 혼입량 40kg)인 배합이 가장 우수한 것으로 나타났다.
- (3) 목표 슬럼프 플로우 500mm인 배합 시험결과, 강섬유

혼입량이 5kg 수준으로 달라져도, 등가휨강도율의 변화폭이 가장 작아 안정적인 역학적 특성을 보였으며, CS-C 배합은 강섬유 혼입량이 50kg 수준으로 다소 경제성에 취약하나, 휨강도, 장기거동특성 및 탄성계수의 결과 값이 모두 양호하여 목표 슬럼프 플로우 500mm에서의 최적배합으로 선정하였다.

- (4) 목표 슬럼프 플로우 600mm인 CS-G, H, I 배합 시험결과 압축강도와 탄성계수의 결과 값은 높게 나타났으나 CS-H 벽체의 특성을 반영할 수 있는 휨강도 수준을 모두 비슷하게 나타냈으나, 등가휨강도율이 51.6%~72.9% 수준을 기록하여 초기 거동특성 분석결과 매우 취약한 특성을 보였다. 따라서 목표슬럼프 60cm인 배합의 사용은 역학적 특성 및 초기, 장기 거동특성에서 취약한 결과를 보여, 최종 목표 배합의 선정에서는 제외하는 것이 타당하다.
- (5) 목표 슬럼프가 180mm가 요구되는 배합에서의 최적 배합은 CS-D, 목표 슬럼프 플로우가 500mm가 요구되는 배합에서의 최적 배합은 CS-C 배합이 가장 우수한 것으로 나타났다.
- (6) 목표 슬럼프 및 슬럼프 플로우의 구분 없이 경제성 및 역학적 특성을 고려한 최적 배합은 40kg의 강섬유를 사용하며 6.4MPa 수준의 휨강도와 75.5% 수준의 등가 휨강도율 및 우수한 휨인성 지수를 나타내는 CS-D 배합이 가장 효과적인 것으로 판단된다.

Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge the financial support from the Ministry of Land, Infrastructure, and Transport/Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (Grant number: 15SCIP-B108153-01).

References

1. Go, G. T. and Park, J. J., and Ryu, G. S., and Kim, S. Y. (2013), "State-of-the-art on Development of Ultra-High Performance Concrete", Korean society of civil engineers, pp.51-60.
2. Park, S. G., Kim, G. H., Kwon, S. A., and Jung, J. H. (2009), "A Study on Improvement of Bonding Shear Strength of Geogrid-Reinforced Asphalt Pavements" Korean society of civil engineers, Vol.29 No.5 pp.619-625.
3. Ju, H. J., Lee, D. H., Hwang, J. H., Kim, K. S., Choi, S.

- H., and Oh, Y. H. (2017), "*Experimental Study for Evaluation of Torsional Behavior of Steel Fiber Reinforced Concrete Beams*", Architectural institute of korea, Vol.33 No.1 pp.383-384.
4. Korea Conformity Laboratories (2008), "*Development of Ready-mixed Shotcrete for the Economical Recycling of Industrial by-product and the Improvement of Construction Quality*", pp.152-164.
5. Kumkang Co., Ltd. (2014), "*Development of double hook steel fiber*"
6. Choi, T. J. (2012) "*Manufacturing and Performance Evaluation of structure nano-synthetic fiber for concrete*", Kunkuk University graduate thesis, pp.19-20.