

# 교량 지진격리받침의 극한특성에 대한 실험적 고찰

## An Experimental Study on the Characteristics of Seismic Isolators under Extreme Conditions

곽임종\* · 윤혜진\*\* · 김영진\*\*\*

Kwahk, Im Jong · Yoon, Hye Jin · Kim, Young Jin

### ABSTRACT

For the early seismic isolation design in Korea, foreign products of isolation bearings were used. But these days, the application of domestic products of isolation bearings is increasing. However various experimental studies can be found very seldom on the extreme and long term behaviors of isolation bearings. In this study, we considered the laminated rubber type isolation bearings that have many application cases in Korea and we evaluated their shear strength, long term characteristics such as aging and creep affecting shear strength of bearings in long term period. For the reality of experiments, fabricated isolation bearing specimens are designed for a real structure and shear loading was applied under design compressive loads. To evaluate aging effect, the specimens were exposed to high temperature environment for certain period and their shear properties were measured to compare with their original values. Also we measured creep amount of isolation bearings under constant compressive load for 1,000 hours and estimated creep amount after 60 years compatible with general life cycle of bridges.

### 요 약

교량의 내진설계에 적용되는 지진격리받침은 초창기 외국제품 수입에서 시작하여 현재는 국내업체의 자체 생산도 가능한 단계에 이르렀다고 할 수 있지만 지진격리받침의 극한적 조건에서의 특성에 대한 고찰은 거의 이루어지지 않고 있다. 본 연구에서는 다양한 지진격리받침 중에서도 많은 적용 사례가 있는 적층고무형태를 대상으로 하여 지진격리받침이 전단수평력을 받아 파괴에 이르는 전단파괴, 지진격리받침의 장기적 특성변화를 유발하는 노화, 크리프가 지진격리받침의 특성에 미치는 영향에 대하여 평가하였다. 실험을 통한 실제적인 고찰이 이루어질 수 있도록 적층고무형 지진격리받침을 실제로 제작하였고 설계수직하중을 재하한 상태에서 전단파괴에 이르도록 전단변위를 가하였다. 그리고 고무재료의 노화에 의한 특성과 영향을 분석하고자 노화축진을 위한 고온 환경에 지진격리받침을 일정 시간 노출시킨 뒤 노출 이전에 측정된 특성에 비해 얼마나 변화하였는지 비교 분석하였다. 아울러 고정된 수직하중을 받는 상태에서 고무재료의 크리프 발생으로 지진격리받침의 높이가 영구적으로 변화할 수 있는데 받침의 수명을 고려하여 60년 후의 크리프량을 추정하였다.

\* 정회원 · 한국건설기술연구원 구조연구부 선임연구원 · 공학박사 · E-mail : kwakim@kict.re.kr - 발표자

\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 구조연구부 연구원 · 공학석사 · E-mail : cbcho@kict.re.kr

\*\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 구조연구부 수석연구원 · 공학박사 · E-mail : yjkim@kict.re.kr

## 1. 서론

교량 지진격리설계는 내진설계를 위한 방법의 하나로서 내진설계가 도로교설계기준에 의해 공식적으로 시작된 1992년 이후로 교량에 대한 적용이 늘어나고 있다. 하지만 정작 도로교 설계기준에서는 전통적인 방법의 내진설계에 대한 규정만을 도입하고 지진격리설계에 대한 규정이 없는 상태가 10여년 이어지다가 비교적 최근인 2004년도 이루어진 도로교설계기준 개정에 지진격리설계편이 도입되었다. 그러나 이 부분에 있어서도 지진격리설계에 대한 규정 위주로 구성되어 있고 지진격리받침자체의 설계, 제작, 품질규정 등에 대해서는 매우 제한적인 언급만 하고 있다. 이러한 배경에는 그동안 국내에서 지진격리받침의 특성에 관련된 연구가 기본적 특성인 수평강성, 등가감쇠비 등에만 주의를 기울이고, 지진격리받침의 변수 의존적 특성, 장기 내구 특성, 극한 특성 등에 대해서는 실험적 연구가 많지 않아 국내 실정에 맞는 규정을 두기가 어려웠던 점을 들 수 있다.

본 연구에서는 다양한 지진격리받침 중에서도 많은 적용 사례가 있는 적층고무형태를 대상으로 하여 지진격리받침이 전단수평력을 받아 파괴에 이르는 전단파괴, 지진격리받침의 장기적 특성변화를 유발하는 노화, 크리프가 지진격리받침의 특성에 미치는 영향에 대하여 평가하였다. 실험을 통한 실제적인 고찰이 이루어질 수 있도록 적층고무형 지진격리받침을 실제로 제작하였고 설계수직하중을 재하한 상태에서 전단파괴에 이르도록 전단변위를 가하였다. 그리고 고무재료의 노화에 의한 특성과 영향을 분석하고자 노화축진을 위한 고온 환경에 지진격리받침을 일정시간 노출시킨 뒤 노출전 측정된 특성에 비해 얼마나 변화하였는지 비교 분석하였다. 아울러 고정된 수직하중을 받는 상태에서 고무재료의 크리프 발생으로 지진격리받침의 높이가 영구적으로 변화할 수 있는데 받침의 수명을 고려하여 60년 후의 크리프량을 추정하였다

## 2. 극한 파괴 특성

극한 파괴 특성의 목적은 지진격리받침의 파단 및 좌굴상태에서의 변위와 하중을 측정하고, 추후 지진격리받침 제품의 등급을 산정하는데 필요한 시험이다. 이 시험은 납이 삽입된 납-적층고무받침 (Lead Rubber Bearing, 이하 LRB) 두 종류 LRB-type2 (Scale B)와 LRB-type3 (Scale B), 그리고 납이 없는 일반 적층고무받침(이하 RB) type3 (Scale B) 등 3개의 시험체로 시험을 실시하였다. LRB 시험체의 최대설계압축력은 2236kN과 1933kN이며, RB의 최대설계압축력은 1985kN이다. 시험은 압축력을 가력한 후 면진장치가 파괴에 이르도록 한쪽방향으로 전단변위를 가한다. 가력속도는 0.52mm/sec로 천천히 실시한다. 본 실험에서 파단 및 파단에 해당하는 변위의 결정은 전단하중이 최대일 때의 변위로 결정하였다.

표 1 극한 파괴특성 실험 결과

| 시험편명       | 항 목     | 측정값      | 기준값        | 설계변위 대비 비율            |
|------------|---------|----------|------------|-----------------------|
| LRB Type 2 | 파단하중    | 122.6 kN |            | 97%<br>(설계변위:78.8mm)  |
|            | 파단시 변위* | 157.0 mm | 최대:134.5mm |                       |
| LRB Type 3 | 파단하중    | 149.4 kN |            | 107%<br>(설계변위:78.8mm) |
|            | 파단시 변위  | 186.3 mm | 최대:144.4mm |                       |
| RB Type 3  | 파단하중    | 81.5 kN  |            | 146%<br>(설계변위:78.8mm) |
|            | 파단시 변위  | 253.4 mm | 최대:144.4mm |                       |

\* 최대하중 일때의 변위

시험결과 LRB-type2 (Scale B) 시험체의 파단하중은 122.6kN이고, 이때의 변위는 157.0mm로 나타났다. 이는 기준값의 97%에 해당되어 기준값에 약간 미달함을 보였다. LRB-type3 (Scale B) 시험체

의 경우 파단변위가 기준값을 약간 상회하는 것으로 나타났다. RB-type3 (Scale A) 시험체는 파단변위가 기준값을 초과하여 만족한 값을 나타내었다.



그림 1 극한 전단 파괴 실험 장면

### 3. 장기 내구 특성 - 노화

내구특성-노화시험의 목적은 지진격리받침의 노화 이전과 노화 이후의 전단특성을 비교하여 노화에 따른 전단강성 및 성능 등을 파악하는데 있다. 내구특성-노화시험은 시험체 LRB-type2 (Scale A) 및 RB-type3 (Scale A)를 노화전에 전단특성 및 극한전단특성 시험을 실시하고, 노화오븐에서 노화연수 60년에 해당하는 조건(70℃, 168시간)으로 노화시킨 후 전단특성시험과 극한전단특성시험을 수행하였다. 극한전단특성시험 수행시에는 각각 3개의 시험체를 사용하며 좌굴, 파단시 시험을 종료하고 재사용하지 않는다. 압축-전단특성시험에 있어서 LRB시험체의 설계압축력은 564.4kN, 설계전단변위는 42.3mm이고, RB시험체의 설계압축력은 490kN, 설계전단변위는 45.2mm이다. 노화시험결과 노화를 시킨 이후에도 노화 이전의 성능에 비해 크게 감소되지 않았으며 노화 후의 측정값도 모두 설계 요구값을 충족하는 것으로 나타났다.

표 2 장기 내구 특성-노화시험 결과

| 형태        | 항 목   |                    | 측정값        | 노화 5전후 변화 비율 |
|-----------|-------|--------------------|------------|--------------|
| LRB Type2 | 노화 이전 | 압축강성               | 478        | -            |
|           |       | 전단강성               | 0.73       | -            |
|           |       | 등가감쇠비              | 35.28      | -            |
|           | 노화 이후 | 압축강성               | 462        | -3%          |
|           |       | 전단강성               | 0.70       | -4%          |
|           |       | 등가감쇠비              | 35.16      | 0%           |
| LRB Type2 | 노화 이전 | 극한전단변위 (3개 시험체 평균) | 118.0 (mm) | -            |
| LRB Type2 | 노화 이후 | 극한전단변위 (3개 시험체 평균) | 131.4 (mm) | +11%         |
| RB Type3  | 노화 이전 | 압축강성               | 195        | -            |
|           | 노화 이후 | 압축강성               | 195        | 0%           |
|           | 노화 이전 | 전단강성               | 0.19       | -            |
|           | 노화 이후 | 전단강성               | 0.19       | 0%           |
| RB Type3  | 노화 이전 | 극한전단변위 (3개 시험체 평균) | 147.5 (mm) | -            |
| RB Type3  | 노화 이후 | 극한전단변위 (3개 시험체 평균) | 157.5 (mm) | +7%          |

### 4. 장기 내구 특성 - 크리프

내구특성-크리프시험의 목적은 지진격리받침의 장기처짐량을 조사하여 지진격리받침의 내구특성을 평가하는데 있다. 내구특성-크리프시험은 축소모형 시험체인 LRB-type2 (Scale A)와 RB-type3 (Scale A)를 장기처짐 시험기에 설치하고, 설계압축력을 재하한 상태로 유지하여 1000시간 이상의 시간동안 처짐량을 측정하였다. 여기서, 설계압축력은 LRB와 RB에 대하여 각각 564.4kN과 441kN이며, 측정시간은 시작부터 10시간까지는 1시간 단위로, 10시간부터 100시간까지는 10시간 단위로, 100시간부터 1000시간은 100시간 간격으로 처짐량을 측정하였다. 시험결과 LRB시험체 및 RB시험체 모두 크리프 처짐이 크게 발생하지 않아 크리프량이 2% 범위 이내에 분포하는 것으로 나타났다.

표 3 장기 내구 특성-크리프시험 결과

| 형태            | 항 목     |         | 측정값    |
|---------------|---------|---------|--------|
| LRB<br>Type 2 | 100시간   | 크리프 변형율 | 0.18 % |
|               | 1000시간  | 크리프 변형율 | 0.43 % |
|               | 60년(추정) | 크리프 변형율 | 1.52%  |
| RB<br>Type3   | 100시간   | 크리프 변형율 | 0.18 % |
|               | 1000시간  | 크리프 변형율 | 0.30%  |
|               | 60년(추정) | 크리프 변형율 | 1.49%  |

## 5. 결론

적층고무형태의 지진격리받침을 대상으로 하여 극한적 특성인 전단 파괴, 장기적 특성인 노화, 크리프가 지진격리받침의 특성에 미치는 영향에 대하여 평가하였다. 전단 파괴 시험의 결과를 보면 일부 시험체는 지진시 설계 변위에 근소하게 못 미치는 경우도 있었다. 또한 적층고무형 지진격리받침의 형상비와 좌굴안정성도 전단파괴 결정에 복합적으로 영향을 미치기 때문에 일률적으로 전단파괴에 대한 안전마진을 설계기준에 도입하는 것은 적합하지 않은 것으로 보이며, 오히려 일반적인 전단파괴 변위를 구간별로 나누어 성능 등급을 부여하고 수요자가 이 중 구조물에 적합한 등급을 지정하도록 유도하는 것이 바람직하다고 판단된다. 장기적 내구성능을 나타내는 노화와 크리프의 영향에 대한 실험결과를 보면 적층고무형 지진격리받침의 초기 설계시의 값이 지진격리받침의 수명기간 정도 지난 후에도 크게 변화하지 않을 것이라는 예측이 가능하며 국내 실정에 맞는 변화량의 판단 기준 설정은 좀 더 많은 시험체를 대상으로 한 실험연구 결과에 근거하여 제시되어야 할 것이다.

## 감사의 글

이 연구는 교량설계핵심기술연구단 연구과제“교량 부속시설의 성능 및 신뢰성 향상기술 개발”(과제번호 : 03산C02-01)와 유니슨(주)의 지원으로 수행되었으며 실험과 시험체 제작에 도움을 주신 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

1. AASHTO (1999) Guide Specifications for Seismic Isolation Design
2. 일본도로협회 (2004) 도로교지승편람
3. European Committee for Standardization (2005) EN 1337-3 Structural Bearing-Part 2: Elastomeric Bearings, CEN
4. ISO (2005) Elastomeric seismic-protection isolators, ISO 22762, First edition
5. 국토해양부 (2005) 도로교설계기준