

방호·방폭 보강용 복합패널의 재료특성에 관한 연구

A Study on Material Properties of Composite Panel for Impact·Blast Resistance

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

^a Department of Civil Safety and Environmental Engineering, University of Hankyong National, 167 Joongang-ro Anseong 17595, Republic of Korea

^b Department of Civil Safety and Environmental Engineering, University of Hankyong National, 167 Joongang-ro Anseong 17595, Republic of Korea

ABSTRACT

In order to develop composite fiber panels that can maximize the protection and blast resistance of the existing structures by improving lightweight, high-strength and fireproof performances of the single layer material of precast panels, the basic properties of the inner and outer covers that are mixed with aramid fibers (AF) and polyester fibers (PF) were evaluated in this study. Also, a basic study was performed on the performance of composite fiber panels by testing Nano-sized composite materials that are lightweight and excellent in fire resistance for their compressive strength, bending strength and tensile strength.

본 연구에서는 기존 구조물의 방호·방폭에 대한 보강 방법으로서 프리캐스트 패널의 단층 구성 재료에 경량성, 고강도, 내화성능 등을 향상시켜 단층 각각의 개별적인 특수성능과 복합적인 패널 구성물로서 방호 방폭 성능을 극대화 할 수 있는 복합섬유 패널을 제작하기 위해, 아라미드섬유(Aramid Fiber, 이하 AF)와 폴리에스터섬유(Polyester Fiber, 이하 PF)로 혼합된 내피와 외피의 기초물성을 평가하였다. 또한, 내화성능이 우수하고 경량인 Nano size의 복합소재를 이용한 충전재의 압축강도, 휨강도, 인장강도를 평가하여 복합섬유패널의 성능에 대한 기초 연구를 수행하였다.

KEYWORDS

Aramid
Polyester
Nano Composite
Composite Panel
Impact/Blast resistant

아라미드
폴리에스터
나노복합소재
복합패널
방호·방폭

© 2016 Korea Society of Disaster Information All rights reserved

* Corresponding author. Tel. 82-10-5342-0738. Fax. 82-31-678-4674.
Email. whkim@hknu.ac.kr

1 Tel. 82-11-9720-0214. Email. hastally@naver.com

ARTICLE HISTORY

Received Nov. 16, 2016

Revised Nov. 22, 2016

Accepted Dec. 05, 2016

1. 서론

현재 전 세계적으로 이념이나 종교적인 이유 등으로 충돌, 테러 등의 각종 원인에 의하여 폭발사고가 빈번하게 발생하고 있으며, 특히 세계에서 유일한 분단국가인 한국에서는 지속적인 국제정세의 변화 속에서 북한이나 다른 국가들에 의한 테러 발생 가능성이 항시 존재하며, 몇 개의 대도시에 국가 인구 대부분이 밀집되어 있는 주거 특성을 가지고 있어 테러나 폭발사고가 발생할 때 매우 큰 국가적인 손실이 발생할 우려가 있다.

또한, 신설 구조물과 달리 과거에 설계된 기존의 주요 도시 및 토목구조물은 방호·방폭성능을 고려하지 않았기 때문에 예기치 못한 테러 혹은 폭발사고 위험에 노출되어 있는 실정이며, 기존 구조물의 방호·방폭 보강은 콘크리트 재료에만 치중하여 구조물의 부재치수를 크게 하여 충격에너지의 흡수 및 분산을 부재의 두께로 조절하는 것이 보통의 사례이다.

이와 같은 방법에 의해 방호·방폭에 대한 저항성능을 향상시키는 방법은 공간의 제약과 비용 증가의 문제 등이 발생하며, 이는 경제적 측면 또는 구조적인 측면에서 효율성이 떨어진다. 이에 콘크리트구조물이 기본적으로 갖춰야하는 구조부재로써 압축응력 부담 등의 성능 이외의 충격 및 폭발에 대한 저항 성능 향상에 대한 요구가 증가되어 휨 인장강도, 변형률 및 연성의 취약점을 보완하고자 고성능 섬유보강 시멘트 복합재료에 대한 연구가 국내·외적으로 활발히 진행되고 있으나, 사회기반시설물 및 민간시설물의 효율적인 방호·방폭 시스템을 구성하는 재료 및 자재에 대한 연구개발은 미흡한 실정이다.

이에 본 연구에서는 기존 구조물의 방호·방폭에 대한 저항성능을 향상 시키기 위해 경량성, 고강도, 내화성능 등을 확보할 수 있는 내·외피층과 충전재로 구성된 Fig.1과 같은 복합섬유패널을 연구개발하고자 한다. 이를 위해, 아라미드섬유(Aramid Fiber, 이하 AF)와 폴리에스터섬유(Polyester Fiber, 이하 PF)로 혼합된 내피층과 외피층의 기초물성을 평가하고, 내화성능이 우수하고 경량인 Nano size의 복합소재를 이용한 충전재의 압축강도, 휨강도, 인장강도를 평가하여 복합섬유패널의 성능을 평가하였다.

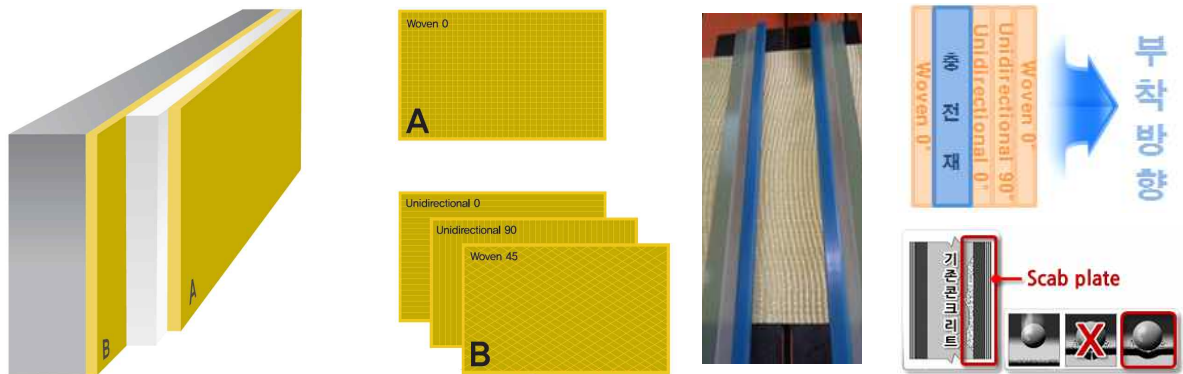


Fig. 1. Composite Panel

2. 관련 연구 동향

방호·방폭에 관한 연구는 지금까지 대부분 방위산업 등의 군사적 목적으로 국방 과학자 및 공학도들에 의해 방호·방폭의 실험적, 해석적, 그리고 수치적 연구에 대한 자료는 다른 연구 주제들과 달리 국가 보안 등의 문제로 인해 한정적으로 연구가 진행되어 왔다. (Yun et al., 2014), (Lee et al., 2011)

(Razaqpur et al. 2007)이 이격거리 3m에서 ANFO 22.68 kg, 35.38 kg의 폭발하중을 받는 콘크리트 부재의 보강 성능을 파악하고자 철근콘크리트 패널에 직교성의 유리섬유를 부착하여 성능을 실험하였고, (Cheeseman BA, et al., 2003)와 (Lee BL et al.1994)복합패널에 충격이 가해지면, 패널 전체 두께에서 전면층은 전단파괴를 후면층은 인장파괴에 유사한 파괴모드 형상을 비교·분석하였다. Morrill et al.과 Malvar et al.은 철근콘크리트 기둥을 강재와 FRP로 보강하여 기둥의 단면 형상에

따른 폭발 저항 성능을 파악하고, 구조물의 구조적 기능을 보존하는데 효율적인 방법에 대해 증명하였다. (Oswald et al., 2009)은 아라미드섬유로 보강된 콘크리트 조적식 벽체의 보강 성능을 파악하기 위하여 충격관(shock tube)를 이용하여 폭발 실험을 수행하였다.

국내에서는 (Yun et al., 2014)은 폭발하중의 폭풍파에 의한 강판보강 콘크리트 패널의 성능, 파편으로 발생될 수 있는 강판 보강 콘크리트 패널의 충격손상과 파편억제효과를 평가하여 실험결과와 비교·분석하였다. (Ha J.H et al., 2010)은 탄소섬유와 폴리에틸렌을 결합한 복합섬유를 개발하여 철근콘크리트 패널을 부착한 후 폭발 실험을 수행하여 FRP 보강에 방폭 성능 효과를 파악하였다.

국내의 문헌조사 분석을 통하여 본 연구에서는 구조물의 사용성과 사용하중에 큰 영향을 미치지 않고 방호·방폭 성능을 최대한 발휘할 수 있도록 AF와 PF를 결합한 복합섬유패널 제작·개발하여 폭발 저항 성능을 파악하고자 한다.

3. 실험계획

3.1 실험개요

기존 상용중인 구조물에 방호·방폭 보강을 위해 내·외피층과 충전재로 구성된 복합패널을 개발하였다. 내·외피층은 인장강도와 연신률의 증진을 위해 최적배합으로 구성된 AF 및 PF를 Mesh형으로 사용하였으며, 충전재는 이액계 우레탄 계열 복합재료용 접착제를 개발하여 방호·방폭 성능을 향상시키기 위해서 나노-size 합성무기물과 혼합하여 사용하였다. 본 연구에서는 복합섬유패널의 구성재료인 패널 내·외피층 및 충전재의 기초물성 및 특성을 파악하고자 한다.

3.2 사용재료

3.2.1 복합섬유 내·외피

주재료인 AF는 수지를 사용하지 않고도 높은 인장강도와 탄성율을 보이며, 내충격, 내마모성이 뛰어나고 고분자 소재의 장점인 비도전(非導電), 비자성(非磁性)을 겸비하고, 특히 자기 소화성(Self-extinguishing)으로 고온 하에서 용융, 수축하지 않고 탄화되는 성질이 있으며, 적은 크리프율을 나타내어 방호·방폭 성능에 우수한 재료이다. PF는 1,500denier를 연사한 3,000denier 섬유 AKILN 781D 제품 사용하였고, AF는 1,000denier를 연사한 2,000denier 섬유 ALKEX AF-1000 제품을 사용하여 복합섬유 내·외피층의 인장강도 및 연신율에 대한 기초 실험을 실시 하였다. AF와 PF의 배합은 섬유판 형태로 인장강도 2,000MPa과 신율 2%을 유지할 수 있도록 배합하였으며, 각 섬유에 대한 물성치는 Table 1에 나타내었다. 또한 Kevlar(AF)와 에폭시 복합물의 방탄효과를 Fig. 2(Autodyn Composite modeling, Ansys, Inc)에 나타내었다.

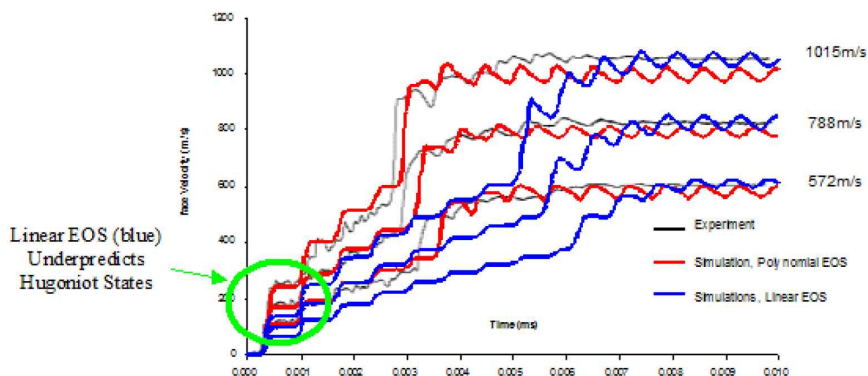




Fig. 2. Kevlar(AF)/Epoxy IFPT, Influence of Shock Effects.
(Experimental Result Courtesy of EMI)

Table 1. Fiber Property

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

3.2.2 충전재

복합섬유로 Sheet type 외피 형상을 만들기 위하여 사용된 에폭시계 접착제의 역학적 특성을 고찰하기 위하여 몰드에 주재와 경화제를 혼합한 에폭시 수지를 주입하여 온도 23±2°C의 상태에서 7일간 양생하여 시험편 5개씩을 제작하여 휨강도 시험을 수행하였으며, MT-606과 MT-700이 가장 우수한 61MPa를 나타내었다. 본 연구에서는 MT-700 접착제와 나노 복합소재를 사용하여 외피와 내피 사이에 충전재로 사용하였으며, 파우더 타입의 충전재 배합비율은 Table 3에 나타내었다.

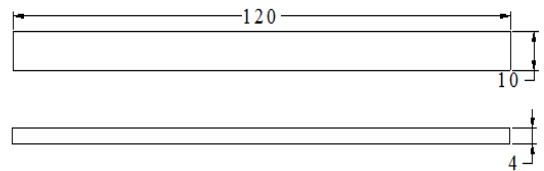
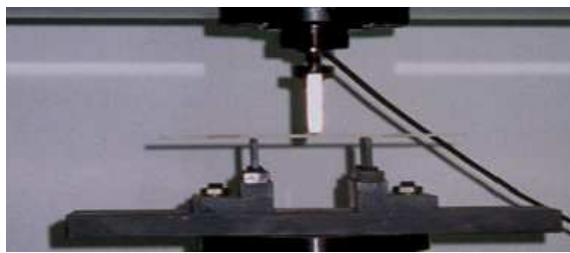


Fig. 3. Bending Test & Shape of specimen



	MT-307	복합플레이트 주입 접착용 에폭시 수지	Ecrete-5000	복합플레이트 접착용 변성 에폭시 몰탈
	MT-600	복합플레이트 밀봉용 에폭시 수지	MT-700	복합플레이트 단면복구용 에폭시 몰탈
	MT-606	복합플레이트 압착용 퍼티	MT-302	건식균열 보수용 에폭시 주입재

Fig. 4. Bond Type

Table 2. Bending Test Result

Type	Result (MPa)	Test Type
MT-307	57.9	KS M 3015
MT-600	53.7	
MT-606	61	
Ecrete-5000	13.3	
MT-700	61	
MT-302	55.4	

Table 3. Filler Fomulation

NO	Raw material	Part I	Part II
1	Nano-composite	25.00	25.00
2	Silica (1.0~0.2mm)	75.00	37.50
3	lightweight aggregate	-	37.50
Total (%)		100	100

4. 실험결과

4.1 내·외피 성능 비교 평가

수지가 함침된 내·외피 섬유층 두께는 약 1.0mm으로 제작되었다. 섬유판 두께는 제작환경에 따라 달라지나, 섬유판 두께가 변하여도 섬유량은 일정하기 때문에 인장성능은 변하지 않는 것으로 판단되므로 섬유층 단위 폭 당 인장강도 및 탄성계수는 일정이다. 따라서 섬유층의 인장강도 및 탄성계수를 cm폭 단위로 표현하기로 한다.

내·외피 섬유층의 인장강도를 파악하기 위하여 ASTM D-3039(Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics)의 규정을 준수하여 10.0tonf 용량의 재료시험기를 이용하여 변위제어로 시험하였다. 하중속도는 재료시험기에 부착된 변위계를 1.0mm/min.으로 지속적으로 제어하여 시편이 파단에 도달할 때까지 하중을 가력하였으며, 시험 중 시편을 고정하기 위해 유압식 그림을 사용하였다. 시편의 길이방향 변형을 측정하기 위하여 변형률 게이지를 부착하였으며, 측정된 변형률은 탄성계수의 측정에 사용되었다. 섬유판의 인장시험에서 측정된 아라미드섬유의 인장강도, 파단변형률 및 탄성계수를 표에 나타내었다. 표에 수록된 인장강도는 시험에서 측정된 최대하중을 섬유판의 설계단면적으로 나누어 계산되었으며 결과는 일반적으로 사용중인 보강패널과 비교하여 Table. 4에 나타내었다.

Table 4. Outer • Inner Layer performance

Test Type	Test Methods	Unit	Test Result	
Out-inner layer	tensile strength	ASTM D 3039	GPa	2.1
	tensile modulus	ASTM D 7269	MPa	1,063
Reinforcement panel A	tensile strength	ASTM D 3039	GPa	1.1
	tensile modulus	ASTM D 7269	MPa	863
Reinforcement panel B	tensile strength	ASTM D 3039	GPa	0.98
	tensile modulus	ASTM D 7269	MPa	843

또한 Ansys, Inc (Autodyn Composite modeling) 에서 References로 제공하는 이방성 재료 모델인 KFRP (AF & 에폭시 결합체) 아라미드 복합판과 1.1g의 강철조각이 483m/s의 속도로 충돌하는 시뮬레이션 확인결과 Fig.5와 같이 방탄효과가 입증되어 본 연구에서 수행한 아라미드 내·외피층의 방호·방폭 성능을 비교 검증할 수 있었다.

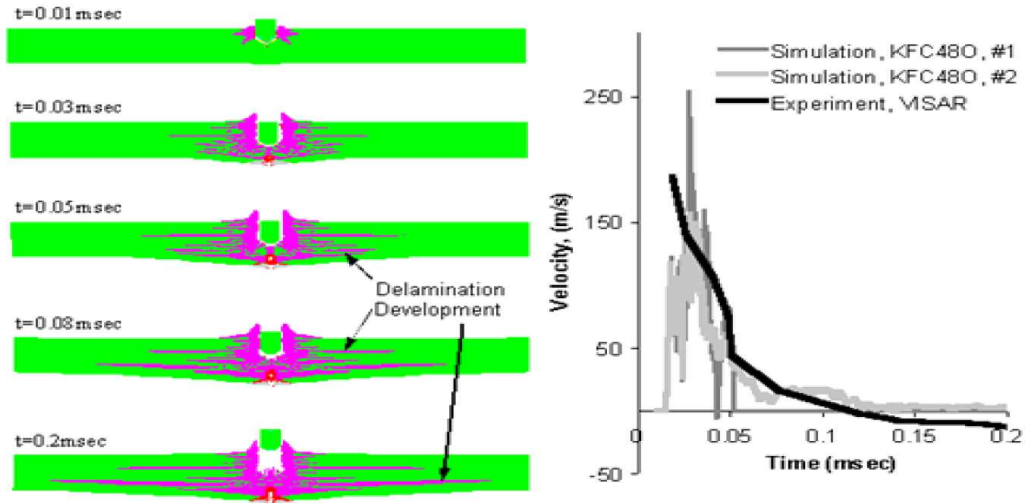


Fig. 5. Fragment Impact on KFRP at 483m/s, Simulation and Experimental Results

4.3 충전재 실험 결과

본 연구에서는 충전재로써 적절한 강도들을 가지고 있는지 확인하기 위해 접착제와 나노복합소재를 배합한 충전재의 압축 강도, 휨강도, 인장강도 실험을 수행하였다. 휨강도와 압축강도는 KS F 2476, 인장강도는 KS F 5104 방법으로 실험을 수행하여 Fig. 6 ~ Fig. 8과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 경량화 시험 결과 Table 5와 같이 파우더 타입의 나노복합물 충전재가 일반 OPC대비 31.7% 경량화 특성을 나타내었다.

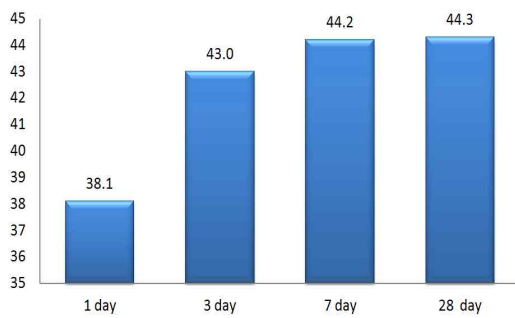


Fig. 6. Compression Strength

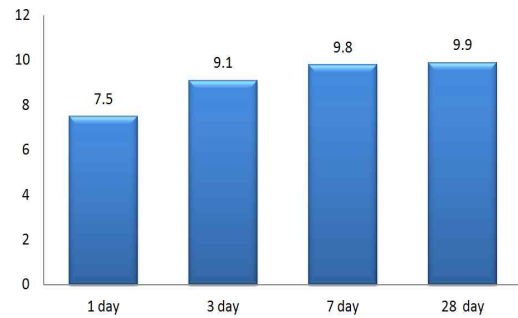


Fig. 7. Flexural Strength

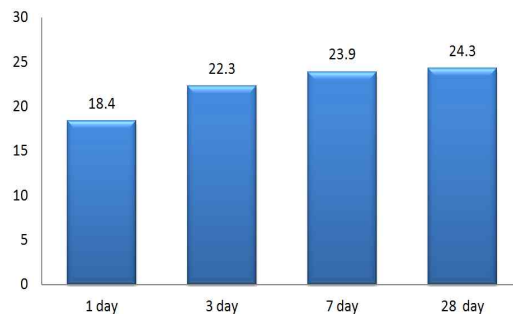


Fig. 8. Tensile Strength

Table 5. Lightweight Result

Test Item	absolute surface dried specific gravity				True Specific Gravity		
	1	2	3	Average			
Nano Composite	211.1	212.0	212.7	211.9	30% Reduction	729.0	31.7% Reduction
OPC	303.2	303.2	302.5	303.0		1,068.4	

5. 결론

방호·방폭 보강용 복합패널 제작을 위한 내·외피층과 충전재에 대한 기초물성 및 특성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 아라미드와 폴리에스터 섬유를 이용하여 제작한 외피형태의 패널의 인장강도는 2.1 GPa, 인장탄성을 1,063 MPa로 기존의 보강패널들과 비교하여도 높은 성능이 나오는 것으로 평가되었다.

(2) 충전재의 압축강도, 인장강도, 휨 강도 측정결과, 압축강도 44.3MPa, 휨 강도 24.3MPa, 인장강도 9.9MPa으로 측정되었다. 이는 나노소재 충전재가 일반 OPC보다 상회하는 결과를 얻을 수 있었으며, 또한 31.7% 경량성을 확보할 수 있었다.

(3) 접착제와 결합한 충전재의 28일 압축강도도 유사하게 측정된 것을 알 수 있다. 따라서 나노복합소재와 접착제를 적정 비율로 배합했을 때 강도의 저하나 다른 문제는 발생하지 않는 것으로 보아 충전재로서의 결합은 성공적이라고 할 수 있다.

감사의 글

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

References

- Ha, J.H., Lee, N.H., Kim, S.B., Choi, J.G., Kim, J.H. (2010) Experimental Study on Blast Resistance Improvement of RC Panels by FRP Retrofitting KCI concrete journal Vol. 22, No. 1, pp. 93~102
- Yun, S.H., Park, D.H. (2011) Numerical analysis of steel-strengthened concrete panels exposed to effects of blast wave and fragment impact load using multi-solver coupling, KSCE Vol. 31, No. 1A, pp. 25~33
- Lee, N.H, Kim, S.B, Kim, J.H, Choi, J.G. (2009) Blast experiment, Blast overpressure, Measurement system, Procedure of blast experiment, Protective design : (I), KSCE Vol. 29, No. 5A, pp. 557~564
- Razaqpur, A. G., Tolba, A., and Contestabile, E., (2007) Blast Loading Response of Reinforced Concrete Panels Reinforced with Externally Bonded GFRP Laminates, Composite Part B : Engineering, Vol. 38, pp. 535~546
- Cheeseman BA, Boggeti TA. (2003) Ballistic impact into fabric and compliant composite laminates. Compos Struct 2003;61:161 - 73.
- Lee BL, Song JW, Ward JE.(1994) Failure of spectra polyethylene fibre-reinforced composites under ballistic impact loading. J Compos Mater 1994;28:1202 - 25.

- Morrill, K. B, Malvar, L. J., Crawford, J. E., and Ferritto, J. M., "Blast Resistant Design and Retrofit of Reinforced Concrete Columns and Walls," Structures-Building on the Past: Securing the Future Proceedings of Structures Congress 2004, Nashville, Tennessee, USA, 2004, pp. 1~8.
- Malvar, L. J., Crawford, J. E., and Morrill, K. B., "Use of Composites to Resist Blast," Journal of Composites for Construction, Vol. 11, No. 6, 2007, pp. 601~610.
- Oesterle, M. G.,(2009) Blast Simulator Wall Tests: Experimental Methods and Mitigation Strategies for Reinforced Concrete and Concrete Masonry, Doctoral Thesis, University of California, San Diego, USA, 2009
- Chen, Z. F. and Wan, L. L., "Evaluzation of CFRP, GFRP, and BFRP Material Systems for the Strengthening of RC Slabs," Journal of Reinforced Plastics and Composites, Vol. 27, No. 12, 2008. pp. 1233~1243.
- Autodyn Composite modeling. Ansys, Inc