

# 압축강도 및 비상체의 크기에 따른 고강도 콘크리트의 내충격 성능평가

## Evaluation of Impact Resistance Performance of High Strength Concrete by Projectile Size and Compressive Strength

김 홍 섭\*      김 규 용\*\*      미야우치 히로유키\*\*      남 정 수\*\*\*      전 영 석\*      구 경 모\*\*\*

Kim, Hong-Sub      Kim, Gyu-Yong      Miyauchi Hiroyukui      Nam, Jeong-Soo      Jeon, Young-Seok      Koo, Kyoung-Mo

### Abstract

In this study, evaluation system of impact resistance performance is proposed. Compressive strength of concrete is 40, 60 and 80MPa. It evaluate impact resistance performance to use projectile 6, 7 and 8mm size. As a result, safety performance is more higher when the compressive strength is increased in. Compared with Hughes's formula, evaluation system of impact resistance performance is appropriated.

키워드 : 내충격성능, 비상체, 고강도 콘크리트, 파괴등급

Keywords : Impact Resistance Performance, Projectile, High Strength Concrete, Destruction Grade

## 1. 서 론

최근 콘크리트구조물의 초고층화로 (초)고강도 콘크리트의 사용이 일반화되고 있는 상황에서 콘크리트의 시공성능, 역학적 특성 및 내구성능에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있는 반면, 기계적 충돌사고나 폭발사고 등에 의해 고속으로 충돌하는 비산물(강재, 콘크리트 파편)에 의한 콘크리트의 내충격 성능에 대한 연구는 부족한 실정이다.

이에 본 연구에서는 고강도콘크리트의 범위에서 고속으로 충돌하는 비상체에 의한 충격실험을 통하여 압축강도가 콘크리트의 내충격 성능에 미치는 영향을 검토하고자 하였다. 또한 기존에 제안되고 있는 평가식을 활용하여 본 연구에서 도출된 결과와 비교·검토하여 시험방법의 적절성을 검증하고자 하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획 및 콘크리트 배합

표 1은 콘크리트의 압축강도별 비상체의 크기에 따른 고강도 콘크리트의 내충격 성능을 평가하기 위한 실험계획으로 압축강도 40,

60, 80MPa급 콘크리트 시험체를 제작하여 각 수준 마다 6(0.83g), 7(1.4g), 8(2.02g)mm의 재원을 갖는 비상체를 약 350m/s의 속도로 충돌시켜 내충격 성능을 평가하였다. 평가항목으로는 충격시험 이후 표 4에 나타난 바와 같이 시험체의 외관형상 관찰을 통한 파괴 등급을 평가한 후 표면 및 배면파괴가 일어난 시험체에 대해서만 관입깊이, 박리두께 및 파괴면적손실률을 평가하였다. 한편, 식 (1)과 식 (2)에 나타난 Hughes식을 사용하여 충격계수와 배면박리한계두께를 도출한 후 실험결과와 비교·검토하였다.

$$I = \frac{MV_0^2}{f_t D^3} \quad \text{식 (1)}$$

여기서,  $I$  : 충격계수  
 $M$  : 비상체의 질량(kg)  
 $V_0$  : 충돌속도(m/s)  
 $f_t$  : 콘크리트의 압축강도 및 인장강도(N/mm<sup>2</sup>)  
 $D$  : 비상체의 직경(cm)

$$\frac{s}{D} = 1.74 \left( \frac{x}{D} \right) + 2.3 \quad \text{식 (2)}$$

여기서,  $s$  : 배면박리한계두께(cm)  
 $D$  : 비상체의 직경(cm)  
 $x$  : 관입깊이(cm)

\* 충남대학교 대학원 건축공학과, 석사과정  
 \*\* 충남대학교 대학원 건축공학과, 교수·공학박사  
 \*\*\* 충남대학교 대학원 건축공학과, 박사과정

내충격 성능평가에 사용된 콘크리트 시험체의 배합과 사용재료의 물리적 성질은 표 2와 표 3에 나타내었다.

표 1. 실험계획

재질	충돌 조건				시험체		평가항목
	직경 (mm)	질량 (g)	충돌속도 (m/s)	운동에너지 (J)	압축강도 (MPa)	두께 (mm)	
강구	6	0.83	350	50.84	40	25	내충격 성능평가 · 파괴등급 · 표면관입깊이(mm) · 배면박리깊이(mm) · 파괴면적손실률(%) · 배면박리한계두께1)
	7	1.4		85.75	60		
	8	2.02		123.73	80		

$$1) \text{ 파괴면적손실률}(\%) = \frac{\text{파괴면적}(mm^2)}{\text{시험체면적}(mm^2)} \times 100$$

2.2 시험체 제작 및 실험방법

시험체는 100L용량의 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 압축강도용  $\phi 100 \times 200mm$ 의 원주형 공시체와 내충격 성능평가용  $100 \times 100 \times 400mm$ 의 각형 시험체를 제작하여 28일간 표준양생을 실시하였다. 압축강도의 평가는 KS F 2405 「콘크리트의 압축강도 시험방법」 측정하였다. 또한 내충격 성능평가용 시험체는 그림 1에 나타난 바와 같이 재령 28일에서  $100 \times 100 \times 25mm$ 의 크기로 각형 시험체를 컷팅하여 제작하였다. 그림 2는 내충격 성능평가 시험장치로서 압력가스를 사용하여 비상체의 발사하는 가스압력식으로 발사관의 끝 부분에서 발사체의 속도를 측정하도록 되어있다. 본 연구에서는 항공기의 속도를 고려하여 비상체의 속도 350m/s에서 충격시험을 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

충격시험에 의한 콘크리트의 파괴성상을 표 5에 나타내었다. 비상체의 직경 6mm에서는 모든 시험체가 표면 파괴가 일어났고, 비상체의 직경 7mm에서는 압축강도 40MPa의 경우에서만 배면파괴가 일어났고, 60 및 80MPa의 경우에는 표면파괴가 일어났다.

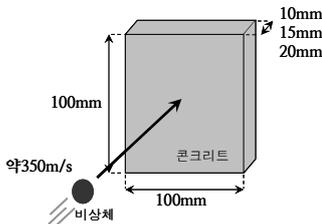


그림 1. 내충격 성능평가 시험용 시험체 개요

표 2. 충격시험체 의한 시험체 파괴정도 평가등급

구분	무파괴	표면파괴	배면파괴	관통파괴
파괴형상				
평가	타격면의 손상없이 비상체가 바운드 된 상태	충격면에 균열 및 탄흔이 발생한 상태	충격력에 의해 표면 및 배면이 파괴된 상태	큰 파괴와 함께 완전히 관통된 상태

표 3. 사용재료의 물리적 성질

사용재료	물리적 성질
시멘트	보통 포틀랜드 시멘트 (밀도 3.15g/cm <sup>3</sup> , 분말도 3,630cm <sup>3</sup> /g)
플라이애시	밀도 : 2.20g/cm <sup>3</sup> , 분말도 3,228cm <sup>3</sup> /g
실리카흄	밀도 : 2.20g/cm <sup>3</sup> , 분말도 : 200,000cm <sup>3</sup> /g
잔골재	세척사 (밀도 2.56g/cm <sup>3</sup> , 흡수율 0.97%)
굵은골재	부순자갈 (최대치수 20mm, 밀도 2.65g/cm <sup>3</sup> , 흡수율 0.90%)
혼화제	폴리카르본산계 고성능 감수제

한편, 비상체의 직경 8mm에서는 모든 시험체가 관통파괴가 발생하여 관입깊이, 박리두께, 면적손실률에 대한 측정이 불가능하였다.

그림 3 및 그림 4는 비상체 크기 및 압축강도에 따른 관입깊이 및 파괴면적손실률을 나타낸 것이다. 시험체의 두께 25mm의 수

표 4. 콘크리트 배합

W/B	Slump Flow (mm)	Air (%)	Rep.SF (wt.%)	Rep.FA (wt.%)	S/a (%)	Unit W (kg/m <sup>3</sup> )	Unit weight(kg/m <sup>3</sup> )				
							C	SF	FA	S	G
0.45	550	4 ±2	0	10	45	165	330	0	37	770	981
0.35	±		5	10	45	165	401	24	47	749	955
0.25	50		10	20	45	165	462	66	132	661	842

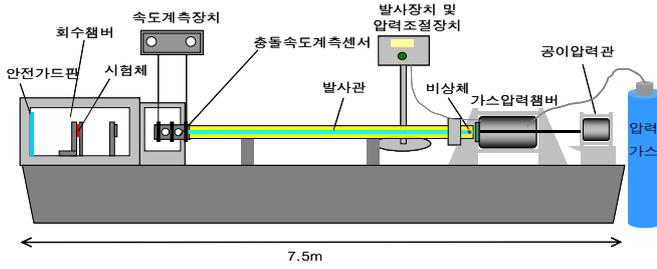
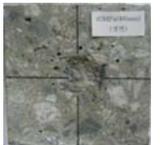
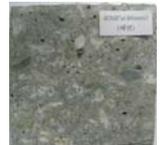
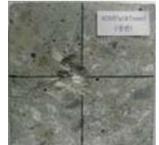
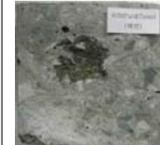
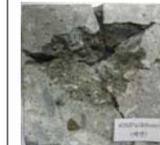
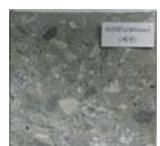
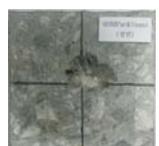
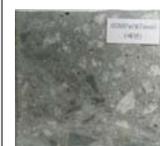
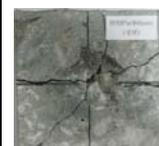
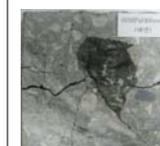
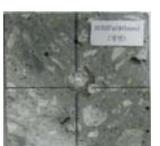
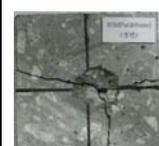
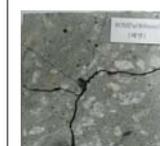


그림 2. 내충격 성능평가 장치의 모식도



그림 3. 내충격 성능평가 장치의 전경

표 5. 고강도 콘크리트의 내충격 성능평가 결과(충격속도 : 약 350m/s)

비상체	직경(mm)	6		7		8	
	질량(g)	0.83		1.4		2.02	
	운동에너지(J)	50.84		85.75		123.73	
40MPa	외관형상	표면 	배면 	표면 	배면 	표면 	배면 
	파괴등급	표면 파괴		배면 파괴		관통 파괴	
60MPa	외관형상	표면 	배면 	표면 	배면 	표면 	배면 
	파괴등급	표면 파괴		표면 파괴		관통 파괴	
80MPa	외관형상	표면 	배면 	표면 	배면 	표면 	배면 
	파괴등급	표면 파괴		표면 파괴		관통 파괴	

준에서 6mm의 비상체를 사용하여 내충격 성능 평가를 한 결과, 압축강도가 40, 60 및 80MPa로 증가할수록 관입깊이는 5.21, 4.43 및 2.87mm로, 파괴면적손실률은 4.73, 3.60 및 2.70%로 감소하였다. 비상체의 직경 7mm의 경우에서도 압축강도가 증가할수록 관입깊이 및 파괴면적손실률이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 비상체의 크기가 커질수록 질량 및 운동에너지의 증가로 인해 시험체의 관입깊이 및 파괴면적손실률이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 한편, Hughes 식을 사용하여 배면박리한계 두께를 도출한 결과를 그림 5에 나타내었다. 본 연구에서는 압축

강도 40MPa, 비상체 직경 7mm에서 배면박리가 발생하였으며, Hughes식을 사용한 배면박리한계두께를 도출한 결과에서도 26.5mm로 나타나 25mm의 시험체 두께에서는 배면박리가 발생할 것으로 예측되었다. 이는 실험을 통한 내충격 성능 평가결과와 예측식이 동일하여, 본 연구의 결과가 제안식의 결과범위에 대응하는 것을 확인할 수 있었다.

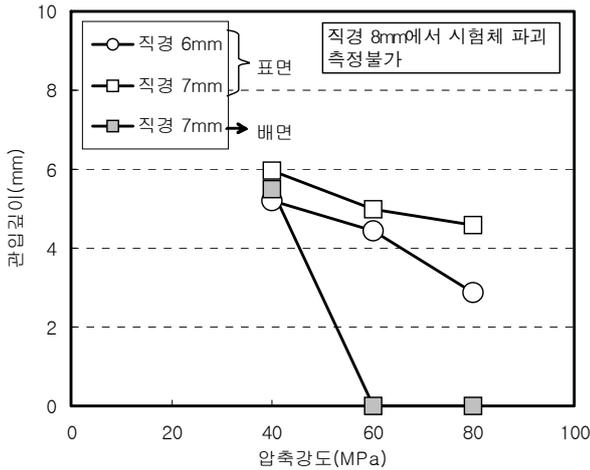


그림 4. 콘크리트 압축강도 별 비상체 크기에 따른 관입깊이

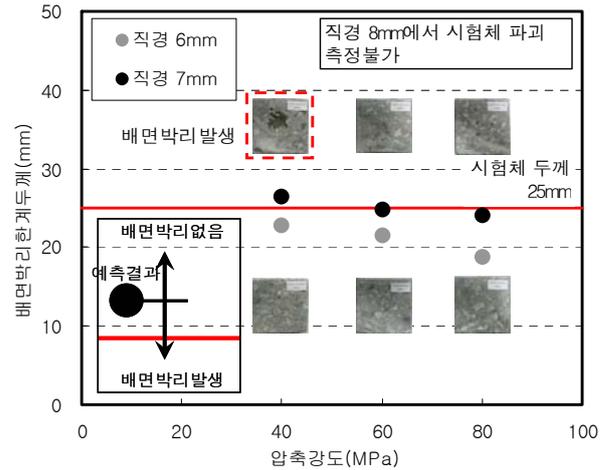


그림 6. Hughes식에 의한 배면박리한계두께

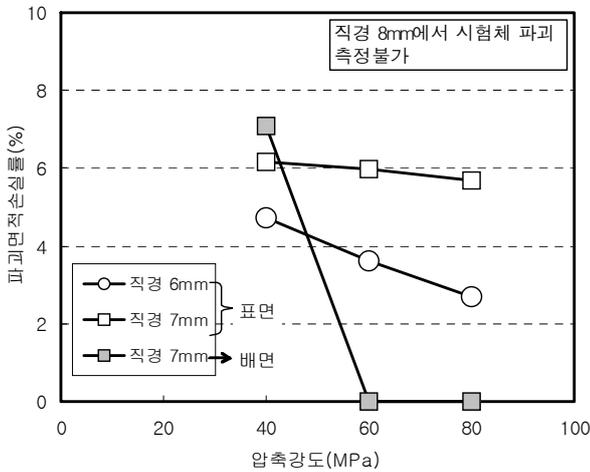


그림 5. 콘크리트 압축강도 별 비상체 크기에 따른 파괴면적손실률

### 감사의 글

본 논문에 참여한 연구자(의 일부)는 2단계 BK21사업의 지원을 받았으며, 이에 감사드립니다.

### 참고 문헌

1. 남정수, 최형길, 김영선, 박종호, 정용, 김규용, 고속비상체의 충격시험에 의한 섬유보강 콘크리트의 내충격 성능평가, 한국콘크리트학회 봄학술발표대회, 제21권 제1호, pp.389~390, 2009.5
2. M.H. Zhang, V.P.W. Shim, G. Lu, C.W. Chew, Resistance of high-strength concrete to projectile impact, International Journal of Impact Engineering, 31, pp.825~841, 2005

## 4. 결 론

콘크리트의 압축강도 및 비상체 크기에 따른 콘크리트의 내충격 성능을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 콘크리트의 압축강도가 증가할수록 관입깊이는 1~2mm, 파괴면적손실률은 0.5~2%정도 감소하여 압축강도가 증가할수록 충격에 대한 저항성이 높은 것을 알 수 있었다.
- 2) 본 연구범위에서 Hughes식에 의해 도출된 배면박리한계두께의 결과를 바탕으로 고속 충격시험으로 평가한 시험체의 파괴성상을 비교·검토한 결과, 제안식의 결과범위에 대응하는 연구결과를 확인할 수 있었다.