

PVA 섬유보강 황토 콘크리트에 대한 GFRP 보강근의 부착성능에 관한 실험적 연구

박미래¹, 김승훈^{2*}

An Experimental Study on the Bond Characteristic of GFRP Bars in PVA Fiber Reinforced Activated Hwangtoh Concrete

Mi-Rae Park¹, Seung-Hun Kim^{2*}

Abstract: Many studies have been conducted with respect to the materials to replace the cement in order to reduce the carbon dioxide emissions during the cement production. Activated hwangtoh as cement replacement material goes through calcination process of 850°C. PVA fibers and GFRP bars are used in order to compensate for the cracks of activated hwangtoh concrete(AHC). This paper presents an experimental study investigating the bond characteristic of GFRP bars in PVA fiber reinforced AHC under tensile loads. Experimental results showed that average bond strength factor of specimens with and without PVA fiber was 2.27~2.48 and was not significantly affected by the ratio of PVA fiber and activated hwangtoh. In addition, as the bond length was increased, the bond strength was reduced.

Keywords: Activated hwangtoh concrete, PVA fiber, GFRP bar, Bond strength

1. 서 론

전 세계적으로 산업화가 진행됨에 따라 산업 발달과정과 함께 지구온난화가 가속화되고 있다. 이러한 지구온난화는 기후변화와 함께 해수면 상승 및 오존층 파괴와 같은 문제를 야기하고 있다. 이산화탄소의 배출을 저감하고자 하는 노력이 지구촌 전체의 중대한 사안으로 떠오르고 있는 상황에서 지구온난화의 주원인은 탄소의 배출로서 탄소 배출 저감을 위하여 정부에서는 저탄소 녹색성장 정책을 진행하고 있다. 또한 건설/제조업에서의 탄소 배출은 전체 탄소 배출량의 약 42%를 차지하고 있기 때문에 배출을 감소시킬 수 있는 방안을 구축하고자 다방면에서 노력하고 있다(Kim et al., 2008).

이에 건설/제조업에서는 제조과정 중 다량의 이산화탄소를 배출하는 시멘트의 사용량을 줄이며 시멘트를 대체할 수 있는 재료에 대한 연구가 국내외로 연구진을 통하여 많은 노력이 이루어지고 있는 실정이다(Lee et al., 2006; Hong, 2010; Jang et al., 2012; Jang and Jee; 2013; Choi et al., 2013).

황토는 시멘트 사용의 대체 가능성이 있는 친환경 천연 건축재료로서, 전라남도 지방을 비롯한 우리나라 전역에 분포되어 있다. 황토에 관한 연구는 2000년도 이전부터 꾸준히 진행되어 왔지만 콘크리트 배합 시 큰 수축에 의한 균열, 낮은 강도발현과 같은 특성으로 인하여 구조적 재료로서 사용되지 못하는 실정이었다. 그러나 천연 건조 상태의 비활성 황토를 약 850°C에서 소성과정을 거쳐 제작된 활성 황토는 황토 고유의 성능을 유지하면서 콘크리트의 구성 재료인 시멘트를 대체할 수 있는 친환경 재료로 개발되기 위하여 연구되고 있다(Choi et al., 2001; Lee et al., 2010).

PVA(Poly-Vinyl Alcohol) 섬유는 황토 콘크리트의 단점인 균열 발생을 저감시키며 내구성을 증진시키기 위하여 사용되었다. PVA 섬유는 폴리비닐 알코올계 섬유로 친수성 재료이다. 또한 강섬유에 비하여 콘크리트 유동성 저하가 심하지 않으며 강성이 낮아 콘크리트 배합 시 분산성이 좋고 미세균열 제어에 효과적이다.

일반 철근은 염해·부식 등이 쉽게 일어나는 반면, FRP 보강근은 내식·내후성에 강한 면모를 보인다. FRP 보강근을 사용할 경우에는 향후 쉽게 부식되는 일반 철근에 비해 구조체에 대한 유지보수관리비가 감소하는 장점을 가지고 있다. 또한, 본 연구에서 대상으로 하고 있는 GFRP 보강근은 불포화 폴리에스테르수지와 유리섬유의 복합재질로 철보다 강하고 알루미늄보다 가벼우며 내식·내열·내후성이 우수한 유리섬

¹학생회원, 한밭대학교 건축공학과 석사과정

²정회원, 한밭대학교 건축공학과 교수, 교신저자

*Corresponding author: kimsh@hanbat.ac.kr

Dept. of Architectural Engineering, Hanbat National University, Daejeon 34158, Republic of Korea

•본 논문에 대한 토의를 2017년 2월 1일까지 학회로 보내주시면 2017년 3월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

유강화 플라스틱이다.

본 연구에서는 PVA 섬유가 보강된 활성 황토 콘크리트와 GFRP 보강근의 부착성을 평가하기 위하여 콘크리트의 설계압축강도, 황토의 치환율, PVA 섬유의 혼입유무, GFRP 보강근의 부착 길이 등을 변수로 한 인발실험을 실시하였다. 아울러 실험을 통하여 FRP 콘크리트 부재에 대한 PVA 섬유와 활성 황토의 적용가능성을 검토하고자 한다.

2. 기존문헌 고찰

2.1 황토 콘크리트 관련 기존문헌 분석

소성과정을 거치지 않은 비활성 황토는 과거에서부터 사용된 건축자재이다. 황토는 탈취성능우수, 방열효과우수, 에너지 효율증가와 같은 다양한 장점을 보유하고 있지만 콘크리트 구조재로 사용할 경우에 강도와 내구성 저하로 인하여 구조체로 사용하기에는 많은 어려움이 따른다. 아래의 기존 문헌을 살펴보면 시멘트에 황토를 혼화제로 사용하거나 황토의 강도, 황토 치환율, 내구성을 증진시킬 수 있는 보강 재료에 대한 연구 내용이 포함되어 있다.

Tak et al.(2008)은 황토, 슬래그, PET보강섬유를 혼화제로 사용할 경우 콘크리트의 역학적 특성을 분석한 문헌으로 황토를 25% 치환한 실험체가 슬래그 시멘트 콘크리트에 비해 높은 압축강도를 발현하였으며, 황토가 25% 치환된 시멘트에 PET섬유가 보강된 경우보다도 높은 압축강도를 발현하는 것으로 나타났다.

Lee et al.(2010)은 활성 황토를 80% 대체한 콘크리트와 활성 황토를 0% 대체하는 활성 황토 콘크리트를 사용하여 보 (beam)을 제작할 경우, 구조적 거동을 확인하였다. 주요 내용은 휨 강도, 균열모멘트, 처짐, 연성도 등의 결과를 관찰하였으며 단순보 실험은 2점 정적 재하 하중으로 실험이 진행되었다. 그 결과, 활성 황토 100%와 20% 함유된 황토 콘크리트 보의 균열 양상은 일반 콘크리트 보와 비슷한 양상으로 나타났다. 따라서, 활성 황토 콘크리트 보는 일반 건축물의 휨 부재에 적용 가능할 것으로 판단하였다.

Chakchouk et al.(2009)은 혼합 시멘트의 배합으로 점토 포졸란 활동에 대한 변수의 영향을 알아본 것으로 소성 시간, 소성온도, 시멘트와 혼합된 소성점토로 총 3가지 변수로 실험이 진행되었다. 그 결과, 압축강도는 소성 온도가 높아질수록 증가하는 경향을 보였고, 시멘트에 소성점토의 비율이 증가함에 따라서 강도는 저하되는 것으로 볼 수 있다. 따라서 소성 점토의 비율은 감소하고 점토의 소성 온도를 증가시킴으로써 강도 증진효과를 볼 수 있는 것으로 판단된다.

2.2 PVA 섬유 관련 기존문헌 분석

황토를 콘크리트에 적용할 경우 낮은 압축강도 발현과 균열에 따른 문제가 발생할 수 있어, 이에 대한 보강재로 PVA 섬유를 사용할 수 있다.

Lee(2010)는 비활성 황토와 PVA 섬유를 보강한 콘크리트에 있어서 PVA 섬유의 혼입율 및 황토 치환율에 따른 영향을 검토하였다. 콘크리트용 비활성 황토 치환율은 0, 15, 30, 50(%)로 각각 4수준으로 제작하였으며 PVA 섬유 혼입율은 0, 0.3(%)로 제작한 결과, 비활성 황토의 치환율 30%와 PVA 섬유 혼입율 0.3%를 사용한 실험체의 강도 및 유동성, 소성수축에 의한 균열제어 등 우수한 결과를 보인 것으로 나타났다.

Noushini et al.(2013)은 섬유 보강 콘크리트의 동적 재료 특성에 대한 PVA 섬유의 효과를 파악하기 위한 실험을 통하여 정적 및 동적 탄성계수의 영향을 평가하였다.

Yang(2010)은 강섬유와 PVA 섬유로 보강한 콘크리트의 역학적 특성을 알아본 연구로 섬유의 체적비가 0.65%이한 실험체의 실험 결과, 압축강도는 무보강 콘크리트에 비하여 6~31% 증가하는 양상을 보였으며 섬유 체적비는 증가하고 섬유의 길이가 짧아질수록 높은 강도 성상을 보이는 것으로 나타났다.

2.3 GFRP 보강근 관련 기존문헌 분석

FRP 보강근은 내부식성이 좋아, 황토 콘크리트에 균열이 발생하더라도 콘크리트 내구성을 보완해줄 수 있을 것으로 예상된다.

El-Garnal et al.(2016)은 철근콘크리트 보에 FRP(CFRP, GFRP) 보강근을 보강하였으며 일부 실험체는 FRP 쉬트를 보강하여 보의 거동을 확인하는 실험이다. 실험체의 크기는 200 × 300 × 2,760(mm)로 제작되었으며, 실험 결과 FRP 보강근이 보강된 보는 일반철근을 보강한 보에 비하여 31%와 133% 사 이로 극한 성능이 증가하는 것으로 나타났다.

ACI 440.1R-15(2015)에서 FRP 보강근과 콘크리트의 부재에 관한 부착강도 평가식을 식 (1)과 같이 제시하고 있다.

$$\frac{u}{0.083\sqrt{f_{ck}}} = 4.0 + 0.3\frac{C}{d_b} + 100\frac{d_b}{l_e} \quad (1)$$

여기서, u 는 최대 부착강도(MPa), f_{ck} 는 콘크리트 압축강도(MPa), C 는 보강근의 중심으로부터 피복 두께(mm), d_b 는 FRP 보강근의 부착 길이(mm), l_e 는 보강근의 부착 길이(mm)이다.

3. 실험계획

3.1 사용재료

실험체에 사용된 황토는 국내 A사에서 생산되고 있는 850°C에서 소성시킨 활성 황토를 사용하였으며, 시멘트는 국내 A사의 1종 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 굵은 골재는 최대 치수는 25 mm, 비중은 2.61이며, 잔골재는 비중이 2.60인 모래를 사용하였다.

D16 GFRP 보강근은 국내 D사 제품으로 인장강도 988 MPa, 탄성계수 46 GPa 등의 물성치를 가진다. PVA 섬유는 국내 N사에서 생산되고 있는 고강력 섬유보강재를 사용하였으며 재료 물성치는 Table 1과 같다.

Table 1 PVA physical properties

Division	Particulars
State	Wet type
Length	12 mm
Diameter	26 μ m lower
Specific gravity	1.3 \pm 0.1
Elongation	10% lower
Tensile strength	883 MPa and more
Compressive strength	24.5 GPa and more

Table 2 Mix proportions of concrete

Specimen	W/B [%]	Water [kg]	OPC [kg]	AH [kg]	PVA [g]	G [kg]	S [kg]
P0-F24-C100H0	40	6.00	15.00	0.00	-	25.81	21.12
P1-F24-C100H0	40	6.00	15.00	0.00	138.0	25.81	21.12
P0-F24-C50H50	40	6.00	7.50	7.50	-	25.82	21.12
P1-F24-C50H50	40	6.00	7.50	7.50	138.0	25.82	21.12
P0-F24-C30H70	40	6.00	4.50	10.50	-	25.82	21.13
P1-F24-C30H70	40	6.00	4.50	10.50	138.0	25.82	21.13
P0-F24-C0H100	40	6.00	0.00	15.00	-	25.83	21.13
P1-F24-C0H100	40	6.00	0.00	15.00	138.0	25.83	21.13
P0-F30-C100H0	45	6.00	13.33	0.00	-	26.57	21.74
P1-F30-C100H0	45	6.00	13.33	0.00	138.0	26.57	21.74
P0-F30-C50H50	45	6.00	6.67	6.67	-	26.58	21.74
P1-F30-C50H50	45	6.00	6.67	6.67	139.2	26.58	21.74
P0-F30-C30H70	45	6.00	4.00	9.33	-	26.58	21.75
P1-F30-C30H70	45	6.00	4.00	9.33	138.6	26.58	21.75
P0-F30-C0H100	45	6.00	0.00	13.33	-	26.59	21.75
P1-F30-C0H100	45	6.00	0.00	13.33	139.8	26.59	21.75

3.2 실험체 계획

Table 2에 콘크리트 압축강도 실험을 위한 콘크리트 설계 압축강도, 황토 치환율, PVA 섬유 혼입유무 등을 변수로 계획된 콘크리트 배합표를 나타내었다. Table 2의 실험체명에서 P0, P1은 각각 PVA 섬유 혼합율 0%, 0.5%를 나타내며, F24, F30은 각각 콘크리트 설계압축강도 24 MPa, 30 MPa를 나타낸다. 기존 연구들 및 실무에서 주로 0.2~0.7% 사이의 PVA 섬유 혼합율을 사용하고 있어 본 연구에서는 중간값인 0.5%를 적용하였다.

C와H 뒤의 숫자는 각각 시멘트와 활성황토의 비율을 나타내고 있으며, 예로 C100H0 실험체는 보통 포틀랜드 시멘트만 100% 사용된 일반 콘크리트 실험체이다.

인발실험체의 경우, GFRP 보강근의 부착 길이에 따른 변수를 구분하기 위하여 압축강도 평가용 실험체명 뒤에 G4, G6로 표시하였으며, 각각 GFRP 보강근의 부착 길이 $4d_b$, $6d_b$ 를 나타낸다.

4. 실험방법

4.1 압축실험

압축강도 재료시험을 위해 KS F 2403에 의거하여 100 × 200(mm)(직경 × 높이)인 원주형 공시체를 각각 3개씩 제작하였다. 24시간 동안 초기양생을 실시한 뒤 탈형 후, 28일간 수중



Fig. 1 Compression test



Fig. 2 Pullout test

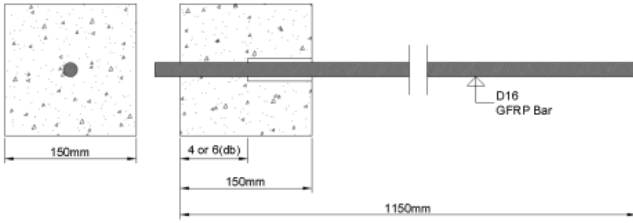


Fig. 3 Details of pullout specimen

양생을 실시하였다. 압축강도 실험은 KS F 2405 기준에 따라 Fig. 1과 같이 1000 kN 만능재료시험기를 사용하여 실시하였다.

4.2 인발실험(Pull-out test)

인발강도를 측정하기 위해 Fig. 3과 같이 각 변의 길이가 150 mm인 정육면체로 제작하였으며, KS F 2441 기준에 따라 Fig. 2와 같이 2000 kN 용량의 만능시험기를 사용하여 1.0 mm/min로 변위제어하였다.

인발에 따른 GFRP 보강근과 콘크리트 상부면의 상대변위는 LVDT(Linear Variable Differential Transformer)를 사용하여 측정하였다.

5. 실험결과 및 분석

5.1 압축강도 실험 결과

변수별 공시체에 대한 실험 압축강도(f_{ck})를 정리하여 Table 3에 나타내었다. PVA섬유가 0.5% 보강된 P1계열 실험체의 경

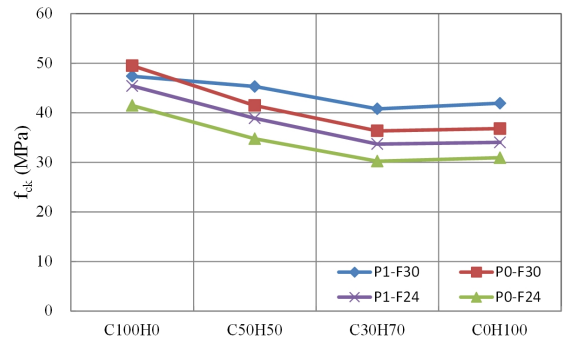


Fig. 4 Compressive strength result

우 설계압축강도 24 MPa, 30 MPa에 대해 실험 평균 압축강도가 각각 34.35 MPa, 41.05 MPa로 평가되었다. 이는 설계강도에 비하여 약 43.1%, 36.8% 증가된 값이다. PVA섬유가 보강안된 P0계열 실험체의 경우 설계압축강도 24 MPa, 30 MPa에 대해 실험 평균 압축강도가 각각 38.00 MPa, 43.85 MPa로 나타나 증가율이 58.3%, 46.2%로 나타났다. 이를 볼 때 PVA 섬유가 보강된 실험체의 압축강도 증가율이 더 큰 것으로 나타났다. 다만, P1-F30-C100HO 실험체의 경우 P0-F30-C100HO 실험체 보다 압축강도가 적게 나타났는데 이는 P1-F30-C100HO 실험체 배합 및 타설에 오류가 있는 것으로 추측된다.

Fig. 4는 황토 치환율에 따른 실제 콘크리트 압축강도(f_{ck})를 비교한 그래프이다. Table 3과 Fig. 4에서 모든 실험체에서 황토 치환율 70%까지 치환율이 증가할수록 압축강도는 감소하는 경향을 보였으며, 황토 치환율 70% 이상은 유사하게 나타났다.

5.2 인발실험에 의한 파괴형상 및 하중-변위 곡선

활성 황토콘크리트에 대한 D16 GFRP 보강근의 인발 실험 결과, 두 가지 파괴형상이 나타났다. 약 6.25%의 실험체가 FRP 보강근이 완전히 뽑히는 뽑힘 파괴(Pullout Failure)가 일어났으며, 약 90.63%의 실험체가 콘크리트가 쪼개지는 쪼갨 파괴(Splitting Failure)가 발생하였다. Fig. 5에 두 가지 파괴형상을 나타내었다. 한 개 실험체(P0-F24-C0H100-G6)는 실험 기기 조작 오류로 데이터 값을 얻지 못하였다.

Fig. 5(a) 및 Fig. 5(b)에 나타난 바와 같이 뽑힘 파괴의 경우 보강근과 콘크리트면의 슬립으로 인하여 마디형상이 뭉개지는 것을 볼 수 있다. 반면에 Fig. 5(c) 및 Fig. 5(d)에 나타난 바와 같이 쪼갨 파괴가 일어난 실험체의 단면을 보면 최종 파괴 이후 보강근의 슬립이 적어 마디 형상이 뚜렷하게 나타났다.

5.3 인발실험에 의한 하중-변위 곡선 및 내력

Table 3에 인발실험에 의한 실험결과 값을, Fig. 6에 실험체 하중-변위곡선을 정리하여 나타내었다.

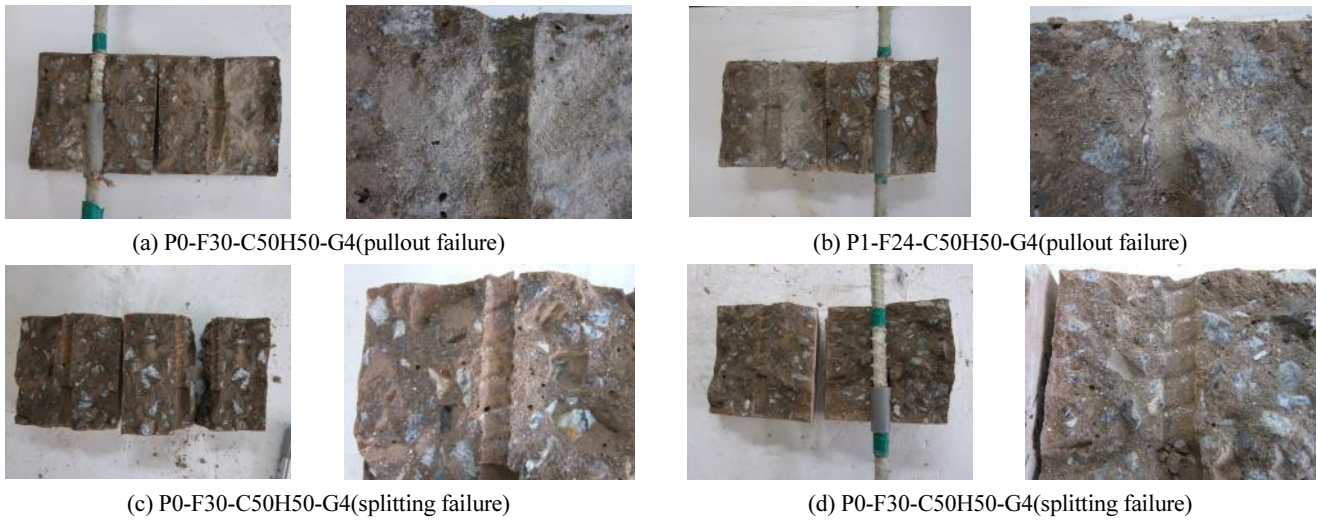


Fig. 5 Failure mode

Table 3 Test results

Series		Specimen	f_{ck} [MPa]	Bond length	Bond area [mm ²]	P_{max} [kN]	Slip [mm]	u_{max} [MPa]	u_{ACI} [MPa]	Failure mode	
30 MPa	C100H0	G4	49.5	4d _b	3176.9	48.2	1.66	15.2	17.76	SF	
		G6		6d _b	4765.4	56.0	1.65	11.8	12.89	SF	
	C50H50	G4	41.5	4d _b	3175.9	39.0	2.02	12.3	16.26	PF	
		G6		6d _b	4765.4	54.7	1.31	11.5	11.81	SF	
	C30H70	G4	36.4	4d _b	3175.9	41.5	1.31	13.1	15.23	SF	
		G6		6d _b	4765.4	58.6	0.54	12.3	11.06	SF	
	C0H100	G4	36.8	4d _b	3175.9	43.7	16.7	13.8	15.61	SF	
		G6		6d _b	4765.4	55.3	0.96	11.6	11.12	SF	
	24 MPa	C100H0	G4	41.5	4d _b	3175.9	43.1	1.17	13.6	16.26	SF
			G6		6d _b	4765.4	42.1	0.73	8.8	11.81	SF
C50H50		G4	34.8	4d _b	3175.9	39.9	0.65	12.6	14.89	SF	
		G6		6d _b	4765.4	57.6	1.09	12.1	10.81	SF	
C30H70		G4	30.2	4d _b	3175.9	41.6	2.02	13.1	13.87	SF	
		G6		6d _b	4765.4	60.7	1.46	12.7	10.07	SF	
C0H100		G4	30.9	4d _b	3175.9	37.2	1.64	11.7	14.03	SF	
		G6		6d _b	4765.4	-	-	-	10.19	-	
30 MPa		C100H0	G4	47.4	4d _b	3175.9	43.0	1.22	13.5	17.38	SF
			G6		6d _b	4765.4	66.0	1.1	13.8	12.62	SF
	C50H50	G4	45.3	4d _b	3175.9	53.7	1.28	16.9	16.99	SF	
		G6		6d _b	4765.4	54.1	1.85	11.3	12.34	SF	
	C30H70	G4	40.8	4d _b	3175.9	46.6	1.18	14.7	16.12	SF	
		G6		6d _b	4765.4	60.1	1.53	12.6	11.71	SF	
	C0H100	G4	41.9	4d _b	3175.9	46.5	1.70	14.6	16.34	SF	
		G6		6d _b	4765.4	61.7	1.15	13.0	11.86	SF	
	24 MPa	C100H0	G4	45.4	4d _b	3175.9	42.8	1.64	13.5	17.01	SF
			G6		6d _b	4765.4	67.4	1.03	14.2	12.35	SF
C50H50		G4	38.9	4d _b	3175.9	34.6	1.59	10.9	15.94	PF	
		G6		6d _b	4765.4	39.9	1.67	8.4	11.43	SF	
C30H70		G4	33.7	4d _b	3175.9	36.4	1.68	11.5	14.65	SF	
		G6		6d _b	4765.4	57.2	1.38	12.0	10.64	SF	
C0H100		G4	34.0	4d _b	3175.9	39.9	1.39	12.6	14.72	SF	
		G6		6d _b	4765.4	54.4	1.20	11.4	10.69	SF	

SF: Splitting Failure, PF: Pullout Failure

Table 3에서 최대 부착강도(u_{max})는 식 (2)와 같이 최대 인발하중(P_{max})에 부착면적을 나누어 산정하였다.

$$u_{max} = \frac{P_{max}}{\pi d_b l_e} \quad (2)$$

Table 3 및 Fig. 6에서 전반적으로 부착길이가 증가할수록 부착강도가 증진하는 효과를 볼 수 있다. 부착길이가 $4d_b$ 에서 $6d_b$ 로 50%증가될 때 최대 인발하중은 평균 32.95% 증가하였지만 최대 부착강도는 평균 11.49% 감소하였다. 이를 볼 때, 부착길이가 증가함에 따라 부착성능은 감소하는 것으로 평가되었다.

PVA 섬유가 보강유무에 따른 최대 인발하중은 PVA 섬유가 보강된 P1계열 실험체가 섬유 보강하지 않은 P0 계열 실험

체 보다 평균 5.39% 크게 나타났다. 또한, P1계열 실험체가 P0계열 실험체 보다 슬립이 적게 발생하였다. 콘크리트 설계 압축강도 증가(24 MPa → 30 MPa)에 따른 P0 계열 실험체와 P1 계열 실험체의 최대 부착강도 평균 증가율이 7.62%, 18.69%로 각각 나타났다. 이를 볼 때 압축강도 증가에 따른 부착강도 증가에 PVA 섬유 보강 영향이 큰 것으로 사료된다.

Fig. 7에 최대 부착강도를 실험에 의한 콘크리트 압축강도의 제곱근으로 나누어 부착응력계수 값으로 $u_{max}/\sqrt{f_{ck}}$ 를 산정한 후, 황토 치환율에 따른 영향을 분석하였다. Fig. 7에서 실선으로 표시된 부분은 황토 치환율에 해당되는 실험체의 부착응력계수를 평균한 값을 나타낸다. 황토를 사용하지 않은 실험체들의 경우 PVA 섬유 보강 황토 콘크리트의 평균 부착응력계수가 2.66로 섬유보강 하지 않은 황토 콘크리트 2.38에 비하여 약 12% 크게 나타났다. 하지만, 황토가 치환된 실험

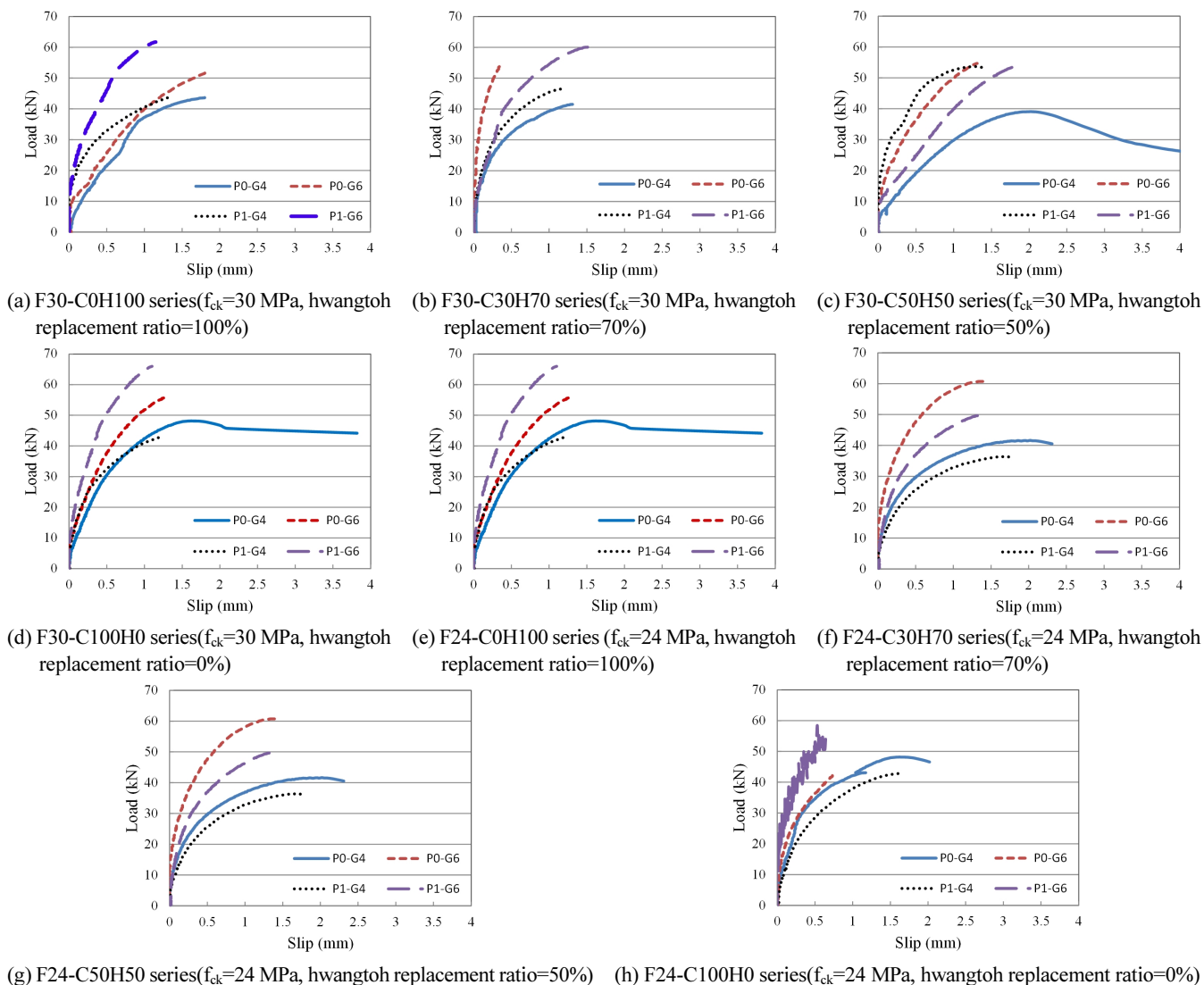


Fig. 6 Load-slip curves

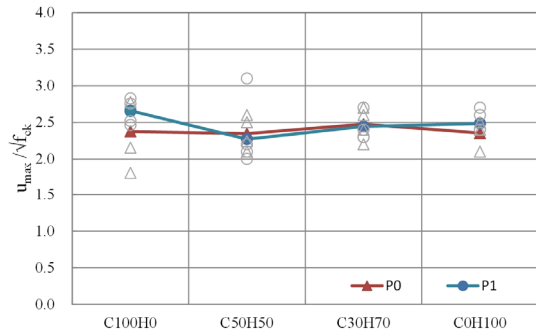


Fig. 7 Factor of bond stress($u_{max}/\sqrt{f_{ck}}$)

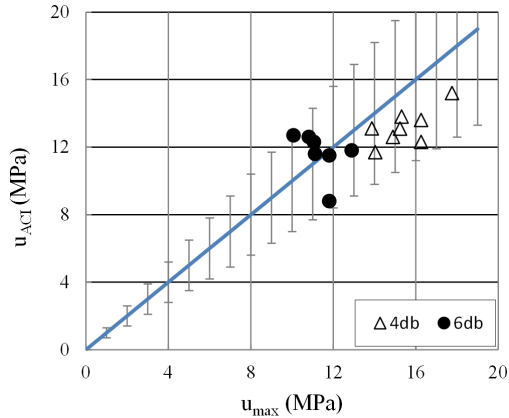


Fig. 8 Comparison of u_{ACI} and u_{max}

체들의 경우 P0 계열 및 P1 계열 실험체의 평균 부착응력계수가 황토 치환율에 따라 2.35~2.48, 2.27~2.48로 유사하게 평가되었다. 이를 볼 때 황토 치환율에 따른 부착응력계수는 PVA 섬유보강 유무에 큰 영향을 받지 않는 것으로 사료된다.

Fig. 8은 식 (1)의 ACI 440.1R-15(2015)에서 제시된 FRP 보강근과 콘크리트의 부착강도식을 사용하여 평가한 u_{ACI} 를 실험 최대 부착강도(u_{max})와 비교한 그래프이다. Fig. 8에서 부착길이가 $4d_b$ 인 실험체의 경우 u_{max}/u_{ACI} 값이 모두 1이하로 평균 0.84로 산정되어 이론부착강도가 실험 부착강도를 불안전측으로 평가하고 있는 것으로 나타났다. 반면에 부착길이가 $6d_b$ 인 실험체의 경우 u_{max}/u_{ACI} 값이 평균 1.03으로 나타나 황토 치환율에 따라 편차가 있긴 하지만 평균강도 측면에서 실험강도에 더 근접하고 있다. 이는 ACI 440.1R-15(2015)에서 제시된 부착강도식이 기존의 인발실험체와 함께 부착길이가 긴 보 실험체의 실험결과를 토대로 산정되어 상대적으로 부착길이가 긴 실험체의 부착강도를 보다 정확히 평가하기 때문인 것으로 사료된다.

6. 결론

본 연구에서는 PVA 섬유 보강된 활성 황토 콘크리트에 대한 GFRP 보강근의 부착성능을 평가하기 위하여, 황토 치환율, PVA 섬유보강 유무, 콘크리트 압축강도, 보강근 부착길이 등을 변수로 인발실험을 실시하였다. 제한된 실험 데이터의 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) PVA 섬유 보강 유무에 따른 압축강도 실험결과 PVA 섬유가 보강된 실험체가 무보강 실험체에 비해 압축강도가 6.82%~10.6% 높게 평가되었다.
- 2) 황토 치환율 70%까지 치환율이 증가할수록 압축강도는 감소하는 경향을 보였으며, 황토 치환율 70% 이상은 유사하게 나타났다.
- 3) GFRP 보강근의 부착 길이가 $4d_b$ 에서 $6d_b$ 로 50%증가될 때 최대 부착강도는 평균 11.49% 감소하여, 부착 길이가 증가할수록 부착강도는 감소하는 평가되었다.
- 4) 황토가 치환된 PVA 보강 및 무보강 실험체들의 평균 부착응력계수가 2.27~2.48로 나타났으며, 부착응력계수가 PVA 섬유보강 유무 및 황토 치환율에 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.
- 5) 실험 부착강도 대비 ACI 440.1R-15의 이론 강도는 부착 길이가 $4d_b$ 인 실험체에서 평균 0.84로 불안전측으로 평가하고 있으나, 부착 길이가 $6d_b$ 인 실험체는 평균 1.03으로 나타나 유사하게 평가하고 있다.

이상과 같은 연구 결과를 토대로 보다 다양한 PVA 섬유 혼합율에 따른 영향 평가와 인발실험에서 규명하기 힘든 부재 내 부착 및 정착성능을 평가하기 위한 실험이 향후 진행될 필요가 있다.

감사의 글

이 논문은 2016년도 한밭대학교 교내학술연구비의 지원 (과제번호: 201600990001, 과제명: 황토콘크리트에 대한 FRP 보강근의 겹침이음 성능)에 의해 수행되었습니다.

References

- ACI Committee 440. (2015), Guide for the Design and Constuction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-reinforced Polymer (frp)

- Bars (ACI 440.1R-15), American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 28.
- Chakchouk, A., Trifi, L., Samet, B., and Bouaziz, S. (2009). Formulation of Blended Cement: Effect of Process Variables on Clay Pozzolanic Activity. *Construction and Building Materials*, 23(3), 1365-1373.
- Choi, B. W., Lee, J. M., Jung, Y. W., Oh, D. S., and Jo, Y. J. (2013), Application of Concrete and Manufacture of Lightweight Aggregate using Dyestuff Sludge, *Proceeding of KSCE*, KSCE, 2976-2979.
- Choi, H. Y., Kim, M. H., Kim, M. H., Hwang, H. Z., and Choi, S. W. (2001), Experimental Study on the Properties of Concrete by the Kinds of Admixture and the Replacement Ratios of Activated Hwangtoh, *Journal of the Korea Concrete Institute*, KCI, 13(2), 123-129.
- El-Gamal, S. E., Al-Nuaimi, A., Al-Saidy, A., and Al-Lawati, A. (2016). Efficiency of Near Surface Mounted Technique using Fiber Reinforced Polymers for the Flexural Strengthening of RC Beams. *Construction and Building Materials*, 118, 52-62.
- Hong, G. H., and Seo, M. C. (2010), Bond Performance Evaluation of the Eco-friendly Concrete Mixed with Hwang-toh and Blast Furnace Slag, *Journal of the Architectural institute of korea structure & construction*, AIK, 26(3), 19-26.
- Jang, B. J., Kim, S. W., Ju, M. K., Park, C. W., Park, H. M., and Song, J. H. (2012), A Study on the Fundamental Properties of Mortar using Ground Granulated Industrial Byproducts. *Proceeding of KSRE*, 2012(9), 227-232.
- Jang, H. O., and Jee, N. Y. (2013), An Experimental Study on the Mixing of Normal Strength and High Fluidity Concrete using Ground Granulated Blast Furnace Slag. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, AIK, 29(6), 81-88.
- Kim, J. Y., Kim, Y. S., and Kim, J. J. (2008), Analysis of Energy and CO₂ Emission to Evaluate Environmentally Sustainable Performance of Floor Components, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 24(11), 297-304.
- Lee S. W. (2010), A Study on the Fluidity Properties and Strength Properties of Non-sintered Hwangtoh Mixed with PVA Fiber. *Journal of The Korean Institute of Building Construction*, 10(3), 49-56.
- Lee, H. C., Lee, G., and Go, S. S. (2006), An Experimental Study on the Properties of Hwangtoh Mortar for the Application of Construction Material. *Proceeding of The Korean Institute of Building Construction*, 6(2), 43-46.
- Lee, N. K., Hwang, H. Z., and Park, H. G. (2010), Flexural Performance of Activated Hwangtoh Concrete Beam, *Journal of the Korea Concrete Institute*, KCI, 22(4), 567-574.
- Noushini, A., Samali, B., and Vessalas, K. (2013). Effect of Polyvinyl Alcohol (pva) Fibre on Dynamic and Material Properties of Fibre Reinforced Concrete, *Construction and Building Materials*, 49, 374-383.
- Tak, S. Y., Hong, G. H., Kim, J. H. (2008), An Experimental Study on the Mechanical Properties of Hwangtoh Concrete. *Proceeding of KCI Conference*, KCI, 2008(5), 689-692.
- Yang, K. H. (2010), Slump and Mechanical Properties of Hybrid Steel-pva Fiber Reinforced Concrete, *Journal of the Korea Concrete Institute*, KCI, 22(5), 651-658.

Received : 12/12/2016

Revised : 12/13/2016

Accepted : 12/13/2016

요 지 : 시멘트 생산 과정에서 생성되는 이산화탄소 배출량을 감소시키기 위하여 시멘트를 대체할 수 있는 건축 재료 개발에 많은 연구가 진행되어왔다. 시멘트 대체재로 사용될 수 있는 활성 황토는 850°C에서 소성 과정을 거쳐 제작된다. Poly-Vinyl Alcohol(PVA) 섬유와 GFRP 보강근은 활성 황토 콘크리트의 균열 문제를 해결하기 위하여 사용된다. 본 논문은 PVA 섬유 보강 활성 황토 콘크리트에 대하여 인발 하중에 따른 GFRP 보강근의 부착 성능을 평가하기 위한 실험 연구를 나타내고 있다. 실험 결과, 황토가 치환된 PVA 보강 및 무보강 실험체들의 평균 부착 응력 계수가 2.27~2.48로 나타났으며, 부착 응력 계수가 PVA 섬유 보강 유무 및 황토 치환율에 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 그리고 부착 길이가 길어질수록 부착 강도는 저하되었다.

핵심용어 : 활성 황토 콘크리트, PVA 섬유, GFRP 보강근, 부착강도
