

콘크리트 표면처리와 가열조건에 따른 섬유시트와 콘크리트의 부착강도에 관한 연구

A Study on Bond Strength between Fiber Sheet and Concrete
for Concrete Surface Preparation and Heating Condition

안 상 호*
Ahn, Sang-Ho

Abstract

An advanced fiber sheet has been widely used for strengthening of the concrete structures due to its excellent properties such as high strength and light weight. Bond strength is very important in strengthening the concrete structures using an advanced fiber sheet. This research examines the bond behavior between fiber sheet and concrete, investigates the bond strength by the direct pull-out test and the tensile-shear test. To obtain the tensile-shear strength a double-face shear type bond test is conducted. The primary test variables are the types of concrete surface roughness (disk-grinding/chipping) and retrofitting methods (bonding/injection).

Thirty specimens were tested to evaluate the bond strength.

It is shown that the average bond strength between fiber sheet and concrete by the direct pull-out test and the tensile-shear test is $22.3\sim 23.1\text{kgf/cm}^2$ $17.92\sim 19.75\text{kgf/cm}^2$, respectively.

keywords : Advanced fiber sheet, Bond strength, Tensile-shear test, Pull-out test

1. 서 론

고성능 섬유판 및 섬유시트는 경량성, 고탄성, 고강도, 내염해성 등이 우수하여 최근에 콘크리트 구조물 보강에 강관을 대신하여 많이 사용되고 있다. 이 시트 및 섬유판을 이용한 효과적인 보강설계에서 주안점은

부착강도이고, 이 점에 대해서 지속적인 연구가 진행되어왔다.^{(1),(2)}

보수·보강공법 중에서 탄소섬유시트, 유리 및 아라미드섬유시트의 신소재를 이용한 FRP시트 부착공법은 재료의 우수성으로 인하여 보강설계에 많이 적용되어왔다.

* 정희원, 신라대학교 건축공학과 교수, 공학박사

E-mail : shahn@silla.ac.kr 011-569-0723

•본 논문에 대한 토의를 2002년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 2003년 4월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

그러나 부착공법은 기능공의 숙련도와 책임감 그리고 작업현장의 여건에 따라 슈트의 인장강도 및 부착강도 등의 품질에 큰 차이를 보이고 있고, 특히 내화성이 결여된 문제점을 갖고 있다. 고성능 섬유슈트를 사용하는 보강공법은 에폭시수지계 접착제의 접착력에 의해 내력이 전달되는 메카니즘으로 되어있어 화재시 내화피복이 없으면 접착제 및 슈트내 함침제의 연소에 의하여 접착강도가 크게 떨어져 구조적인 보강성능이 급속히 저하됨에 따라 대형참사를 일으킬 위험성을 갖고 있다.⁽³⁾ 따라서 이런 문제점을 보완하기 위해서 경량내화판에 섬유슈트를 접착한 패널(이하 복합패널)을 공장생산화하고 현장에서 복합패널을 RC 부재에 앙카로 부착 후 수지를 주입하는 공법을 적용하고자 한다. FRP슈트 보강공법의 효과는 모재인 콘크리트와 섬유슈트의 부착에 의한 응력 전달로 발휘된다. 통상 섬유슈트가 부착되는 모재 콘크리트 표면은 디스크그라인더 등에 의해 처리되어 시공되며, 이 표면처리 방법에 의해 부착성능이 영향을 받는 것으로 알려져 있다.^{(4),(5),(6)}

본 연구는 인장 전단부착 성능에 대해서는 첫째, 각종 섬유슈트 부착공법과 복합패널 주입공법 경우에 대해서 실험하고, 둘째 콘크리트 표면을 그라인딩 및 칩핑한 경우를 대상으로 실험하였다. 인발접착 실험에서는 섬유슈트 부착공법과 복합패널 주입공법에 대해 각각 실험하여 인발접착성능을 평가하였다. 향후 내화피복 적정두께를 산정하기 위하여 섬유슈트 열화온도 이 내에서 부착강도의 변화를 고찰하고자 슈트 표면을 가열하고 가열온도를 지속시켜 온도별, 지속 시간별 인발접착성능을 실험하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 사용재료

인장 전단부착 및 인발접착 실험체의 제작에 사용된 각 섬유슈트는 Table 1과 같고, 에폭시수지는 국내 2개사 제품을 사용하였으며 그 물성값은 Table 2와 같다. 사용된 콘크리트의 설계기준강도는 $f_{ck} = 240 \text{ kgf/cm}^2$ 였다.

Table 1 섬유슈트 물성값

슈트 종류	두께 (mm)	인장강도 (kgf/cm ²)	탄성계수 (kgf/cm ²)	파단 신율 (%)
Carbon	0.111	41,673	2.35×10^6	1.5
	0.165	40,358		
Glass	0.77	6,075	2.1×10^5	2.0
Aramid	0.208	19,728	1.25×10^6	2.4

Table 2 에폭시 수지 물성값

종류	압축강도 (kgf/cm ²)	휨강도 (kgf/cm ²)	인장강도 (kgf/cm ²)	인장전단부착강도 (kgf/cm ²)
R1	993	877	417	71
R2	1,634	1,171	801	100

2.2 인장 전단부착 실험계획

2.2.1 실험체 형상 및 종류

실험체의 형상은 Fig. 1과 같이 콘크리트 100mm×100mm×200mm의 콘크리트 몰드에 제작된 복합패널 및 섬유슈트를 부착하여 Fig. 2와 같이 슈트 및 패널에 순수 인장력이 작용하도록 계획하여 부착강도를 측정하였고, 부착면적은 실험체 모두 400mm²으로 계획하였다.

부착강도를 평가하기 위한 실험체 종류는 섬유별, 표면처리 방법, 적용공법, 에폭시 수지 종류를 변수로 하여 총 30개를 제작하였고, 실험체의 일람표는 Table 3과 같다.

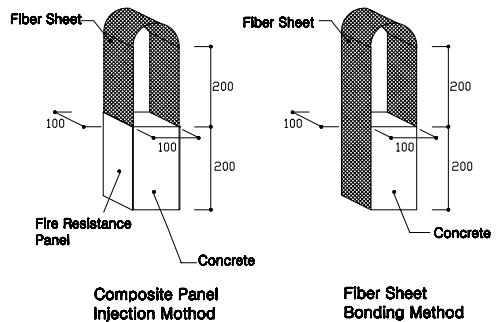


Fig. 1 시험체 형상 및 크기



Fig. 2 실험 광경

Table 3 시험체의 종류

시편	개수	섬유	표면처리	공법
BDG-C-R1	2	Carbon	디스크 그라인더	부착 공법
BDG-A-R1	2	Aramid		
BDG-G-R1	2	Glass		
BDG-C-R2	2	Carbon		
BDG-A-R2	2	Aramid		
BDG-G-R2	2	Glass		
IDG-C-R2	3	Carbon	디스크 그라인더	주입 공법
ICH-C-R2	3		칩핑	
IDG-G-R2	3	Glass	디스크 그라인더	
ICH-G-R2	3		칩핑	
IDG-A-R2	3	Aramid	디스크 그라인더	
ICH-A-R2	3		칩핑	

BDG-C-R1 R1 : **접착제1, 접착제2**
 C : CARBON, G : GLASS, A : ARAMID
 BD : **그라인딩, CH : 칩핑**
 B : **부착공법, I : 주입공법**

2.2.2 실험체 제작

콘크리트 몰드에 슈트가 접착되는 양쪽면을 그라인딩 및 칩핑으로 면처리를 한 후 복합패널은 에폭시수지를 주입해 부착시키고, 섬유 슈트 부착공법 경우는 프라이머를 도포하고 에폭시수지를 사용해 섬유 슈트를 부착하였으며, 부착 후 7일간 양생하였다.

Fig. 2와 같이 곡률반경 50mm인 고리형태의 섬유 슈트에 지름 100mm인 강봉을 설치하였으며, 시험체를 고정시키기 위하여 특수 제작된 강제치구는 액츄에이터와 편으로 연결되었다. 시험체의 양단부를 편형태

로 연결함으로써 순수 인장력만 작용되도록 하였다.

콘크리트와 섬유 슈트와의 인장전단 부착강도 시험을 위한 하중가력속도는 KS F 2241 <유리 섬유 강화 플라스틱의 인장 시험 방법>을 참고로 하여 액츄에이터에 장착된 변위계를 0.05mm/min의 속도로 가력하여 섬유 슈트의 부착과괴시까지 가력하였다. 측정항목은 섬유 슈트가 부착과괴하거나, 인장파단이 될 때까지 가력하여 최대하중을 측정해 계면의 인장전단 부착강도를 조사한다. 시험시 파괴모드를 관찰하여 섬유가 인장파단되는 경우에는 부착강도 고찰에서 제외하였다.

섬유 슈트와 복합패널의 보강 시공순서는 다음과 같다.

섬유 슈트 부착공법 시공순서

- ① 콘크리트 실험체 면처리(그라인딩)
- ② 프라이머 도포(10시간 경화)
- ③ 콘크리트 표면공극, 결손부 퍼티작업
- ④ 1차 수지 도포(하도)
- ⑤ 섬유 슈트 부착 및 기포제거
- ⑥ 2차 함침용 수지 도포(상도)
- ⑦ 양생 (20℃, 7일)

복합패널 주입공법 시공순서

- ① 콘크리트 면처리 (그라인딩, 칩핑)
- ② 양카 홀 작업 후, 복합패널 부착
- ③ 퍼티로 밀봉 후, 수지 주입
- ④ 양생 (20℃, 7일)

2.3 인발 접착 실험계획

인발접착 실험에서는 섬유 슈트 부착공법과 복합패널 주입공법에 대하여 인발접착성능 시험을 하고, 보강재 표면을 가열하고 가열온도를 지속시켜 온도별, 지속 시간별 접착성능을 시험하였다. 실험은 ASTM D 4541에 준하여 인발 접착강도 측정기를 사용해 실시하였다. 시험편은 섬유 슈트 및 복합패널로 보강된 보의 휨 실험을 종료한 후 시험체의 일부분을 Fig. 3과 같이 가로 세로 30mm 간격으로 콘크리트 모재까지 그라인더로 컷팅하고, 인발을 위한 어태치먼트를 한 칸 걸러 부착하였다.

복합패널 경우에는 섬유쉬트 표면이 나타나도록 내화판을 제거하고 섬유쉬트 표면에 어테치먼트를 부착하였다. 접착성능의 평가는 기존의 섬유부착공법과 복합패널 주입공법에 대하여 각각 9개씩 실험하였다.

가열온도 및 가열 지속시간별 접착성능실험에서는, 실험시 가열설정온도를 섬유쉬트의 허용열화온도 220~260℃를 고려하여 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 250℃로 구분하였고, 가열 지속시간은 각 설정온도에서 30분, 60분, 90분, 120분으로 하여 실험하였다.

3. 실험결과 및 분석



(1) 복합패널 인발시험



(2) 섬유쉬트 인발시험

Fig. 3 인발시험 광경

3.1 인장 전단부착

섬유쉬트 부착공법과 복합패널 주입공법으로 제작된 시험체의 실험 결과, 모든 실험체의 파괴양상은 섬유쉬트의 종류에 상관없이 섬유쉬트가 콘크리트를 물고 떨어지거나 인장파단 현상을 나타내었다. Fig. 4는 탄소섬유복합패널 주입공법과 아라미드섬유 부착공법으로 제작해 실험한 결과 계면파괴를 보여준다.

Table 4는 실험결과 파괴모드 및 부착강도를 나타낸 것이다. 복합패널 주입공법으로 시험한 결과를 보면 Fig. 5와 같이 콘크리트 표면을 그라인딩한 경우 평균 부착강도는 17.92kgf/cm²으로 나타났고, 칩핑한 경우는 19.75kgf/cm²로 칩핑시 10.2%의 부착강도가 증가하였다.

Table 4 부착 실험체의 실험결과

시편	번호	최대하중 (tf)	부착강도 (kgf/cm ²)	파괴모드
IDG-C-R2	1	6.70	16.75	부착파괴
	2	7.00	17.50	부착파괴
	3	8.60	21.50	부착파괴
ICH-C-R2	1	8.40	21.00	부착파괴
	2	8.20	20.50	부착파괴
	3	8.90	22.25	부착파괴
IDG-G-R2	1	5.10	-	섬유파단
	2	7.10	17.75	부착파단
	3	6.50	16.25	부착파단
ICH-G-R2	1	5.00	-	섬유파단
	2	7.40	18.50	부착파단
	3	7.50	18.75	부착파단
IDG-A-R2	1	5.10	-	섬유파단
	2	7.10	17.75	부착파단
	3	5.60	-	섬유파단
ICH-A-R2	1	7.20	18.00	부착파단
	2	7.50	18.75	부착파단
	3	8.10	20.25	부착파단
BDG-C-R1	1	4.10	10.25	부착파괴
	2	4.20	10.50	부착파괴
BDG-C-R2	1	4.20	10.50	부착파괴
	2	4.10	10.25	부착파괴
BDG-G-R1	1	4.05	10.13	부착파단
	2	3.85	9.63	부착파단
BDG-G-R2	1	4.15	10.38	부착파단
	2	4.20	10.50	부착파단
BDG-A-R1	1	4.15	10.38	부착파괴
	2	4.05	10.13	부착파괴
BDG-A-R2	1	4.40	11.0	부착파괴
	2	4.35	10.88	부착파괴



Fig. 4 복합패널 및 슈트 계면파괴 현상

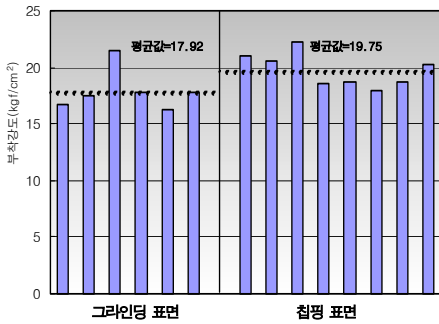


Fig. 5 콘크리트 면처리에 따른 부착강도

각 섬유슈트 부착공법에서 2종류의 에폭시 접착수지에 따른 평균 부착강도는 Fig. 6에서와 같이 10.17kgf/cm², 10.59kgf/cm²로 큰 차이가 없는 것으로 나타났으나, 수지 물성값에 따른 부착강도 연구가 더 필요할 것으로 보여진다.

Fig. 5, Fig. 6과 Fig. 7에서 접착제의 종류를 동일한 것으로 사용하고, 기존의 섬유슈트 부착공법과 복합패널 주입공법인 경우의 부착응력도를 비교하면, 복합패널 주입공법으로 그라인딩 및 칩핑 표면처리 한 경우가 부착공법의 부착응력도에 비해 1.76배, 1.94 배 높게 나타났다.

3.2 인발 접착

섬유슈트 부착공법에서 인발 접착강도는 섬유슈트 종류와 콘크리트 표면에 따라서는 접착력의 차이를 보이지 않는 것으로 알려져 있다.⁽¹⁾ 양생온도는 슈트 부

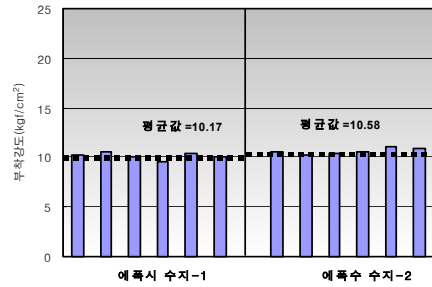


Fig. 6 수지의 종류에 따른 부착강도

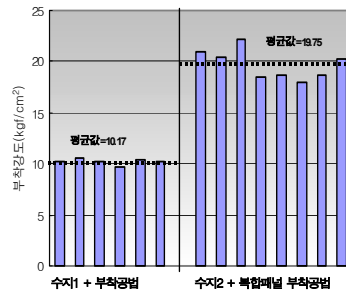


Fig. 7 부착공법과 복합패널 주입공법의 부착강도

착 후 5°C 이상에서 3일간 양생을 하면 충분한 접착강도가 확보되는 것으로 나타나 있다.⁽¹⁾ 사용온도에 따른 섬유슈트 부착공법과 복합패널의 주입공법에 의한 부착성능은 상온의 경우 Table 5와 같다. 콘크리트와 섬유슈트 또는 콘크리트와 복합패널의 부착강도는 두 재료의 계면에서 파괴가 기준이 되므로 콘크리트 파괴는 인발접착강도 산정에서 제외하였다. 섬유슈트 부착공법과 복합패널 주입공법에 의한 평균 인발접착강도는 23.1kgf/cm², 22.3kgf/cm²으로 비슷한 값을 나타냈다.

향후, 복합패널의 내화관 적정두께 산정의 기초자료 확보와 섬유슈트로 보강된 구조물의 사용온도에 따른 부착강도특성을 고찰하고자 섬유슈트 부착공법 시험체의 표면에 허용열화온도 이내 조건으로 가열하여 부착강도 변화를 조사하였다.

Fig. 8에서와 같이 가열온도 200°C 까지는 인발접

Table 5 인발접착강도 결과

공법	시 편	인발접착 강도 (kgf/cm ²)	파괴 모드
섬유쉬트	F-1	20.0	계면파괴
	F-2	25.0	콘크리트 파괴
	F-3	27.0	콘크리트 파괴
	F-4	20.0	콘크리트 파괴
	F-5	22.0	콘크리트 파괴
부착공법	F-6	20.0	계면파괴
	F-7	21.0	계면파괴
	F-8	30.0	계면파괴
	F-9	23.0	콘크리트 파괴
복합패널	LB-1	25.0	콘크리트 파괴
	LB-2	23.0	콘크리트 파괴
	LB-3	24.0	계면파괴
	LB-4	20.0	계면파괴
	LB-5	25.0	콘크리트 파괴
주입공법	LB-6	22.0	계면파괴
	LB-7	22.0	계면파괴
	LB-8	20.0	계면파괴
	LB-9	20.0	계면파괴

착강도가 변화가 없으나, 섬유 허용열화온도에 근접했을 때 인발접착강도가 17.2 kgf/cm² 로 14% 정도 감소된 것으로 나타났다. 또한 각 온도에서 가열 지속 시간에 따른 접착강도는 Fig. 9에서와 같이 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

따라서 허용열화온도 이내에서 반복가열 및 지속가열에 따른 인발접착성능의 변화는 크지 않은 것으로 나타났다.

4. 결론

섬유쉬트 부착공법과 복합패널 주입공법의 경우 인장전단부착 및 인발접착 실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 인장전단 부착강도

- ① 복합패널 주입공법에서 콘크리트 면처리를 그라인딩 및 칩핑 한 경우, 부착강도가 17.92kgf/cm², 19.75kgf/cm²로 나타나 콘크리트 표면처리 방법에 따라 부착성능이 크게 영향을 받는 것을 알 수 있었다.
- ② 섬유쉬트 부착공법에서 물성값이 다른 에폭시

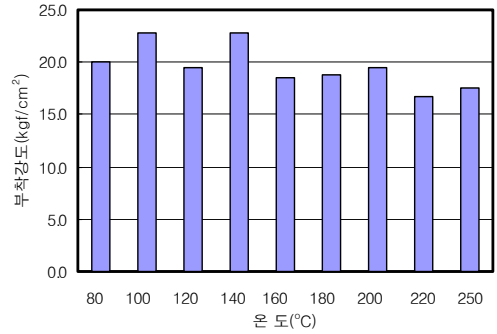


Fig. 8 가열온도에 따른 인발접착강도 변화

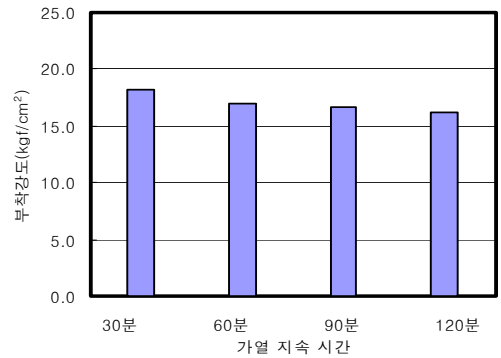


Fig. 9 가열 지속시간에 따른 인발접착강도 변화

접착수지에 따른 부착강도는 10.17kgf/cm², 10.50kgf/cm²로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

- ③ 섬유쉬트 부착공법에 비해 복합패널 주입공법 경우의 부착강도는, 그라인딩으로 면처리한 것과 칩핑한 경우 부착공법에 비해 1.76배, 1.94배 높게 나타났다.

2)인발접착강도

- ① 섬유쉬트 부착공법과 복합패널 주입공법에 의한 평균 인발접착강도는 유사한 것으로 나타났다.
- ② 사용온도가 높을수록 인발접착강도는 다소 떨어지나 섬유쉬트 허용열화온도 내에서는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.
- ③ 가열 지속시간에 따른 접착강도 변화도 다소 떨

어지나 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

향후 연구로서 에폭시 수지 몰성값에 따른 부착성능과 동결융해를 받은 후 부착성능 평가가 고려되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구에 있어 (주)엠프로의 협조에 감사 드립니다.

참고문헌

1. 유영찬 외, “탄소섬유슈트와 콘크리트의 부착강도 실험 연구” 한국콘크리트학회논문집 제13권 2호, 2001.4, pp. 168~174.
2. 박윤제 외 “강판으로 보강된 RC보의 에폭시-콘크리트 계면의 부착특성” 한국콘크리트학회논문집 제13권 3호, 2001.6, pp. 221~227.
3. 이한승, “섬유시트로 보강된 철근 콘크리트 구조부재의 방·내화성능” 한국콘크리트 학회지 제14권 2호, 2002.3, pp. 45~50.
4. Mitsui. M. et. al. “CFRP 시트·콘크리트間의附着強度と各種表面粗さ 指標との關係”, Journal of Society and Materials Science, Japan, Vol 49, No.6, 2000. 6, pp. 685~691.
5. Bizindavyi. L. et. al. “Transfer Lengths and Bond Strengths for Composites Bonded to Concrete”, Journal of Composites for Construction, V.3, No.4, 1999. 9, pp. 153~160.
6. Chajes. M.J. et. al. “Bond and Force Transfer of Composite Material Plates Bonded to Concrete”, ACI Structural Journal V.93 No. 2, 1996.3-4, pp. 208~217.
7. Chen. J.F. et. al., “Anchorages Strength Models for FRP and Steel Plates Bonded to Concrete”, Journal of Structural Eng., V.127 .No.7, 2001, 7, pp. 784~791.
8. Focacci. F. et. al. “Local Bond-Slip Relationship for FRP Reinforcement in Concrete”, Journal of Composites for Construction, V.4, No.1, 2000. 2, pp. 24~31.
9. Minoru. K. et. al., “Evaluation of Bond Properties in Concrete Repair Materials” Journal of Materials in Civil Eng. V.13, No.2, 2001. 3-4, pp. 98~105.
10. Nakaba. K. et. al., “Bond Behavior between Fiber-Reinforced Polymer Laminates and Concrete”, ACI Structural Journal, V.98 No. 3, 2001.5-6, pp. 359~367.
11. Tripi. J.M. et. al., “Deformation in Concrete with External CFRP Sheet Reinforcement”, Journal of Composites for Construction, V.4, No.2, 2000. 5, pp. 85~94.

(접수일자 : 2002년 5월 7일)