

유사연성 하이브리드 섬유를 이용한 복합패널의 구성 재료 기초 연구

A Basic Research for Ductile Hybrid Fiber Composite Panels of Materials

Woonhak Kim^{*1}, Seokwon Kang^{a,*}, Seongwoon Hwang^{b,2}

^a Department of Civil Engineering, University of Hankyong Nationnal, 167 Joongang-ro Anseong 456-749, Republic of Korea

^b Department of Civil Engineering, University of Hankyong Nationnal, 167 Joongang-ro Anseong 456-749, Republic of Korea

^c CEO of Boorobill Co., Ltd, 146, Jeongpyeong-ro, Suji-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do, Korea, Republic of Korea

ABSTRACT

In this paper, usability and use force on the structure and does not have a big impact on the development of existing materials developed using materials to their full impact/blast resistant Complex configuration on the panel that can be implemented.

Each material of the characteristics so that they can exert in layers of layer formed panels in layers. Structure of the general structure is to keep strength and endurance, maintenance and minimize the damage can be utilized for knee brace to do basic research, for creating the panel.

KEYWORDS

Aramid
Polyester
Nano Composite
Elongation at Break
impact/blast resistant

본 논문에서는 구조물의 사용성 및 사용하중에 큰 영향을 미치지 않으며 기존에 개발되어진 재료를 활용하여 재료들의 방호·방폭 성능을 최대한 발휘할 수 있도록 복합패널을 구성하였다.

재료 각각의 특성이 발휘될 수 있도록 여러겹의 레이어 층으로 패널을 구성하였으며 구조물의 손상을 최소화 하고 강도와 내구성을 극대화 하여 일반 구조물 유지 보수에도 활용 가능한 보강용 패널의 제작을 위한 실험적 연구를 수행하였다.

아라미드
폴리에스터
나노복합소재
연신율
방호·방폭

© 2014 Korea Society of Disaster Information All rights reserved

Corresponding author. Tel. 82-10-5342-0738

Email. whkim@hknu.ac.kr

a Tel. 82-11-9720-0214. Email. hastally@nate.com

ARTICLE HISTORY

Recieved Jul. 26, 2014

Revised Jul. 28, 2014

Accepted Aug. 17, 2014

1. 서론

과거에 설계된 기존의 주요 도시 및 토목구조물은 방호·방폭성능을 고려하지 않았기 때문에 예기치 못한 테러 혹은 폭발사고에 취약한 성향을 가지고 있다. 하지만 국내의 기존 구조물 보수 및 보강 시장은 일반적인 하중에 대한 구조적인 보수·보강이나 미관적인 보수가 대부분이며, 현재 보수·보강에 활용되는 재료조차도 대부분 수입에 의존하고 있는 실정이며 기존의 콘크리트 구조물에 대해서는 방호·방폭에 대한 저항 성능을 향상시키기 위하여 별도의 보강이 요구된다.

콘크리트는 구조물의 관통피해를 억제하기 위해서 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 연구에서는 패널의 단층 구성 재료에 경량성, 고강도, 내화성능 등을 향상시켜 단층 각각의 개별적인 특수성능과 복합적인 패널 구성물로서 방호·방폭 성능을 극대화 할 수 있는 복합섬유 외피와, 외피사이에 충전재료 쓰이는 나노 복합소재에 대한 기초물성을 파악함으로써, 복합패널의 보강설계시 기초자료로 활용할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다.



Fig. 1. Blast Protection Sandwich Panels

2. 실험계획 및 방법

2.1 유사연성 하이브리드 복합섬유

본 실험에서 사용한 하이브리드 복합섬유 외피는 미국F사의 Blast Panels의 Design Value값을 참고하여 연신율의 향상에 초점을 두었으며 목표 연신율은 기존 양산패널의 Design Value 값인 1.76%을 상회하는 4% 설정, 인장강도 측정을 위하여 폭100mm, 두께 1.5, 3, 5mm 두께를 3가지 변수로 수행하였다.

주요 구성물로는 아마미드와 폴리에스터 섬유를 사용하였으며, Table. 1과 같이 일방향으로 배열하였다.

Table 1. Elongation at Break Combination for Securing Fiber

폴리에스터 섬유(B사 제품)	아라미드 섬유(S사 제품)	폴리에스터 2 : 아라미드 8

2.2. 혼화재용 나노 복합소재

2.2.1 제올라이트

경상북도 경주 인근지역인 대포에서 채취하여 분쇄한 천연제올라이트를 사용하였으며 그의 비중은 2.16이고 화학조성은 Table 3에 나타내었다. 입도분석기기에 분쇄한 천연제올라이트의 입도분석결과 천연제올라이트 시료의 중간 입경은 $5.39\mu\text{m}$ 비표면적은 $88.55\text{cm}^2/\text{g}$ 이다.

Table 2. Physical Properties of Zeolite

Type	Size	Fineness	Specific gravity
Zeolite	$5.39\mu\text{m}$	$88.55\text{m}^2/\text{g}$	2.16

Table 3. Chemical Composition of Portland Cement

Type(%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	TiO ₂	Na ₂ O
Portland Cement	20.36	5.77	2.84	64.33	2.05	2.51	1.3	0.3	0.24	-

2.2.2 알카리 활성화제

본 연구에서 제올라이트의 주요성분은 SiO₂, Al₂O₃ 등으로써, 화학적으로 안정한 상태를 가진 결정형 규산 알루미늄염(Alumino -Silicate)으로 일정한 크기의 미세기공과 규칙적인 배열을 가진 것으로 판단되어 이러한 실리카-알루미나 Glassy Chain이 견고하여 반응이 일어나기 위해서는 이 결합을 분해하여 내부의 반응 물질을 노출시키기 위하여 Table 4. 의 강알칼리성 물질인 NaOH를 사용하였다.

Table 4. Physical Properties of NaOH (Solution 50%)

Type	density	boiling point(°C)	melting point(°C)	pH
NaOH(50%)	1.525	145	12	12~13

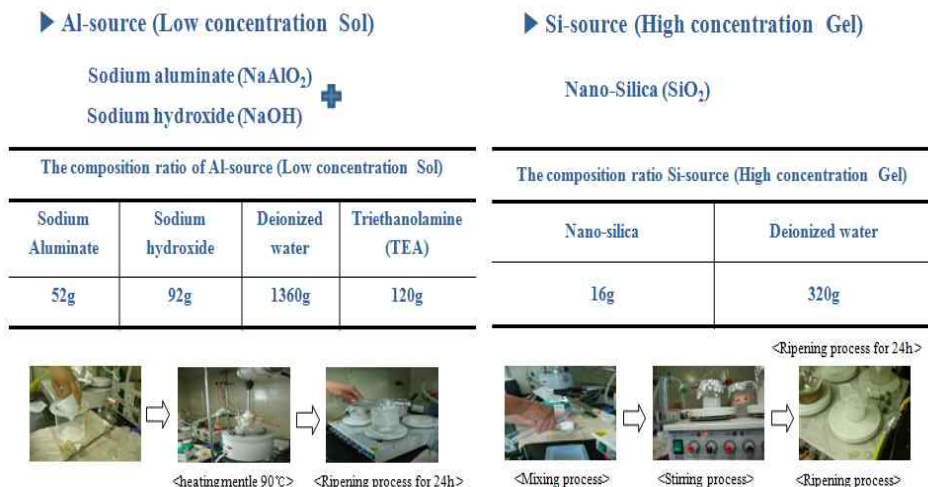


Fig. 2. Nano-Composite Materials Sol&Gel Synthesis Process

3. 패널 구성재료 기초물성 평가 실험

3.1 복합섬유 외피 인장강도 및 연성보강 효과 실험

섬유 strand로 보강한 무근콘크리트 보의 휨 실험은 2차에 걸쳐서 실시하였다. 이 실험의 목적은 하이브리드 시트를 제작 하는데 필요한 섬유의 적절한 혼합비를 결정하는 것이었다. 아라미드 섬유 및 폴리에스터 섬유등 두가지 섬유 strand를 사용하여 75(b) x 75(h) x 400(L)mm 무근콘크리트 보를 보강한 후에 3등분점 재하 방법으로 Fig. 4.과 같이 실험을 수행하였다.

Table 5. Tensile Strength Fiber Composite Panel Results

품 종	설계폭 (mm)	설계두께 (mm)	인장강도 (Mpa)	인장탄성율 (Mpa)	신율 (%)	비고	
고강도 하이브리드 섬유패널 (아라미드+폴리에스터 섬유)	DF-HP 1500	100	1.5	1,002	32,500	3	PE:A=2:8
	DF-HP 3000	100	3				
	DF-HP 5000	100	5				

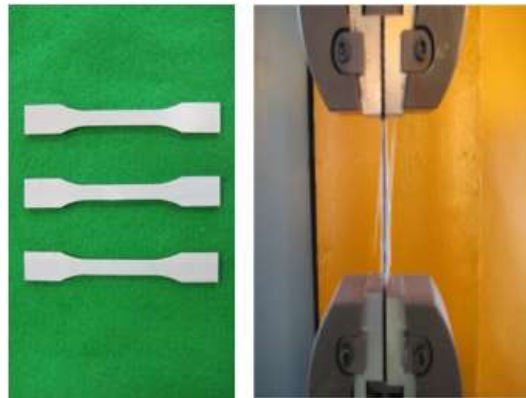


Fig. 3. Fiber Composite Tension Test

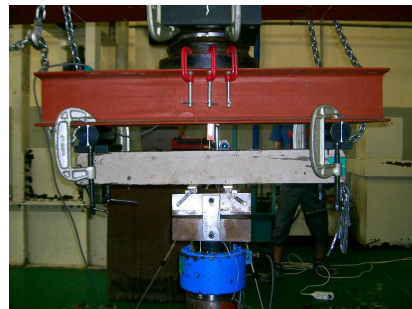
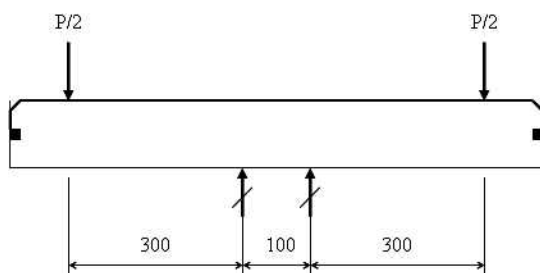


Fig. 4. Modified test setup: Plain concrete beam strengthened using fiber strands

실험에서 모두 LVDT와 load cell을 사용하여 변위 및 힘을 측정하였고, 섬유 strand에 직접 변형을 지시계를 부착하였으며, 데이터 로거를 이용 측정된 데이터를 저장하였다

인장시험 결과 외피의 설계두께가 증가함에 따라 인장강도는 차이는 없었으며, 연실율 증가에 대한 보강 효과를 알수 없어 무근 콘크리트보에 보강 휨실험을 수행하여 아라미드 섬유만으로 보강한 경우보다 폴리에스터 섬유를 함께 배합하였을 경우 연성에 가까운 거동을 보이면서도 아라미드 섬유만으로 보강한 경우보다 보강 효과가 큰 것으로 나타났다.



Fig. 5. Aramid Reinforced Specimens

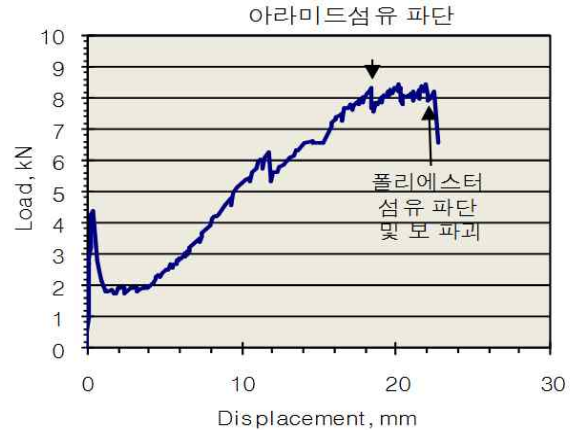


Fig. 6. Hybrid Reinforced Specimens

3.2 나노복합소재 충전재 물성 실험

3.2.1 압축강도 실험

알칼리 활성화 제올라이트 시멘트 모르타르의 배합비를 근거로 제올라이트 시멘트의 중량 대비 알칼리 활성화제 사용량과 잔골재율을 변화시켜 가면서 적정의 압축강도를 찾는 실험을 시행하였다. 알칼리 활성화제 사용량을 380~460kg/m³ 까지 20kg/m³씩 5단계로, 잔골재율을 30~42%까지 3%씩 5단계로 증가시키며 진행하였으며, 혼합수 양이 36g 일때 (W/B 20%) 가장 큰 압축강도(약 40MPa) 발현하였다.

NaOH(50%) 사용시 알칼리 활성화제 내부의 H₂O 성분으로 여분의 혼합수 첨가가 불필요 하며 적정 수준이상 혼합수 강도 발현 저하되는 것으로 나타났다.

Table 5. Result of Compressive Strength

Specimens	Compressive Strength(MPa)			
	3Days	7Days	14Days	28Days
ZC-CS1	21.55	34.70	35.25	35.00
ZC-CS2	22.41	38.10	39.75	39.35
ZC-CS3	22.84	40.37	41.73	43.22
ZC-CS4	22.86	40.42	42.10	43.24
ZC-CS5	22.89	39.14	40.64	41.53
ZC-CN1	22.10	38.10	39.97	40.89
ZC-CN2	22.64	39.50	41.12	42.05
ZC-CN3	22.64	40.20	41.58	42.97
ZC-CN4	22.87	40.43	41.81	43.20
ZC-CN5	23.93	38.05	40.20	43.10

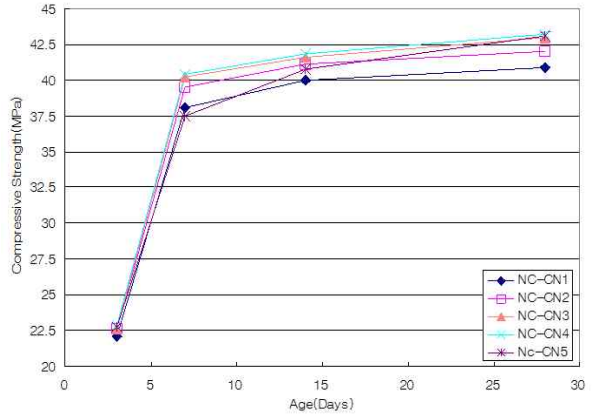
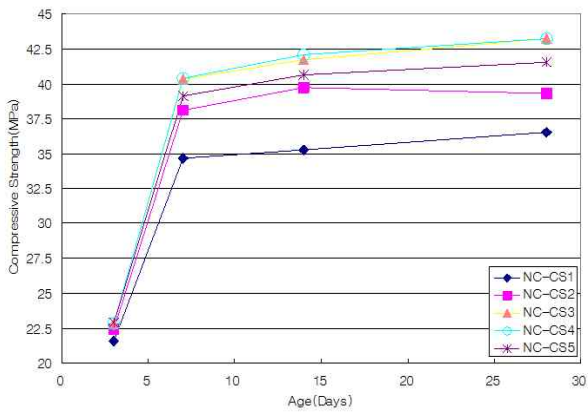


Fig. 7 Compressive Strength with Aggregate for Age Fig. 8 Compressive Strength with NaOH Rates for Age

구 분	최고온도	시험방법	규 준
TEST 1	650°C	최고온도상에서 1시간 가열	-
TEST 2	925°C	1시간 동안에 최고온도에 도달하도록 가열	KS 2257-1 (건축부재의 내화시험방법)
참고	철근의 구조적 변형한계에 도달하는 강재의 온도 : 538°C		

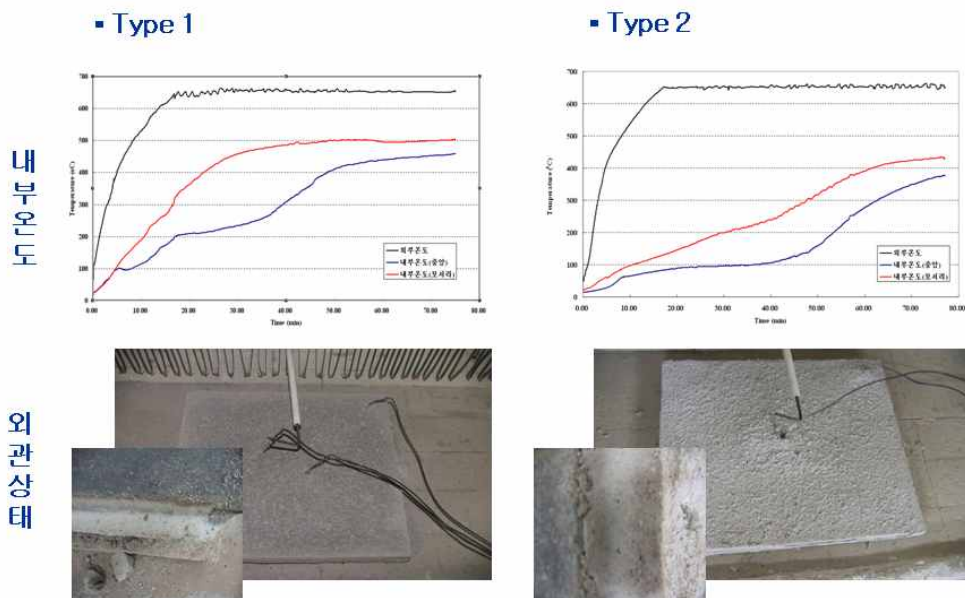


Fig. 9 Fire Resistance Performance Test 1

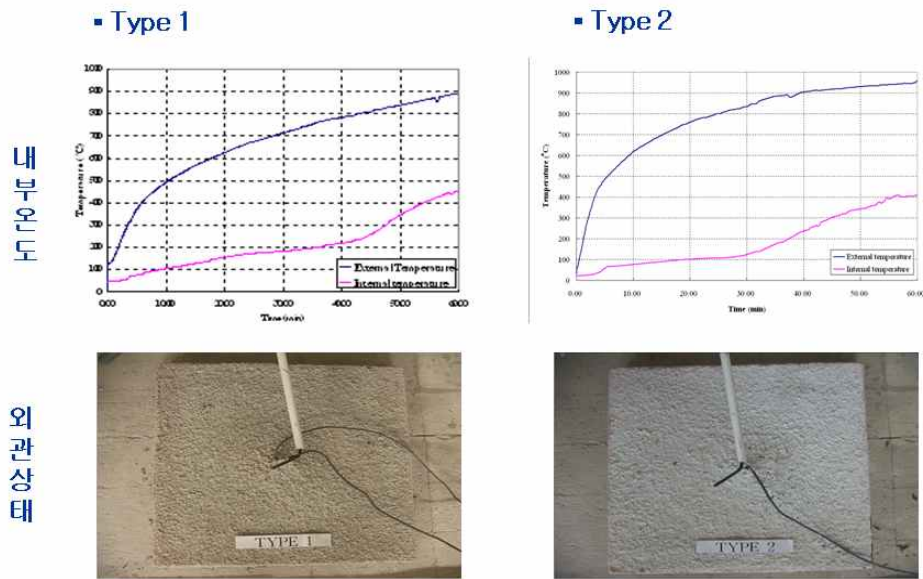


Fig. 10 Fire Resistance Performance Test 2

4. 실험결과와 고찰 및 분석

4.1 유사연성 복합패널 외피

Layer로 구성되는 패널 각층별 재료중 인장강도와 연신율을 향상시켜 각 층의 내충격 및 방폭 성능과 복합된 단일 패널 자체의 방호·방폭 성능을 극대화 하기 위하여 외피재료의 최적배합을 폴리에스터(Polyester) 섬유 및 아라미드 섬유(Aramid) 섬유를 선정하였으며, 인장강도 2,000MPa 이상을 유지하며 연신율을 5%로 증가시키기 위하여 아라미드 + 폴리에스터의 섬유 배합을 8 : 2로 설정하였다.

4.2 나노복합소재 충전재 기초 실험

Nano 소재를 응용한 혼화재는 기존 OPC보다 약간 상회하는 압축강도값을 나타내었으며, 고온으로 가열시 내부 온도가 기존의 내화 피복재에 비해 약 100°C 정도 낮아졌으며 이는 Nano 소재가 혼입되어 구조가 더욱 치밀해짐에 따라 내화성능이 향상되어졌다고 판단된다.

5. 결 론

본 논문에서는 유사연성 하이브리드 섬유를 이용한 복합패널의 구성 재료 기초연구 연구에 대한 기초 실험을 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 성능목표에 맞는 패널 외피 섬유기본 배합 기본 배합비 8 : 2 로 결정, 기본배합비로 목표치인 5%에 근접한 4%대의 연신율을 확보하였다.
- (2) 나노복합소재의 제조 및 압축강도 측정결과 초기에 큰 변화가 보이며 알칼리 활성제의 반응성이 매우 커서 초기에 거의 대부분의 강도를 발현하는 것으로 파악, NaOH량이 증가할수록 초기의 강도증가폭은 감소하였고 또한 대부분의 실험체들은 40MPa 이상의 강도를 나타내는 것으로 나타났다.
- (3) Nano 복합소재 충전재는 초기에 열에 대한 저항성이 우수하여 내부온도가 100°C를 기준으로 볼 때, 일반 OPC대비 약 4배 이상의 내화 성능이 향상되는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설기술연구사업(방호·방폭용 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료 및 성능평가 기술 개발)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Feng Naiqian, Li Guizhi and Zang Xuanwu, "High Strength and Flowing Concrete With a Zeolitic Mineral Admixture", *Cement Concrete Aggregates*, Vol.12, No.2, 1990, pp.61-69.
- Feng Naiqian, Ma Changchen and Ji Xihuang, "Natural Zeolite for Preventing Expansion due to Alkali-Aggregate Reaction", *Cement Concrete Aggregates*, Vol.12, No.2, 1992, pp.93-96.
- Wang Hong and Gillot, Jack E., "Effect of Three Zeolite-containing Natural Pozzolanic Materials on Alkali-Silica Reaction", *Cement Concrete Aggregates*, Vol.15, No.1, 1993, pp.24-30.
- Y. Kasai, K. Tobinai, E. Asakura, and N. Feng "Comparative Study of Natural Zeolites and Other Inorganic Admixtures in Terms of Characterization and Properties of Mortars", *CANMET/ACI 4th Int. Conf. on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete*, ACI-132, 1992, pp.615-634
- Jeon Byeongok. (2000). Lee Woojin, Yun Seungjo, Kim Seongsu, "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. (2001). Michael F. Petrou, and Kent A. Harris, "Fatigue Behavior of RC Beams Strengthened with GFRP Sheets", *Journal of Composite for Construction*, November pp.246~253
- Thanasis C. Triantafillou. (1992). Nikokla Deskovic and Martin Deuring, "Strengthening of Concrete Structures with Prestressed Fiber Reinforced Pkastic Sheets", *ASI Structural Journal*, 5-6, V.89, No.3 pp235~244
- M. Hussain. (1995). Alfarabi Sharif, I.A.Basunbul, M.H.Baluch, and G.J.AI-Suaimani, "Flexural Behavior of Precracked Reinforced Concrete Beams Strengthened Externally by Steel Plate", *ACI Structural journal* 1-2, V.92, No.1.