

Basalt 섬유시트의 철도시설 콘크리트구조물 보강재로서의 부착거동 연구

Bonding Characteristics of Basalt Fiber Sheet as Strengthening Material for Railway Concrete Structures

박철우[†] · 심종성*

Cheolwoo Park · Jongsung Sim

Abstract Concrete structures become more common in railway systems with an advancement of high speed train technologies. As the service life of concrete structures increases, structural strengthening for concrete structures may be necessary. There are several typical strengthening techniques using steel plate and fiber reinforced polymer (FRP) materials, which have their own inherent shortcomings. In order to enhance greater durability and resistance to fire and other environmental attacks, basalt fiber material attracts engineer's attention due to its characteristics. This study investigates bonding performance of basalt fiber sheet as a structural strengthening material. Experimental variables include bond width, length and number of layer. From the bonding tests, there were three different types of bonding failure modes: debonding, rupture and rip-off. Among the variables, bond width indicated more significant effect on bonding characteristics. In addition the bond length did not contribute to bond strength in proportion to the bond length. Hence this study evaluated effective bond length and effective bond strength. The effective bond strength was compared to those suggested by other researches which used different types of FRP strengthening materials such as carbon FRP.

Keywords : Basalt fiber sheet, bond strength, Effective bond length, Strengthening

요 지 최근 철도차량의 속도가 증가함에 따라 철도시설물에도 철근콘크리트 구조물이 많이 적용되고 있는 실정이다. 하지만 이러한 콘크리트 구조물은 공용년수의 증가에 따라 필연적으로 구조적인 보강이 요구된다. 강판보강법 및 섬유복합체(FRP)를 활용한 보강법 등이 가장 일반적으로 적용되는 실정이지만 각 공법마다 나름대로의 단점 역시 존재한다. 최근 화재나 기타 환경적인 공격에 대하여 강한 내구성을 가진 재료의 개발이 요구되고 있으며 이에 따른 현무암으로부터 추출한 Basalt 섬유를 활용한 섬유보강재가 많은 관심을 받고 있다. 이에 본 연구에서는 Basalt 섬유시트를 보강재로 사용할 경우 중요한 특성인 콘크리트와의 부착특성에 관하여 연구를 수행하였다. 실험변수는 보강폭, 길이, 보강겹수를 포함한다. 실험결과, 파괴형태는 계면파괴, 섬유파단, 그리고 rip-off의 형태가 관측되었으며 보강길이보다는 보강폭이 보강강도에 더 많은 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 또한 보강길이보다 전부 유효하게 작용하지는 않았으며 이에 유효보강길이를 산정하고 이에 따른 부착강도를 산정하였다. 이를 다른 종류의 FRP재료를 활용한 경우에 유효보강길이와 비교하여 Basalt 섬유시트의 부착특성을 분석하였다.

주 요 어 : Basalt 섬유시트, 부착강도, 유효부착길이, 구조물 보강

1. 서 론

콘크리트 구조물은 철도시설 뿐만 아니라 토목시설물 전반에 걸쳐 가장 많이 사용되는 구조형식이다. 최근 콘크리

트 재료 및 시공기술의 비약적인 발전과 함께 철도시설물에서 요구하는 고강도 고성능도 충족시키는 유용한 재료로서 다방면에 걸쳐 활용되고 있는 실정이다. 하지만 일반적인 사회기반 시설물보다 더 높은 장기공용성을 추구하는 철도시설물에 있어 콘크리트 구조물은 공용년수에 따라 필연적으로 그 사용수명이 저하되게 된다.

이에 대하여는 다양한 원인이 있지만 특히, 사용 환경 및 하중 조건 변화 등 환경적 요인으로 인한 노후화, 설계 및

[†] 책임저자 : 정희원, 강원대학교 건설공학부 토목공학전공 조교수

E-mail : tigerpark@kangwon.ac.kr

TEL : (033)570-6515 FAX : (033)570-6505

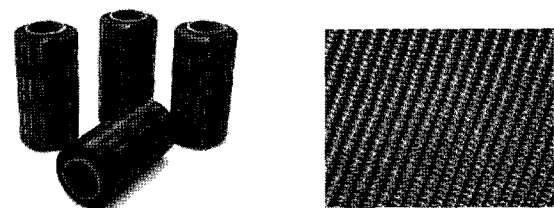
* 한양대학교 건설환경시스템공학전공 교수

시공단계에서의 제작오차, 품질관리의 미비 등으로 인한 성능 저하 등이 포함된다. 이러한 성능 저하된 구조물에 대하여 적절한 시기에 적절한 기법을 활용하여 보수보강을 실시함으로써 원래의 성능을 유지하거나 향상시키는 것이 구조물의 생애주기 동안 좀 더 경제적인 방법이 될 것이다. 지난 20여 년 간, 콘크리트 구조물을 보강하기 위하여 사용되어왔던 강판접합공법은 검증된 보강효과와 시공성 때문에 실 구조물에 폭 넓게 적용되어 왔지만[1-3] 재료의 취급과 과도한 자중으로 인한 시공 상의 문제, 온도변화, 부식과 같은 내구성의 문제점 등이 노출되었고, 최근에는 탄소섬유, 유리섬유, 아라미드섬유 등의 섬유강화 복합소재(Fiber Reinforced Polymer, FRP)를 이용한 보강공법의 사용이 낮은 운송비용, 취급의 용이, 빠르고 간편한 시공성, 우수한 내구성 때문에 지속적으로 증가되어 왔다[4-7]. 그러나 탄소섬유는 제품의 가격이 매우 고가이기 때문에 적용이 용이하지 않으며, 전도체로써 고압전류가 흐르는 곳에는 사용이 적합지 않은 등의 문제가 있는 것으로 나타났다. 유리섬유는 가격이 탄소섬유에 비해 상대적으로 저렴한 특성이 있고, 저탄성재료로서의 이점이 있으나 섬유의 제작, 재단 및 시공시 유리분진에 의하여 시공성이 문제가 있는 것으로 나타났으며, 내화성이 떨어질 뿐만 아니라 폐기시 환경에 영향을 미치는 것으로 보고되었다. 또한, 아라미드섬유의 경우는 기계적, 역학적 성능이 유리섬유 및 탄소섬유에 비하여 떨어지므로 최근에는 그 사용이 감소하고 있는 실정이다.

Basalt 섬유는 현무암의 잘게 부서지고 매우 작은 미립자로 파괴되는 특성을 이용하여 러시아 등에서 현무암을 소재로 개발한 복합 신소재로서, 뛰어난 성형성을 가지고 있고 주변에서 쉽게 구할 수 있을 뿐만 아니라 생산공정이 간편하여 생산비용이 비교적 저렴하여 경제적인 특성을 가지고 있다. 또한 섬유보강재의 사용온도가 $-265\sim 700^{\circ}\text{C}$ 로 기존의 섬유보강재에 비해 열에 대한 특성이 우수하고, 유리섬유와 비교하여 탄성계수와 화학적인 특성이 우수함에 따라 콘크리트의 중성화 및 염해에 대한 저항성이 우수하며, 기계적 성능인 내충격성도 우수한 것으로 연구되었다[8].

손상된 구조물을 보강할 경우, 손상부위에 적절하고 효과적인 보강재료 및 보강방법 등을 결정하여야 하는데, 이때 고려해야할 사항은 보강재료의 기계적인 성능, 경제성, 시공성 뿐만 아니라 내구적 특성도 우수한 보강재를 선택하여야 한다. 특히 보강할 구조물이 해안 등 각종 화학적 반응에 쉽게 노출될 수 있는 환경에 있거나 열 또는 화재의 위협에 노출되어 있을 경우라면, 기존의 FRP를 이용하여 보강하는 것 보다는 내열성과 화학적인 특성이 우수한 Basalt 섬유를 이용하여 보강하는 것이 더욱 효과적일 것이

므로 현장 적용성에 대하여 검토할 필요가 있다 [8, 9]. 선진국에서는 이미 Basalt 섬유보강재를 기존의 섬유보강재의 단점을 보완할 수 있는 신소재로 평가받고 있으나, 국내에서는 Basalt를 활용한 신소재에 대한 인식이 미미할 뿐만 아니라 고성능 철도 및 토목용으로 제조된 Basalt 섬유에 대한 연구가 체계적으로 진행되고 있지는 않다. 따라서 Basalt 신소재를 이용한 콘크리트 구조물의 보강성능 검증에 관한 연구가 필요한 실정이다. 일반적으로 FRP로 보강된 콘크리트 부재의 보강 효과는 보강판의 강성, 두께, 보강길이 등의 변수에 따라 구조적 거동을 달리하지만, 특히 FRP와 콘크리트의 부착성능에 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있다[10-12]. 하지만, 대부분의 FRP 보강에 관한 연구가 기존의 구조보강재로 사용되어 왔던 탄소섬유 및 유리섬유 제품에 관한 연구에 국한되어 있으므로 본 연구에서는 신소재인 Basalt 섬유의 보강재로서의 성능을 규명하기 위한 기초연구의 일환으로서, 콘크리트와 섬유간의 부착거동에 관하여 연구하고자 한다. Basalt 섬유시트(Basalt fiber sheet)를 보강 길이와 면적, 보강재 층수를 변수로 부착하여 부착인장실험을 하였고, 부착파괴거동과 이에 영향을 미치는 주요 인자들에 대하여 연구를 수행하였다. Fig. 1은 실험에 사용된 Basalt 섬유시트를 보여주고 있다.



(a) Basalt fiber sheet (b) Enlarged view of basalt fiber sheet

Fig. 1. Basalt fiber sheet for strengthening of concrete structure

2. 실험

2.1 시험체 및 실험변수

본 연구에 사용된 재료는 러시아에서 생산된 Basalt 섬유시트로서 단위 섬유가 아닌 sheet 형태로 직조된 것을 사용하였다. Basalt 암석은 약 $1,250\sim 1,350^{\circ}\text{C}$ 에서 백금-로듐(platinum-rhodium) 도가니에서 녹여졌고 직조에 사용된 섬유의 직경은 약 $20\mu\text{m}$ 이하이다. Basalt 섬유의 역학적 특성은 백금노즐의 설계 및 방사조건 조절 기술에 크게 좌우되는데, 본 실험에 사용된 Basalt 섬유의 화학조성을 Table 1에 나타내었으며 Table 2는 섬유의 역학적 성질을 탄소섬유 및 유리섬유의 강도와 함께 비교하고 있다. 본 실험에 사용된 Basalt 섬유는 일반적인 탄소섬유나 유리섬유에 비

하여 그 역학적 특성이 상대적으로 일반적인 값에 미치지 못하는 것으로 나타났다. 이는 러시아의 Basalt 섬유의 낙후한 방사방법에 기인한 것으로 판단된다. 하지만, 역학적 성질은 상대적으로 열등하지만, 내열성이나 내구성은 뛰어난 것으로 보고된 바 있다[8,9].

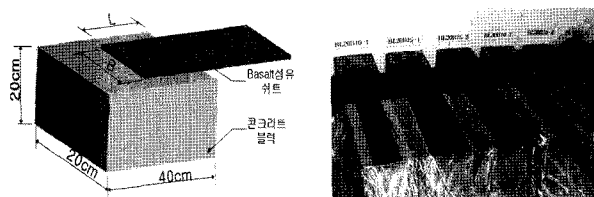
Table 1. Chemical compositions of basalt fiber

Chemical composition	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
Content (%)	49	14	12	9.5	5

Table 2. Physical property of basalt fiber sheet and strength comparisons [9]

Dia. (mm)	Density (g/cm ³)	E (GPa)	Ultimate strain (%)	Tensile strength (MPa)			
				Basalt fiber	Basalt fiber sheet	Carbon fiber	Glass fiber
10.6	2.6	7.6	2.6	992.4	1040.1	3528.1	1798.3

본 연구에서는 Basalt 섬유시트의 콘크리트와의 부착거동을 규명하기 위하여, 설계강도 28MPa의 콘크리트의 표면에 Basalt 섬유시트를 부착하여 부착파괴실험을 수행하였다. 실험변수로는 Basalt 섬유시트 보강재의 보강길이(L), 보강폭(B) 그리고 보강재 층(P)을 고려하였으며 극한하중에 이를 때까지의 부착거동과 파괴 형태에 대한 고찰을 수행하였다.



(a) Schematic of test specimen (b) Fabricated specimens

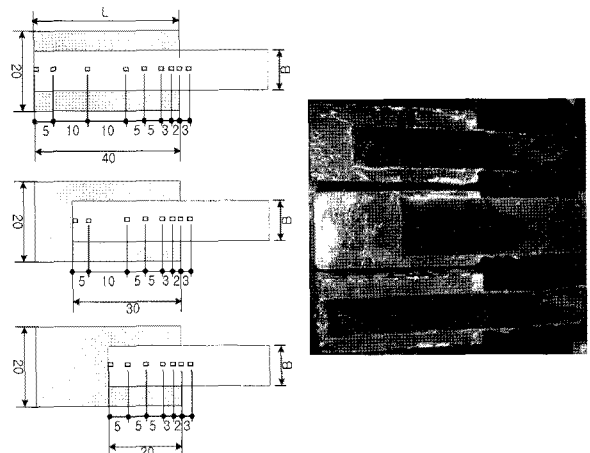
Fig. 2. Schematic and fabricated test specimen

Basalt 섬유시트의 부착을 위한 콘크리트 시편은 20×20×40cm의 크기를 가지며 Fig. 2에 시편의 형상과 제작된 시험체를 나타내었다.

시험체의 제작은 콘크리트가 경화된 후, 부착대상표면에 이물질을 최대한 제거하고, 프라이머를 혼합 후 도포하였다. Basalt 섬유시트는 예상크기로 절단 후 에폭시에 함침하였으며, 이를 에폭시 퍼티처리를 한 부착면에 부착하였다. 부착과정에서 발생할 수 있는 기포들은 최대한 제거하였으며 완성된 시험체는 2주 동안 실험실 조건에서 양생하였다. 제작된 시험체에는 작용인장력의 증가에 따른 Basalt

섬유시트의 변형률 분포를 측정하기 위하여 콘크리트 단부 지점으로 부터 2cm, 5cm, 10cm, 15cm, 25cm, 35cm, 40cm 등의 간격으로 변형률 게이지를 부착하였으며 Fig. 3에 나타난 바와 같다.

Table 3은 실험에서 고려된 실험변수에 따른 시험체 명칭과 상세를 나타내고 있으며 시험변수로서 부착길이(L)와 부착폭(B)을 변화하였다. 부착길이(L)는 30cm를 기준으로 ±10cm씩 하였으며, 부착폭(B)은 10cm를 기준으로하여 변화를 주었다. 각 변수에 대하여 보강재의 층(P)수는 1겹과 2겹으로 하였다.



(a) Location of strain gages (b) Specimens with strain gages installed (unit: cm)

Fig. 3. Location of strain gages and installed strain gages

2.2 부착실험

Basalt 섬유보강재의 부착강도를 측정하기 위하여 2,000 kN 용량의 UTM시험기를 사용하였고, □자 모양의 철물을 제작하여 콘크리트 블록을 고정시킴과 동시에 인장력 작용 시 시트와의 편심 발생으로 인한 오차를 최소화하기 위하여 Fig. 4와 같이 시트의 부착면과 작용점이 일직선이 되도록 하였다. 하중가력은 5mm/min 속도로 일정하게 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 파괴형태

Fig. 5는 실험 후의 시험체의 파괴형태의 대표적인 경우를 나타내고 있으며, 각 시험체별 파괴형태는 Table 4에 정리하였다. 부착시험체의 파괴형태는 크게 세 가지로 나눌 수 있는데, 첫 번째는 하중이 증가하면서 보강재의 중앙부위에서 파단이 발생하는 보강재 파단(rupture)과 두 번째는 하중이 증가함에 따라 부착면의 전단력이 부착강도를 초과

하면서 계면이 파괴되는 계면박리파괴(debonding)이며, 세 번째는 부착면내에 보강재의 파단과 동시에 부착단부 바깥쪽의 콘크리트를 물고 떨어지는 rip-off의 파괴형태이다. 또한 Table 4에 나타난 결과에는 동일한 변수에 대하여 파괴 하중 등의 값에서 다소의 편차가 발생하였다. 이는 시험체의 제작 상의 오류와 시험시 하중가력부의 정착 등에 있어서 발생하는 시험오차로 판단된다. 하지만 각 실험변수 별로 그 특성을 분석하기에는 크게 무리가 없는 것으로 판단된다.

Table 3. Description of specimens and experimental variables

Specimen	Bond length, L (cm)	Bond width, B (cm)	No. of layer	Bond area (cm ²)
10B20L1P	20	10	1	200
10B20L2P			2	
15B20L1P	20	15	1	300
15B20L2P			2	
10B30L1P	30	10	1	300
10B30L2P			2	
05B40L1P	40	5	1	200
05B40L2P			2	
10B40L1P	40	10	1	400
10B40L2P			2	
20B40L1P	40	20	1	800
20B40L2P			2	

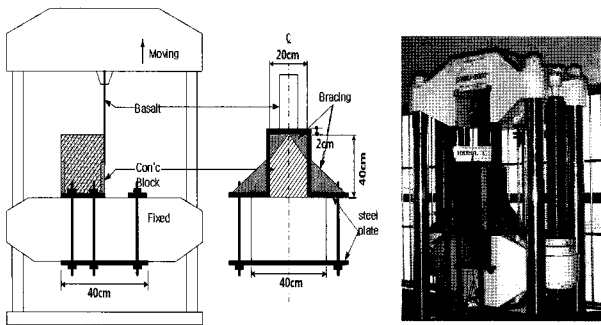


Fig. 4. Detailed description of experiment

Basalt 섬유시트 보강재를 1겹으로 보강한 시험체는 rip-off의 파괴와 보강재의 파단이 주로 발생하였는데, 2겹으로 보강한 경우 대부분 계면박리파괴가 일어났다. 또한 보강길이가 관계없이 부착폭이 10cm 보다 큰 경우, 대부분 rip-off 파괴가 나타났으며, 보강재의 길이가 길고 부착폭이 상대적으로 짧은 경우는 보강재가 파단되는 파괴형태를 나타내었다. 이러한 파괴형태에 대한 고찰 결과, 보강재의 길

이 보다는 부착폭이 부착파괴 거동에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있다. Basalt 섬유시트를 두 겹으로 보강한 시험체들은 rip-off 파괴와 계면박리파괴 형태가 주로 발생하였는데, 보강길이가 관계없이 부착폭이 15cm 이상인 경우 대부분 rip-off의 파괴가 나타났으며, 부착폭이 10cm 이하인 경우는 계면박리파괴가 발생하였다. 보강재의 층수가 2겹이고 부착면적이 300cm²로 동일한 경우, 부착폭과 부착길이에 대한 부착단면의 형상비가 다른 경우 상이한 파괴형태를 나타내었다. 10B30L2P 시험체군의 경우 두 시험체 모두 박리파괴되었으나, 부착폭이 15cm로 증가한 경우 rip-off 파괴형태가 나타났다. 이는 동일한 조건인 경우 부착폭이 부착파괴거동에 미치는 영향을 나타내고 있다.

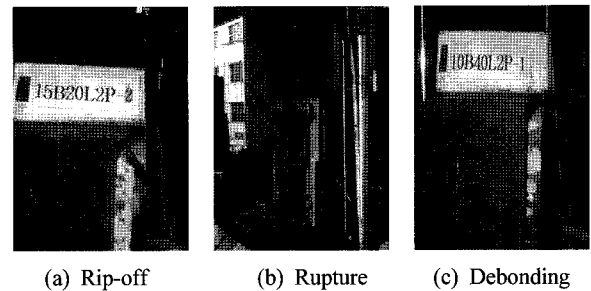
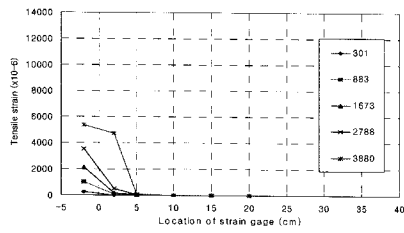


Fig. 5. Failure mode of basalt fiber sheet

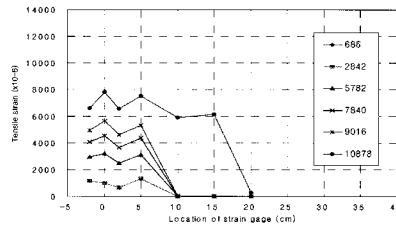
3.2 부착길이에 따른 변형을 분포

부착면적과 보강층수에 따른 변형률 분포를 Fig. 6에 파괴형태와 함께 나타내었다. 그림의 숫자는 각 변형률이 측정된 때의 하중값이다. 일반적으로 계면박리파괴된 시험체는 작용하중을 초기 및 후기하중으로 구분할 때, 초기 하중에 부착단부 끝 쪽의 변형이 크게 발생하다가 보강재가 일부 박리된 후 후기 하중에서 부착단부 안쪽의 변형이 크게 증가되는 것을 알 수 있다. 따라서 계면박리파괴된 시험체의 경우, 후기 하중에서의 변형률 거동은 부착상태의 거동이 아니며, 보강재만의 변형으로 볼 수 있다. 모든 시험체에서 Basalt 섬유시트의 극한변형률인 2.6%에 미치지 전에 시험체의 파괴가 발생하였으며, 특히 보강재파단의 파괴형태를 나타낸 시험체의 경우 섬유시트에 에폭시 도포 등으로 인하여 섬유시트의 강성이 증가함에 따라 극한인장변형률이 다소 감소한 것으로 판단된다.

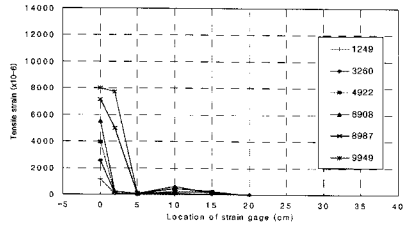
파괴형태가 보강재 파단이거나 rip-off 파괴가 발생된 경우의 모든 시험체의 하중에 따른 변형률 거동을 살펴보면, 하중의 증가에 따라 Basalt 섬유시트의 변형이 부착단부의 끝 쪽에 집중되어 있는 것을 볼 수 있으며, 극한 하중에도 도달한 경우에도 시험체 방향으로 갈수록 변형이 증가하지 않는 부분이 존재하는 것을 볼 수 있는 데, 이는 부착응력



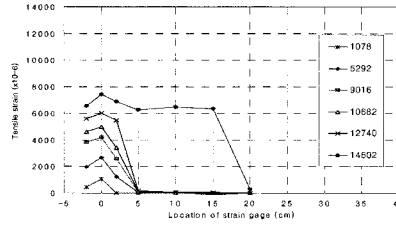
(a) 10B20L1P-1 (rip-off)



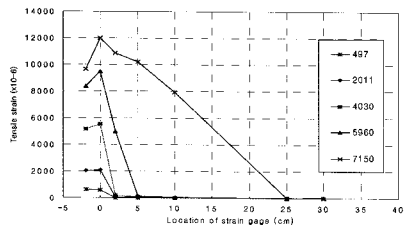
(b) 10B20L2P-1 (debonding)



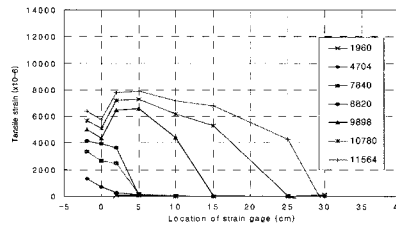
(c) 15B20L1P-1 (rip-off)



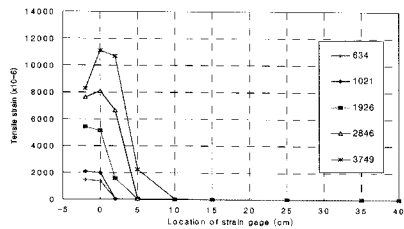
(d) 15B20L2P-1 (rip-off)



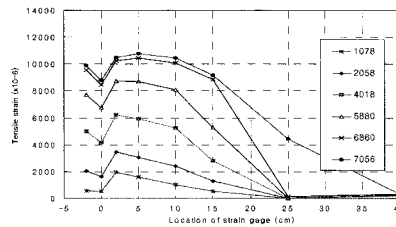
(e) 10B30L1P-1 (rip-off)



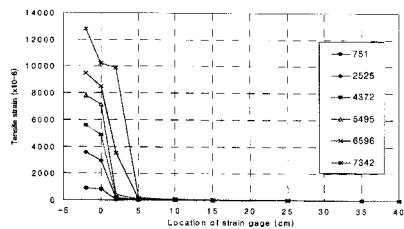
(f) 10B30L2P-1 (debonding)



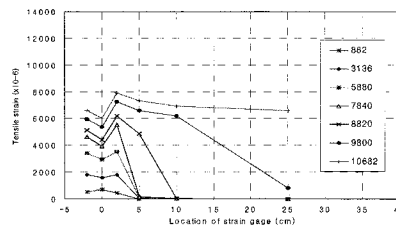
(g) 05B40L1P-2 (rupture)



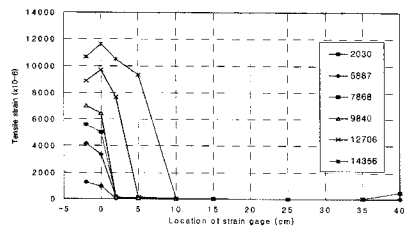
(h) 05B40L2P-1 (debonding)



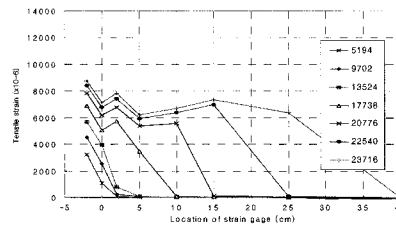
(i) 10B40L1P-2 (rupture)



(j) 10B40L2P-1 (debonding)



(k) 20B40L1P-2 (rip-off)



(l) 20B40L2P-1 (rip-off)

Fig. 6. Measured strain at each location with load increment

Table 4. Test results of experiment

Specimen	Bond length, L (cm)	Bond width, B (cm)	Bond area (cm ²)	Failure load (kN)	Bond strength (MPa)	Failure mode	Effective bond length, Leff (cm)	Eff. Bond strength w/Leff (MPa)	
10B20L1P-1	20	10	200	4.6	0.24	rip-off	5	0.95	
10B20L2P-1				12.9	0.67	debonding		2.69	
10B20L2P-2				9.8	0.51	debonding		2.04	
15B20L1P-1		15	300	10.2	0.36	rip-off	5	1.42	
15B20L2P-1				14.6	0.51	rip-off		2.03	
15B20L2P-2				16.6	0.58	rip-off		2.30	
10B30L1P-1	30	10	300	7.4	0.26	rip-off	5	1.54	
10B30L2P-1				11.6	0.40	debonding		2.41	
10B30L2P-2				11.6	0.40	debonding		2.41	
05B40L1P-1	40	5	200	3.0	0.16	rupture	10	0.63	
05B40L1P-2				4.4	0.23	rupture		0.92	
05B40L2P-1				7.1	0.37	debonding		1.47	
10B40L1P-1		10	400	400	4.3	0.11	rupture	10	0.44
10B40L1P-2					7.8	0.20	rupture		0.81
10B40L2P-1					10.7	0.28	debonding		1.11
20B40L1P-1		20	800	800	12.0	0.16	rip-off	10	0.62
20B40L1P-2					14.5	0.19	rip-off		0.75
20B40L2P-1					23.7		rip-off		1.23

이 전 부착길이에 걸쳐 전달되는 것이 아니라 전체 부착면 중 일부분에만 발생하는 것에 기인한 것으로 사료된다.

3.3 부착파괴하중 및 부착강도 산정

Table 4에는 각 시험체별 부착파괴하중과 부착강도를 나타내었으며 Fig. 7에 그 결과를 보강재의 층수에 따라 분류하여 비교하였다. 여기서 부착강도는 측정된 파괴하중을 부착면적으로 나눈 값을 의미한다. 전체적으로 부착파괴하중은 부착폭과 부착길이가 증가할수록, 보강층을 2점으로 할수록 커지는 경향을 보였고, 2점으로 보강한 시험체의 부착강도는 1점의 경우보다 약 1.4배~2.8배 정도 증가한 값을 나타내었다. 또한 부착면적이 300cm²로 동일한 경우, 10B30L2P와 15B20L2P 시험체 군의 부착강도의 증가량이 유사하였고, 부착폭에 상관없이 부착길이가 40cm로 일정한 시험체 군의 부착강도 증가량이 유사한 것으로 나타났다. 그러나 두 겹으로 보강된 시험체 중에서 Fig. 7에 나타난 바와 같이 부착폭이 10cm로 일정하고 부착길이가 다른 시험체의 경우, 부착길이가 짧을수록 부착강도가 오히려 증가되는 것으로 나타났다. 이는 앞 절에서 분석한 바와 마찬가지로 부착길이는 부착강도에 미치는 영향이 상대적으로 적은 것으로 해석된다. 부착면적이 200cm²인 10B20L2P와 05B40L2P 시험체 군과 300cm²인 10B30L2P와 15B20L2P 시험체 군을 각각 비교하였을 경우에도 마찬가지로 부착길이가 짧고 부착폭이 넓은

시험체 군의 부착강도가 더 큰 것으로 나타났다. 이것은 부착길이가 짧을 경우 부착응력의 전달이 전면적에서 이루어지지만, 부착길이가 길어질 경우 부착단부로부터 일정한 구간 이상에서는 하중에 대해 저항하지 않는 구간, 즉 유효길이가 존재하기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 부착성능을 향상시키기 위해서는 보강재의 길이를 증가하기 보다는 가능한 부착폭을 크게 하는 것이 유리한 것으로 사료된다.

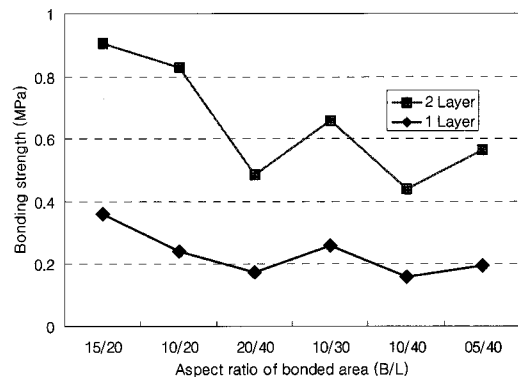


Fig. 7. Comparison of bond strength with respect to aspect ratio of bonded area

3.4 유효부착길이에 관한 고찰

현재까지 국내·외에서 수행한 탄소섬유시트와 강판의 부착파괴를 방지하기 위하여 요구되는 최소 부착길이를 파

Table 5. Related literatures on effective bond length of FRP strengthening materials for concrete structures

Reference	Type of strengthening material	Compressive strength of concrete used (MPa)	Bonded width (cm)	Bonded length (cm)	Effective bond length, L_{eff} (cm)	Eff. bond strength w/L_{eff} (MPa)	Remark
Chajes et al. [13]	graphite/epoxy	26.0 (15×15×23)	2.54	5.1~20.3	-	1.83~5.27	Bonded length was used
Park et al. [3]	carbon fiber	26.0 (8×10×25)	2~4	4~24	12~16	1.40~6.27	
Choi et al. [14]	carbon fiber	20.6 (10×10×40)	4	4~30	15	0.98~1.19	
Lee [15]	carbon fiber	20~30 (10×15×35)	5~10	2.5~12.5	-	1.04~4.49	Bonded length was used
	glass fiber	24.5 (10×15×35)	5, 7.5	2.5~9.4	-	0.78~2.61	
	aramid	24.5 (10×15×35)	5, 7.5	2.5~9.4	-	0.78~2.71	
Park et al. [16]	carbon fiber	26.5 (10×10×40)	2~6	10~35	10~35	1.30~2.10	
This study	basalt fiber	27.4 (20×20×40)	5~20	20~40	5	0.95~2.69	
					10	0.44~1.47	

약하기 위한 기존의 연구결과를 살펴보면, Fig. 8에서 보는 바와 같이 부착길이가 증가함에 따라 최대하중도 증가하지만 어느 정도 이상의 부착길이에서는 최대하중이 증가하지 않는 것으로 보고하고 있다. 따라서 이러한 현상에 기초하여 기존 연구자들은 최대하중이 증가하지 않는 일정범위의 정착길이를 유효부착길이라고 정의하고 있으며, 이러한 유효부착길이에 의한 부착강도를 설계부착강도로 파악하고 있다[4,12-14].

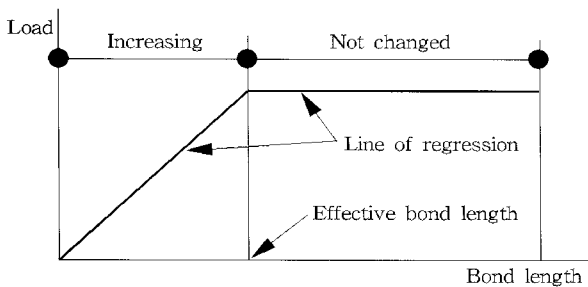


Fig. 8. Concept of effective bond length

따라서 기존의 연구와 마찬가지로 Basalt 섬유쉬트 부착강도 실험 결과인 Fig. 6에 나타난 것과 같이 시험체에 대하여 위치별 변형률의 차가 거의 발생하지 않는 구간까지를 유효부착길이(cm)로 산정하였고, 이를 적용하여 산출한 유효부착면적(부착폭×유효부착길이)에 대한 유효부착강도를 계산하여 Table 5에 나타내었다. 또한 현재 사용되고 있는 섬유보강재와 콘크리트와의 부착 성능에 관한 여러 가지 연구에 대하여 고찰하였고, 본 연구와 유사한 방법으로 부착실험을 수행한 기존 연구들의 결과를 간략하게 정리하였다. 그 중에서 섬유 보강재의 유효부착길이에 대한 부착강도를 연구한 실험은 대부분 탄소섬유였는데 이는 최근까

지 손상된 구조물의 보강재료로서 가장 많이 사용되어왔기 때문인 것으로 사료된다.

Table 5에서 보는 바와 같이 탄소섬유보강재의 경우, 전체 부착길이에 대한 유효부착길이가 최소 50% 이상인 것으로 나타났고 이와는 대조적으로 Basalt 섬유쉬트의 경우에는 약 25% 수준인 것으로 나타났다. 이로부터 Basalt 섬유쉬트는 콘크리트 표면에 부착되었을 경우 부착에 대한 전단저항을 하는 유효부착면이 탄소섬유 등과 비교하여 상대적으로 작은 것으로 나타났다. 이는 Basalt 섬유 또는 섬유쉬트를 에폭시를 사용하여 콘크리트 표면에 부착한 경우의 인장거동 특성에 원인이 있을 것으로 판단된다. 또한 비록 한정된 개수의 실험결과 및 동일하지 못한 조건에서의 실험결과를 통하여 얻어진 값이지만 유효부착길이에 따른 Basalt 섬유쉬트의 콘크리트에 대한 유효부착강도는 탄소섬유의 경우와 비교하여 비슷한 범위를 나타내는 것으로 판단된다. 이러한 결과로부터 Basalt 섬유쉬트를 콘크리트 구조물의 보강재로 사용하고자 할 경우 단순히 부착길이를 증가하는 것이 부착강도의 증가를 기대할 수는 없음을 알 수 있다.

4. 결론

이 연구에서는 장기공용성을 요구하는 철도시설물에 있어 많은 비중을 차지하고 있는 콘크리트구조물의 보수보강을 위하여 상기의 목적을 달성하기에 적합한 재료로서 Basalt 섬유를 활용한 구조보강재의 콘크리트와의 부착거동에 대하여 고려하였으며, 국내에서 아직 도입하여 적용한 예가 많지 않기 때문에 이 연구의 결과는 향후 중요한 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 부착길이와 폭, 그리고 보강재 층수를 변수로 부착실험을 수행하였으며 이

로부터 얻어진 결론을 다음과 같이 정리하였다.

(1) 부착시험 결과 주로 부착폭이 큰 경우 계면파괴보다는 rip-off 파괴형태가 나타나 파괴형태에 미치는 영향은 부착길이가 보다는 부착폭이 더 큰 것으로 나타났다. 보강접수가 2겹이고 부착면적이 300cm²로 동일한 경우, 부착폭과 부착길이에 대한 부착단면의 형상비가 다른 경우 폭이 넓고 부착길이가 짧은 경우에 rip-off 파괴형태가 나타났다.

(2) 부착강도의 경우에서도 부착길이가 보다는 부착폭이 강도에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났는데, 부착폭이 10cm로 일정한 경우 부착길이가 증가할수록 부착강도는 오히려 감소하는 경향을 나타내었다.

(3) 보강재 층수가 1겹 보다는 2겹인 경우에 부착강도가 다소 증가하여 보강층수가 2겹 이상인 경우가 부착 성능을 위하여 유리한 것으로 나타났다. 하지만, 이러한 경우 주된 파괴형태가 계면박리의 형태를 나타내어 이에 대한 보완이 필요한 것으로 사료된다.

(4) 보강재에 부착한 변형률계이지로부터 얻어진 파괴시의 극한변형률은 Basalt 섬유시트 자체의 극한변형률보다 작았는데 이는 부착을 위해 사용한 에폭시 등의 이유로 인하여 강성의 증가가 그 이유인 것으로 판단된다. 또한 부착길이에 걸쳐 비례하게 증가하지 않는 것으로 나타났다.

(5) 측정된 변형률을 활용하여 유효부착길이를 산정하였으며 이를 활용하여 유효부착강도를 계산하였다. 유효부착강도는 탄소섬유 등과 대등한 수준을 나타냈으나 전체부착면적에 대하여 유효부착면적의 비율은 탄소섬유 등에 비하여 작은 것으로 나타났다.

참고 문헌

1. 심종성, 홍영균, 최완철, 황의승, 이차돈, 배인환, 박성재(1995), "강판 및 탄소섬유sheet로 보강된 R/C보의 피로거동에 관한 연구," 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 제7권, 1호, pp. 319-324.
2. 심종성, 배인환, 박성재(1996), "손상된 R/C보의 보강 후 피로거동에 관한 실험적 연구," 대한토목학회 논문집, 제16권, 제 I-2호, 대한토목학회, pp.135-142.
3. 백승덕(2000), "강판과 탄소섬유를 이용한 부착식 보강공법의

조기탈락방지공법 연구," 아주대학교 대학원 학위논문.

4. 박칠림 황진석, 박형철, 백명중(1997), "탄소섬유시트로 보강된 철근콘크리트보의 부착파괴거동에 관한 실험적 연구," 한국콘크리트학회 논문집 Vol. 9, No. 6, pp.157-164.
5. 임동국(1997), "탄소섬유시트로 보강한 철근콘크리트 보의 전단거동에 관한 실험연구," 한양대학교 대학원 학위논문.
6. De Lorenzis, L., Miller, B. and Nanni, A.(2001), "Bond of Fiber-Reinforced Polymer Laminates to Concrete," ACI Materials Journal, American Concrete Institute, Vol. 98, No. 3, pp.256-262.
7. Nakaba, K., Kanakubo, T., Furuta, T. and Yoshizawa, H. (2001), "Bond Behavior between Fiber-Reinforced Polymer Laminates and Concrete," ACI Structural Journal, American Concrete Institute, Vol 98. No.3, pp.359-367.
8. Sim, J., Park., C. and Moon, D. Y.(2005), "Characteristics of Basalt Fiber as a Strengthening Material for Concrete Structures," Composite Part B: Engineering, Elsevier, Vol. 36, pp. 504-512.
9. BASALT 섬유를 활용한 콘크리트 구조물의 보강기술 개발 (2002), 한국건설기술연구원.
10. 프리믹스형 보수재료를 적용한 R/C 구조물의 보수 및 섬유보강공법 개발(1999), 건설교통부.
11. 최기선, 류화성, 최근도, 이한승, 유영찬, 김공환(2001), "탄소섬유시트로 보강된 RC보의 휨 부착성능에 관한 실험적 연구," 한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, pp.997-1002.
12. 유영준 조정래, 정우태, 박종섭, 박영환 (2003). "콘크리트 표면처리와 CFRP 단부정착 방법에 따른 부착특성실험," 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, pp.579-584.
13. Chajes, M. J., Finch, Jr., W. W., Januszka, T. F. and Thomson Jr., T. A.(1996), "Bond and Force Transfer of Composite Material Plates Bonded to Concrete," ACI Structural Journal, American Concrete Institute, Vol 93, No. 2, pp.208-217.
14. 최근도, 류화성, 최기선, 이한승, 유영찬, 김공환(2000), "탄소섬유시트와 콘크리트의 부착," 한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, pp.1019-1024.
15. 이정훈(2000), "섬유시트와 콘크리트간의 부착거동에 관한 실험적 연구," 부산대학교 대학원 학위논문.
16. 박영환(2003), "콘크리트 표면처리와 CFRP 단부정착방법에 따른 부착특성 실험," 한국콘크리트 학회 봄 학술발표회, 2003, pp.579-584.

접수일(2008년 12월 15일), 수정일(2009년 4월 3일),
 게재확정일(2009년 9월 8일)