

FRP 보강효과에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Reinforcement Effect of FRP

김 생빈*
Kim, Saeng-Bin

O 김 동신**
Kim, Dong-sin

ABSTRACT

This study shows both through experiment and based on theory the reinforcement effectiveness when using FRP(Fiber Reinforced Plastics) as a means of reinforcing the concrete or the deteriorated concrete.

Non-deteriorated concrete and deteriorated concrete which is deteriorated by freezing and thawing are made three type specimens (non-reinforced concrete beam, one layer FRP reinforced concrete beam, two layer FRP reinforced concrete beam) for this purpose. Bending strength and cracking load ratio is measured by bending test.

I. 서론

콘크리트는 철강재와는 달리 콘크리트를 구성하는 각재료의 선정으로부터 배합, 제조 및 시공에 이르는 전과정을 토목기술인 스스로가 담당해야 하는 재료이다. 따라서 콘크리트 구조물은 품질 및 시공관리를 소홀히 함으로써 발생하는 콘크리트의 결함으로 인하여 구조물의 내구수명이 단축될 뿐 아니라 사용자에게 불안을 주게되며 위험을 초래하기도 한다.

특히 하천복개 구조물인 경우에는 하천에 함유된 산이나 염, 오수 및 유해가스 등에 의한 콘크리트의 중성화로 철근의 덮개가 박리되고 철근이 노출되어 구조물에 치명적인 손상을 가져오게 한다.

본 연구에서는 열화된 콘크리트를 보강하는 방법으로 FRP(Fiber Glass Reinforced Plastics, 강화 플라스틱이라 칭함)를 사용하였을 때 이의 보강효과를 실험과 이론을 통하여 규명하고자 한 것이다.

원래 FRP재료는 수지와 강화용유리섬유로서 구성되며 이 중 수지는 내후성, 내식성, 내한성 및 전기적 성질등의 장점을 FRP에 주며, FRP에 사용되는 수지로서는 열경화성수지가 주로 쓰이고 이중 가장 많이 쓰이는 수지로서는 불포화폴리에스테르수지, 에폭시수지, 비닐에스테르, 페놀수지 및 프란수지 등이다.

또 유리섬유로서는 성분조성에 따라 E-글래스, L-글래스, S-글래스 및 내알칼리글래스 등이 있으며 사용목적에 맞는 유리섬유를 선정해야 할것이다.

II. FRP 재료의 특성

1. 유리섬유의 조성

현재 국내에서 생산되고 있는 유리섬유의 대부분을 차지하고 있는것은 E-글래스라 칭하는 것으로 알칼리를 전혀 함유하고 있지 않기 때문에 일명 무알칼리 글래스라고도 불리워진다. 이의 특징으로서는 내풍성이 좋고 전기적 특성에 우수하며 장기사용에 대해서 저항력이 크다.

* 정회원 동국대학교 공과대학 교수

** 정회원 동국대학교 대학원 박사과정

본 실험에서 사용된 유리섬유의 화학적 성분 및 물리적 성질은 표2.1 및 표2.2와 같다.

표 2.1 유리섬유 (E-Glass)의 화학적 성분

화학적분명	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	B ₂ O ₃	Na ₂ O+K ₂ O
함량 (%)	52~56	12~16	15~25	0~6	8~13	0~1

표 2.2 유리섬유 (Roving Cloth)의 물리적 성질

폭(mm)	중량(g/m ²)	두께(mm)	밀도(굴/5cm)		항장력(kg/5cm)	강조직(m)
			경사	위사		
500	239.6	0.975	9.1	8.0	852.4	50 평직

2. 에폭시 수지

본 시험에서 사용된 수지는 에폭시 수지로서 비스페놀 A와 에피크로히톤인 과의 축합물이다.

에폭시 수지는 경화제의 종류에 의해 특성이 다른 경화물이 얻어지는데 여기서는 에폭시 수지 주체에 Poly Amine, Poly Amide, 변성 Amine등의 경화제와 내마모성을 증진시키는 무기화합물을 혼합한 2액형 수지도료로서 내산, 내알칼리, 내유 및 내약품성에 뛰어나며 뿐만 아니라 가스성, 내충격성, 내후성등 특성을 갖고 있다.

주제 대 경화제의 중량비는 100:25로서 에폭시 수지의 물리적성질은 다음표 2.3 과 같다.

3. FRP의 특성

1) 유리섬유율의 환산

FRP의 정적기본특성으로서 인장, 휨, 압축 및 전단 등이 있으며 이들의 특성은 유리섬유와 매트릭스인 에폭시 수지의 체적함유율에 따라 상당한 차이가 있다.

체적함유율(V_f)과 중량함유율(W_f)과의 환산은 다음식으로 구한다.

표 2.3 에폭시수지 (유리섬유 함침용) 의 물리적 성질

항 목	규격치	단 위	시험 방법
비 중	1.20 ± 0.10	-	KS M 3016
점 도	5000 ± 2000	cp	KS M 3705
인 장 강 도	250 이상	kg/cm ²	KS M 3006
굴 곡 강 도	400 이상	kg/cm ²	KS M 3008
압축 항복 강도	500 이상	kg/cm ²	KS M 3816
압축 탄성 계수	(2.4~4.0)×10 ⁴	kg/cm ²	KS M 3816
인장전단접착강도	130 이상	kg/cm ²	KS M 3734
충격강도(izod충격치)	2.0 이상	kg·cm/cm	KS M 3055

$$V_f = \frac{W_f \cdot d_m}{W_f \cdot (d_m - d_f) + d_f} \quad (2.1)$$

여기서, d_m (경화시의 수지 비중) = 1.2(에폭시수지)
 d_f (섬유의 비중) = 2.6 (유리섬유) 이다.

본 실험에서는 FRP 2층 접합 보강과 FRP 1층 접합 보강에 대하여 시험하였으므로 이 때 각 층별 접합에 대한 체적함유율과 중량함유율은 다음과 같다.

2층접합 : $W_f = 0.3195$ $V_f = 0.178 = 17.8\%$
 1층접합 : $W_f = 0.2396$ $V_f = 0.127 = 12.7\%$

2) 인장특성

일반적으로 일방향강화재의 섬유방향의 정적특성은 복합체에 따라 섬유체적함유율 V_f 에 대하여 다음의 일차식으로 표시된다.

$$E_L = E_f \cdot V_f + E_m \cdot (1 - V_f) \quad (2.2)$$

여기서, E_f, E_m 은 각각 섬유 및 매트릭스의 탄성계수 이다.

그러나 실제에는 유리섬유를 에폭시수지에 함침시킬 때 섬유를 한방향으로 모두 곧게 배열시켜 시공하는 일은 어려워 파형을 이룬다든지 한쪽에 쏠린다든지 하기 때문에 Roving Cloth 의 E_f 는 섬유자신의 E_f 보다 좀 낮아진다고 보아야 하기 때문에 일반적으로 계수 K_E 를 곱해서 다음과 같이 표시한다.

$$E_L = K_E \cdot \{E_f \cdot V_f + E_m \cdot (1 - V_f)\} \quad (2.3)$$

본 실험에 사용된 유리섬유와 에폭시수지의 탄성계수는 각각 $E_f=740000 \text{ kg/cm}^2$, $E_m=30000 \text{ kg/cm}^2$ 이며 또 $K_E=0.95$ 로 보면

2층접합 FRP :
 $E_{L2}=0.95 \{740000 \times 0.178 + 30000 (1 - 0.178)\}$
 $=148560 \text{ kg/cm}^2 \approx 1.50 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$

1층접합 FRP :
 $E_{L1}=0.95 \{740000 \times 0.127 + 30000 (1 - 0.127)\}$
 $=114160 \text{ kg/cm}^2 \approx 1.15 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$

② 인장강도의 복합칙

$$F_L = F_f \cdot V_f + \sigma_m \cdot (1 - V_f) \approx F_f \cdot V_f + F_m (1 - V_f) \quad (2.4)$$

여기서 F_f 는 유리섬유의 인장강도, σ_m 은 섬유파단시의 Strain에 대응하는 매트릭스의 응력인데 매트릭스의 강도 F_m 과 같다고 보아도 별차이는 없다. 여기에서도 ①에서와 같이 계수 K_f 를 곱해서 다음과 같이 표시한다.

K_f 는 보통 1.0 - 0.5 정도가 된다.

$$F_L = K_f \{F_f \cdot V_f + F_m (1 - V_f)\} \quad (2.5)$$

본 실험에 사용된 $F_f=20000 \text{ kg/cm}^2$, $F_m=500 \text{ kg/cm}^2$ 이며, $K_f=0.75$ 로 취하면

2층접합 FRP :
 $E_{L2}=0.75 \{20000 \times 0.175 + 500 (1 - 0.175)\}$
 $=2930 \text{ kg/cm}^2$

1층접합 FRP :
 $E_{L1}=0.75 \{20000 \times 0.127 + 500 (1 - 0.127)\}$
 $=2230 \text{ kg/cm}^2$

Ⅱ. 실험계획과 콘크리트의 배합

1. 실험계획

FRP 보강의 효과를 알아보기 위하여 다음의 2가지 시험 조건에 대하여 압축강도용 공시체 ($\phi 10 \times 20 \text{ cm}$)와 휨강도용 공시체 ($10 \times 10 \times 50 \text{ cm}$)를 제작하여 시험하였으며, FRP 보강효과를 휨강도용 공시체의 하면에 FRP 1층접착 및 FRP 2층접착으로 보강하여 무 보강 보와의 균열하중이나 파괴 하중의 증가 및 처짐특성을 측정 비교 하였다.

이때 휨응력의 측정은 그림 3.1에서 보는 바와 같이 보의 중앙부 밑면에 Wire Strain Gauge (Type PI-60-11, Gauge 길이 60mm)를 부착하여 하중 증가에 의한 Strain 값을 콘크리트 및 FRP의 응력으로 환산하였고, 처짐량은 역시 보의 중앙점에 대하여 Displacement Transducer (Type SDF 50C, 용량 50mm)로 측정하였다.

시험조건1 : 압축강도용 공시체 및 휨강도용 공시체를 각각 시험종별로 3개씩 제작하여 1일간 실험실에 두었다가 탈형하고 그후 27일간을 수중양생 (수온 $20 \pm 2^\circ\text{C}$) 한후, 무보강보, FRP 1층접착 및 FRP 2층접착보에 대하여 시험하였다.

시험조건2 : 시험조건1과 같은 방법으로 공시체를 제작하고 양생한다. 또한 휨강도용 공시체는 동결융해 시험에 의해 인위적으로 상대동탄성계수가 60이 될 때 까지 동해를 가한후에 무보강보, FRP 1층접착 및 FRP 2층접착보로 만들어 시험하였다.

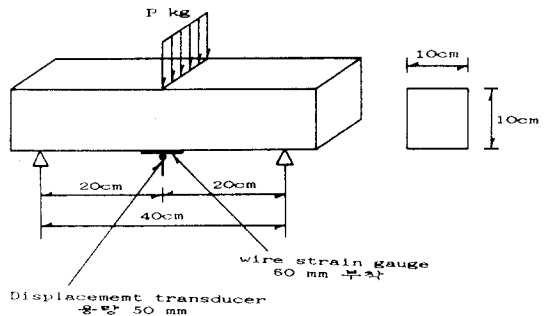


그림 3.1 휨응력과 처짐측정

2. 콘크리트의 배합

콘크리트의 배합은 일반배합이론에 의해 콘크리트의 설계기준강도 $\sigma_{ck}=210 \text{ kg/cm}^2$, 굽은골재의 최대치수 $G_{max}=25 \text{ mm}$, Slump=8~10 cm 로 하였으며, 혼화제는 사용하지 않았다.

콘크리트의 배합표는 표 3.1과 같고 이때 사용된 시멘트는 보통포틀랜드 시멘트로서 물리적인 성질은 표 3.2와 같다. 또 잔골재와 굽은골재는 한강에서 채취한 골재로서 이의 물리적인 성질은 표 3.3 및 표 3.4와 같다.

표 3.1 콘크리트의 배합표

$G_{max}(\text{mm})$	Slump (cm)	공기량 (%)	W/C (%)	S/a (%)	단위량 (kg/m^3)			
					W	C	S	G
25	8~12	1~2	55	42	180	327	760	1070

표 3.2 보통 포틀랜드시멘트의 물리적 성질

비 중	비표면적 (cm^2/g)	응 결 (시:분)		안정성	압축강도 (kg/cm^2)		인장강도 (kg/cm^2)	
		시발	종결		σ_7	σ_{28}	σ_7	σ_{28}
3.15	3000	4:30	6:50	양호	180	280	26	34

표 3.3 잔골재의 물리적 성질

표준 비중	흡수 율 (%)	단위용적 중 (kg/m^3)	실적용 율 (%)	표면 수율 (%)	각체의 통과중량의 백분율 (%)								조립율
					10mm	# 4	# 8	# 16	# 30	# 50	# 100		
2.60	1.30	1600	59.0	1.20	100	100	90	72	48	18	6	2.66	

표 3.4 굽은골재의 물리적 성질

G_{max} (mm)	표준 비중	흡수 율 (%)	단위용적 중 (kg/m^3)	실적용 율 (%)	각체의 통과중량의 백분율 (%)							조립율
					30mm	25mm	19mm	13mm	10mm	# 4		
25	2.65	0.5	1710	62.51	100	95	72	42	20	0	7.08	

IV. 시험방법과 시험결과

1. 동결융해 시험

앞의 시험조건2 에서 밝힌 바와 같이 콘크리트보가 동결융해작용을 받아 콘크리트 자체의 상대동탄성계수가 60으로 저하했을때의 열화된 콘크리트보에 대한 FRP보강 효과를 알아보기 위해 동결융해 시험을 실시하였다.

동결융해시험은 KS F 2456에 규정된 "공기중 급속동결 및 수중 급속융해 시험방법"에 의해 Marui 회사(일본제)제품의 전자동 동결융해 시험기로 시험하고 또 콘크리트의 동탄성계수 측정은 역시 Marui 회사 제품의 Ultrasoniscope로 측정하였다.

무보강보의 동결융해 시험결과를 그림 4.1과 같다.

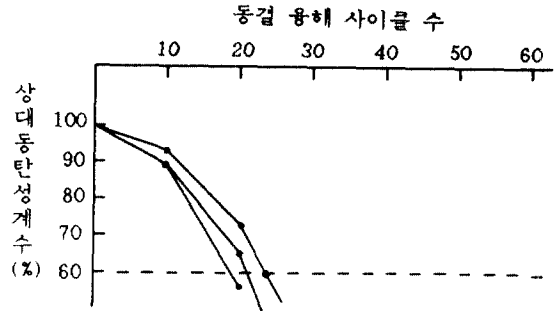


그림 4.1 동결융해 시험

2. 휨강도와 처짐량 측정결과

일반적으로 휨부재의 강도는 휨강도로 평가된다. 따라서 FRP 보강효과를 휨강도로 평가하기 위해서 그림 3.1에서 보는 바와 같이 하중을 보의 중앙에 작용시켜 보가 휨파괴 될 때 까지 100 kg 단위로 증가시키면서 Strain gauge에 의한 보 하면의 Strain과, 처짐량을 Displacement Transducer로 측정하였으며 측정결과를 표 4.1의 (a) 및 (b)에 표시하였다.

시험에 사용된 계측장치는 소형만능시험기인 Vera Tester 30M(미국제) 과 자동 Digital Strain 측정기(TDS-301 일본제) 이다.

3. FRP 보강보의 파괴상상

그림 4.2 에서와 같이 FRP 보강보의 중앙점에 집중하중 P가 작용하여 점차 P가 증가하게 되면 처음에는 콘크리트보의 중앙부 인장측에 미소 휨 균열 ①이 발생한다. (무보강의 경우에는 이 휨 균열이 생기자 마자 보는 파괴된다). 다시 P가 증가하게 되면 ②부분에 사인장균열이 발생하면서 점차 균열은 확대되어 상향하면서 압축측 ③에 도달하게 된다. 이 때 콘크리트보는 더이상의 하중 증가없이 ④부분의 FRP와 콘크리트와의 접착이 박리되면서 동시에 ⑤부분의 하중점 콘크리트 압축부가 갈라져보는 완전 파괴하게 된다.

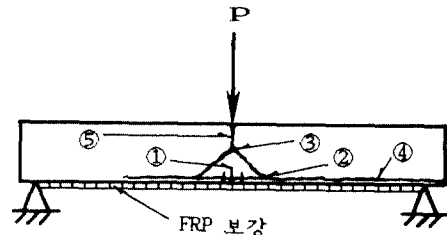


그림 4.2 FRP보강보의 파괴

초기 균열이 발생할 때의 무보강보와 FRP 보강보의 하중비는 표 4.1과 같다.

표 4.1 압축강도와 휨시험에 의한 하중 과 응력 및 처짐량
(a) 시험조건 1인 경우

FRP보강 유무	기호	압축강도 (kg/cm ²)	P(kg)										균열시 하중비	균열시 처짐비	파괴시 하중비				
			응력, 처짐	100	200	400	600	800	1000	1200	2100	2200							
무보강보	N	$\sigma_c' = 210$	σ_b (kg/cm ²)	5.6	11.4	23.2	35.6	46.3						1			1		
			δ (mm)	0.15	0.3	0.6	1.0	1.3								1			
FRP 1층 접착보	R1	$\sigma_c' = 210$	σ_{b1} (kg/cm ²)	5.4	11.4	22.6	34.0	45.0	56.4					1.25					
			σ_{f1} (kg/cm ²)	2.8	5.9	11.8	17.8	23.5	29.5	320	998				1			2.63	
			δ_1 (mm)	0.15	0.25	0.5	0.8	1.0	1.3	1.8	5.4					0.77	1		
FRP 2층 접착보	R2	$\sigma_c' = 210$	σ_{b2} (kg/cm ²)	4.0	8.2	16.5	25.2	34.0	41.5	53.2				1.50					
			σ_{f2} (kg/cm ²)	2.7	5.6	11.3	17.2	23.2	28.3	36.3	600	750				1.2			2.75
			δ_2 (mm)	0.1	0.2	0.45	0.80	0.90	1.20	1.36	3.40	3.70					0.69	0.9	

(b) 시험조건 2인 경우

FRP보강 유무	기호	압축강도 (kg/cm ²)	P(kg)										균열시 하중비	균열시 처짐비	파괴시 하중비				
			응력, 처짐	100	200	400	600	800	1000	1200	1900	2000							
무보강보	FN	$\sigma_c' = 160$	σ_b (kg/cm ²)	5.8	11.8	24.0	38.0								1			1	
			δ (mm)	0.24	0.5	1.1	1.50										1		
FRP 1층 접착보	FR1	$\sigma_c' = 160$	σ_{b1} (kg/cm ²)	6.0	12.2	24.2	36.5	48.5							1.33				
			σ_{f1} (kg/cm ²)	3.6	7.4	14.6	22.1	29.4	310	415	1120					1			3.17
			δ_1 (mm)	0.15	0.3	0.6	0.9	1.20	1.8	2.2	4.8						0.8	1	
FRP 2층 접착보	FR2	$\sigma_c' = 160$	σ_{b2} (kg/cm ²)	4.3	8.8	18.0	27.0	36.5	45.0						1.67				
			σ_{f2} (kg/cm ²)	3.4	6.9	14.2	21.3	28.8	35.5	210	680	774				1.25			
			δ_2 (mm)	0.1	0.25	0.5	0.75	1.0	1.3	1.5	3.3	3.8					0.87	0.72	

기호: σ_b :하면의 콘크리트인장응력, σ_{f1} :FRP1층보강의 인장응력, σ_{f2} :FRP2층보강의 인장응력, δ :중앙점의 처짐량

V. 시험결과에 대한 분석

1. 압축강도와 휨강도와의 관계

시험에 사용된 기존 콘크리트의 압축강도와 무보강보의 휨강도는 표 4.1 에서 보는 바와 같이 $\sigma_c' = 210 \text{ kg/cm}^2$ 이고 휨강도 $\sigma_b = 46.3 \text{ kg/cm}^2$ 였으나 동결융해 작용을 받아 상대동탄성계수가 60 일때의 압축강도는 160 kg/cm^2 , 휨강도는 38 kg/cm^2 로 감소 되었다.

여기에서 휨강도의 압축강도와의 비는 대략 $1/4.5 \sim 1/4.2$ 로 나타났다.

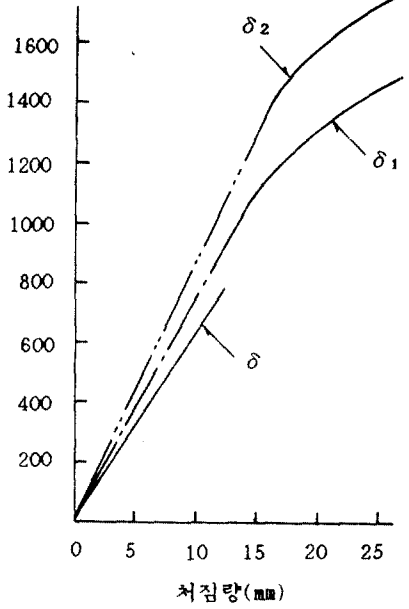
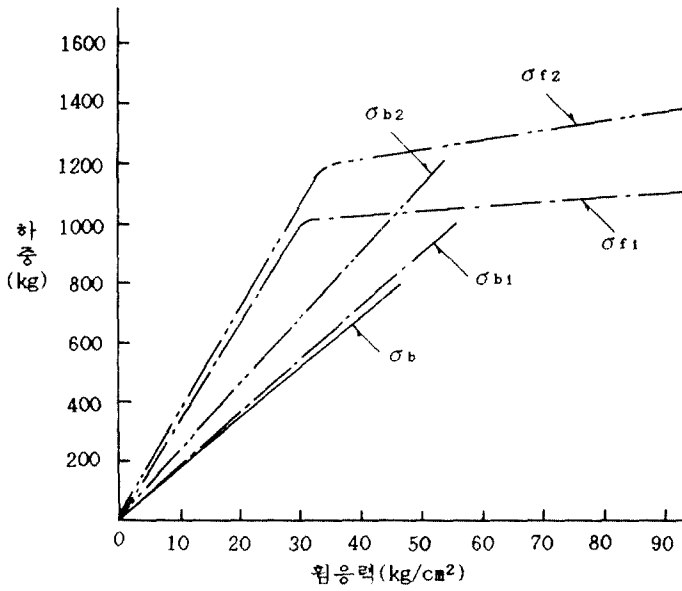
2. 집중하중 P와 휨응력 및 처짐과의 관계

그림 5.1은 보의 시험에서 집중하중 P와 휨응력(콘크리트 및 FRP 응력)과의 관계 그리고 P와 처짐

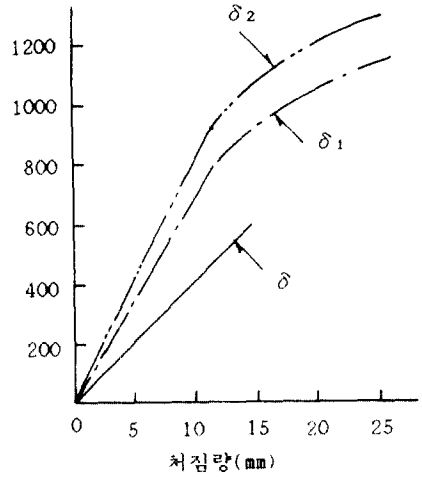
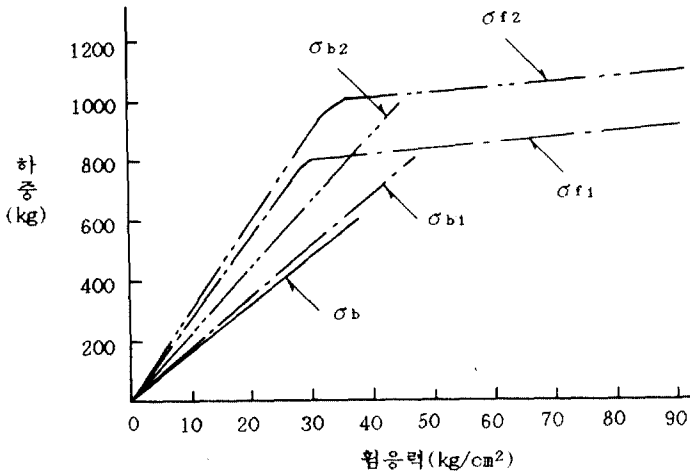
과의 관계를 나타낸 것이다. 하중에 따른 휨응력의 변화는 콘크리트에 초기 균열이 발생할 때까지는 시험조건1이나 시험조건2 모두가 직선변화를 하며 이 구간에서는 탄성 이론이 성립됨을 알 수 있다. 또 하중에 대한 처짐과의 관계도 역시 균열이 발생할 때까지는 직선적으로 변화한다. 그러나 일단 콘크리트에서 균열이 발생하면 균열이 생긴 부분의 FRP 는 갑자기 늘어나면서 응력이 급증하고 FRP와 콘크리트와의 접합면에서 접착강도 이상의 응력이 생길때 접착부위가 떨어지면서 보는 파괴 하게 된다.

3. FRP 보강효과

(1) 보통 콘크리트에서의 FRP 보강효과(시험조건1) 위의 1항에서 언급한 바와 같이 동해를 받지 않은 보통콘크리트의 압축강도 $\sigma_c' = 210 \text{ kg/cm}^2$ 에



(a) 시험조건 1인경우 ($\sigma_c' = 210 \text{ kg/cm}^2$)



(b) 시험조건 2인경우 ($\sigma_c' = 160 \text{ kg/cm}^2$)

그림 5.1 하중과 응력 및 처짐과의 관계

대한 휨강도 (초기균열이 일어날때의 휨응력을 휨강도로 본다)는, 무보강보에서 $P = 800 \text{ kg}$ 일때 46.3 kg/cm^2 이고, FRP 1층접착에서 $P = 1000 \text{ kg}$ 일때 56.4 kg/cm^2 이며, FRP 2층접착에서 $P = 1200 \text{ kg}$ 일때 53.2 kg/cm^2 이므로 FRP 보강으로 인해 콘크리트의 휨강도의 증진은 대략 18% 증가 되었다.

보의 파괴는 무보강보인 경우에는 초기균열이 발생하자마자 보는 파괴 되었으나 FRP 보강보의 경우에는 초기균열이 발생하더라도 FRP와 콘크리트와의 이 부착효과로 인해 보가 파괴에 이르기까지는 상당한 힘을 더 받을 수가 있었다. 예로서 FRP 1층접착보의 경우에는 $P=2100 \text{ kg}$ 에서 또 FRP 2층접착보에서는 $P=2200 \text{ kg}$ 에서 FRP가 콘크리트와 박리되면서 파괴가 일어났다. 이때 FRP에 생긴 응력은 표 4.1(a) 에서 보는 바와 같이 1층접착일때 998 kg/cm^2 (1층접착 FRP의 인장강도는 이론적으로 2230 kg/cm^2) 이고, 2층접착 일때 750 kg/cm^2 (2층접착 FRP의 인장강도는 이론적으로 2930 kg/cm^2)로 측정되었으나 모두 이론적인 인장강도보다 작으므로 FRP의 파단은 일어나지 않고 보가 IV.의 3에서 설명한 것과 같이 파괴 된다.

(2) 열화된 콘크리트의 FRP 보강효과 (시험조건 2)

실제로 FRP 보강은 콘크리트가 화학적인 침식이나 동해등의 외적영향으로 열화되었을때 콘크리트 구조물의 강도 보강과 내구성개선을 목적으로 한다. 따라서 본 연구에서도 콘크리트를 인위적으로 어느 정도 열화시킨 후에 FRP로 보강하여 이에 대한 효과를 알아보기로 하였다. 동해를 받아 열화된 콘크리트의 압축강도는 $\sigma_c' = 160 \text{ kg/cm}^2$ 로 되었으며 이 때 휨강도는 무보강보에서 $P=600 \text{ kg}$ 일때 38.0 kg/cm^2 이고, FRP 1층접착에서 $P=800 \text{ kg}$ 일때 48.5 kg/cm^2 이며 2층접착에서 $P=1000 \text{ kg}$ 일 때 45.0 kg/cm^2 이므로 FRP 보강으로 인해 콘크리트의 휨강도 증진은 대략 23% 증가되었다.

보의 파괴는 (1)항에서와 같으며, 콘크리트가 파괴될 때의 FRP에 생긴 응력은 표 4.1(b) 에서 보는 바와 같이 1층접착일 때 1120 kg/cm^2 ($P=1900 \text{ kg}$ 에서)이고 2층접착일 때는 774 kg/cm^2 ($P=2000 \text{ kg}$ 에서)로 측정되었으나 역시 각 경우의 인장강도보다 작으므로 FRP 파단은 일어나지 않는다.

VI. 결론

본 연구에서는 열화된 콘크리트 구조물의 보강방법으로 FRP를 사용하였을 때 이의 보강효과를 알아보기 위하여 이론과 실험을 통해 규명한 것으로 이 연구로 얻어진 자료에 의해 다음의 몇가지를 밝힐 수가 있다.

(1) FRP 보강보의 휨강도는 콘크리트에 초기 휨균열이 발생할 때의 휨응력으로 보아야 한다. 휨균열이 발생하기 전까지는 하중과 휨응력은 비례하지만 균열이 발생한 직후에서 휨응력은 갑자기 증가 되기 때문이다.

(2) 보통콘크리트에서의 FRP 보강효과는 콘크리트의 휨강도를 기준으로 할때 무보강보의 휨강도보다 대략 18% 증가하였으며 열화된 콘크리트의 FRP 보강효과는 콘크리트의 휨강도를 기준으로 할때 무보강보의 휨강도보다 대략 23% 증가하였다

(3) FRP 보강보의 휨파괴는 거의가 콘크리트의 휨파괴로 발생하며 FRP 자체의 파괴는 일어나지 않는다. 보가 파괴될 때의 FRP 에 발생하는 인장응력은 항상 FRP 자체의 인장강도 보다 작기 때문이다.

(4) FRP 1층접착 및 2층접착에 대한 보강효과는 휨강도 측면에서 거의 비슷하나 균열시 하중비는 1.2 배정도로 FRP 2층접착보다 크므로 FRP 접착보강으로는 2층접착으로 하는것이 바람직 하다.

參 考 文 獻

- 1) 福田榮吉: 無機纖維製品(1974), 33地人書館.
- 2) 強化プラスチック技術協會; FRP設計便藍, 1983.
- 3) 上田誠一: "FRTP成形加工技術の現状と問題點", 플라스틱스, Vol. 25, No. 9, 1974, P. 21.
- 4) 羽仁浩, 平賀壽雄; "ガラス纖維強化鹽化ビニル樹脂", 強化プラスチック, Vol. 14, No. 6, 1968 P. 41.
- 5) J.E.Theberge: "Fatigue endurance and creep of glass fiber-fortified thermoplastics", Modern plastics, Vol. 45, No. 6, 1968, P. 155
- 6) J.E.Theberge., N.T.Hall: "Tensile & impact behavior of a series of Glass-fortified thermoplastics resin as a function of straining rate", 24th SPI, sec. 1-B, 1970.
- 7) British plastics; "Plastic Material Guide, 1971~1972.
- 8) A.D.Osborne, F.W.Maine; "Reinforced Thermoplastics sheet for thermoforming", 29th SPI, Sep24-E, 1974.
- 9) T.C.Powers; Resistance to Weathering-Freezing ASTM Sp. Tech. Pub No. 169, PP. 182~187, 1956.
- 10) 逸洋化成(株); Epoxy Resin-EPOLITE, 1988.
- 11) 태신화이바(株); Fiber Glass, 1988.
- 12) 金生彬; "高强度콘크리트의 耐久性에 관한研究" 大韓土木學會論文集, 第1卷, 第1號, PP. 9~19, Dec. 1981.