

투수성 GFRP 보강 복합체 개발 및 투수성에 대한 연구

A Study on the Development and Performance Evaluation of Permeable GFRP Strengthening Panel for RC Structure

조 병 원¹⁾ 강 석 원^{2)*} 박 철³⁾ 김 장 욱⁴⁾
Jo, Byung Wan Kang, Seok Won Park, Cheol Kim, Jang Wook

Abstract

Recently the exterior attaching reinforcement method is being often used by using FRP (Fiber Reinforced Polymer) as a method of strengthening concrete structure. this FRP exterior attaching reinforcement method has several advantages like high intensity, stiffness, good durability and easy installment comparing to its weight. but its structure is airtight covered by reinforcement material whose water permeability is low and water can't be discharged, thus it may provoke a damage to the structure after a long while. the main purposes of this study are to develop GFRP reinforcement material which can discharge the surface water properly and to measure its special functions. for this, we have changed the normal reinforcement material to water permeable structure and measured its water permeance modulus by an indoor test which shows the process of water permeance with the parameter of contained GFRP quantity. also tried to verify the measured value of the water permeance modulus in theory by analyzing the numbers on water permeance process. the test result showed that the biggest quantity of water, 0.5129 g/h m² was discharged when the fiber contained quantity reached at 75% and the tensile strength was also biggest by 476.6MPa at 75%, so it appeared that COSREM GP panel with 75% fiber contained quantity is the best in ventilation and structure.

Keywords : Permeable, FRP, GFRP, CFD

1. 서 론

콘크리트 구조물은 장시간이 지나면, 염해 중성화 노화 등으로 인해 표면에 손상이 발생한다. 또는 콘크리트 구조물에 대한 사용 환경의 변화 등에 의해 콘크리트 구조물의 내하력 증진이 요구되기도 한다. 이 경우 콘크리트 구조물에 대한 보수 또는 보강 공사가 필요하다. 기존의 콘크리트 구조물의 보수 또는 보강을 위한 공법은 보강재와 시공방식에 따라 다양하게 분류되며, 외부부착보강공법은 시공의 용이성으로 많은 현장에서 적용되어 왔다.

외부부착공법은 보강재에 따라 강판 보강과 FRP (Fiber Reinforced Polymer: 이하 FRP로 통칭)보강이 있으며, 시트/판, 패널, 띠의 형태로 부착된다. 외부부착공법은 열화인자의

유입을 차폐하는 방수구조로 되어있으며, 이러한 방수구조는 콘크리트 내부의 수분 또한 외부로 배출되지 않아 보강재와 구조물의 계면에서 수분이 정체하게 되어, 강판 보강의 경우 시공 후 10년 이상 경과된 구조물에서 계면의 수분에 의해 보강판 내부로부터 부식이 발생한 피해사례가 보고되고 있으며, FRP의 경우 역시 장기적으로 중성화, 염해, 동해, 알칼리 골재반응과 같은 콘크리트 구조물의 열화를 촉진시키며 또한 보강성능을 저하시켜 보강재와 구조물이 일체화 거동을 하지 못하고 조기계면탈락이 일어날 것으로 예상된다.

FRP 보강과 관련한 연구는 주로 기술적인 주요 문제점인 계면에서의 부착파괴를 방지하는 공법적인 연구와 계면응력 분포, 부착파괴의 파괴모드, 지지능력평가 등에 대한 해석적인 연구, 그리고 설계기준과 시공지침에 관련한 연구가 주로

1) 정희원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수
2) 정희원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 박사과정, 교신저자
3) 정희원, ㈜다움기술단, 대표이사
4) 정희원, 신동아종합건설, 부사장

* Corresponding author : bwcho@hanyang.ac.kr
• 본 논문에 대한 토의를 2013년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 2013년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

진행되고 있다. 그러나 계면의 수분과 보강구조물에 대한 영향에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 외부부착보강의 계면의 수분에 대한 문제점을 해결하기 위하여 구조물 내부의 수분을 적절하게 배출할 수 있는 GFRP 복합체를 이용한 RC 구조물의 보강공법을 개발하고 투수통기 성능을 측정하고자 하였다. 이를 위하여 최근 많이 이용되고 있는 GSP보강공법 (Glass Fiber-Steel Composite Plate: 이하 GSP로 통칭)을 투수 가능한 구조로 변형하여 COSREM (신기술 506호) GP패널 (Glass Fiber Composite Panel: 이하 GP패널로 통칭)을 개발하였고, 유리섬유 함량별로 함량을 변수로 수증기 투과도 시험을 수행하여 투수계수를 측정하고, CFD (ATES(주) “ANSYS FLUENT)

해석을 통하여 수분의 배출 과정을 수치적으로 모사하여 얻은 해석 결과를 시험의 계측결과와 비교·분석하여, 투수성 GFRP 보강 복합체의 우수성을 검증하고자 하였다.

2. 기존 보강공법의 보완점

Fig. 1과 Fig. 2에 나타난 바와 같이 기존 구조물 보강재의 문제점은 무거운 중량과 부착성능 및 부식으로 인한 계면박리 및 부착성능 취약으로 나타났다.

본 연구는 통기성과 경량화에 주안을 둔 COSREM System에 관하여 통기성을 검증하는 것이 목적이며, COSREM GP 복합 플레이트에 관한 통기성 시험을 실시하였다.



Fig. 1 The field victimized case of the structure reinforced by the steel plate pressing process

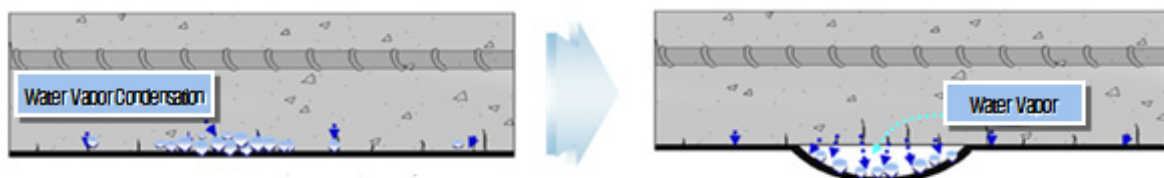


Fig. 2 The permeability lack complement and damage progressive mechanism of the reinforcement

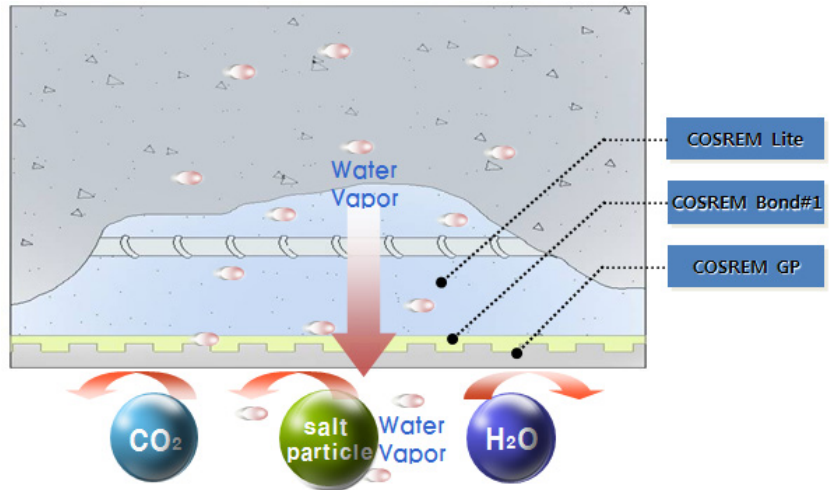


Fig. 3 Developed GFRP (GP) reinforced composite Permeability mechanism

3. 실험개요

3.1 사용 재료

3.1.1 보강재

본 실험에서 사용한 GP 패넬은 인발성형으로 제작된 복합 패넬로 유리섬유중량 200g, 폭 100mm, 두께 2.3으로 일정한 두께를 가진 제품을 사용하였다.

주요 구성물로는 유리 섬유와 웨빙테이프를 사용하였으며, 비교적 균일한 유리섬유를 Fig. 5, Fig. 6과 같이 일방향으로 배열, 매트릭스 조직내부 공극 분포를 일정히 유지시켜 공기 및 물의 이동경로를 단순화 하여 통기성을 확보하였다.

COSREM GP 복합 플레이트는 3개의 섬유층으로 되어 있으며, 상부와 하부의 유리섬유층은 보강대상 구조물의 부족한 내하력 증진을 담당하고, 웨빙테이프는 통기성 COSREM GP 패넬 보수·보강재의 집압능력을 확보, 박리방지 하여 앵커설치를 가능하게 한다. 그리고 상부 유리섬유층의 표면에 형성된 접착강화 요철은 최적의 접착환경과 통기성에 유리하게 작용한다.

유리섬유는 열경화성수지, 폴리비닐 아세테이트계 저축수

축제, 고온 경화제, 충전제, 희석제, 자외선 차단제, 소포제, 유무기계 안료를 포함하는 수지조성물을 포함한다.

웨빙테이프는 폴리에스테르, 나일론 및 아라미드 섬유로 이루어진 군에서 선택된 적어도 1종의 섬유로 이루어진 직조

Table 1 Mechanical properties of reinforcement material

Type	Fiber weight (g)	Width (mm)	Thickness (mm)	Pure tensile load (MPa/100mm)
GP	200	100	2.3 and thicker	1634.86

Table 2 Basic properties of glass fiber

Type	Unit specific gravity	Tensile strength (MPa)	Modulus of elasticity (MPa)	Fracture strain (%)
Glass fiber	1.23	903.97	3.63×10^4	2.5

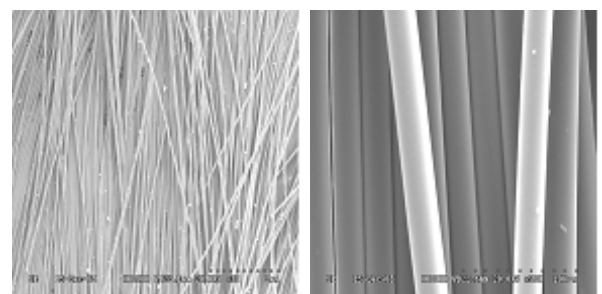


Fig. 5 SEM views of glass fiber $\times 25$, $\times 500$

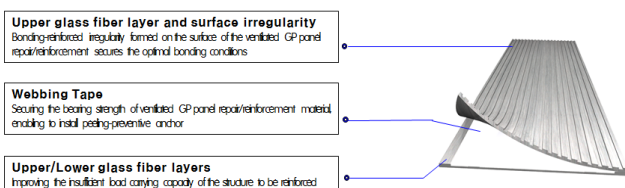


Fig. 4 Detail view of reinforcement structure

Table 3 Basic properties of webbing tape

Type	Tensile strength (MPa)	Modulus of elasticity (MPa)
Webbing tape T=0.8mm	18.5	2.0005×10^6

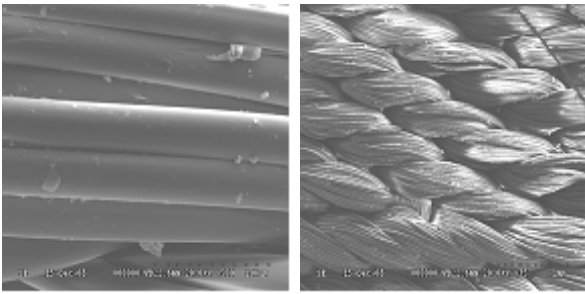


Fig. 6 SEM views of webbing tape ×25, ×500

형 유리섬유, 탄소섬유 또는 아라미드 섬유로 구성되어있다.

3.1.2 철근 및 콘크리트

Table 4 Concrete

Specified design strength(MPa)	Compressive strength (MPa)	Modulus of elasticity (MPa)
24	25.7	2.16×10^4

Table 5 steel

Type	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Modulus of elasticity (MPa)
H13	525	736	1.95×10^5
H10	452	643	2.04×10^5

3.1.3 접착제

Table 6 Inorganic adhesive

Type	Adhesiveness strength (N/mm ²)			Adhesiveness of reinforcement material		Ventilation
	Day 7	Day 14	Day 28	Day 7	Day 28	
A	1.5	2.8	3.5	1.8	2.8	0.654
B	1.5	2.8	3.3	-	-	-

A : Two-component inorganic filler and new/old adhesive

B : One-component water soluble new/old concrete adhesive

보강하는 콘크리트 표면과 보강재인 GP간의 부착력을 증진시키고 무기계 일체화 및 통기성 확보를 위하여 이성분형 무기계 충전 및 신·구 접착제를 사용하였다.

3.2 투수계수 실험

복합플레이트의 투수특성과 유리섬유 혼입율의 관계를 알아보고자 복합플레이트에 대한 유리섬유 혼입율의 중량비를 변수로 복합플레이트의 투수계수 시험을 실시하였으며, 복합플레이트의 투수계수 시험은 COSREM GP패널 복합체에 대한 유리섬유 함량의 중량비를 변수로 ASTM E 96의 WVT

test (Water Transmission Test; 수증기 투과도 시험)에 준하여 실시하였다.

ASTM E 96의 WVT test는 종이, 플라스틱 필름, 다른 판물질, 섬유보드, 석고, 나무 제품, 플라스틱과 같이 수증기의 통과가 중요한 물질에 대하여 수증기 투과 정도를 측정하는 시험방법으로 기본적인 시험방법으로 Desiccant Method와 Water Method이 있다.

두 가지 시험방법은 한 면이 젖은 상태의 사용조건과 한 면은 고습, 한 면은 저습인 사용조건을 포함하며, 다른 시험 방법을 통해 얻어진 결과를 다른 시험에서 사용되지 못하므로, 사용 상태와 유사한 시험방법을 채택하여야 한다. 각각의 시험방법에 대하여 구체적으로 설명하자면 Desiccant Method는 시험표본 (specimen)으로 건조제가 담긴 용기의 입구를 봉한 후, 시험체 (assembly)를 조작된 대기에 둔다. 주기적인 무게 측정으로 시험표본을 통해 건조제물의 수증기 이동 경사를 결정한다. 반면 Water Method는 용기에 증류수를 담고, 무게 측정으로 시험표본을 통해 수면에서 조작된 대기로 이동하는 증기 경사를 결정한다. 반대쪽에 굉장한 습도가 있는 경우를 제외하면, 증기압의 차이는 이론적으로 양 방법이 같다.

본 실험에서는 사용조건이 Water Method에 더욱 적합하다고 판단이 되어 Water Method를 채택하였다. WVT (Water Vapor Transmission; 수증기 투과도)는 다음 식과 같이 계산된다.

$$WVT \text{ (Water Vapor Transmission)} = G/tA = (G/t)/A$$

여기서, G는 무게변화, t는 무게변화가 일어나는 동안의 시간, G/t는 직선의 경사 (g/h), A는 시험 면적 (컵 입구 면적), WVT는 수증기 투과율 (Water Transmission rate; g/h m²)을 나타낸다.

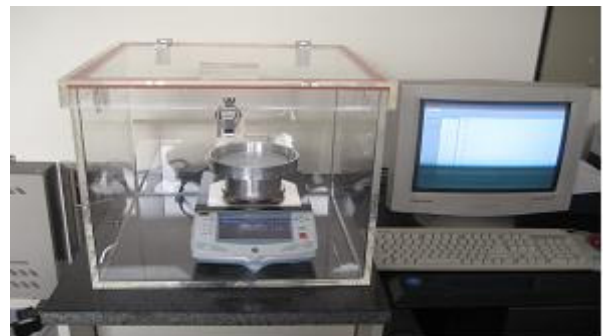


Fig. 7 Permeability tester

본 연구에서는 외국의 논문 등 학술지에 게재된 콘크리트의 투수계수 측정방법에 관한 다양한 연구 자료들과 제한적이기는 하지만 국내에서 시험, 발표된 투수계수 측정 방법 등에 관한 자료를 조사하여 분석, 정리하였다. 다공성 매질을 통하는 물질의 이동에 관한 이론은 1850년대에 발표된 Darcy의 실험식에 기본을 두고 있으나, 측정방법은 원래 모래의 실험결과를 바탕으로 제시되었기 때문에 이보다 훨씬 더 투수계수가 낮은 COSREM GP 복합섬유에 적용하기에는 많은 문제점이 있다. 이는 보통 정도의 압력을 가할 수 있는 측정 장비를 사용하는 경우 적절한 정도의 신뢰할 수 있는 실험결과를 얻기 위해서는 오랜 기간 동안 가압을 해야만 시험체를 통해 흘러나오는 수량이 측정 가능한 적절한 양에 도달한다는 것을 의미한다. 그러나 시편주위로의 누수와 기밀성을 확보하기가 어려워 현실적으로 불가능한 실정이다.

Table 7과 Fig. 8에서 일반에폭시 패널의 통기성이 0.0083인 반면 GP 패널의 통기성은 0.513으로 일반 에폭시 패널보다 통기성이 크게 나타났다, 이는 GP패널의 유리섬유와 웨빙테이프가 일렬구조로 배치되어 공극을 확보할 수 있어 일반 에폭시섬유보다 모세관 현상에 유리한 것으로 판단되어진다. Table 8과 Fig. 9는 COSREM GP패널의 통기성 시험결과를 시간 경과에 따라 나타낸 것이다. 통기성 시험 결과 유리섬유 함량 70%, 75%, 80%의 최대 WVT (Water Vapor Transmission)은 각각 0.2667, 0.5129, 0.3548로 75%일 때 최대의 통기성을 보였다. COSREM GP패널의 통기성은 유

Table 7 Comparison of permeability of GP panel and epoxy panel

Item	Permeability (g/h·m ²)	Test method
Glass fiber panel (GP)	0.513	ASTM E 96
Epoxy panel (FRP)	0.0083	

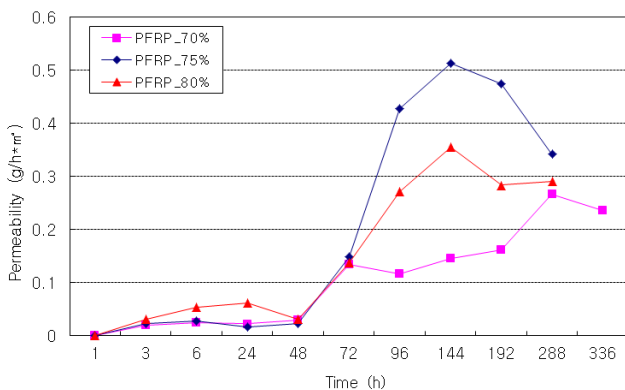


Fig. 8 Compare GP and FRP of Permeability

Table 8 Comparison of Glass fiber Content for Permeability (unit:g/h·m²)

Time (h)	PFRP_70%	PFRP_75%	PFRP_80%
1	0	0	0
3	0.0205	0.0238	0.0308
6	0.0244	0.0274	0.0538
24	0.0224	0.017	0.0619
48	0.0292	0.0228	0.0309
72	0.1339	0.1487	0.1381
96	0.1164	0.4271	0.2719
144	0.1459	0.5129	0.3548
192	0.1613	0.474	0.2835
288	0.2667	0.3429	0.2911
336	0.2361		

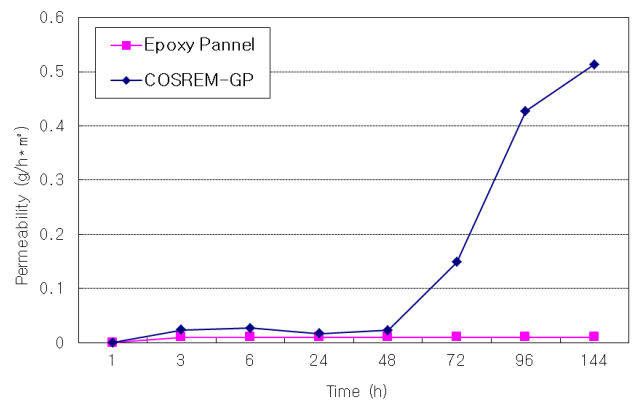


Fig. 9 Comparison of Glass fiber Content for Permeability

리섬유 함량뿐 아니라, 수지계열 함량 역시 공극률에 영향을 미치므로, 복잡한 양상을 나타내리라 판단된다. 시간에 대한 WVT의 변화량은 초기 2일까지 증가하는 기울기가 완만하다가 2일 이후로 증가속도가 빨라지고, 용기의 증류수가 감소하면서 WVT가 감소하는 경향을 나타내고 있다.

3.3 인장강도와 투수계수와의 상관관계 고찰

복합플레이트는 대체로 철근콘크리트 구조물의 인장측에 보강되며, 플레이트의 구성재료에 대한 인장성능의 측정은 매우 중요하다. 따라서 복합플레이트의 투수특성과 인장강도의 관계를 알아보기 위하여 동일 변수와 재료를 사용하여 인장강도 시험결과와 투수계수 시험결과를 비교하였다.

Table 9는 COSREM GP 패널의 유리섬유 함량 증가에 따른 보강재의 인장강도를 나타낸 것이다. COSREM GP패널의 인장강도는 COSREM GP200 (유리섬유 함량 200g/m)의 인장강도와 비교한 값으로써 유리섬유 함량 60%에서 75%까

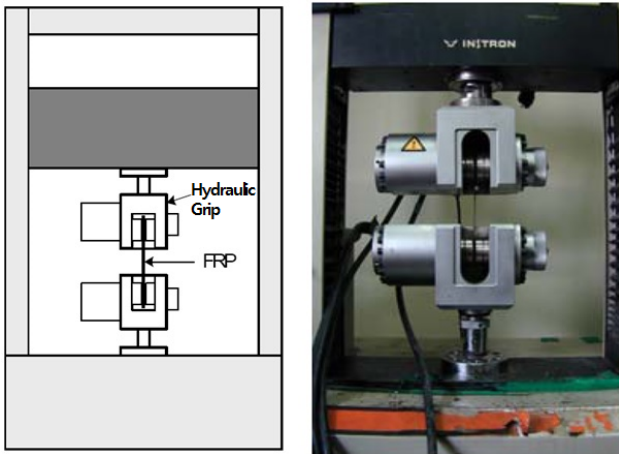


Fig. 10 FRP composite tension test forcer

지 섬유함량이 증가함에 따라 강도비가 66.86%에서 81.59% 까지 증가하는 경향을 나타내고 있다. 그러나 유리섬유 함량 80%에서 강도비가 79.77%로 감소하여 유리섬유 함량과 인장강도가 비례관계에 있지 않음을 나타낸다. 초기에는 유리 섬유 함량이 증가하면 증가량에 따라 비례하여 인장강도가 증진되나, 일정 섬유함량 이후에는 유리섬유 함량보다 수지 계열의 함량이 COSREM GP 패널의 인장강도를 지배하여 감소하는 경향을 나타낸 것으로 판단되어진다.

한편 전체 층의 유량 = 각 층의 유량의 합이므로

$$q = (H_1+H_2+\dots+H_n)Kh_i = (H_1Kh_1+H_2Kh_2+\dots+H_nKh_n) \quad (1)$$

투수가 수직으로만 일어나면 각 층에서의 유출속도는 동일하므로

$$V = V_1=V_2=\dots=V_n$$

$$V = K_v h/H = K_{v1}h_1/H_1=K_{v2}h_2/H_2=K_{v3}h_3/H_3$$

$$h = h_1+h_2+h_3 = VH_1/K_{v1}+VH_2/K_{v2}+VH_3/K_{v3}$$

$$K_v = H/(H_1/K_{v1}+H_2/K_{v2}+H_3/K_{v3})$$

본 식과 통기성 시험결과를 비교 해보면 통기성이 가장 좋은 섬유함량 75%의 COSREM GP 복합섬유에서 144시간



Fig. 11 Inhomogeneous GP Composite fiber faults

동안 0.5g의 수분이 방출되었으며, COSREM GP섬유의 두께 0.3mm와 방출된 수분을 위에 식에 대입해 값을 산출하면 투수계수 값 K는 10^{-10} cm/sec이거나 더 작은 값을 갖는다. 이는 보통 이상의 강도를 갖는 포틀랜드 시멘트 콘크리트의 경우와 비슷한 수치로 통상적으로 COSREM GP 복합 섬유가 콘크리트와 무기질 일체화 거동을 함으로써 콘크리트 내의 수분을 외부로 방출할 수 있음을 예측할 수 있으며, 통기성 경량 복합 보강재의 기체/수분 투과 특성은 기공크기 및 특성에 따라 점성유동 (Viscous Flow), 누슨유동 (Knudsen Flow), 표면확산 (Surface Diffusion), 활성화확산 (Activated Flow), 그리고 분자체가름 (Molecular Sieving) 등의 서로 다른 메커니즘과 이들 중 일부 메커니즘이 동시에 발생하는 기체 (유체) 흐름이며, 이들 메커니즘은 각각의 점성유동, 누슨 유동 및 표면확산 메커니즘의 조합으로 설명될 수 있다. 또한 콘크리트와 비슷한 투수계수를 가지는 통기성 경량 복합 보강재의 특성으로 미루어 볼 때 콘크리트의 모세관 공극

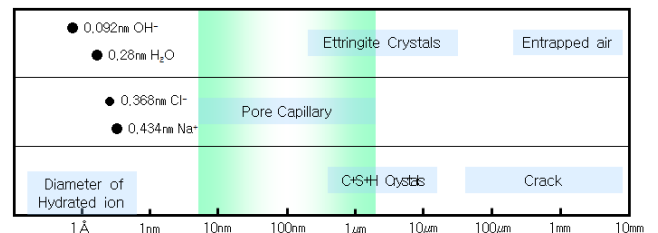


Fig. 12 Range of the concrete vacant space (Capillary pore)

Table 9 Tensile strength of GP panel by glass fiber content

Item	Max Load (kgf)	Disp. (mm)	Tensile strength (kgf/cm ²)	Comparison of strength (%)
GP200-80-1	2147.88	4.20	4741.67	79.53
GP200-80-2	2049.06	3.90	4769.68	80.00
Average	2098.47		4755.67	79.77
GP200-75-1	1903.41	3.60	4983.01	83.58
GP200-75-2	2033.56	3.40	4745.93	79.60
Average	1968.49		4864.47	81.59
GP200-70-1	2195.67	3.40	4580.84	76.83
GP200-70-2	1960.25	3.70	4554.44	76.39
Average	2077.96		4567.64	76.61
GP200-65-1	1879.19	3.70	4442.21	74.51
GP200-65-2	1794.58	4.20	4347.59	72.92
Average	1836.89		4394.90	73.72
GP200-60-1	1424.49	3.20	3702.90	62.11
GP200-60-2	1792.32	3.70	4269.87	71.62
Average	1608.41		3986.38	66.86

크기의 범위와 통기성 경량 복합 보강재의 공극크기의 범위가 유사함을 알 수 있다.

3.4 CFD 해석

상용유체유동 해석프로그램을 이용하여 단면 형상과 두께, 그리고 섬유 혼입율에 따른 공극을 모델링하여 각각의 경우에 대한 복합플레이트의 투수특성을 비교하였다.

해석과정은 일반적으로 모델링, Mesh Generating, Boundary Condition, Analysis의 과정을 거치며, 이는 전처리, 해석, 후처리의 단계로 나눌 수 있다. 전처리는 컴퓨터 수치해석을 하기 전에, 해석하기 위한 형상의 모델링을 하는 작업이며, 즉, 컴퓨터 계산이 잘되고, 정확하고, 빠르게 되도록 해석 모델의 격자 생성작업이다. 전처리 해석 (Pre-Processor)의 사용 프로그램 Tool로는 Grid Gen, Geogrid, IcemCFD, Gambit, Fidap, TGrid, Nastran, Patran이 있으며, 국내에서는 Gambit이 가장 많이 사용된다. 해석과정은 수치해석적인 과정을 통해 해를 구하는 과정이며, 해석 프로그램 (Solver) Tool로는 Phoenix, Fluent, Star-CD, CFX이 있다. 후처리 (Post-Processor) 프로그램 Tool로는 FieldView, Tecplot, DeltaGraph이 있으며, 결과를 그래프나 3차원 이미지와 같이 편집하는 과정이다.

유동해석 절차는 3단계로 구성된다. 공극의 구조를 이용하여 유동장 해석을 위한 계산격자점을 구성하는 전처리 과정, FLUENT에 의한 내부 유동장의 해석과정, 해석결과의 분석을 위한 후처리 과정이다. 계산격자점 생성은 Gambit V2.2를 사용하였고, 유동장의 해석은 상용 전산유체해석 코드인 FLUENT V6.2를 사용하였다.

3.4.1 모델링 및 격자의 생성

본 연구에서는 계산의 편의성을 위하여 유리섬유와 수지계 접착제로 구성되어 있는 복합플레이트의 일부분을 3차원 모델링하였다. 즉, 유리섬유가 약 10가닥 정도 들어가는 크기의 패넬을 interested area로 설정하였으며, 해석 대상의 형

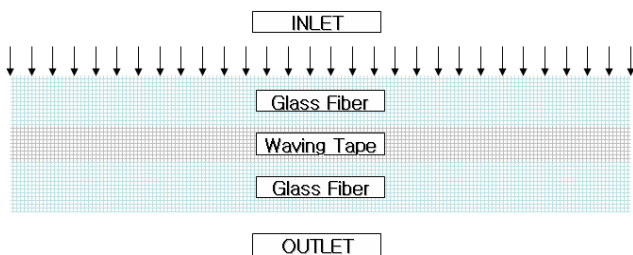


Fig. 13 Overview of GP panel, 3D-modeling

상 모델링과 격자의 생성에는 GAMBIT V2.2를 사용하였다. 그림은 예상되는 격자의 생성 모습이며, 모든 공극은 평면이고 연속체인 것으로 가정하고, COSREM GP 패넬의 일부를 3차원 모델링 및 격자생성을 하였다.

모델링과 격자의 생성은 유리섬유패넬의 일부에 대하여 실시하였으며, 그 과정은 interested area 설정, area에 대한 단면 모델링, 격자의 생성, 경계조건 설정 순서대로 하였다 (ATES(주) "ANSYS FLUENT).

모델링 대상은 해석의 편의를 위하여 유리섬유 10~15개 들어가는 정방향의 유리섬유 패넬을 3차원 모델링 하였으며, 정방향의 유리섬유 패넬을 면요소로 설정하고 유리섬유와 수지계 접착제로 이루어지는 다공성 매질을 표현하기 위하여 정방향 유리섬유 내부에 고체 상태의 체적요소를 적절히 삽입하여 유체가 공극을 통해 유동할 수 있도록 하였다. Fig. 16은 COSREM GP 패넬의 3차원 모델링 모습이다.

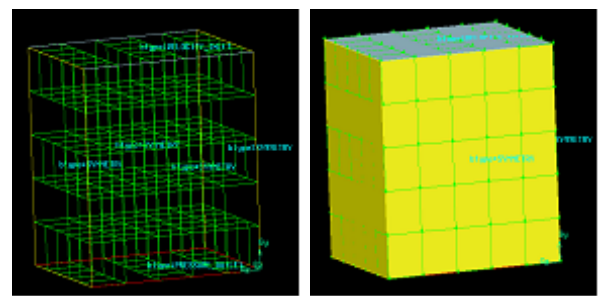


Fig. 14 Boundary Condition of 3D Modeling

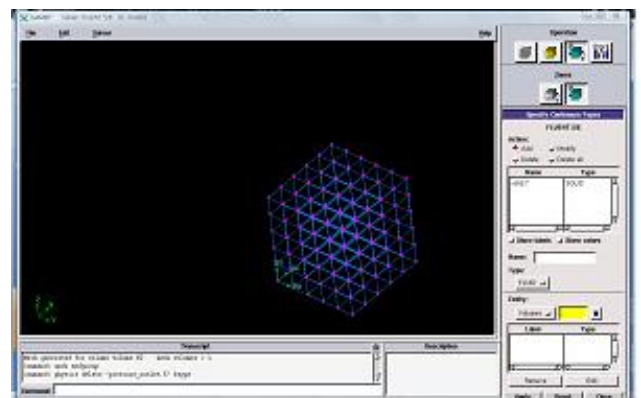


Fig. 15 Continuum Condition

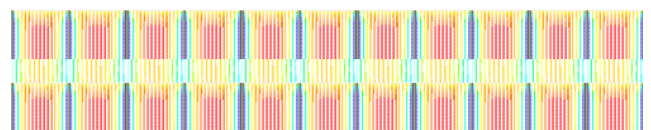


Fig. 16 Result of Fluent Modeling

Mesh는 Volume Mesh를 사용하였으며, Hex형태의 Map Type을 사용하여 격자를 생성하였다. 지나치게 많은 수의 격자의 생성은 프로그램 해석시간이 상당량 길어질 수 있고, 적은 수의 격자 생성은 해석의 정밀도를 낮추므로 적당한 값의 Spacing을 두어야 한다. 본 연구에서는 Spacing 값을 2로 하여 100~150개 정도의 격자를 생성하였다

모델링과 격자의 생성 이후 경계조건을 설정하였다. 경계조건은 공극수가 내부로 유입할 수 있게 y축 상면부를 Velocity inlet으로, 배출되는 y축 하면부를 Pressure Outlet으로 설정하였다. 또한 정방형의 요소를 유리섬유패널로부터 추출하였으므로, 주위 단면을 Wall 형태가 아닌 연속적인 값을 가질 수 있도록, Symmetry로 설정하였다.

3.4.2 분석 및 고찰

다공질 유리섬유 패널의 위쪽에서 주입된 수증기가 COSREM GP 패널을 통과한 후 바닥면에서 바깥쪽으로 진행되는 유동을 살펴보고자 한다. 해석에는 상용 전산유체해석 코드인 FLUENT V6.2를 사용하였다.

해석을 위하여 압력과 속도의 관계식을 모델링된 3차원 정방형 유리섬유 패널에 대해서 아래와 같이 2차함수로 Fitting을 하였다.

$$S = \frac{\mu}{\alpha} \nu + C_2 \frac{1}{2} \rho \nu^2 \quad (2)$$

- S : 압력손실
- μ : 점성계수 (Ns/m²)
- $1/\alpha$: 관성손실계수 (Inertial Loss Coefficient, 1/m)
- C_2 : 점성 손실 계수 (Viscous Loss Coefficient)
- ν : 속도 (m/s)

$$\begin{aligned} \Delta p &= Av^2 + Bv & (3) \\ A &= C_2 \frac{1}{2} \rho \Delta n \\ B &= \frac{\mu}{\alpha} \Delta n \end{aligned}$$

압력 손실은 점성 손실항 (Viscous Loss Term), 관성 손실항 (Inertial Loss Term)으로 구성이 되며 식과 같다 (관성 손실항은 크기가 100배 정도 차이만 나도 무시가 가능하며, 이는 CFD 해석시 관성 손실항의 변수차이가 결과값에 영향을 미치지 않았기 때문이다.). $1/\alpha$ 와 C_2 는 다공성 매질의 형

상에 의해 결정되는 일종의 형상 인자이며, 각 계수는 A, B는 보간 (Interpolation)을 구할 수 있다. 최종적으로, 식과 식을 통해 각 항의 형상 인자를 결정할 수 있다.

형상인자는 공극의 분포상태를 나타내며, Permeability를 결정하였으며, 도출된 모델링의 결과로 샌드위치와 같은 층단면도를 확인할수 있었으며 가운데의 웨빙테입부분은 COSREM GP 패널의 통기성에 유리한 다공질 구조이며, 수직방향으로 기체의 확산에 의한 기체의 투과와 기체보다는 분자구조가 큰 수분입자도 수증기 형태로 배출될 수 있는 구조임을 확인할 수 있었다.

4. 결론

COSREM GP 구성요소 각각의 물성들과 재료적 특징이 일반재료에 비해 통기성이 있다고 판단되어 지나, 무기질 복합체로서의 COSREM GP의 유리섬유 함량의 변수가 통기성에 어떤 영향을 미치는지 살펴보고자 한다.

- (1) COSREM GP패널과 일반 에폭시패널의 통기성 실험 비교 결과 수치상으로 COSREM GP패널이 일반에폭시 섬유보다 62배의 차이를 보였다. 이를 통해 COSREM GP패널이 일반 에폭시패널보다 통기성에 유리한 구조임을 알 수 있었다.
- (2) 유리섬유 및 수지계열 함량의 적절한 조합에 따라 다양한 인장강도와 통기성을 나타냄을 확인할 수 있었으며, 섬유함량 70%, 75%, 80%의 섬유 함량중 75%의 섬유 함량에서 가장 많은 0.5129 g/h m²의 수분이 배출 되었다. 인장강도 역시 75%였을 때 최대인장강도인 4,860N/cm²를 나타내어 75% 유리섬유 함량의 COSREM GP패널이 통기성 및 구조적으로 가장 우수한 것으로 나타났다.
- (3) COSREM GP 복합섬유의 투수계수는 10⁻¹⁰cm/sec이거나 더 작은 값을 갖는데 이는 일반 콘크리트의 투수계수와 비슷한 수준으로써, COSREM GP 복합섬유가 콘크리트와 무기계 일체화 거동을 보이며 콘크리트 내의 수분이동이 외부로 방출될 수 있는 구조임을 이론적으로 검증하였다.
- (4) CFD 해석을 통하여 샌드위치 형태의 통기성 경량 복합보강재 (COSREM-GP)의 모델링 해석결과 가운데 층인 웨빙테입이 Glass-fiber 복합섬유 층보다 통기성이 뛰어나며 기체확산에 의한 기체의 이동으로 수직방향으로 통기가 일어나고 있음을 가시적으로 검증할 수

있었으며, 통기성 실험을 통하여 배출된 수분의 양으로 미루어 보았을때 물분자 보다 이동이 자유로우며, 크기가 작고 가벼운 기체분자들의 이동은 더 활발할 것으로 추정된다.

References

1. Cheung, J. H., Kim, S. D., Cho, B. S., Lee, W. C., "Nominal Moment of RC Beams Strengthened with Carbon Fiber Sheets-I", Journal of Civil Engineering of Korea, vol. 23, No. 5, 2003. pp.921-929. (in Korean)
2. Jeong, W. Y., Lee, S. W., "Experiments of RC Beams Strengthened with Pultruded Carbon and Glass Fiber Strip", Journal of Civil Engineering of Korea, vol. 20, No. 7, 2000, pp.1029-1038. (in Korean)
3. Jo, B. S., Ahn, S. H., "Flexural Behaviors of the Reinforced Concrete Beam Strengthened by Composite Plate with Fiber Sheets on the Light Concrete Plate", Journal of Civil Engineering of Korea, vol. 23, No. 3, 2003, pp.375-383. (in Korean)
4. Park, S. Y., "Flexural Strengthening Effect of R.C Beams Bonded with Carbon FRP Sheets", Journal of Civil Engineering of Korea, vol. 21, No. 6, 2001. pp.997-1005. (in Korean)
5. Park, T. H., Bu, J. S., "Flexural Analysis of RC Beams Strengthened with Soffit and Web Fiber Sheets", Journal of Civil Engineering of Korea, vol. 22, No. 5, 2002, pp.1045-1057. (in Korean)
6. Saadatmanesh, H., Ehasani, MR., "RC BEAMS Strengthened with CFRP Plates", Journal of Structural Engineering, vol. 117, No. 11, 1999, pp.3417-3455.
7. Shin, S. W., Ahn, J. M., Lee, K. S., Ban, B. L., Yeom, S. G., "Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beams with Strengthening Length of Carbon Fiber Sheets", Journal of the Korea institute for Structural Maintenance and Inspection, vol. 2, No. 1, 1998, pp.136-141. (in Korean)

Received : 12/17/2012

Revised : 02/18/2013

Accepted : 02/20/2013

요 지

최근 콘크리트 구조물의 보강방법으로 FRP (Fiber Reinforced Polymer)를 이용한 외부부착보강공법이 많이 활용되고 있다. FRP 외부부착보강은 중량에 비하여 높은 강도 및 강성, 우수한 내구성과 시공성 등 여러 가지 장점을 가지는 공법이다. 그러나 외부부착보강은 구조물이 투수성이 낮은 보강재로 밀폐되고 수분이 외부로 배출되지 못함으로 인하여, 장기적인 구조물의 손상을 발생시키는 문제점이 있다. 본 연구에서는 계면의 수분을 적절하게 배출할 수 있는 GFRP 보강재를 개발하고 투수성능을 측정하는데 주목적을 두고 있다. 이를 위하여 본 연구에서는 기존에 많이 사용되고 있는 보강공법을 투수가능한 구조로 변형하고 GFRP 함량을 변수로 보강재의 투수과정을 모사하는 실내 투수시험을 수행하여 보강재의 투수계수를 측정하였다. 또한 보강재의 투수과정에 대한 수치해석을 수행하여 측정된 투수계수 값을 이론적으로 검증하고자 하였다. 그 결과 섬유 함량중 75%의 섬유 함량에서 가장 많은 0.5129 g/h m²의 수분이 배출되었으며, 인장강도 역시 75%였을 때 최대인장강도인 4,76.6MPa를 나타내어 75% 유리섬유 함량의 COSREM GP패널이 통기성 및 구조적으로 가장 우수한 것으로 나타났다.

핵심 용어 : 투수성, FRP, GFRP, CFD