

2

글. 조창백  
 -  
 인프라안전연구본부  
 지진안전연구센터 수석연구원

# 교량 내진장치의 안전성 및 신뢰성 향상 기술

## 들어가며

지진은 지구 내부에서 일어나는 급격한 변동에 의하여 생긴 에너지가 파동의 형태로 사방으로 전파되는 현상이다. 이러한 현상은 지구 표면보다는 지각의 깊은 곳에서 일어나게 되는데 이때 에너지가 처음 방출된 지점을 진원(focus)이라 하며, 이 지점과 지구의 중심부를 이은 선상의 지표면을 진앙(epicenter)이라 한다.

지진이 발생하는 원인은 지구를 구성하는 판의 움직임에 의하여 발생한다는 '판 구조론'과 지각 변형에 의하여 축적된 탄성에너지의 파괴에 의하여 발생한다는 '탄성반발설'로 크게 나눌 수 있는데, 여기서 지진 피해는 진앙 지역이 진원 지역에서 가장 가까운 지표이기 때문에 일반적으로 가장 큰 피해를 입는다.

## 우리나라 지진활동

우리나라는 일본, 중국 등 주변 나라에 비해 비교적 지진에 안전한 나라로 알려져 왔다. 우리나라에서 발생한 지진 중 지진계를 최초로 설치한 1905년 이전까지의 지진을 역사지진이라고 말할 수 있는데 이 역사지진 기록은 삼국사기, 고려사, 조선왕조실록, 일성록, 동국문헌비고 등의 옛 문헌에서 확인할 수 있다. 기록에 의하면 사람이 느낄 수 있는 유감지진은 서기 2~1904년까지 약 1,800회에 달하며, 그중 인명 및 재산 피해의 기록이 있는 지진은 약 40회 발생한 것으로 나타났다.

이는 우리나라가 유라시아 판 내부에 위치하고 있어 일본 등 판 경계부에 위치한 나라에 비해 상대적으로 지진 발생 빈도가 낮고 그 규모도 작기 때문이다. 우리나라의 지진은 한반도 동남권, 남부 내륙과 서해안 지역에 L자형으로 집중적으로 발생하는 분포를 보이고 있다. 더욱이, 일본, 중

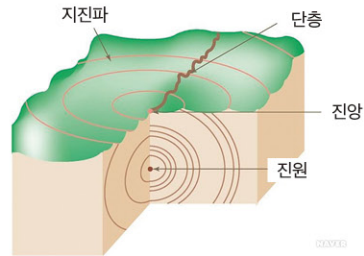


그림 1. 지진 발생

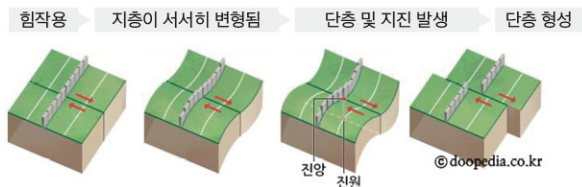


그림 2. 지진 발생 과정 (두산백과)

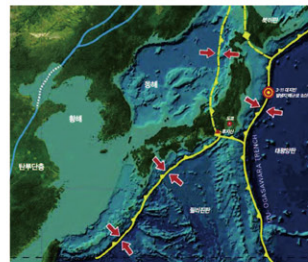


그림 3. 판 구조론

지진명	규모	재산 피해
쌍계사 지진(1936.7.4.)	5.1	- 건물 피해 : 113동(전파 3, 반파 10 등) - 문화재 피해 : 쌍계사 건물 등 문화재 파손
속리산 지진(1978.9.16.)	5.2	- 우리나라 전역에서 진동 감지 (재산 피해 : 없음)
홍성 지진(1978.10.7.)	5.0	- 재산 피해 : 3억 1백만 원 - 건물 피해 : 홍성군청을 중심으로 건물 파손 100여 동, 건물 균열 1,000여 동 - 성곽 붕괴 : 사적 231호 홍주 성곽 붕괴 - 도로 파손 : 홍성읍 오관리6구 한전출장소 앞 포장도로(8m폭) 약20m가 너비 1cm가량 균열 - 유리창 파손 : 홍성군청 등 12개 공공기관의 유리창 500여 장 - 기타 : 일시 정전, 전화 불통
영월지진(1996.12.13.)	4.5	- 건물 피해 : 영월군과 정선군 일대 10여개 구조물에서 균열 발생, 도로변 낙석 발생 - 한반도 전역에서 진동 감지
울진 앞바다 지진(2004.5.29.)	5.2	- 재산 피해 : 없음 - 울진 지역(진도 V)에서 건물이 심하게 흔들림 - 속리산지진 이후 가장 큰 규모의 지진
오대산 지진(2007.1.20.)	4.8	- 건물 피해 : 일부 노후 조적조 건물의 벽체에 균열 발생

표 1. 우리나라 지진피해 사례

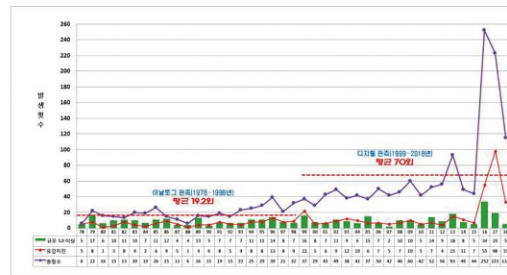


그림 4. 1978년~2018년 지진발생 현황 (기상청)

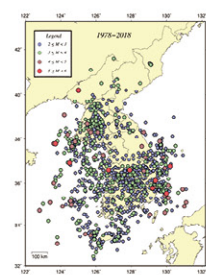


그림 5. 1978~2018년 진앙분포도 (기상청)

국 등 지진이 빈발하는 주변국에서 대규모 지진이 발생할 경우 시차를 두고 영향을 받는다는 지진 전문가들의 견해도 있어 지진으로부터 완전히 자유로울 수 없는 상황이다.

### 우리나라 지진피해

과거 우리나라에서 발생한 지진으로 인하여 피해를 입은 사례가 다소 있었다. 특히 1978년 홍성지진은 건물, 유리창, 문화재 등 다수의 피해가 발생하였는데 2017년 포항지진, 2016년 9.12지진 다음으로 큰 피해가 발생한 사례이다. 최근에는 연평균 50여 회 수준이던 지진 횟수가 2016년 252회, 2017년 223회로 급격히 증가했다. 또한, 1978년 지진 관측 이래 최대 규모의 지진이 2016년에 경주에서 발생하고 1년 만에 두 번째 큰 규모의 지진이 포항에서 발생함에 따라 국민들의 지진에 대한 불안감은 증대되었다.

### 교량 내진장치

우리나라를 비롯한 전 세계적으로 발생하는 지진은 인간

에게 매우 위험한 재난이지만, 이러한 지진에 대비하고 지진이 발생했을 때 교량 등 구조물이 안전하게 보호될 수 있도록 여러 다양한 내진기술에 대한 연구와 관련 내진장치의 개발이 이루어지고 있다.

국내에서는 지진에 대비한 교량의 안전을 위해서 내진설계를 도입하고, 내진성능 확보를 위해 경제적인 내진대책으로 지진격리받침, 댐퍼, 충격분산장치(STU), 전단키와 같은 내진장치와 낙교방지장치 등이 광범위하게 적용되고 있다.

특히 교량의 지진격리받침은 교량의 상부구조와 하부구조가 만나는 접점에 설치되어 기본적으로는 상부구조의 하중을 하부구조로 전달하는 역할을 하며, 지진 발생 시 교량에 대한 지진력을 감소시켜 지진으로부터 교량을 안전하게 보호할 뿐만 아니라 기후 및 온도변화에 따른 교량의 신축변위 발생을 수용하고, 동시에 차량에 의한 하중과 풍하중을 지지하는 역할을 수행하는 등 교량을 구성하는 매우 중요한 연결 장치이다.



그림 6. 교량 내진장치



교량 상부구조 변위발생 및 균열, 받침 파손

교량 받침 스토퍼 파손 및 모르터 파손

그림 7. 교량 받침 피해 사례

### 국내 성능기준 현황

과거 미국, 일본 등 해외에서의 지진 발생과 피해 사례를 조사 분석하여 마련된 교량 내진설계규정이 도입된 이후 지진격리받침은 새로 건설되는 교량 또는 내진설계가 적용되기 이전에 건설된 교량의 내진성능 보강용 내진장치로서 자주 고려되어 우리나라에서는 2000년대 중반부터 해외 기술 제휴를 통해 국내에 도입된 이래 2010년 이후 많은 수의 지진격리받침이 제작 및 시공되고 있다.

하지만, 최근 포항지진에서 발생한 것과 피해사례에서 볼 수 있듯이 지진 발생 시 교량의 주요 피해는 주로 받침에서 발생한 것으로서 무수축모르터의 파손, 받침스토퍼 파손 등으로 나타나 받침 등 지진에 취약한 연결부에 대한 품질과 성능 확보에 대한 필요성이 대두되었다.

이와 같이 교량에 대한 내진설계규정이 도입된 이후 비내진 설계된 교량의 보강과 신설 교량의 내진설계를 위해 지진격리받침을 많이 적용하고 있다. 그러나 전통적인 내진설계법과는 달리 지진격리받침을 이용한 교량의 내진설계는 지진격리받침의 설계, 제작, 성능시험, 시공에 관련된 전 과정에서 명확한 근거 규정이 없어 많은 혼선이 초래되었다.

그동안 교량 받침과 관련하여 KS F 4420(탄성받침), KS F 4424(포트받침) 등의 규정이 있으나, 이는 일반 교량에 대한 제품 제작에 관련된 내용으로서 받침 종류와 규격이 일부 국한되어 있다. 따라서 최근 상부구조의 지진력에 대응하기 위해 다양한 재료와 형태로 개발된 지진격리받침에 대하여 설계, 성능시험, 시공 등에 적용하기에는 한계가 있다.

현재 국내에 사용되고 있는 다양한 형태의 제품들은 내진설계분야 선진국과의 기술제휴를 통하여 제품을 수입하거나 자체적으로 일부 변형한 형태를 가지고 있다. 그런데 지진격리받침의 생산 공정 단계별로 부품의 품질 기준 뿐만 아니라 완제품 지진격리받침에서 지진 시 요구 성능에 대한 기준 및 평가 방법 등이 정립되어 있지 않다. 따라서 각 제작 업체들은 자체적으로 자의적인 기준을 적용하거나, 외국에서 수입해서 판매하는 경우에는 원 수출국의 기준을 그대로 적용하는 실정이다. 더욱이 지진격리받침을 이용한 기존 교량의 내진 보강에 있어서도 동일한 상황이다. 따라서 외국의 여러 설계기준과 비교·분석하고 실제 검증 시험을 거침으로써 국내 실정에 맞는 통합된 품질 기준과 성능평가 기준이 필요하다.

## 지진격리받침 시험지침(안) 마련

다른 교량 부속시설과 마찬가지로 지진격리받침도 중소기업체를 중심으로 수입되거나 제작되어 시공되고 있는데 이들 제품은 규격이나 제원이 통일되어 있지 않아 호환성이 부족하고 제작과정의 품질 변동성도 커서 이에 따른 제품의 제작단가 상승 요인이 되고 있다. 한편, 지진격리받침은 2015년부터 시행 중인 도로교설계기준(한계상태설계법)에 따르면 완제품을 전수시험을 통해 품질을 확인하도록 하고 있으나, 시험방법에 대한 규정은 제시하지 않아서 실제 시행에 있어서 혼선과 어려움을 겪고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 주요사업 연구와 정부수탁사업 연구의 일환으로 이러한 문제점에 대처하고자 교량의 지진 안전성 및 신뢰성을 향상시키는 것을 목표로 지진격리받침 성능평가와 관련된 시험지침(안)을 마련하였다.

이를 위해 국내 교량에 적용되고 있는 받침들을 조사한 결과 지진격리받침을 크게 고무형, 마찰형, 그리고 두가지 혼합된 복합형으로 분류하였다. 고무형으로는 LRB(Lead Rubber Bearing) 받침과 HDRB(High Damping Rubber Bearing) 받침이 있고, 마찰형으로는 FPB(Friction Pendulum Bearing) 받침이 있으며, 그 외 고무형과 마찰형의 복합형으로 EQS(Eradi Quake System) 받침 등이 있는 것으로 조사되었는데, 본 연구에서는 이러한 실제 지진격리받침에 대한 조사와 더불어 미국, 일본, 유럽의 설계, 제작, 성능시험 관련 기준을 조사, 분석한 결과를 바탕으로 교량의 지진격리받침 시험지침(안)을 작성하였다.

## 지진격리받침 시험지침(안)

지진격리받침 시험지침(안)은 지침 제정의 목적, 적용기준, 시험항목 및 종류 등의 일반사항과 국내 지진환경과 도로교설계기준 관련 규정, 국내 관련 산업 현황 등을 고려하여 지진격리받침에 요구되는 최소한의 품질기준 확보 여부를 확인하기 위한 시험 항목, 시험 방법 등을 포함하고 있다.

시험지침(안)에서의 시험항목 및 시험방법은 각각 (표 3), (표 4)와 같으며 지진격리받침을 고무형과 마찰형으로 구분하여 규정하고 복합형인 경우에는 고무형과 마찰형 모두를 만족하도록 규정하였다.

지진격리받침은 도로교설계기준(한계상태설계법)에 따라 성능시험(원형시험)과 품질시험을 실시해야 하며, 각 시험은 (표 5)와 (표 6)을 참조하여 그 목적에 따라 적절히 수행되어야 한다. 지진격리받침의 시험은 지진격리받침 형태별로 특성에 맞게 시험 방법 및 절차를 준수해야 하고 시험결과를 객관적으로 기록해야 한다.

## 시험지침(안) 검증 시험

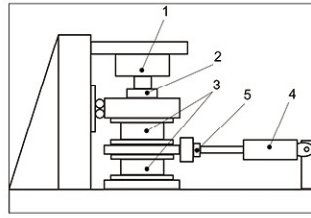
본 연구에서는 시험지침(안)을 참조하여 국내에서 생산 또는 외국에서 수입된 실제 지진격리받침들에 대하여 성능평가 시험을 직접 수행하여 시험지침(안)이 실제 적용될 수 있는지 파악하여 검증하고자 하였다. 이를 위해 교량의 내진성능 향상을 위해 설치되는 지진격리받침중 고무형 지진격리받침과 곡률반경을 가진 마찰재가 포함된

도로교설계기준 (한계상태설계법)	AASHTO Guide Spec. for Seismic isolation Design	ISO 22762 Elastomeric seismic- protection isolators	EN 15129 Anti-seismic devices
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 설계 일반</li> <li>○ 압축특성과 전단특성</li> <li>○ 설계 요구조건               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 일반사항</li> <li>- 전단변형을 검토</li> <li>- 안정성 기준 회전, 좌굴, 미끄럼, 최대압축응력, 부반력</li> </ul> </li> <li>○ 지진격리시스템의 성능 확인               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 품질 기준</li> <li>- 전수시험</li> <li>- 표준시험규정 없음</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 지진격리시스템의 시험               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 시스템 특성 시험</li> <li>- 원형 시험</li> <li>- 품질관리 시험</li> </ul> </li> <li>○ 지진격리시스템의 설계               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 전단변형을 검토</li> <li>- 하중조합에 따른 전단 변형을 한계</li> </ul> </li> <li>○ 지진격리시스템 품질관리               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 일반적 요구사항</li> <li>- 품질관리시험방법·품질 기준·압축 시험·전단 시험</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 요구 사항               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 일반사항</li> <li>- 완성품의 품질기준</li> </ul> </li> <li>○ 설계 원칙               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 일반원칙</li> <li>- 전단변형을 검토</li> <li>- 보강철판의 응력 검토</li> <li>- 좌굴 검토</li> </ul> </li> <li>○ 제작 기준</li> <li>○ 시험 기준               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 시험의 종류</li> <li>- 시험방법</li> <li>- 판정 기준</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 설계 원칙               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 일반 사항</li> <li>- 요구조건</li> <li>- 하중효과</li> </ul> </li> <li>○ 강결형 장치               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 설계조건</li> <li>- Type test</li> <li>- Factory production test</li> </ul> </li> <li>○ 변위종속형 장치               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 설계조건</li> <li>- Type test</li> <li>- Factory production test</li> </ul> </li> <li>○ 속도종속형 장치               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 설계조건</li> <li>- Type test</li> <li>- Factory production test</li> </ul> </li> <li>○ 지진격리장치               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 고무형 설계, 제작, 시험</li> <li>- 곡면 마찰형 설계, 제작, 시험</li> <li>- 평면 마찰형 설계, 제작, 시험</li> </ul> </li> <li>○ 복합형 장치               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 설계조건</li> <li>- Type test</li> <li>- Factory production test</li> </ul> </li> <li>○ 시공</li> </ul>

표 2. 국내의 지진격리받침의 시험기준 현황



그림 8. 교량 지진격리받침 시험지침(안)



1: 액추에이터  
2: 압축 로드셀  
3: 시편  
4: 액추에이터  
5: 전단하중 로드셀

그림 9. 지진격리받침 시험장치 개요도 (지침 내용중)

성능 분류	시험 특성	해당 시험
기본성능	압축특성	압축시험
	전단특성	압축-전단시험
의존성평가	전단강성 및 감쇠비 특성	전단변형률 의존성 시험
		압축하중 의존성 시험
		진동수 의존성 시험
		연속가진 의존성 시험
		온도 의존성 시험
극한안전성	전단특성	극한전단변위시험
	인장특성	인장시험
	내구특성	노화/크리프/피로시험

표 3. 고무형 지진격리받침의 시험항목

성능 분류	시험 특성	해당 시험
기본성능	압축특성	압축시험
	마찰특성	압축-마찰시험
마찰성능	마찰계수	정적 마찰시험
		동적 마찰시험
극한안전성	내구특성	노화시험

표 4. 마찰형 지진격리받침의 시험항목

시험 특성	시험 항목	품질시험*	성능시험*(원형시험)	시험체의 크기
압축특성	압축시험	○	○	실물 크기
전단특성	압축-전단시험	○	○	실물 크기
전단특성의 의존성	전단변형률 의존성시험	×	○	실물 크기 또는 표준시험체 B형 크기로 조정 가능
	압축하중 의존성시험	×	△	실물 크기 또는 표준시험체 B형 크기로 조정 가능
	진동수 의존성시험	×	○	실물 크기 또는 표준시험체 A형 크기로 조정 가능
	연속가진 의존성시험	×	○	실물 크기 또는 표준시험체 B형 크기로 조정 가능
	온도 의존성시험	×	○	실물 크기 또는 표준시험체 A형 크기로 조정 가능
극한전단특성	극한전단변위시험	×	○	실물 크기 또는 표준시험체 B형 크기로 조정 가능
인장특성	극한인장시험	×	△	실물 크기 또는 표준시험체 B형 크기로 조정 가능
내구특성	노화시험	×	○	표준시험체 A형 크기로 조정 가능
	크리프시험	×	○	표준시험체 A형 크기로 조정 가능
	피로시험	×	○	표준시험체 B형 크기로 조정 가능

\* ○ : 실시함, × : 실시하지 않음, △ : 필요에 따라 선택적으로 실시 가능함

표5. 시험종류에 따른 시험항목 및 시험체(고무형)

시험 특성	시험 항목	품질시험*	성능시험*(원형시험)	시험체의 크기
압축특성	압축시험	○	○	실물 크기
마찰특성	압축-마찰시험	○	○	실물 크기
마찰계수	정적 마찰시험	×	○	실물 크기 또는 표준시험체로 가능
	동적 마찰시험	△	○	실물 크기 또는 표준시험체로 가능
내구특성	노화시험	×	○	표준시험체로 가능

\* ○ : 실시함, × : 실시하지 않음, △ : 동적마찰시험에서 P1시험만 실시

표6. 시험종류에 따른 시험항목 및 시험체(마찰형)



그림 10. 고무형, 마찰형 지진격리받침 시험체



그림 11. 지진격리받침 성능평가 시험(마찰형)

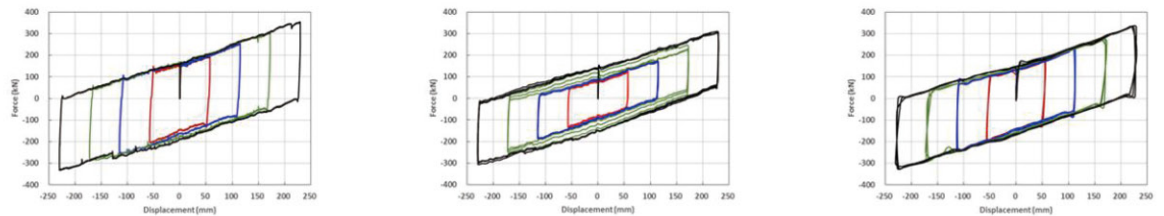


그림 12. 마찰형 지진격리받침 성능평가 시험결과(예)

마찰형 지진격리받침에 대하여 지진격리받침 시험지침(안)을 참조하여 성능평가를 실시하였다. 시험결과로 고무형의 경우 받침의 압축강성, 전단강성, 에너지소산면적, 감쇠비, 극한전단파괴하중 등을 조사하였으며, 마찰형의 경우 최대하중, 강성, 에너지소산면적, 마찰계수 등 마찰형 지진격리받침의 마찰특성을 조사하여 작성된 시험지침(안)에 대한 적정성과 타당성을 검토하였다.

#### 맺음말

본 연구를 통하여 교량의 내진장치중 하나인 지진격리받침에 대한 시험지침(안)을 마련하였다. 지진으로부터 결코 안전하다고 할 수 없는 우리나라에서 지진에 대해 안전한 교량을 위해서는 지진으로부터 교량을 보호하는 내진장치의 품질과 성능확보는 매우 중요하다. 만일 지진이 발생했을 때 내진장치가 제대로 작동하지 않는다면 교량의 파손이나 붕괴 등 심각한 상태에 이를 수 있다. 따라서 이러한 내진장치의 안전성과 내진 신뢰성을 확보를 위해 품질

기준을 정립하고, 성능시험 평가를 시험기준(안)을 마련함으로써 국내 내진장치의 품질과 내진 신뢰성은 크게 향상될 것이다. 결국 교량 내진장치가 고유의 내진성능을 발휘할 때 교량의 안전은 물론 국민의 생명과 안전을 지킬 수 있을 것이다. ☐

#### 참고자료

- ISO 22762 Elastomeric seismic protection isolation, 2018.
- EN 15129 Anti-seismic devices, 2018.
- AASHTO, Guide Specifications for Seismic Isolation Design, 4th Edition, 2014.
- 행정안전부 (2018.8) 2017 포항지진 백서
- 한국건설기술연구원 (2018.12) 지진 시 대피로 및 복구 차량 운행 노선 확보를 위한 교량 취약 연결부 및 내진장치의 안전성 향상 기술 개발, 1차년도 보고서