섬유보강 콘크리트 방호벽의 방호성능 향상 검토

Evaluation of Protective Performance of Fiber Reinforced Concrete T-Wall

이 인 철¹

김 홍 섭¹

남 정 수²

김 석 봉³

김 규 용^{1*}

Lee, In-Cheol¹ Kim, Hong-Seop¹ Nam, Jeong-Soo² Kim, Suk-Bong³ Kim, Gyu-Yong^{1*}

Department of Architectural Engineering, Chungnam University, Yuseong-Gu, Daejeon, 305-764, Korea ¹

Graduate School of Engineering, Muroran Institute of Technology, Hokkaido, Japan ²

Division of Civil and Environmental Engineering, Korea Military Academy, Nowon-Gu, Seoul, 139-804, Korea ³

Abstract

Concrete is an outstanding material in terms of its impact and blast resistance performance. However, there a limitation of concrete is its risk of collapse due to the brittle failure and spalling. Increasing the thickness of members was used as a method to enhance the protective performance of concrete, despite the resulting inefficient space. To solve this problem, different types of fiber reinforced concrete were developed. Recently, another type of fiber reinforced concrete is also being developed and applied as a material that offers protection against impacts and blasts by increasing the flexural toughness of concrete. In this study, the test was conducted to evaluate the impact resistance performance of fiber reinforced concrete and mortar according to impact of high-velocity projectile. A concrete T-wall was also tested to evaluate its protective performance from fragment by 155mm-thick artillery shell. The test results revealed that improving flexural strength through fiber reinforcement inhibited cracks and spalling of rear, and spalling of front by high-velocity impact. As such, it is expected to improve the protective performance of the T-wall and reduce the thickness of the member.

Keywords : protective wall(T-wall), protective performance, projectile, 155mm-thick artillery shell, fragment, spalling of rear

1. 서 론

일반적으로 콘크리트는 충격 및 폭발하중에 대하여 상대적으로 큰 저항능력을 지니는 것으로 알려져 있으나, 폭발하중 및 비산물의 충격 등 극단하중에 대하여 균열이나 국부파괴가 발생하여 취성적으로 파괴되는 한계가 있다. 따라서 극한하중을 고려한 콘크리트 재료의 방호성능을 향상시키기 위한 보강이 필요하다.

콘크리트의 방호성능을 향상시키기 위한 방법으로 기존에

는 콘크리트의 두께를 증가시키거나, 외부를 흙으로 덮는 등의 기초적인 방법이 주로 사용되어 왔으나, 이러한 방법 등은 비용의 증가 및 공간의 활용에 있어 비효율적인 한계점이 있다.

최근 콘크리트에 섬유를 보강하여 콘크리트 자체의 휨·인장강도를 향상시키거나, 섬유보강 패널의 부착을 통하여 방호성능을 향상시키는 방법에 관한 연구가 국·내외의 연구자들에 의해 활발하게 진행되고 있다[1,2,3]. ECC, SIFCON 등과 같은 형태의 섬유보강 시멘트 복합재료는 다량 혼입된 섬유의 구속효과에 의해 휨·인장성능을 극대화시킨 재료로써 내진/내폭구조물, 보수/보강용 재료로 사용이 검토되고 있다. SIFCON은 강섬유를 형틀에 배치한 후 시멘트 슬러리를 침투시켜 제조하는 것으로 섬유의 혼입률을 극대화시켜 휨인성을 향상시키고 이로 인한 방호성능을 기대할 수 있으나, 구조물용으로 사용하기에는 시공방법 등

Received : April 22, 2013

Revision received : August 26, 2013

Accepted : August 26, 2013

* Corresponding author : Kim, Gyu-Yong

[Tel: 82-42-821-5623, E-mail: gyuyongkim@cnu.ac.kr]

©2013 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

Table 1. Design of experiment(Series I)

Specimen condition				Impact condition					Evaluation contents				
ID. ¹⁾	Fiber type	Fiber volume fraction (vol.%)	Size (mm)	Projectile			Velocity (m/s)	Impact energy (J)					
				Material	Diameter (mm)	Mass (g)							
C-Plain	None	0	100×100 (W×H)	Steel	10	4.07	350	320	○Mechanical properties 1) Slump(mm) 2) Compressive strength(MPa) 3) Flexural strength(MPa)				
C-STF	STF												
C-PP	PP	1.0											
C-NY	NY												
M-Plain	None	0											○Impact resistance performance 1) Failure condition 2) Failure thickness 3) Failure area
M-STF	STF												
M-PP	PP	2.0											
M-NY	NY												
Pre-STF	STF												
Pre-PP(m)	PP(macro)	10.0											

1) C : Concrete, M : Mortar, Pre : Pre-packed, STF : Steel fiber, PP : Polypropylene, NY : Nylon

에 대한 대책이 필요할 것으로 판단된다.

반면, 섬유보강 콘크리트는 콘크리트 비빔시 단섬유를 함께 혼합하여 일반 콘크리트와 같이 타설하여 제작하는 것으로 시공방법이 비교적 쉬우며, 부재 자체의 성능을 향상 시켜 별도의 추가적인 보강을 필요로 하지 않기 때문에 구조적, 공간적 효율을 높이는데 유리한 공법이라 할 수 있다.

본 연구에서는 섬유보강 콘크리트 및 모르타르 소형 시험체에 대하여 고속 비상체의 충돌 시험을 실시하여 내충격 성능을 평가하였으며, 내충격 성능이 우수하게 평가된 섬유보강 콘크리트 및 모르타르를 선정하여 방호벽으로 사용되고 있는 콘크리트 T-wall을 제작하여 155 mm 포탄의 파편에 의한 방호성능을 평가하였다.

2. 고속비상체 충격 시험

2.1 실험계획

Table 1은 고속비상체의 충격에 의한 섬유보강 콘크리트 및 모르타르의 내충격 성능을 평가하기 위한 실험 계획으로 보강섬유의 종류는 STF, NY 및 PP섬유 3종류를 사용하였으며, 섬유보강 콘크리트는 1.0 vol.%, 모르타르는 2.0 vol.% 혼입하였다. 또한, 섬유의 혼입률을 극대화하기 위한 방법으로 자체 강성이 있어 형상 유지가 가능한 STF와 매크로 타입의 PP섬유를 활용하여 혼입률 10.0 vol.%의 프리팩트 시험체를 제작하였다.

고속 충격 시험용 시험체의 크기는 100×100×30 mm(가로×세로×두께)로 하였으며, 충격조건으로 10

mm의 강구를 350 m/s의 속도로 충격시켰다.

평가항목으로 역학적 특성은 슬럼프, 압축강도, 휨강도를 측정하였으며, 내충격 성능은 충격시험 후 시험체의 파괴성상, 표면관입깊이, 배면바리두께, 파괴면적손실률을 평가하였다.

본 연구에 사용된 재료의 물리적 성질은 Table 2와 같으며, 콘크리트 및 모르타르의 배합은 Table 3에 나타내었다. 유기섬유의 경우 STF와 달리 콘크리트에 혼입시 슬럼프의 저하가 크게 발생하기 때문에 배합의 수정을 통하여 목표 슬럼프를 만족하도록 하였다.

Table 2. Properties of material

Material	Properties
Cement	Portland cement (Density 3.15g/cm ³ , Fineness 3,630cm ² /g)
Fly ash	Density 2.30g/cm ³ , Fineness 3,228cm ² /g
Sand	Sea sand(Density 2.6g/cm ³ , Absorptance 0.97%)
Gravel	Crushed gravel(Maximum size 20mm Density 2.62g/cm ³ , Absorptance 0.90%)
Steel fiber (STF)	Length 30mm, Diameter 500 μ m Tensile strength 1,140MPa, Density 7.85g/cm ³
Nylon (NY)	Length 12mm, Diameter 12 μ m Tensile strength 896MPa, Density 1.14g/cm ³
Polypropylene (PP)	Length 12mm, Diameter 25 μ m, Density 0.91g/cm ³ Tensile strength 600MPa
Polypropylene (Macro)	Length 40mm, Diameter 500 μ m Tensile strength 50MPa, Density 0.91g/cm ³

Table 3. Mix proportion of concrete and mortar

		F_{ck}	W/B (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m ³)				
					W	C	FA	S	G
Concrete	None, STF	40	40	44.4	163	326	82	757	956
	NY, PP		40	55	180	360	90	886	750
Mortar	STF, NY, PP		40	100	400	850	150	350	–

Slump : 150±30mm

2.2 시험체 제작 및 시험방법

1) 압축강도 시험

압축강도 시험은 Ø100×200 mm의 원주형 공시체를 제작하여, KS F 2405 『콘크리트의 압축강도 시험방법』에 준하여 재령 28일에서 공시체를 연마한 후 UTM(만능재료시험기)를 사용하여 측정하였다.

2) 휨강도 시험

휨강도 시험은 100×100×400 mm의 각형 시험체를 제작하여, KS F 2408 『콘크리트 휨강도 시험 방법』에 준하여 4점 재하 실험을 실시하였다.

3) 내충격 성능평가

Figure 1은 고속 비상체의 충돌에 의한 방호재료의 내충격 성능평가 시험장치로서 압축가스를 사용하여 비상체를 고속으로 발사시켜 시험체에 충격을 가하는 장치이다. 본 연구에서는 질소가스를 사용하여 350 m/s의 속도를 구현하였으며, 충격에 의한 시험체의 파괴성상 관찰 후 Figure 2와 같이 파괴깊이 및 파괴면적손실률을 평가하였다.

Figure 1. Impact test device by high velocity impact of projectile

where, d : Specimen thickness(mm)

t_s : Penetration depth of front(mm)

$\frac{\text{Crater area(mm}^2\text{)}}{\text{Specimen area(mm}^2\text{)}}$

t_r : Spalling thickness of rear(mm)

(a) Penetration depth and spalling thickness

(b) Crater area

Figure 2. Penetration depth, spalling thickness and crater area of specimen by impact test

2.3 실험결과 및 고찰

1) 역학적 특성

Table 4는 역학적 특성 평가 결과를 나타낸 것으로 배합수정 및 감수제 첨가량의 조절을 통하여 모든 시험조건에서 목표 슬럼프를 만족하였다. 압축강도의 경우 유기섬유 보강 콘크리트 및 모르타르는 다소 저하되었으나, STF의 경우 향상되는 경향을 나타내었다. 다량의 섬유혼입은 매트릭스 내부의 공극을 증가시켜 압축강도가 다소 저하시키는 경향을 보였으나, STF의 경우 섬유자체의 강성으로 인하여 압축강도가 향상된 것으로 판단된다. STF 프리팩트의 경우 다량의 섬유에 의한 구속효과와 STF 자체의 강성으로 인하여 압축강도가 크게 증가한 반면, 매크로타입의 PP섬유의 경우 섬유의 강성이 작아, 압축강도가 저하되는 것으로 판단된다.

Table 4. Mechanical properties

ID.	Volume fraction (vol.%)	Slump (mm)	Compressive strength (MPa)	Flexural strength (MPa)
C-Plain	1.0	181.0	50.6	4.0
C-STF		153.5	52.4	10.0
C-PP		154.5	48.0	4.7
C-NY		144.5	47.1	6.5
M-Plain	2.0	175.0	51.0	2.4
M-STF		150.5	52.2	14.6
M-PP		143.5	49.7	7.0
M-NY		151.0	50.5	9.6
Pre-STF	10.0	-	78.7	35.2
Pre-PP(m)			29.5	27.7

휨강도의 경우 섬유보강으로 인하여 크게 향상되었으며, 섬유의 가교작용으로 인한 응력의 분배 및 균열발생의 억제에 의한 것으로 판단된다. 프리팩트 콘크리트의 경우 10.0 vol.%의 높은 섬유 혼입률에 의해 섬유보강 콘크리트에 비하여 휨강도가 크게 향상되었다.

2) 내충격 성능

Table 5에 고속 비상체의 충격에 의한 시험체의 파괴성상을, Figure 3에 파괴깊이 및 파괴면적손실률을 나타내었다. 섬유무보강 콘크리트의 경우 충격파에 의해 배면에 큰 박리가 발생하였으며, 섬유무보강 모르타르는 비상체가 관통되면서 시험체가 파괴되었다.

Table 5. Failure condition

ID.	C-Plain		C-STF	
	Front	Rear	Front	Rear
Failure Condition
ID.	C-PP		C-NY	
	Front	Rear	Front	Rear
Failure Condition
ID.	M-Plain		M-STF	
	Front	Rear	Front	Rear
Failure Condition
ID.	M-PP		M-NY	
	Front	Rear	Front	Rear
Failure Condition
ID.	Pre-STF		Pre-PP(m)	
	Front	Rear	Front	Rear
Failure Condition

섬유보강 콘크리트 및 모르타르는 섬유보강으로 인하여 배면박리가 크게 억제되었는데 이는 매트릭스 내부의 혼입섬유의 가교작용으로 인하여 배면으로 전달되는 충격파를 완화시키고, 균열의 발생을 억제하기 때문인 것으로 판단된다.

섬유보강 콘크리트의 경우 STF를 보강한 경우 배면의 일부가 박리되는 파괴가 발생하였으며, PP섬유 및 NY섬유를 혼입한 경우가 배면박리 억제효과가 더 큰 것으로 나타났다. 유기섬유를 혼입한 경우 휨강도의 향상은 STF를 혼입한 경우 보다 다소 낮았으나, 섬유의 혼입개체수가 많아 배면박리 억제효과가 더 큰 것으로 판단된다.

섬유보강 모르타르의 경우 2.0 vol.%의 섬유혼입으로 인하여 배면에 균열이 발생하는 정도로 모든 시험 수준에서 배면박리가 발생하지 않았다.

프리팩트 시험체의 경우 섬유보강 모르타르와 동등수준의 배면박리억제효과를 보였으나, 본 연구의 충격범위에서는 10.0 vol.%의 높은 섬유혼입률에 의한 효과는 확인할 수 없었다.

(a) Penetration depth and Spalling thickness

(b) Spalling thickness and area

Figure 3. Failure thickness and area by impact of high-velocity projectile

Table 6. Design of experiment(Series II_Mock up)

Specimen condition				Impact condition			
ID.	Fiber type	Fiber volume fraction (vol.%)	Size (mm)	Reclamation state of foundation	Shell	Separation distance (m)	Evaluation contents
RC ¹⁾	-	-	H3200×L1000×W1600 (T300)	Stationary	155mm artillery shell	7.5	○ Mechanical properties
			H4200×L1000×W1600 (T300)	Reclamation (1m)			1) Slump(mm)
BRC ²⁾			H3200×L1000×W1600 (T300)	Stationary			2) Compressive strength(MPa)
FRC ³⁾ -STF	STF	1.0	H4200×L1000×W1600 (T300)	Reclamation (1m)			3) Flexural strength(MPa)
FRC-PA	PA5)						○ Protective performance
FRM ⁴⁾ -NY+AM	NY+AM ⁶⁾	2.0 (1.8+0.2)			1) Failure condition		
					2) Failure depth(mm)		
					3) Number of crater		

1) Reinforced concrete, 2) Blast furnace slag concrete, 3) Fiber reinforced concrete. 4) Fiber reinforced mortar

5) PA : Polyamide, 6) AM : Aramid

3. 방호벽 방호성능 평가

3.1 실험계획

Table 6은 155 mm 포탄의 폭발에 의해 발생하는 파편에 대한 방호벽의 방호성능 평가를 위한 실험계획을 나타낸 것으로 섬유무보강 콘크리트의 경우 기존의 군사 방호시설용 방호벽으로 사용되고 있는 T형태의 일반철근 콘크리트(RC) 벽체(T-wall, H3200×L1000×W1600(T300))를 제작하였다. 또한, 산업 부산물인 슬래그를 사용하여 일반 콘크리트 시험체에 비하여 시공단가를 저감시키고 친환경 재료를 사용한 슬래그 결합재 콘크리트(BRC)를 제작하였다.

섬유보강 시험체는 고속 비상체의 충돌 시험 결과 우수한 내충격 성능이 확인된 섬유보강 콘크리트 2수준과 모르타르 1수준을 선정하였으며, 섬유보강 콘크리트의 경우 STF 및 PA(폴리아미드)섬유를 1.0 vol.% 혼입한 시험체를 제작하였다. PA섬유는 마이크로 NY섬유를 공기압출성형을 통해 부착 비표면적을 크게 한 복합다발형 단일개체로 콘크리트의 시공성능, 역학적 특성 및 내충격 성능의 향상을 고려한 것으로 NY섬유를 대체하여 사용하였다[4]. 섬유보강 모르타르의 경우 마이크로 NY섬유를 1.8 vol.%, AM(아라미드) 섬유 0.2 vol.% 복합 혼입한 시험체를 제작하였다. AM섬유는 기존의 방탄 소재로 사용되고 있어 콘크리트에 혼입하여 사용하였을 경우 우수한 내충격 성능이 기대되어 섬유보강 모르타르 제작시 복합 혼입하였다. 시험체의 크기는 기존의 군사 방호시설용 방호벽으로 사용되고 있는 T형태의 벽체(T-wall, H3200×L1000×W1600(T300))를 기준으로 하

였으며, 폭발에 의해 시험체가 전도되는 것을 방지하기 위해 시험체 길이를 1,000 mm 증가시켜 지면에 매립하였다.

폭파시험은 155 mm 포탄을 중심으로 시험체를 원형으로 7.5 m 이격시켜 배치하여 파편의 영향이 시험체에 동일하게 적용되도록 하였다.

평가항목으로 역학적 특성은 압축강도, 휨강도를 평가하였으며, 방호성능은 포탄 파편의 충돌에 의한 최대관입깊이, 파괴발생개소 및 배면파괴정도를 측정하였다.

방호벽 제작에 사용된 재료의 물리적 성질 및 콘크리트 배합은 앞선 2장에 나타낸바와 같으며, PA와 AM섬유의 물리적 성질은 Table 7에, 슬래그 결합재 콘크리트의 배합은 Table 8에 나타내었다.

Table 7. Properties of material

Material	Properties
BFS	Density : 2.90g/cm ³ , Fineness : 6,500cm ² /g
Polyamide (PA)	Length 30mm, Diameter 500 μ m Density 1.14g/cm ³ , Tensile strength 594MPa
Aramid (AM)	Length 12mm, Diameter 11 μ m Density 1.44g/cm ³ , Tensile strength 3,500MPa

Table 8. Mix proportion of concrete

	W/B (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m ³)						
			W	C	BFS	A ¹⁾	CS	S	G
Blast furnace slag concrete	45	45	180	-	340	40	20	739	935

1) A : Activator

3.2 시험체 제작 및 시험방법

방호벽(T-wall)의 제작은 Figure 4에 나타난 바와 같이 배치플랜트에서 콘크리트 비빔을 실시하여 타설 직전 슬럼프를 측정하였다. 압축강도 및 휨강도 평가용 시험체는 방호벽 타설에 사용한 콘크리트 및 모르타르를 사용하였으며, 대기 환경에 노출된 상태에서 28일간 양생을 실시하였다.

Figure 5는 방호벽 시험체 및 155 mm 포탄의 설치상황을 나타낸 것으로 파편이 수평방향으로 360° 비산되도록 지면과 수직방향으로 정치하여 신관을 대체한 뇌관으로 기폭하였으며, 모든 방호벽 시험체에 파편이 충돌할 수 있도록 7.5 m이격된 거리에 원형으로 시험체를 배치하였다.

Figure 4. Specimen manufacturing process

Figure 5. Specimen and shell

3.3 실험결과 및 고찰

1) 역학적 특성

Table 9는 역학적 특성 평가 결과를 나타낸 것으로 BRC 시험체를 제외한 모든 시험체는 목표슬럼프를 만족하였다.

BRC의 경우 고로슬래그의 높은 분말도에 의한 비표면적이 증가하여 슬럼프가 감소하는 것으로 판단된다.

압축강도의 경우 RC시험체의 경우 42.3 MPa로 설계압축강도를 상회하는 결과로 나타났으나 FRC 및 FRM시험체의 경우 RC시험체에 비하여 다소 낮은 것으로 평가되었다. 한편, BRC 시험체의 경우 26.0 MPa로 보통 포틀랜드 시멘트를 사용한 시험체에 비하여 낮게 측정되었다.

한편, 휨강도의 경우, 실내실험의 결과와 같이 STF보강 콘크리트, NY+AM보강 모르타르, PA섬유보강 콘크리트 순으로 휨강도가 향상되었다.

Table 9. Mechanical properties

ID.	Volume fraction (vol.%)	Slump (mm)	Compressive strength (MPa)	Flexural strength (MPa)
RC	—	185.0	42.3	3.8
BRC	—	90.0	26.0	3.5
FRC-STF	1.0	183.5	38.6	7.4
FRC-PA	1.0	187.5	37.7	5.9
FRM-NY+AM	1.8+0.2	197.5	33.3	7.1

2) 155 mm 포탄의 파편에 의한 방호성능

Figure 6은 155 mm 포탄의 파편에 의한 거치식 콘크리트 방호벽의 방호성능 평가결과를 나타낸 것으로 폭압에 의해 시험체의 전도가 발생할 것으로 예상하였으나, 시험체의 자중 및 T형태의 받침에 의해 전도현상은 발생하지 않았다.

한편, RC시험체는 파편의 충돌에 의한 최대파괴깊이는 134 mm로 철근이 노출되었으며, 주철근이 끊어졌다. 또한, 배면에 최대 폭 20 mm로 큰 균열이 발생하였다. 반면, BRC시험체의 경우 최대파괴깊이 126 mm로 RC시험체와 유사한 파괴 깊이가 측정되어 철근이 노출되었으나, 배면의 균열이 미세한 정도로 측정되었다.

Figure 7은 매립식 콘크리트 방호벽의 파편효과 평가 결과를 나타낸 것으로 모든 시험체에서 배면에 균열이 발생하는 정도로 큰 파괴는 발생하지 않았다. 그러나, 표면파괴에 있어서 RC 시험체의 경우 충격에 의한 피복콘크리트가 큰 면적으로 박리되었으나, 섬유보강 콘크리트의 경우 섬유보강으로 인하여 표면부 콘크리트가 들뜨거나, 파편이 박리되는 것이 억제되는 것을 확인 할 수 있었다.

Figure 6. Failure condition of stationary specimen

Figure 7. Failure condition of reclamation specimen

Table 10. The measure of application of fiber reinforced concrete

	The range of application			Physical properties of fiber		Mechanical properties		Protective performance
	W/B	Volume fraction (vol.%)	Construct ability (Slump)	Tensile strength (MPa)	Density (g/cm ³)	Compressive strength(MPa)	Flexural strength(MPa)	Limit thickness of failure of rear side
RC	0.4~0.55	-	General	-	-		more than 3.0	t
BRC			Consideration of mix					
FRC-STF	0.4~0.55	1.0	Construct ability by fiber reinforcement	about 1,140	7.85	24	more than 5.0	0.6t
FRC-PA	0.4~0.55	1.0		about 594	1.14	40	more than 5.0	0.6t
FRM-NY+AM	0.4~0.55	2.0 ¹⁾		Nylon	about 896	1.14		more than 7.0
			Aramid	about 2,920	1.44			

1) Nylon : Aramid = 9 : 1

155 mm 포탄의 폭발에 의해 발생하는 파편의 크기 및 속도, 시험체에 충돌하는 파편의 개수 등의 차이에 의해 각 시험체별 내충격 성능에 대한 뚜렷한 차이를 확인하기는 어려웠으나, 섬유보강으로 인하여 배면의 균열발생 억제 및 표면부 콘크리트의 박리 등이 억제되는 것으로 나타났다.

3) 방호벽으로서의 섬유보강 콘크리트의 활용

Table 10은 섬유보강 콘크리트의 방호콘크리트 적용 방안을 나타낸 것으로 본 연구 범위의 실내 충격 시험과 155 mm 포탄의 파편에 대한 섬유보강 콘크리트의 파괴 저감효과에 대하여 섬유무보강 콘크리트와 비교하여 적용안을 제시하였다. 섬유무보강 콘크리트로서 일반 철근 콘크리트와 슬래그 결합재를 활용한 철근콘크리트를 사용한 경우의 배면파괴 한계두께를 t로 하였을 때, 섬유보강 콘크리트의 경우 보강 섬유의 종류 및 콘크리트의 역학적 특성에 대하여 다음과 같은 배면파괴 한계두께를 제시하였다.

콘크리트의 압축강도 범위는 24~40 MPa의 본 연구의 목표강도인 40 MPa를 상한치로 설정하였으나, 목표강도 이상의 범위도 적용에 큰 문제는 없을 것으로 판단된다. 휨강도의 경우 본 연구 범위의 평가결과 이상으로 설정하였으며, 휨강도가 높을수록 배면파괴 억제효과는 향상될 것으로 사료된다.

본 연구의 범위에서의 비상체 충격시험과 155 mm 포탄의 파편에 대한 섬유보강 콘크리트의 파괴저감에 대한 결과를 종합하여 배면파괴 한계두께를 40~50 % 저감할 수 있는 것으로 설정하였으나, 소형시험체의 충격시험 결과와 155 mm 포탄의 파편효과는 1회의 시험 결과치로 각 시험

체에 충돌하는 파편의 효과가 동일하지 않은 점에 있어 향후 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

4. 결 론

섬유보강에 의한 콘크리트 방호벽의 방호성능 향상에 대하여 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 섬유보강 콘크리트의 경우 섬유무보강 콘크리트에 비하여 슬럼프는 저하되었으나, 고성능 감수제의 혼입 및 배합 조절을 통하여 목표 유동성을 만족할 수 있었다.
- 2) 고속비상체의 충격에 있어 섬유보강에 의한 배면박리억제효과를 확인 할 수 있었으며, 155 mm 포탄의 폭발에 의한 파편효과와 비교한 결과 섬유보강으로 인하여 콘크리트 박리가 억제되었으며, 이는 섬유보강에 의한 휨인성의 향상에 의해 방호성능이 향상된 것으로 판단된다.
- 3) 섬유보강으로 인한 배면파괴한계두께를 저감할 수 있었으며, 섬유보강 콘크리트를 활용하여 방호벽 제작시 방호벽의 두께 저감 및 방호성능의 향상을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

요 약

콘크리트는 충격 및 폭발에 대한 저항능력이 우수한 재료이지만, 국부적인 파괴가 발생하는 한계가 있다. 콘크리트의 방호성능 향상기법은 기존에는 부재의 두께를 증가시키는 것이었으나, 이는 공간의 활용에 있어 비효

을 적이다. 최근에는 섬유보강 콘크리트는 콘크리트 자체의 휨인성을 증가시켜, 충격 및 폭발에 대한 저항능력을 향상시킨 방호재료의 개발 및 적용이 고려되고 있다. 본 연구에서는 섬유보강 콘크리트 및 모르타르에 대하여 고속 비상체의 충돌에 의한 내충격 성능을 평가하였으며, 그 결과를 바탕으로 방호벽으로 활용할 수 있는 콘크리트 T-wall을 제작하여 155 mm 포탄의 파편에 대한 방호성능을 검토하였다. 그 결과, 섬유보강으로 인한 휨인성의 향상은 고속 비상체의 충돌에 의한 배면박리를 억제하는 것으로 나타났으며 155 mm 포탄의 파편 충돌에 있어 배면균열 및 표면의 콘크리트의 박락 등이 억제되어 섬유보강으로 인하여 방호벽의 성능 향상 및 부재 두께를 감소할 수 있을 것으로 판단된다.

키워드 : 방호벽(T-wall), 방호성능, 비상체, 155mm포탄, 파편, 배면박리

Acknowledgement

This research was financially supported by the Ministry of Education, Science Technology (MEST) and National Research Foundation of Korea(NRF) through the Human Resource Training Project for Regional Innovation

References

1. Fariborz V, Claudia P, Ostertag, Paulo JM, Monteiro, George C, Johnson, Resistance of concrete protected by fabric to projectile impact, *Cement and Concrete Research*, 2007 Jan;37(1):96-106.
2. Ohkubo K, Beppu M, Ohno T, Satoh K, Experimental study on the effectiveness of fiber sheet reinforcement on the explosive-resistant performance of concrete plates, *International Journal of Impact Engineering*, 2008 Dec;32(12):1702-8.
3. Masuhiro B, Koji M, Tomonori O, Masanori S, An experimental study on the local damage of concrete plate due to high velocity impact of steel projectile, *Japan society of civil engineers*, 2007 Mar;63(1):178-91.
4. Nam JS, Jeon JK, Kim GY, Kim MH, Evaluation of Mechanical Properties of braids form Polyamide Fiber Reinforced Concrete, *Journal of the Japan Concrete Institute*, 2011 Jul;33(1):239-44.
5. Katrin H, Paul G, Response of ultra-high performance fiber reinforced concrete (UHPFRC) to impact and static loading, *Cement&Concrete Composites*, 2008 Nov;30(10):938-46.
6. Wua C, Oehlers DJ, Rebentrost M, Leach J, Whittaker AS, Blast testing of ultra-high performance fibre and FRP-retrofitted concrete slabs, *Engineering Structures*, 2009 Sep;31(9):2060-69.
7. Ghani Razaqpur A, Tolbab A, Contestabilec E, Blast loading response of reinforced concrete panels reinforced with externally bonded GFRP laminates, *Composites: Part B*, 2007 Jul-Sep;38(5-6):535-46.
8. Nam JS, Kim HS, Lee IC, Miyauchi H, Kim GY, Evaluation on the Impact Resistance Performance of Fiber Reinforced Concrete by High-Velocity Projectile and Contacted Explosion, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 2013 Feb;25(1):107-14.
9. Kim HS, Nam JS, Hwang HK, Jeon JK, Kim GY, A Study on the Penetration Resistance and Spalling Properties of High Strength Concrete by Impact of High Velocity Projectile, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 2013 Feb;25(1):99-106.
10. Kim GY, Nam JS, Miyauchi H, Evaluation on impact resistance performance of fiber reinforced mortar under high-velocity impact of projectile, *Journal of the Architecture Institute of Korea*, 2011 Sep;27(9):101-8.