

# Bayesian 통계방법을 이용한 충격하중을 받는 콘크리트 압축부재의 손상평가의 개발

## Development of damage assesment of concrete compression member subjected to impact load using Bayesian probabilistic method

김 승 표<sup>\*</sup>      이 종 길<sup>\*</sup>      이 나 현<sup>\*\*</sup>      김 장 호<sup>\*\*\*</sup>      이 강 원<sup>\*\*\*\*</sup>  
Kim, Seung Pyo      Yi, Jong Gil      Yi, Na Hyun      Kim, Jang Ho      Lee, Kang Won

### ABSTRACT

In this study, the impact load on concrete compression member was considered to assess the quantitative damage index. The case study was carried out using the LS-DYNA, on explicit finite element analysis program. The parameters for the case study were impact load angle, slenderness ratio, etc. Using the analysis results, the performance based design method for impact load was developed using Bayesian probabilistic method, which can be applied to reinforced concrete column design for impact loads.

### 요 약

본 연구에서는 콘크리트 구조물인 교량의 교각과 같은 압축부재의 충격하중을 정량적인 손상지수로 평가하기 위해서 동적유한요소해석 프로그램인 LS-DYNA를 이용하여 차량의 충격각도에 따른 충격도, 세장비 등을 변화시켜 case별 해석을 수행하였다. 본 연구결과를 통해 콘크리트 구조물의 거동해석 및 설계기법을 Bayesian 통계방법을 이용하여 충격하중을 받을 시의 성능기반형 설계기법을 산정하였으며, 이는 실제 충격하중에 의한 구조물의 방호성능 및 설계 시에 적절하게 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 1. 서 론

최근, 도로 및 도로시설물 등의 사회기반시설물이 복잡해짐에 따라 차량과 시설물 간의 충돌사고가 발생할 확률이 높아졌으나, 실질적으로 이와 같은 시설물에 대한 충돌에 대한 설계는 이루어지지 않는 실정이다. 그러므로, 본 연구에서는 확률론적 이론에 근거한 콘크리트 압축부재의 손상평가방법을 교각의 교각구조물에 적용하고, 손상도 곡선을 이용하여 구조물의 성능기반형 설계기법을 확립하고자 LS-DYNA를 사용하여 충격 하중을 받는 콘크리트 압축부재의 정밀한 해석을 수행하였다.

## 2. 해석내용 및 방법

### 2.1 교각단면과 차량모델의 설정

본 연구의 해석을 위해 선정된 교각단면은 경기도 가평군의 창촌교로써, 교각높이가 3300mm, 직경이 1200mm, 스트립 간격이 300mm, 콘크리트 강도 24MPa을 선택하였다. 차량모델은 NCAC(National Crash Analysis Center)에서 제공하는 8톤 트럭을 선정하였으며, 차량의 충격속도는 고속도로 최대속도인 120km/h와 최저설계속도 80km/h의 평균속도인 100km/h로 설정하였다.

### 2.2 해석조건

본 연구의 해석을 위하여, 교각 단면은 원형 및 사각단면에 대하여 고려하였으며, 차량의 충격각도를 30°, 45°, 60°, 75°, 90°로 변화하며 그에 따른 충격도, 구속조건에 따른 세장비의 변화 등을 고려하였다.

\* 정회원, 연세대학교, 콘크리트구조연구실, 석사과정  
\*\* 정회원, 연세대학교, 콘크리트구조연구실, 박사과정  
\*\*\* 정회원, 연세대학교, 사회환경시스템공학부, 부교수  
\*\*\*\* 정회원, 한국가스공사, 선임연구원

### 3. 충격하중을 받는 구조물의 해석결과 및 성능기반형 설계를 바탕으로 한 손상도 평가

#### 3.1 단면에 따른 구조물의 해석결과

충격하중을 받는 구조물(그림 1)의 원형단면 및 사각단면의 시간에 따른 해석결과를 살펴보면, 그림 2와 같이 원형단면이 사각단면에 비하여 비교적 더 손상을 받는 것을 확인할 수 있고, 그림 3과 같이 교각 높이에 따른 최대 처짐분포를 확인하면, 충격하중이 가해지는 높이(대략 1500mm)에서 최대처짐이 발생하는 것을 확인할 수 있다.

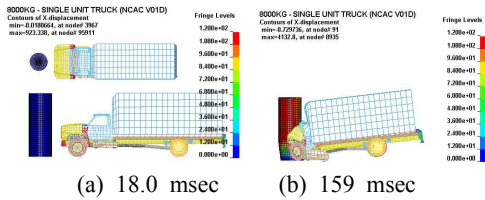


그림 1. 충격하중을 받는 교각구조물의 거동

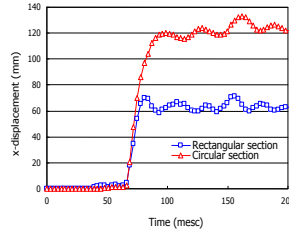


그림 2. 최대처짐발생부에서의 변위-시간 그래프

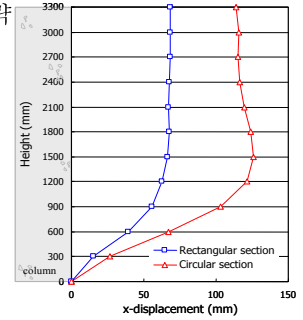


그림 3. 교각높이에 따른 최대처짐 분포도

#### 3.2 성능중심 설계기법을 활용한 손상도 평가

콘크리트의 손상도 평가는 표 1과 같이 기존 ASCE(1997)와 ASCE(1999)에서 제안된 최대처짐과 지점회전각을 중심으로 손상도평가를 수행하였으며 damage probability가 1에 도달하게 되면 파괴가 되는 것으로 설정하였다. 그림 4에서는 충돌각도가 증가함에 따라 높은 수준의 손상을 받을 확률이 증가하고, 지점회전각에 의한 손상기준(ASCE, 1997)이 최대처짐에 의한 손상기준(ASCE, 1999)에 비하여 높은 것을 알 수 있다. 유효좌굴길이계수를 변경하여 세장비를 변화시킨 경우에도 유효좌굴길이 계수가 1을 중심으로 계수가 커질수록 light damage보다 medium criteria에 해당되는 손상의 발생정도가 더 높은 것을 그림 5에서 알 수 있다.

표 1. 교각구조물의 손상 평가기준

ASCE (1999)		ASCE (1997)	
Criteria	Shortening / height	Criteria	Support Rotation, $\theta$
Light damage	1%	Low Criteria	1°
Moderate damage	2%	Medium Criteria	2°
Severe damage	4%	High Criteria	4°

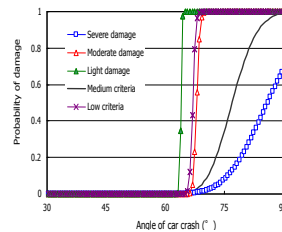


그림 4. 충돌각에 따른 손상도 평가

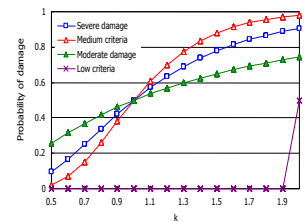


그림 5. 유효좌굴계수에 따른 손상도 평가

### 4. 결론

본 연구는 LS-DYNA를 통해 충격하중을 받는 구조물의 거동을 분석하였으며 이를 Bayesian 통계적 개념을 바탕으로 손상상태를 분류하였다. 이를 통해 성능기반형 설계 개념 및 설계 기법을 구축하였으며, 본 연구를 기반으로 향후 실무에서 사용될 수 있는 충격하중을 받는 성능기반형 설계에 대하여 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 한국연구재단(과제번호 D00792), 국토해양부 가스플랜트사업단의 연구비 지원을 통해 이뤄졌으며, 이에 감사의 뜻을 전합니다.

### 참고문헌

1. 건설교통부, 차량방호 안전시설 실험충돌시험 업무편람, 2001.
2. El-Tawil, S., Severino, E., and Fonseca, P. "Vehicle Collision with Bridge Piers", *Journal of Bridge Engineering*, ASCE, Vol.10, No.3, 2005, pp.345-353.