https://doi.org/10.21289/KSIC.2022.25.6.1221

압축전담 교량 내진보강공법 개발 연구

Development of Compression-Only Bridge Seismic Reinforcement Method

장유식[1], 윤원섭[2*], 유광호[3]

Yoo-Sik Jang[1], Won-Sub Yoon[2*], Kwang-Ho You[3]

〈Abstract〉

In this study, a seismic reinforcement method was studied to improve the seismic performance of aged bridges. The construction method developed in this study is a compression-only bridge seismic reinforcement method, and has excellent economic feasibility and workability compared to existing construction methods. In the case of aged bridges, there was an advantage that could compensate for the disadvantages that it was difficult to apply the existing reinforcement method. For the newly developed method, the effect of reinforcement was analyzed through resin analysis. As a result of the analysis, when the reinforcement was applied, the axial reinforcement effect was excellent, and the field applicability was excellent as it showed better results than the existing seismic isolation backing method.

Keywords : Bridge, Compression-Only, Seismic, Reinforcement Method

1 미호이엔씨 사장

2* 교신저자, 원광대학교 LINC 3.0 사업단 교수
E-mail: totoma13@wku.ac.kr

3 수원대학교 토목공학과 교수

1 CEO, Mi-Ho Engineering Corporation

2* Professor, LINC 3.0, Won-Kwang University

3 Professor, Dept. Civil Engineering, The University of Suwon

1. 서 론

대부분 교량은 단순한 구조로 인식하는 경우가 많지만, 교량의 종류는 다양하고, 디자인적, 기능적 요소가 반영된 교량이 많아 거동 역시 다양하게 나타나는 경우가 대부분이다. 정적인 상태에서의 구조적 거동이 다양한 만큼 지진이 발생된 경우 구조물에서 발생되는 구조적 거동 역시 다양하게 발생된다. 특히, 지진의 경우 지반의 특성과 구조물의 특성 등에 따라 발생된 지진의 규모가 작더라도 구조물에 취약한 지진파로 발전될 수 있으므로 지진에 대한 교량의 거동 특성에 대한 지속적인 연구는 필요한 실정이다.

교량 중에 가장 많은 비중을 차지하는 콘크리트 교량의 경우 많은 연구를 통해 거동 특성이 많은 부분 검증이 되어 구조적으로 간단하다고 판단할 수 있지만, 지진 시 예상한 것과 다른 거동을 보이는 사례는 많다. 외국에서 발생된 지진 사례를 보면 내진설계가 충분한 교량에서도 설계기준보다 적은 지진하중에 의해서 붕괴가 되는 사례가 많았다[1].

이러한 원인으로 교량의 내진설계가 충분하지 못한 것이 대부분이다. 지진 발생 시 구조물은 취약한 부분에서 가장 먼저 파괴가 발생된다. 특히, 교량의 경우는 구조적 여유치가 없는 극한상태 혹은 한계상태로 설계되는 경우가 대부분으로 취약한 부분에서 발생되는 구조물의 붕괴는 구조물 전체로 이어지게 된다. 교량의 구조적 단순함으로 인해 지진이 발생되면, 설계상의 문제점이 바로 구조물의 붕괴로 이어지게 된다.

또한, 지진 발생 시 지반에서 발생되는 대표적인 피해는 액상화와 단층, 절리 등에서 발생되는 지반의 이동에 의한 피해가 있다. 교량은 지반이 연약한 구간에 시공되는 경우가 대부분으로 교량 상부의 구조적 안전성이 확보가 되더라도 지반의 거동으로 인해 구조적 여유치를 벗어나 붕괴가 발생되는 사례도 많아 지반 특성을 고려한 내진설계가 필요한 이유중 하나이다.

설계수준이 가장 높은 고속도로 교량의 내진설계는 2000년에 내진설계편람이 발간되며 시작되었다. 이후 약 20년 동안 교량 내진설계에 활용되었다. 그동안 도로교설계기준은 2010년, 2012년, 2016년에 개정되었으며, ‘KDS 24 17 11 : 교량 내진설계기준(한계상태설계법)’ 등으로 지속적으로 개정되었다. 또한, 최근 내진설계기준 공통적용사항 제정(‘17.4, 국민안전처)에 따라 내진설계에 적용되는 설계기준이 대폭 변경되어 2018년에 ‘KDS 17 10 00 내진설계 일반’이 제정되는 등 관련 기준들이 제정 및 개정되고 있다[2].

시설물의 내진성능평가는 내진성능이 부족한 시설물에 대해 적정한 보강작업을 통해 소요내진성능을 확보하는 것이 목표이다. 교량구조물과 같이 물량이 많은 사회간접시설물의 경우에는 모든 구조물에 대해 내진성능평가를 실시하는 것은 현실적으로 어려움이 있으며, 비합리적이다[3]. 하지만 교량이 설치된 구간마다 지반의 특성과 지진 시 발생될 수 있는 문제점이 다양하기 때문에 내진성능평가를 실시하지 않은 상태에서의 내진 보강은 지진 발생에 따른 또 다른 붕괴 원인으로 발생될 수 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 내진성능평가가 필요한 교량을 우선 순위로 결정하고, 내진성능평가를 예산과 우선 순위에 따라 실시하게 된다. 우선 순위의 결정을 위해서는 교량의 상세 정보의 범주로 기존에는 교량의 시공시기, 내진설계 여부, 교량의 안전진단정보 등이었으나, 앞서 설명한 바와 같이 지진에 대한 안전성 확보를 위해서는 지반의 특성, 교량이 위치한 지역의 내진등급, 교량의 구조적 특성, 교량의 중요성 등이 보다 명확히 반영될 필요가 있다.

내진성능평가에서 중요하게 논의되어야 할 내용으로 내진성능을 만족하지 못하는 기존 노후 교량의 내진성능 확보가 있다. 내진성능을 만족하지 못하는 교량의 경우 내진성능을 확보하기 위해 다양한 내진보강공법을 통한 내진성능 확보를 위한 보강공법이 적용되어야 한다. 하지만 대부분의 내진보강공법의 경우 일본, 미국 등에서 적용되는 고가의 공법을 기반으로 개발되어 경제성이 떨어지는 경우가 대부분이다.

사회간접시설물인 교량의 경우 이러한 고가의 보강공법으로 내진성능을 확보하기 위해서는 많은 정부 예산을 필요로 하기 때문에 우선 순위에 따라 교량의 내진성능을 확보하고 있지만, 모든 교량에 대해 내진성능을 확보하기까지 많은 시간이 소요되는 것이 현실이다. 사회간접시설물의 경우 예방적 차원의 유지관리가 최종적인 예산의 절감으로 이어지기 때문에 안정적이면서 경제적인 내진보강공법의 개발이 지속적으로 이루어져야 한다.

따라서 본 연구에서는 기존 내진보강공법보다 간단한 원리로 내진성능을 확보하면서 경제성이 확보되는 압축전담 교량 내진보강공법의 개발 연구를 수행하였다. 압축전담 교량 내진보강공법의 내진성능이 확보되는지 보강 전, 후의 단면에 대한 수치해석을 실시하였으며, 그 결과를 통해 공법의 거동 특성을 분석하였다.

2. 교량 내진보강공법 및 내진설계법

2.1 교량 내진보강공법

2016년 12월 일반국도 교량의 내진설계가 이루어지지 않은 교량의 비율은 14%이며, 이중 17%는 시공 완료 후 30년 이상의 교량이었다. 이러한 교량의 경우 지진 발생 시 큰 피해를 유발할 수 있어 조속한 조치가 필요한 교량이다. 교량의 내진성능을 개선할 수 있는 공법으로 Fig. 1의 지진격리시스템, Fig. 2의 낙교방지시스템, Fig. 3의 강도증진시스템 등이 주로 적용되고 있다[4].

내진성능 보강이란 기존 교량의 내진성능을 신규 설계 수준으로 향상시키는 것을 말한다. 내진성능 보강의 목표는 상부 거더 탈락 방지, 교대의 과도한 이동 방지, 교각 기둥 파괴 방지, 교각과

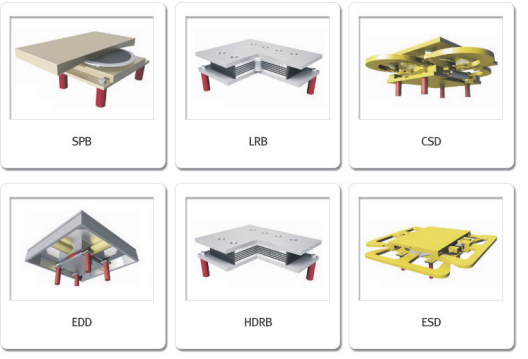


Fig. 1 Seismic isolator[5]

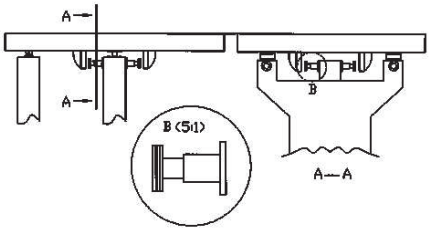


Fig. 2 Fall device[4]

Fig. 3 Strength improving device[4]

상부 연결부 파괴 방지, 교각과 기초 연결부 파괴 방지, 확대 기초 파괴 방지 등이다.

내진성능 보강은 크게 구조물의 강도 또는 인성을 크게 하여 구조물의 탄성 또는 소성거동으로 지진력에 저항하도록 하는 직접보강방안과 지반과 구조물을 분리시켜 구조물에 전달되는 지진력을 감소시키거나, 구조물의 고유주기를 늘여 공진주기를 피하는 개념인 지진력 감소방안으로 나눌 수 있다.

Fig. 4 Shock absorber

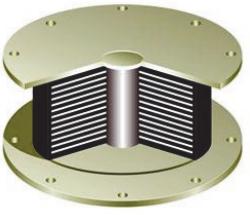


Fig. 5 Seismic isolator example

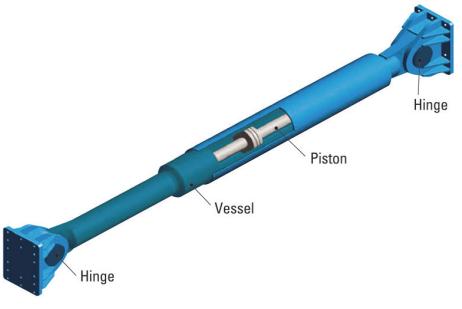


Fig. 6 Example of a damping device

상부 구조물 보강 방법으로 상부 슬래브를 탄소섬유, 강판 또는 강재 등으로 상부 강성을 증가하는 공법과 상부 슬래브를 연속화하여 지진하중을 분산시켜 지진하중에 저항하는 공법, 연단거리 및 받침지지길이를 늘려 낙교를 방지하는 공법, 내진성능이 우수한 받침을 교체하는 방안 등이 있다.

하부 구조물 보강 방법으로 교각 단면을 확대하여 지진에 대비하는 공법, 다양한 재료로 교각 기둥의 단면을 보강하는 공법, 교각을 벽식으로 변환하여 단면력을 증가하는 공법, 상부와 하부 구조물을 Fig. 4와 같이 충격전달장치 등으로 일체화하여 지진 관성력을 분산시키는 공법 등이 있다.

교량 기초의 내진성능 보강공법으로는 기초 단면을 확대하는 방법과 콘크리트 캡을 설치하는 방법, 그라우팅 등을 이용한 지반개량 방법, 앵커정착공법, 기초 교체 방법 등이 적용되고 있다.

이외에도 지진력을 감소하기 위해 Fig. 5와 같이 면진장치를 시공하는 방법과 Fig. 6과 같이 댐퍼를 이용한 제진장치를 설치하는 방법이 있다. 제진장치를 적용하는 경우의 문제는 단주기용 댐퍼와 장주기용 댐퍼가 나뉘어져 있는데, 댐퍼의 종류(마찰댐퍼, 오일댐퍼, 점탄성 댐퍼 등)와 지진파의 파형 특성(장주기, 단주기 등)이 일치하여야 지진이 발생 시 보강 효과를 기대할 수 있으므로 적용 시 충분한 내진설계가 이루어져야 한다.

2.2 내진설계법

내진설계란 구조물의 강도 또는 인성 등을 크게 하여 구조물이 탄성 또는 소성거동으로 지진력에 저항하도록 설계하는 것이다. 구조물의 강도를 높이는 것은 주로 탄성설계를 적용하며, 구조물의 인성 또는 변형성능을 향상시키는 경우에는 소성설계를 적용한다.

탄성설계의 설계모멘트는 내진해석의 결과 값인

탄성모멘트를 사용하며, 탄성거동의 범위에서 지진력에 저항하도록 설계한다. 소성변형을 고려하지 않으므로 기둥 또는 벽체에서 심부구속철근을 고려하지 않는다. 심부구속철근이 배근되지 않으므로 축방향 철근이 항복한 이후 변위가 크지 않은 상태에서 파괴에 도달한다. 설계지진력이 크므로 소요 단면 강성의 증가로 비경제적인 단점이 있다.

소성설계의 설계모멘트는 소성거동 예측을 위해 탄성해석의 결과인 탄성모멘트를 소성거동 예측을 위해 응답수정계수 R로 수정하거나, 처음부터 재료 비선형을 고려한 비선형해석을 실시하여 사용한다. 통상 Push-over 해석, 비선형시간이력해석을 많이 사용한다. 소성설계는 기둥 또는 벽체에 심부구속철근을 배근하여 지진 시 기둥의 축방향 철근이 항복하는 최대저항모멘트에 도달하더라도 붕괴되지 않고, 소성힌지가 발생하여 파괴 시까지 휨강도를 유지한 상태로 변형이 증가하는 소성거동의 형태로 유도한다. 일반적으로 탄성설계에 비하여 경제적이다. 탄성모멘트를 소성거동 예측을 위해 응답수정계수는 휨모멘트에만 적용하고, 전단력 및 축력에는 적용하지 않는다. 이는 구조물이 충분한 소성거동을 보일 때까지 전단파괴가 먼저 발생하지 않도록 하는 것이다.

내진해석법의 종류는 크게 선형해석법과 비선형해석법으로 나뉘며, 각각의 해석법은 동적해석법, 정적해석법으로 나뉜다. 선형해석법의 동적해석법으로는 시간이력해석법과 응답스펙트럼법이 있으며, 정적해석법은 등가정적해석법이 있다. 비선형해석에서 동적비선형해석법으로 시간이력해석법이 있으며, 정적비선형해석법은 역량스펙트럼법이 있다. 구조물의 특성과 구조물의 중요도 등에 따라 적절한 해석법을 선정하여 해석할 수 있으나, 과거에는 내진설계가 발달되지 않아 정적해석법 위주의 내진설계가 주로 이루어졌다. 최근에는 해석의 방법이 많이 발전되어 시간이력해석법을 많이 적용하고 있다.

3. 압축전담 교량 내진보강공법

본 연구에서는 노후 교량에 내진성능을 개선하기 위해 경제적이면서 안정성을 충분히 확보할 수 있는 보강공법을 개발하고, 거동 특성에 대해 분석하였다. 국내에서 다양한 보강공법이 적용되고 있지만, 기존 공법은 교량이 노후화가 많이 진행된 교량이나, 내진설계가 적용되지 않은 교량에 적용할 경우 문제점 발생되고 있는 것이 현실이다.

특히, 노후된 교량의 경우 콘크리트 표면 열화현상이 많이 진행되었거나, 교량의 받침이 노후화되어 기능을 발휘 못하는 경우가 대부분으로 기존 공법을 적용하기 위해 상판의 인상이 어려운 것이 현실이었다. 이러한 문제를 개선하기 위해 본 연구에서는 압축전담 교량 내진보강공법을 개발하고, 거동 특성을 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

3.1 보강장치 특징

기존 교량 내진 보강공법에서 발생하는 문제점을 극복하기 위한 방안으로 압축전담 교량 내진보강공법을 개발하였다. 압축전담 교량 내진보강공법은 교량의 하부 구조에 적용하여, 지진 발생 시 특정 구간에 집중되는 지진하중을 교대 및 교각으로 분산시키고 노후된 콘크리트 구조물에 순수 압축력만을 가해지도록 하는 특징이 있다. 따라서 압축전담 교량 내진보강공법은 노후 교량 보호와 내진 보강의 목적을 동시에 달성할 수 있도록 만든 다점 고정식 내진보강장치이다.

압축전담 교량 내진보강공법은 Fig. 7과 같은

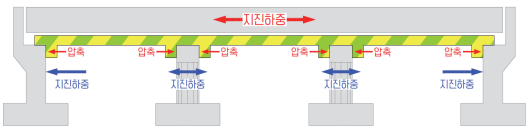


Fig. 7 A schematic diagram of the compression-only bridge seismic reinforcement method

모식도의 형태로 현장에 시공이 이루어진다. 양측 교대를 지지점으로 하여 교각의 흔들림을 제어하는 형태로 하부 구조물인 교대 및 교각 전체를 일체화시켜 고정단 교각에 집중되는 지진하중이 전체 하부 구조에 분산시키게 된다.

압축전담 교량 내진보강공법을 설치하면, 지진 발생 시 상부 구조물의 관성력이 고정단 받침이 있는 교각에 집중되면서 발생하는 과도한 휨모멘트를 감소시키고, 내하력이 부족한 교각 기둥의 구조 안전성을 증가시키며, 또한 교각 기초의 전도 안전성을 증가시키는 원리로 교량을 보강하게 된다.

압축전담 교량 내진보강공법은 간단한 구조적 원리로 인해 기존 공법에 비해 30%~40%의 비용으로 시공이 가능하며, 기존 공법 대비 4배~5배 이상 높은 내진 안전성 확보가 가능하다. 또한, 지진 발생 시 순수 압축하중만을 전달하여 기존 교량에 손상 없으며, 교통 통제 없이 교량 사용 중 내진보강장치 설치가 가능한 장점이 있다. 상부 구조물과 무관한 하부 보강 작업이므로 상부 구조물 안전성 유지가 가능하며, 직관적이고, 간단한 형식으로 불확실성을 유발하는 비선형성 배제가 가능하며, 대형 지진 발생 후에도 보강장치를 계속 사용 가능하고, 밀착 상태를 상실한 오류 발생 시에도 최대 변위를 제어하여 안전성 확보가 가능한 장점이 있다.

3.2 보강 효과 분석

본 연구에서는 기존 공법 대비 시공성 및 경제성이 우수한 압축전담 교량 내진보강공법의 보강 효과를 수치해석으로 분석하였다. 보강 효과 확인은 현장 적용 단면을 기준으로 비교 분석하였다. Fig. 8은 현장에 적용된 압축전담 교량 내진보강공법의 시공 완료 전, 후 전경이다.

Table 1, Fig. 9는 보강공법이 적용된 현장의 지반 특성과 단면이다. 교량 형식은 RC 슬래브이며, 교량 연장은 24m, 교량 폭은 4.5m, 교각 형

(a) Before reinforcement

(b) After reinforcement

Fig. 8 Field application view

Table 1. Analysis conditions

Division	Depth (m)	Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	ν	E (kN/m^2)	G (kN/m^2)
Layer 1	4.5	450	200	0.392	250,000	90,000
Layer 2	10.0	1,500	700	0.351	2,800,000	900,000

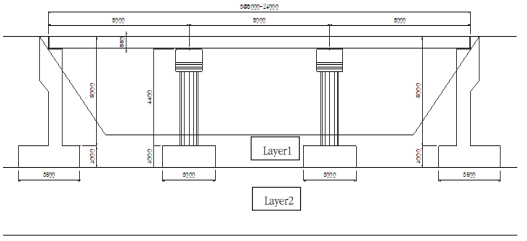


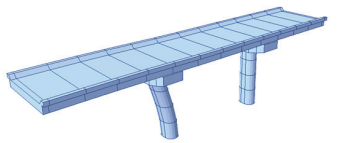
Fig. 9 Analytical section

Table 2. Natural frequency of bridge before reinforcement

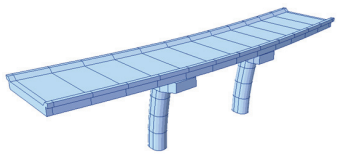
Division	Axial	Orthogonal direction
Participating mass ratio	84.59 %	77.30 %
Natural frequency	2.5263 Hz	10.611 Hz

Table 3. Natural frequency of bridge after reinforcement

Division	Axial	Orthogonal direction
Participating mass ratio	92.13 %	79.02 %
Natural frequency	7.971 Hz	10.616 Hz

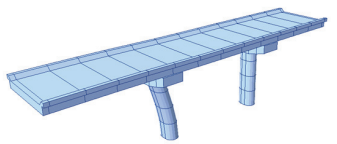


(a) Axial

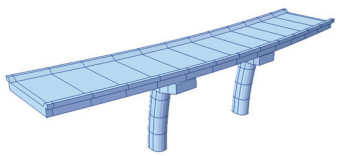


(b) Orthogonal direction

Fig. 10 Analysis result of reinforced condition



(a) Axial



(b) Orthogonal direction

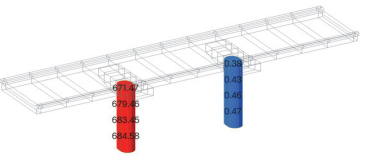
Fig. 11 Analysis result of unreinforced condition

식은 T형 교각, 기초 형식은 직접기초 현장이다. 내진 1등급으로 설계되었으며, 가속도 계수는 0.154g를 적용하였다.

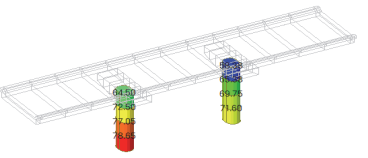
Table 2, Table 3, Fig. 10, Fig. 11은 구조물에 대한 응답스펙트럼해석 결과이며, 압축전담 교량 내진보강공법 적용 전과 후의 교축 방향과 교

Table 4. Shear force and moment analysis results according to reinforcement

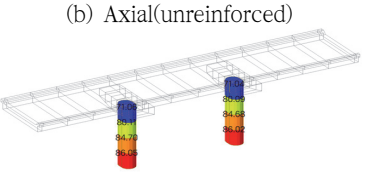
Division		Before		After	
		Shear force (kN)	Moment (kN · m)	Shear force (kN)	Moment (kN · m)
Axial	Fix	684.58	3453.09	104.62	502.01
	Free	0.47	2.21	94.11	449.12
Orthogonal direction	Fix	86.05	408.84	95.87	449.39
	Free	86.02	408.72	95.86	449.27



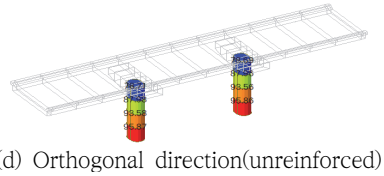
(a) Axial(reinforced)



(b) Axial(unreinforced)

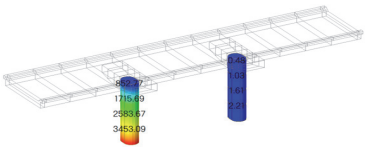


(c) Orthogonal direction(reinforced)

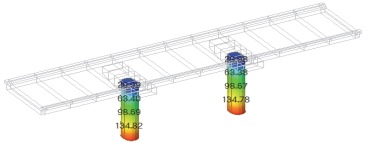


(d) Orthogonal direction(unreinforced)

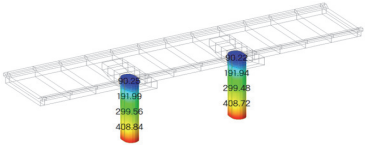
Fig. 12 Result of shear force



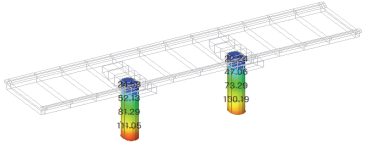
(a) Axial(reinforced)



(b) Axial(unreinforced)



(c) Orthogonal direction(reinforced)



(d) Orthogonal direction(unreinforced)

Fig. 13 Result of moment

축직각 방향의 각 방향별 고유진동수 결과이다. 압축전담 교량 내진보강공법이 적용된 교축 방향은 강성 증가로 고유진동수가 높아졌으며, 내진보강이 없는 교축직각 방향 고유진동수 변화는 크지 않았다.

Table 4, Fig. 12, Fig. 13은 지진 시 교각 기둥에 발생된 전단력, 모멘트 해석 결과이다. 교축방향 해석에서 내진보강을 실시하지 않은 경우 고정단 교각에 지진하중이 집중되었으며, 압축전담 교량 내진보강공법이 적용된 경우 교각 발생 지진하중의 크기는 약 1/7 크기로 감소되어 보강 효과는 우수하였다.

3.3 기존 공법과 비교 분석

내진보강 시에 가장 많이 적용하는 것이 면진받침으로 교체이다. 따라서 본 연구에서는 압축전담 교량 내진보강공법과 면진받침공법 적용 시의 해석 결과와 비교하였다. 해석 결과는 Table 5, Table 6, Table 7, Table 8과 같다.

해석 결과 발생모멘트는 내진보강 전과 압축전담 교량 내진보강공법과 면진받침공법은 유사하였다. 이는 압축전담 교량 내진보강공법의 지진력 분산 성능이 면진받침공법과 유사하기 때문이다. 발생변위에 대한 내진 보강 효과는 압축전담 교량 내진보강공법이 더 우수하였다.

면진받침공법의 경우 중량이 큰 상부슬래브 구조물의 지진관성력이 하부 기둥으로 전달되는 것을 최소화시켜 교각 기둥에서 발생하는 변위 및 지진력을 감소시키는 반면, 지진격리 효과로 지진 시 상부 슬래브 구조물의 이동을 제어하는 장치가 없으므로 발생변위는 크게 나타났다. 이는 지진 시 하부 구조물은 흔들리면서 변위가 발생하지만, 상부 구조물은 관성에 의해 정지해 있으므로 상호간 분리 효과처럼 거동하는 결과로 판단된다. 하부 구조물과 상부 구조물의 상대적 변위가 크게 발생되면, 교량 양 끝단의 신축이음부 파손 또는

Table 5. Maximum shear force of pier columns

Division		Before reinforcement (kN)	After reinforcement (kN)	Seismic isolation support (kN)
Axial	Fix	684.58	104.62	92.15
	Free	0.47	94.11	92.15
Orthogonal direction	Fix	86.05	95.87	106.65
	Free	86.02	95.86	106.65

Table 6. Maximum moment of pier columns

Division		Before reinforcement (kN · m)	After reinforcement (kN · m)	Seismic isolation support (kN · m)
Axial	Fix	3453.09	502.01	448.29
	Free	2.21	449.12	448.29
Orthogonal direction	Fix	408.84	449.39	437.13
	Free	408.72	449.27	437.13

Table 7. Maximum slab displacement

Division	Before reinforcement (mm)	After reinforcement (mm)	Seismic isolation support (mm)
Axial	13.52	1.59	42.98
Orthogonal direction	1.08	1.08	43.18

Table 8. Maximum displacement of pier columns

Division	Before reinforcement (mm)	After reinforcement (mm)	Seismic isolation support (mm)
Axial	13.52	1.59	1.58
Orthogonal direction	0.92	0.93	0.87

낙교의 위험성이 커지게 된다.

반면 압축전담 교량 내진보강공법은 상부 슬래브에서 발생되는 관성력이 교각으로 전달되고, 전달된 관성력을 양측 교대로 분산시킨다. 따라서 관성력에 의한 변위 발생도 제어할 수 있게 된다.

4. 결 론

본 연구에서는 노후 교량의 내진성능을 향상시키기 위해 내진보강공법에 대해 연구하였다. 개발된 공법의 보강 효과를 확인하기 위해 수치해석을 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 본 연구에서 개발된 압축전담 교량 내진보강공법은 지진 시 상부 구조물의 관성력이 교각 및 교대에 집중되면서 휨모멘트를 감소시키고, 내하력 증가 및 교각 기초의 전도에 대한 내진 안전성을 증가시켰다.
2. 압축전담 교량 내진보강공법은 간단한 구조적 원리로 인해 기존 공법 대비 30%~40%의 비용으로 시공이 가능하며, 기존 공법 대비 4배~5배 이상 높은 내진 안전성이 확보되어 현장 적용성이 우수하였다.
3. 고유진동수에 대한 수치해석 결과 압축전담 교량 내진보강공법이 적용된 교축 방향은 강성 증가로 고유진동수가 증가하였으나, 교축직각 방향은 강성 증가 효과는 크지 않아 고유진동수 변화는 없었다.
4. 발생지진력에 따른 수치해석을 비교한 결과 내진보강이 시공되지 않은 경우 고정단 교

각에 지진하중이 집중되었으며, 압축전담 교량 내진보강공법이 적용된 경우 교각 발생 지진하중은 약 1/7 크기로 감소되었다.

5. 면진받침공법보다 압축전담 교량 내진보강공법을 적용한 경우 상부 슬래브에서 발생되는 관성력을 양측 교대로 분산시키면서 관성력에 의한 변위 발생도 제어할 수 있었다.
6. 본 연구에서 개발된 압축전담 교량 내진보강공법은 기존 공법 대비 경제성과 시공성, 안전성이 우수하여 현장 적용성이 우수하였으나, 이는 제한된 연구 결과로 향후 현장 계측 결과와 지반 특성을 고려한 모형시험, 수치해석 등을 활용한 추가적인 연구는 필요하였다.

참고문헌

[1] Koh. Y. T., A Theretical Study for Reinforcement Earthquake of Bridge, Master's Thesis, Han Kyung University, pp.1-4, 2010. (in Korean with English abstract)
[2] Korea Expressway Corporation, Highway Seismic Design Guidelines, Korea Expressway Corporation, pp.1-1~1-2, 2020. (in Korean with English abstract)
[3] Lee. H. G., A Preliminary Screening of Railway Bidges for the Detailed Seismic Evaluation, Master's Thesis, University of UlSan, pp.12-13, 2005. (in Korean with English abstract)
[4] Patent Office Blog [Internet], Reinforcement of Seismic Performance of Bridges Against Earthquakes [updated 2017 March 22], https:// m.blog. naver. com/PostView.naver?isHttpsRedirect=true&blogId =kipoworld2&logNo=220964501778, 2017. (website)
[5] Onsung Homepage [Internet], Bridge Seismic Support Device [updated 2014 December 10], http://211.234.100.234/suhrim/sub0304.html. (website)

(접수: 2022.11.08. 수정: 2022.11.28. 게재확정: 2022.11.30.)