

방호·방폭 보강용 복합섬유 패널 제작을 위한 기초연구

Basic Study on Fiber Composite Panel Production for Impact·Blast Resistant

Woonhak Kim^{a,1,*}, Seokwon Kang^{b,2}, Seunggyu Yun^{c,3}

^a Department of Civil, safety, and Environmental Engineering, University of Hankyong National, 167 Joongang-ro Anseong 456-749, Republic of Korea

^b Department of Civil, safety, and Environmental Engineering, University of Hankyong National, 167 Joongang-ro Anseong 456-749, Republic of Korea

^c Department of Civil, safety, and Environmental Engineering, University of Hankyong National, 167 Joongang-ro Anseong 456-749, Republic of Korea

ABSTRACT

The methods to improve the protection and explosion-proof performance of concrete structures include the backside reinforcement or concrete material property improvement and the addition of structural members or supports to increase the resistance performance, but they are inefficient in terms of economics and structural characteristics. This study is about the basic study on the fiber composite panel cover, and the nano-composite material and adhesive as the filler, to maximize the specific performance of each layer and the protection and explosion-proof performance as the composite panel component by improving the tensile strength, light weight, adhesion and fire-proof performances.

The fiber composite panel cover (aramid-polyester ratios of 6:4 and 6.5:3.5) had a 2,348 MPa maximum tensile strength and a 1.8% maximum elongation. The filler that contained the nano-composite material and adhesive had a 4 MPa maximum tensile shear adhesive strength. In addition, the nano-composite filler was 30% lighter than the normal portland cement

KEYWORDS

Aramid
Polyester
Nano Composite
Elongation at Break
Impact resistant
Blast resistant

콘크리트 구조물의 방호·방폭성능을 향상시키기 위한 보강방법으로 배면보강이나 콘크리트 재료의 물성보강에 따른 방법과, 구조 부재나 지지물 등을 추가로 설치하여 저항성능을 향상시키는 방법 등을 고려하였을 때 경제적인 측면과 구조적인 측면에서 효율성이 떨어진다. 본 논문에서는 패널의 각 단층 구성 재료에 고인장, 경량화, 부착성능, 내화성능 등을 향상시켜 단층 각각의 개별적인 특수 성능과 복합패널 구성물로서의 방호방폭 성능을 극대화 할 수 있는 섬유복합패널 외피와 충전제로서 나노복합소재 및 접착제에 대한 기초 연구를 수행하였다. 그 결과 섬유복합패널 외피(아라미드-폴리에스터 비 6:4, 6.5:3.5)의 최대 인장강도 2,348MPa, 최대 신율 1.8%의 값을 얻었고, 나노복합소재와 접착제를 혼합한 충전제의 최대 인장전단접착강도 4MPa를 얻었다. 또한 나노복합소재로 제작한 충전제는 보통포틀랜드시멘트의 30%의 경량화의 결과를 얻었다.

아라미드
폴리에스터
나노복합소재
연신율
방호
방폭

© 2015 Korea Society of Disaster Information All rights reserved

* Corresponding author. Tel. 82-10-5342-0738. Email. whkim@hknu.ac.kr

1 Tel. 82-10-5342-0738. Email. whkim@hknu.ac.kr

2 Tel. 82-11-9720-0214. Fax. 82-2-6918-4747. Email. hastally@naver.com

3 Tel. 82-10-5051-7122. Email. ysk23@nate.com

ARTICLE HISTORY

Received May. 25 2015

Revised May. 26 2015

Accepted Jun. 08 2015

1. 서론

최근 국외는 물론 국내에서도 철근 콘크리트 구조물의 보강 방법으로 신소재인 탄소, 유리, 및 아라미드를 섬유형태로 가공한 섬유시트(Fiber sheets)부착 공법이 널리 사용되고 있다. 섬유시트 부착공법은 경량으로 자중이 거의 없을 뿐만 아니라 시공시 작업이 우수한 것으로 알려져 있다. 또한 섬유시트는 고탄성, 고강도, 내염해, 내화학적 등 내구성이 우수하며 부식의 염려도 없다. 하지만 섬유시트는 대부분 현장에서 시공이 진행이 되어 방호·방폭 성능 보장을 위한 섬유간 배합 및 복합재료의 복합시공이 어려운 단점이 있다. 본 연구에서는 인발압출성형으로 제작한 섬유시트의 내피와 외피 사이에 우레탄 계열의 이액계 접착제와 내화성능이 우수하고 경량인 Nano size의 복합소재를 충전제로 사용하는 방호·방폭 프리캐스트 패널을 개발 및 제작하였으며, 제작된 복합패널의 물성실험을 수행하여 기초물성을 파악함으로써, 복합패널의 보강설계시 기초자료로 활용할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다.

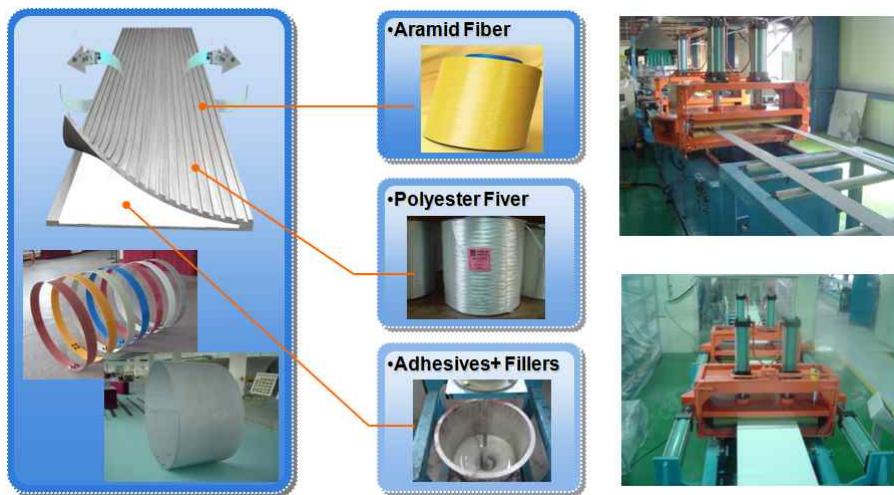


Fig. 1. Impact • Blast Resistant Composite Sandwich Panels

2. 실험계획 및 방법

2.1 유사연성 하이브리드 복합섬유 외피

본 실험에서 사용한 하이브리드 복합섬유 외피 재료 중 폴리에스터 섬유는 AKILN 781D 제품을 사용하였으며 1,500denier를 연사한 3,000denier 섬유를 사용하였고, 아라미드 섬유는 ALKEX AF-1000제품을 사용하였으며 1,000denier를 연사한 2,000denier 섬유를 사용하였다. 각 제품에 대한 물성치는 Table 1에 명기하였다.

Table 1. Physical Properties of Polyester Fiber & Aramid Fiber

		Polyester	Aramid
Denier/Filaments		1500/192	1000/665
Linear Density	denier	1515± 20	1000
	dtex	1683± 22.2	1100
Strength at Break	kgf	13.2	23± 2
	N	129.4	226± 20
	g/d	8.7	23± 2
Tenacity	cN/dtex	7.7	203± 18
	-	4.7± 0.5	-
Elongation at Specific Load	-	4.7± 0.5	-
Elongation at Break	-	11.5± 2.0	-
Modulus	g/d	-	680± 80
	Gpa	-	86± 10

아라미드 섬유와 폴리에스터 섬유의 여러 가지 배합비를 검토한 결과 Fig.2와 같이 최적 배합비 6:4와 6.5:3.5의 비율로 배합하여 외피를 제작하였다. 제작된 복합섬유 외피를 KS M 3015방법에 의해 인장강도 및 신장율을 측정하였으며 그 결과를 Table 2에 나타내었다. 아라미드와 폴리에스터가 6:4로 배합된 시편A에서 최종 정량적 목표치인 2,000MPa를 달성하였으나, 신장률은 2%에 도달하지 못하였으며, 6.5:3.5로 배합한 시편B에서는 인장강도는 1,500MPa로 낮았지만 신장율은 A시편보다 20%정도를 상회하는 결과 값이 나왔다.



Fig. 2 Tensile strength test specimens

Table 2. Result of Tensile Strength & Elongation

No	Tensile strength(KS M 3015)		Elongation(KS M 3015)	
	A	B	A	B
1	1,912	1,586	1.4	1.8
2	2,122	1,200	1.4	1.7
3	2,348	1,453	1.5	1.7
4	2,250	1,587	1.5	1.8
Average	2,158	1,457	1.5	1.8

2.2. 접착제와 나노복합소재

2.2.1 접착제

본 논문에서 사용한 접착제는 Table 3과 Table 4와 같은 성분으로 구성된 우레탄 계열 이액계(Part A, Part B) 접착제를 접착강도 3.0MPa가 나올 수 있는 최적배합을 위하여 구성성분비를 변수로 하여 부착 실험을 수행하였다. 본 실험은 상부 인장용 지그를 접착시킨 공시체를 Fig. 3과 같이 부착 시험 장치를 이용하여 시료면에 대해 수직방향으로 10 mm/min의 하중속도로 인장력을 가하는 방법으로 최대 인장 하중을 가해 Table 5와 같이 28일 부착강도 3.3MPa를 얻었다. 이는 부착시험 평가기준의 표면파괴(1.5MPa 이상), 계면파괴(2.0MPa 이상)를 모두 만족시키는 값으로서 파괴 기준값을 50% 이상 상회하는 결과이다.

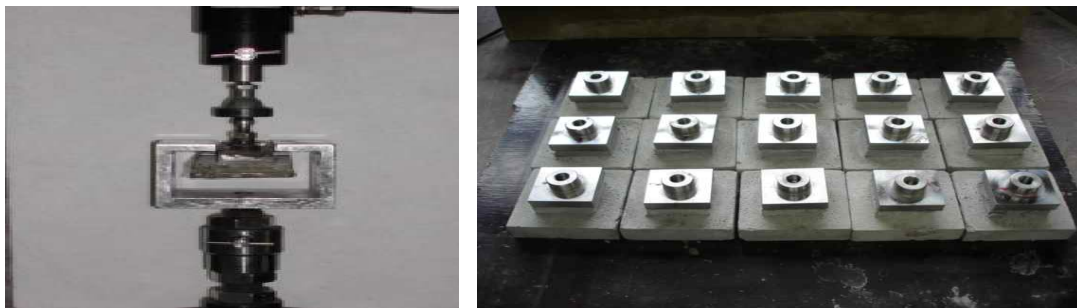


Fig. 3 Bond strength tester and specimen

$$\text{부착강도 MPa} = \frac{T}{1600} \text{ (여기서, T : 최대인장하중 MPa)}$$

Table 3. Formulation (Part A)

NO	Raw material	Part A
1	식물성오일	44.50
2	폴리프로필렌글리콜	15.00
3	가소제	18.00
4	가교제	6.00
5	소포제	1.50
6	물	15.00
Total (%)		100.00

Table 4. Formulation (Part B)

Raw material	Part B
디페닐메탄다이소시아네이트	100

Table 5. Bond strength test result

시 험 항 목		단 위	시 험 치	시 험 방 법
부 착 강 도	접착제	7일	2.1	KS F 4042:2007
		28일	3.3	

2.2.2 나노복합소재

내화 성능과 충격흡수 성능을 향상시키기 위하여 Fig. 4와 같이 졸·겔 반응 화학합성 무기계 나노 Size 충전제 분말을 배합하여 복합페넬 충전제로 개발하였다. 충전제의 평균입경은 5.39 μ m로서, 보통포틀랜드시멘트의 입경보다 작으며, 비중과

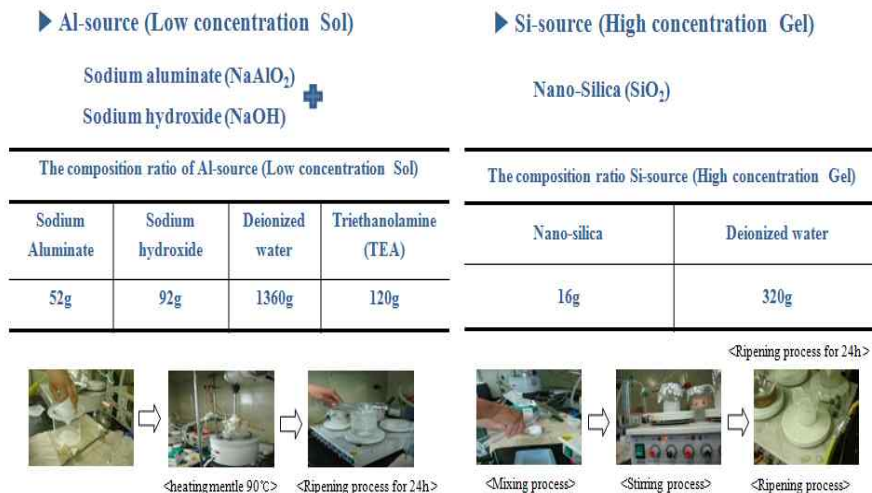


Fig. 4. Sol & gel Nano composite synthesis process

비표면적이 각각 2.16, 885,500cm²/g로 측정되었고, 보통포틀랜드시멘트의 3.15, 3,112cm²/g와 비교하여 비표면적이 285 배 증가한 것으로 나타났다, 이는 나노복합소재의 입자가 작아 비표면적이 증가하여 골재 주위에 수화 또는 경화 생성 물이 더 많이 생성될 것이고, 공극의 크기도 작아져 전체적으로 치밀하게 구성되어 압축강도 및 역학적 특성의 향상을 가지고 올 것이라고 판단된다. 보통포틀랜드시멘트와 나노복합소재의 재료적 특성은 Table 6과 같다.

Table 6. Material properties of Nano composite & OPC

Variety of Cement		Average Size (μm)	Specific gravity	Fineness (cm ² /g)
Nano composite		5.39	2.16	885,500
Portland Cement	Normal	10~30	3.15	2,800 이상
	High-early-strength	10~30	3.13	3,300 이상
	Moderate-heat	10~30	3.21	2,800 이상
	Low-heat	10~30	3.22	2,800 이상
Blast-furnace Slag Cement		10~30	3.03	2,600 이상
Fly-ash Cement		20~30	2.94	2,500 이상

졸·겔 반응 화학합성으로 생성한 분말을 알칼리경화시켜 7일 압축강도와 경량화 특성을 비교 분석 하였다. Table 7 과 같이 혼합수의 변화량에 따른 나노복합소재의 압축강도를 알기 위해 혼합수의 양을 나노복합소재 충전제의 12%에서 50%까지(ZC-W1~W7) 각각 4%씩 증가시켜 나노복합소재 충전제의 모르터를 제작하여 7일 압축강도 측정실험을 하였다. 압축강도 측정 결과는 Fig. 5와 같다. 압축강도는 혼합수량이 36g(20%)일 때 가장 큰 압축강도를 나타내었으며 알칼리 활성제로 사용되는 NaOH의 경우 50% 수용액 상태로 사용되었다. NaOH에 포함된 용매에 의해서 충분한 양의 수분이 충당되어 여분의 혼합수를 첨가하지 않아도 될 것이라고 판단되어진다. 또한 적정 수준이상의 혼합수는 강도 발현에 저해가 되는 요소로 작용하는데 이는 알칼리 활성 반응에 필요한 물 이외의 과잉수는 고온 양생과정에서 증발하여 그 부분이 공극으로 남으면서 강도가 떨어지는 것으로 판단되었다.

Table 7. Mix Proportion of Zeolite Cement Mortar Specimens

Mixture no.	Weight(wt%)				
	ZC	NaOH	Water	Aggregate	
1	ZC-W1	180	90	22	565
	ZC-W2	180	90	29	565
	ZC-W3	180	90	36	565
	ZC-W4	180	90	44	565
	ZC-W5	180	90	52	565
	ZC-W6	180	90	72	565
	ZC-W7	180	90	90	565
2	ZC-N1	180	54	36	565
	ZC-N2	180	72	36	565
	ZC-N3	180	90	36	565
	ZC-N4	180	108	36	565
	ZC-N5	180	126	36	565
	ZC-N6	180	144	36	565
	ZC-N7	180	162	36	565
	ZC-N8	180	171	36	565

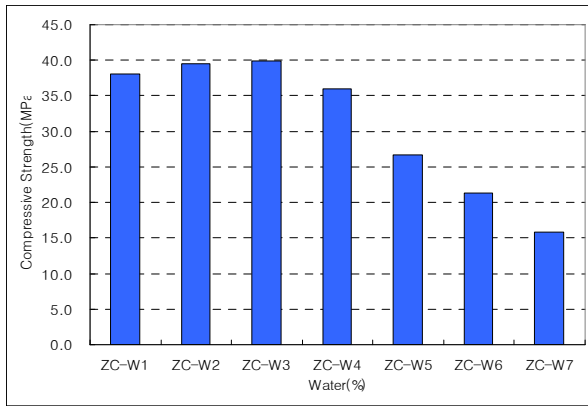


Fig. 5. Compressive strength with water rate

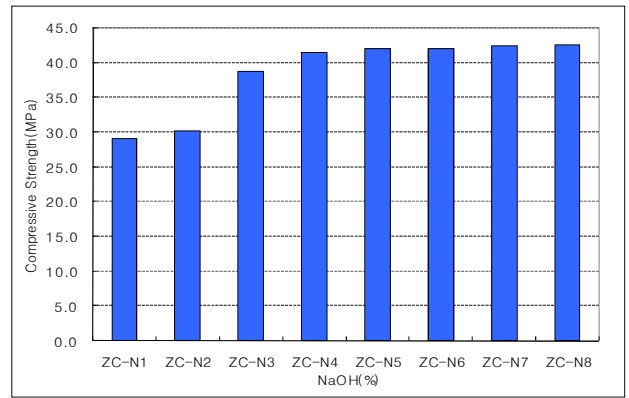


Fig. 6. Compressive strength with NaOH rate

알칼리활성제(NaOH)의 변화량에 따른 나노복합소재의 압축강도를 알기 위해 Table 7과 같이 혼합수량을 36g(20%)로 고정하고 NaOH 첨가량을 나노복합소재 충전제의 30%에서 95%까지 각각 10%(ZC-N1~N8) 또는 5%(ZC-N7~N8)씩 증가시켜 나노복합소재 충전제의 모르터를 제작하여 7일 압축강도를 측정하였다. 측정 결과는 Fig. 6과 같다. 알칼리 활성제로 사용된 NaOH 첨가량이 증가할수록 불규칙하게 압축강도도 증가하는 것을 볼 수 있다. 대부분의 실험체들은 40MPa 이상으로 보이고 있어 충전제로 실용 가능한 수준으로 나타났으며 알칼리 활성제를 제올라이트 분말의 중량에 95%를 넣었을 경우 41.5MPa의 가장 큰 압축강도를 나타내었다. 하지만, NaOH를 제올라이트의 95%이상 넣었을 경우 모르터 자체가 심한 액상화 현상을 보여 공시체 자체를 제작하기 어려운 수준에 도달하였다. 이러한 현상은 NaOH의 용매로 사용한 물도 같이 증가하기 때문에 혼합수의 증가와 같은 현상이 발생하여 강도 증가에 저해가 되는 요소로 작용하는 것으로 판단되었다. 또한 과도한 NaOH를 사용할 경우 경화 후 공시체에 남아있는 NaOH가 공기 중에 들어있는 수분을 흡수하여 NaOH가 표면으로 용출되는 현상이 발생하기도 하며, 또한 시멘트의 백화현상처럼 하얗게 피어나오는 현상이 관찰되었다. 이는 알칼리 반응에 필요한 이온 이외의 과잉이온은 공시체 속에 잔류하여, 시간이 경과함에 따라 구조체 밖으로 용출되어 미관 및 사용성에 문제를 줄 것이라고 판단되었다.

개발한 무기계 나노복합소재의 분말을 생산하여 알칼리 경화 메커니즘 및 정역학적 기초 물성을 수행 후 경량화 실험 분석을 수행하여, 30% 이상의 경량화를 달성하였으며 결과는 Table 8에 나타내었다.

Table 8. Lightweight result

구 분	건 비 중				평 균	진 비 중	
	1	2	3				
Nano composite	211.1	212.0	212.7	21.9	30.0% 저감	729.0	31.7% 저감
OPC	303.2	303.2	302.5	303.0		1068.4	

3. 복합패널 제작 및 인장전단 접착강도 실험

3.1 복합패널 제작

복합패널의 제작은 Fig.7과 같이 4단계 공정을 통하여 제작하였으며, 충전제는 Table 3, Table 4와 같은 구성성분을 갖는 우레탄 계열 이액제 접착제에 Table 9와 같은 나노복합소재와 규사를 여러 가지 배합비로 배합하여 검토한 결과 Table 10과 같이 두 가지의 최적 배합비를 이용하여 Fig. 8과 같은 시작품을 제작하였다.

Table 9. Formulation (Part C)

NO	Raw material	Part C
1	나노 복합소재	25.00
2	규사 (1.0~0.2mm)	75.00
Total (%)		100

Table 10. Filler formulation variables

시험 항목	배합-1	배합-2
배합비 - A : B : C	1 : 1 : 4.4	1 : 0.6 : 3.52

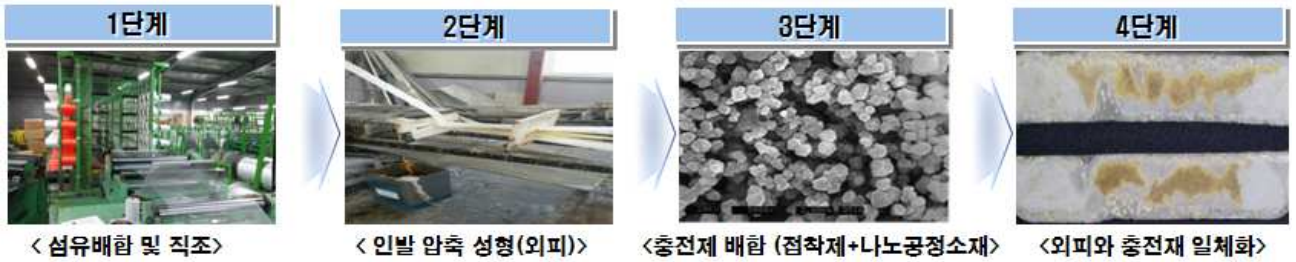


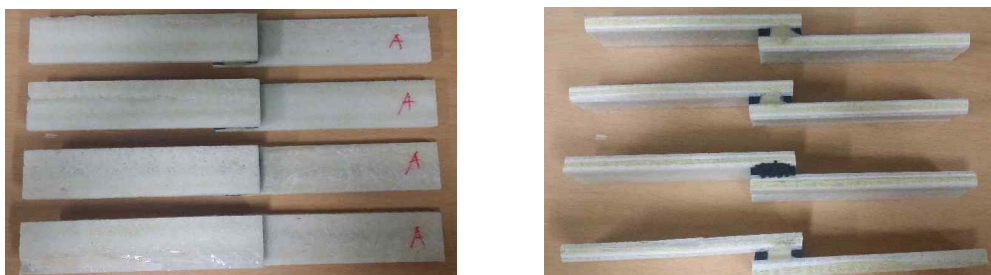
Fig. 7. Composite panel production



Fig. 8. Panel production photo

3.2 인장 전단 접착강도 실험

개발한 이액계 접착제와 나노복합소재를 이용한 충전제와 하이브리드 복합섬유 외피층으로 구성된 복합패널 시제품을 제작하여 Fig. 9와 같이 인장전단접착강도 시험을 KS M 3734의 방법에 의해 수행하였다. 그 결과 1:1:4.4의 배합에서는 3MPa, 1:0.6:3.52의 배합에서는 4MPa의 인장전단접착강도를 얻었다. 두 가지 배합 중 충전제의 구성성분 Part B와 Part C의 비율을 상대적으로 Part A에 비해 줄인 1:0.6:3.52의 배합에서 4MPa으로 더 크게 측정된 것으로 보아 Part A의 비율이 클수록 인장전단접착강도는 더 크게 나타날 것으로 판단되었다.



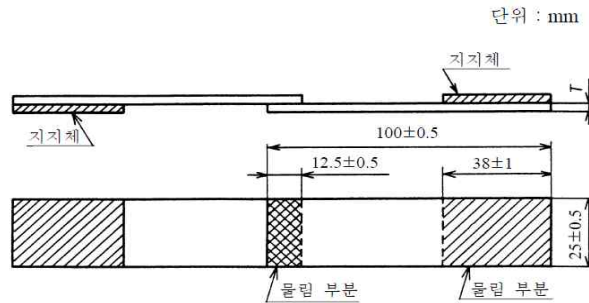


Fig. 9. Dimension of tensile shear bond strength test specimen

4. 실험결과와 고찰 및 분석

4.1 유사연성 복합패널 외피

Layer로 구성되는 패널 각층별 재료 중 인장강도와 연신율을 향상시켜 각 층의 내충격 및 방폭 성능과, 복합된 단일 패널 자체의 방호·방폭 성능을 극대화하기 위하여 최적 외피재료를 폴리에스터(Polyester) 섬유 및 아라미드(Aramid) 섬유를 선정하였으며, 인장강도 2,000MPa 이상을 유지하며 연신율을 2%로 증가시키기 위하여 아라미드 섬유와 폴리에스터 섬유의 여러 가지 배합비를 검토한 결과 최적배합을 6 : 4로 설정하였다.

4.2 나노복합소재 충전제 기초 실험

복합패널의 일체화 거동을 위하여 접착강도가 우수한 우레탄 계열 접착제를 충전제로 사용하였다. 충전제의 방호·방폭 성능 향상과 경량화를 위하여 나노복합소재를 혼합하여 사용하였으며, 혼합 후 패널의 일체화를 예측하기 위하여 인장전단 접착강도 실험을 수행하였으며, 28일 부착강도 최대값 3.3MPa보다 우수한 4MPa를 얻을 수 있어 나노복합소재와 접착제를 혼합하여 사용하여도 접착 및 부착성능 저하는 없는 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 논문에서는 방호·방폭 보강용 복합섬유 패널 제작을 위한 기초 연구를 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 성능목표에 맞는 패널 외피의 아라미드 : 폴리에스터 섬유 최적 배합비 6 : 4 과 6.5 : 3.5 의 배합으로 인장강도 최대값 2,348MPa 최대 신율 1.8% 값을 얻었다.
- (2) 우레탄계열 이액화 용액과 나노 복합소재를 혼합한 충전제는 우레탄계열 이액계 접착제의 최대 부착강도(28일) 3.3MPa보다 높은 최대 인장전단접착강도 4MPa 값을 얻었으며, 부착강도는 나노복합소재와 접착제를 혼합하여 사용하여도 접착 및 부착성능 저하는 없는 결과를 얻었다.
- (3) 나노복합소재로 제작한 모르타르의 압축강도는 40MPa를 상회하는 수준으로 보통포틀랜드시멘트와 유사한 결과치를 보였으나, 경량화 실험 분석 결과 진비중과 진비중에서 평균 30%의 경량화 성능을 보였다.

감사의 글

이 연구는 국토교통부 건설기술연구사업 방호·방폭 연구단 (과제번호 : 13건설연구S02)의 연구지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Feng Naiqian, Ma Changchen and Ji Xihuang. (1992). "Natural Zeolite for Preventing Expansion due to Alkali-Aggregate Reaction' Cement Concrete Aggregates, Vol.12, No.2, pp.93-96.
- Wang Hong and Gillot, Jack E. (1993). "Effect of Three Zeolite-containing Natural Pozzolan Materials on Alkali-Silica Reaction" Cement Concrete Aggregates, Vol.15, No.1, pp.24-30.
- Jeon Byeongok, Lee Woojin, Yun Seungjo, Kim Seongsu. (2000). "An Experimental Study of RC Beam reinforced with Carbon Fiber Sheet on the Structural Load-Carrying Capacity" Architectural Institute of Korea Journal Collection of Papers, Vol. 20 No. 2, pp193~196
- Christos G. Papakonstantinou, Michael F. Petrou, and Kent A. Harris. (2001). "Fatigue Behavior of RC Beams Strengthened with GFRP Sheets" Journal of Composite for Construction, November pp.246~253
- Thanasis C. Triantafillou, Nikokla Deskovic and Martin Deuring. (1992). "Strengthening of Concrete Structures with Prestressed Fiber Reinforced Pkastic Sheets" ACI Structural Journal, 5-6, V.89, No.3 pp235~244
- Kim WoonHak, Hwang SeongWun, Kang SeokWon. (2014). "A Basic Research for Ductile Hybrid fiber Composite Panels of Materials" Korea Society of Disaster Information, Vol.10, No.3, pp.388-395
- Choi JiSun, Kang SeokWon, Kim WoonHak (2015). "A Study on the Strength Properties of Mortar using Limestone Powder" Applied Mechanics and Materials, Vol.749, pp.343-347