

블록형 고무피복체인식 낙교방지장치

The Bridge Deck Restrainer of Rubber-Chain Type

최 석 정* 강 재 윤** 오 태 현*** 유 문 식**** 윤 석 용*****
Choi, Suk Jung Kang, Jae Yoon, Oh, Tae Hun, Yoo, Moon Sig, Yoon, Suk Yong

ABSTRACT

During past earthquakes several bridges have failed due to a loss of support at their bearings, seats, and/or expansion joints. Most efforts to prevent this have been directed toward tying bridges together at their bearings and expansion joints. Longitudinal restrainers are installed to limit the relative displacement at joints and thus decrease the chance of a loss of support at these locations. Transverse restrainers are necessary in many cases to keep the superstructure from sliding off in the transverse direction. Vertical restrainers are used at bearings to prevent uplifting deck, but usually not economically justified unless additional bearing retrofit is being performed. To obtain this three function of restrainer, a universal restrainer is developed. The load capacities were evaluated in static and dynamic experimental test. The test results show that the measured capacity or strength of the bridge deck restrainer is similar to that of design value.

1. 서론

낙교방지시스템은 주요 구조물의 충돌에 의한 파괴나 비정상적 진동을 방지하기 위하여 구조물간의 최소이격거리의 확보, 과도한 변위 방지를 위한 최소받침지지길이의 확보 및 교대 뒤채움 흙의 수동토압을 이용한 이탈장치와 주형연결장치 등의 이동제한장치 등으로 이루어지며 교량의 낙교에 의한 인명손실이나 교통 차단을 방지하기 위한 보강재이다.

국내에서는 낙교방지에 관한 구체적인 규정이 아직 정해져 있지 않으며 도로교시방서에 낙교방지를 위한 최소받침지지길이만이 규정되어 있는 실정이다. 도로교설계기준(안)에서는 최소받침지지길이 산출식에서 주형의 횡방향 거동을 고려하는 등의 발전이 있었지만 구체적인 낙교방지 대책으로서 최소받침지지길이만을 제시하고 있다는 점에서 충분한 낙교방지 대책이라 할 수 없다. 또한, 최소받침지지길이를 확보할 수 없는 경우에 대해서는 변위구속장치를 설치해야 한다는 규정이 포함되어 있기는 하

* 특별회원, (주)케이알 기술연구소 연구원

** 한국건설기술연구원 구조시스템그룹 연구원

*** 특별회원, (주)케이알 엔지니어링사업부 팀장

**** 특별회원, (주)케이알 기술연구소 수석연구원

***** 특별회원, (주)케이알 기술연구소 연구소장

지만 변위구속장치에 관한 상세 규정은 포함되어 있지 않다.

본 연구에서는 낙교방지시스템에 관한 연구가 비교적 활발한 일본의 경우를 중심으로 블록형 고무체인식 낙교방지장치를 중심으로 개발제품의 특성 및 성능확인시험 내용을 소개하고자 한다.

2. 완충성을 갖는 블록형 고무피복체인식 낙교방지장치 개발

2.1 고무피복 체인의 이용

낙교방지장치의 일반적 특성은 그림 1의 ②와 같이 변형과 함께 저항력이 점차 증대하는 것으로서 충격력을 크게 완충할 수 있고, 임의 방향으로 변형하는 기능을 가져야 한다. 이것을 만족할 수 있는 구조 재료로써 해양 부유구조물의 계류앵커에 이용되는 막대형 고무피복체인에 착안하였다. 이것은 강재 체인을 고무로 충전·피복하고 성형한 것으로서, 교차하는 체인을 소정의 간격으로 배치하므로써 고무가 체인 사이에 충전된다. 따라서 체인이 늘어나는 저항이 발생함과 동시에 체인 교차부의 고무가 압축력을 받지만 체인 전체를 두껍게 피복하고 있는 고무의 밀폐효과로 인해 변형이 억제되고, 그림 2와 같은 내부응력이 발생하여 큰 완충성을 얻을 수 있다.

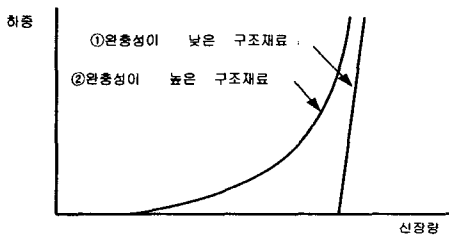


그림 1 완충성에 따른 하중-신장변형 특성 관계

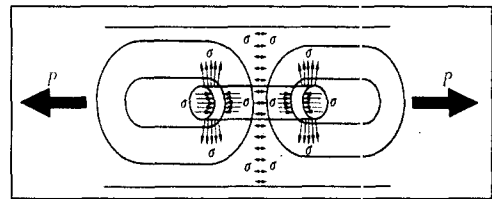


그림 2 인장력을 받는 고무피복 체인의 거동

2.2 블록형에 의한 개선

막대형에 대해서는 효고현 남부지진후 한신고속도로 신호선(神戸線)의 기존 PC주형 복구에 적용된 바 있다. 설치 상황은 그림 3과 같이 PC주형의 단부 가로보를 관통하는 것으로서, 그 구조는 그림 4에서 보이는 바와 같다. 구조적 거동은 지진시 주형의 설계 변위까지는 막대형이 단부 가로보의 관통구를 통해 미끄러지고, 과도한 변위에 대해서는 막대형의 선단에 설치된 stoper에 의해 구속된다.

그러나, 막대형은 긴 것이기 때문에, 강 거더에 설치하는 경우 주형 유간부에는 설치할 수 없다. 이 때문에 단부 가로보·다이아프레임 등의 타부재와 간섭하기도 하고, 설치부의 보강규모가 증대하는 경우도 있어, 시공성이 떨어진다. 이러한 문제점을 보완하여 막대형을 그림 5와 같이 U형으로 구부림으로써 크기를 줄이고, 거더의 유간에서도 설치가 가능하도록 하였다. 이것을 블록형 고무피복체인식 낙교방지장치라고 한다.

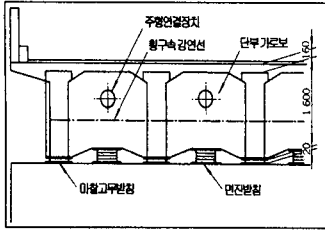


그림 3 PC 주형에 설치된
막대형 주형연결장치

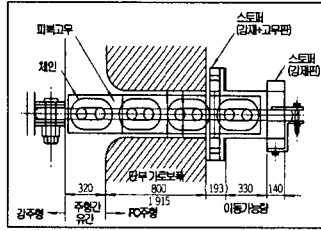


그림 4 막대형 주형연결장치의
연결예

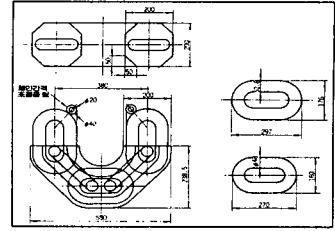


그림 5 블록형 고무피복체인식
낙교방지장치

2.3 블록형 고무피복체인의 특성

(1) 구조적 특성

막대형은 인장력을 받으면 체인 교착부의 고무가 압축 변형할 뿐이며 전체의 신장변형은 적다. 따라서, 큰 변위에 대해서는 설치부에 여유량을 주는 것으로 대응해야 한다. 그러나, 블록형은 그림 6에서 보는 바와 같이 인장력을 받으면 막대모양으로 변형해 가기 때문에 전체의 신장 변형이 크다. 또 그 과정에서 인장 저항이 발생하고, 게다가 블록형이 막대형에 가까워짐에 따라서 체인 교착부의 고무가 압축 스프링으로 작용하여 저항하기 시작하므로 인장 저항이 크게 증대된다. 따라서, 지진시 블록형에는 변형에 따른 상부구조의 관성력이 작용하므로 받침이 파손하면 받침에 작용하고 있던 상부구조 관성력이 블록형에 전달되기 쉽고 충격의 발생율이 작아 진다. 일반적으로, 온도변화에 의한 거더의 신축량은 블록형의 변형가능량에 비해서 상당히 작고, 고무에는 응력완화의 특성도 있으므로 블록형에 큰 저항력은 발생하지 않는다.

(2) 사용재료

체인의 재질은 JIS F 3303에 규격화되어 있는 강도가 큰 제 3종의 SBC690을 채용했다. 피복고무의 재료는 고무받침 등으로 많이 쓰이는 천연고무계로 하였다. 여기에서, 체인의 인장 허용내력은 내력시험하중을 1.7로 나눈 값으로 하고 있다.

(3) 설치방법

블록형의 설치에는 그림 7과 같다. 이 예는 블록형이 단부 체인을 단부 가로보 위치에 설치한 2장의 리브사이에 수평방향으로 삽입하고 핀으로 고정하는 것이다. 이 외, 주형 중심선이 어긋나 있는 경우와 강박스거더 또는 교각에 설치하는 방법은 다소 다르지만, 기본적인 개념은 동일하다.

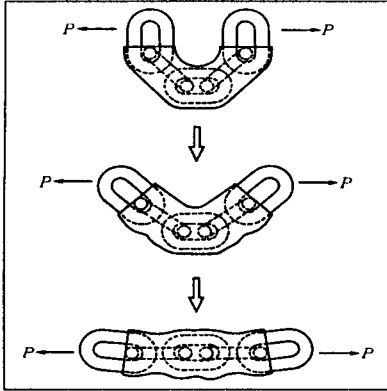


그림 6 인장력에 따른 체인의 변형

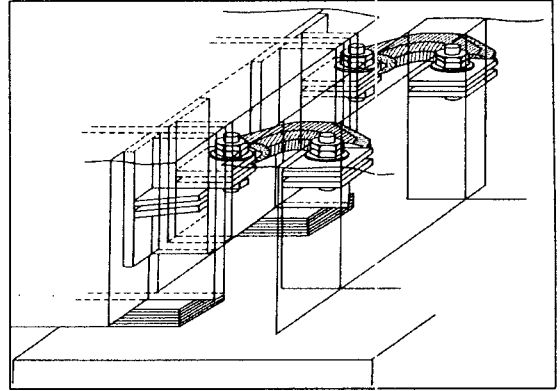


그림 7 블록형 고무피복체인식 낙교방지장치의 설치예

3. 성능확인 시험

성능확인을 위하여 실물 크기의 공시체를 제작하여 성능확인 시험을 실시하였다. 시험항목 및 시험 방법은 표 1과 같다. 이 공시체의 절단시험하중 및 내력시험하중은 각각 131tf 및 91.4tf이다. 인장 허용내력은 JIS 규격치의 내력시험하중을 1.7로 나눈 53.8tf이며, 설계하중 50tf용의 낙교방지장치로서 규격화되어 있는 것이다.

표 1 시험항목 및 시험방법

대상 부위	시험항목	공시 체수	시험기	재하조건	시험속도	시험 회수 (회/공 시체)	
고무 체인 본체	인장시험	인장시험	300t 대형구조시험기	최대부하 50t	1mm/sec	3	
		인장내력시험					최대부하 137t
	정적시험	압축시험	100t 만능시험기	150mm	1mm/sec	3	
		면내전단시험	500t 정적유압채	최대부하 50t	1mm/sec	3	
		면외전단시험	500t 정적유압채	최대부하 50t	1mm/sec	3	
	동적시험	반복재하시험	3	65t 전기유압식 피로시험기	최대부하 30t 최대진폭 200mm	0.15Hz(60mm/sec) 0.39Hz(120mm/sec)	5
		충격인장시험	3	고속인장시험장치	최대부하 40t	1000mm/sec	1
설치 부	면외재하시험	1	500t 정적유압채	최대부하 50t	1mm/sec	1	

3.1 정적시험

(1) 인장시험 및 인장내력시험

정적인장시험에 의한 하중-인장변형 특성 및 변동폭을 각각 그림 8과 같고, 정적인장 내력시험의 하중-인장변형 특성을 그림 9와 같다.

그림 8에서는 첫 번째 재하의 30tf 및 40tf의 하중시에 하중-변위 곡선에 불연속이 생기고 있다. 이것은 블록형의 내부 곡면을 따라 고무에 파단이 생기면서 응력의 일부가 해방되어 변형이 증가하였기 때문이지만, 변형성능에는 큰 영향을 미치지 않고 있다.

또 두 번째 재하 이후의 하중-변위 곡선은 첫 번째와 비교해서 급격한 변위증가를 보이는데, 이는 첫 번째 재하에 의해 고무 내부의 변형율이 큰 부위에서 국부적으로 파단했기 때문에 두 번째 재하 이후에서는 고무에 의한 구속효과가 감소한 것과, 첫 번째 재하시험에서 고무분자의 약한 불안정 1차 결합이 절단되었기 때문이라고 보인다.

그림 9에서는 137tf까지 재하했지만 파단되지는 않았다. 이 하중-변위 특성에서 고무에 의한 완충성은 50tf정도의 재하하중까지 발휘되고, 그이상의 하중에 대해서는 각각의 체인이 변형함에 따라 체인 고유의 완충성이 나타날 것이다. 또 외면에서 관찰할 수 있는 균열은 발견되지 않았다.

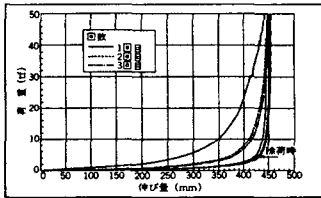


그림 8 정적 인장시험

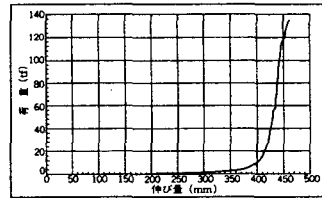


그림 9 정적 인장내력시험

(2) 압축시험

정적압축시험의 하중-압축변형특성을 그림 10과 같다. 낙교방지장치의 압축시험변위량은 공시체형상을 고려하여 150mm로 했다. 이 정도의 압축변형량에서는 고무에 발생하는 변형률이 작기 때문에 고무의 손상이나 잔류 변형 등은 볼 수 없었다.

또 정적 인장시험과 같은 형식으로 두 번째 재하 이후의 하중-압축변형 특성은 첫 번째 재하와 비교해서 변위증가가 늦지만, 압축변형량 및 압축력이 작기 때문에 그 영향은 없다.

(3) 면내전단시험

면내전단시험의 하중-인장변형 특성은 그림 11과 같다. 정적인장시험과 마찬가지로 두 번째 재하 이후의 하중-인장변형 특성은 첫 번째 재하와 비교해서 급한 변위증가가 나타난다. 면내전단의 최종형태는 정적인장시험과 거의 동일한 결과를 보였지만, 자유변위량(저항력이 거의 없는 상태에서의 인장 변형량)은 크다.

(4) 면외전단시험

면외전단시험의 하중-인장변형 특성을 그림 12와 같다. 정적인장시험과 마찬가지로 두 번째 재하 이후의 하중-인장변형 특성은 첫 번째 재하와 비교해서 급한 변위증가로 시작되고 있다. 또, 체인의 설치구조에 따라서 말단부의 링크가 면외로 크게 휘기 때문에 잔류 휨변형이 생기고, 말단부 링크 부분

의 고무에 파단이 생겼다.

하중-인장변형 곡선에서 첫 번째 재하의 15tf, 40tf 및 두 번째 재하의 35tf 근처의 변동은 이 영향에 의한 것으로 판단된다. 하지만 인장변형성능에는 큰 변화를 주지 않는다.

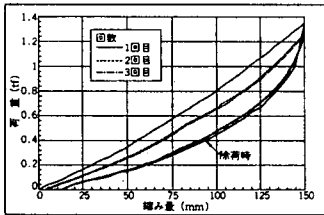


그림 10 정적 압축시험 결과

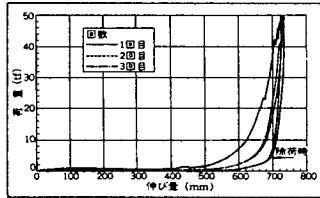


그림 11 정적 면내전단시험

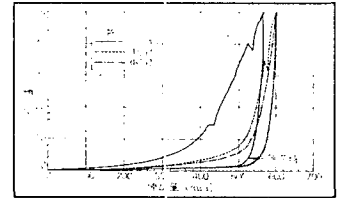


그림 12 정적 면외전단시험

3.2 동적시험

(1) 반복재하시험

반복재하시험의 하중-인장변형 특성을 그림 13과 같다. 시험계의 능력을 고려하여 사전에 350mm의 변형을 준 상태에서 30tf 정도의 하중을 재하였다. 그 결과, 하중-인장변형 특성은 하중재하점을 중심으로 루프를 그리고, 정적인장시험과 동일한 거동을 보였다.

(2) 충격인장시험

충격인장시험의 하중-인장변형 특성은 그림 14과 같다. 동적인장 시험결과와 함께 평균값을 도표화 하여 하중-속도 의존성은 나타내면 그림 15와 같다. 그림 14의 하중-인장변형 특성은 정적인장시험 결과와 동일한 경향을 보였으며, 그림 15에서 하중의 속도의존성은 변위량에 관계없이 작음을 알 수 있다. 고무의 손상은 단부 부근에서 체인과 고무와의 연결(緣切)이 있는 정도이고, 변형율이 큰 내부 곡면에서는 파손을 볼 수 없었다.

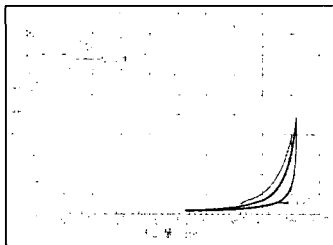


그림 13 동적 반복재하시험

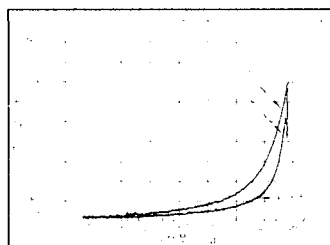


그림 14 충격시험 결과

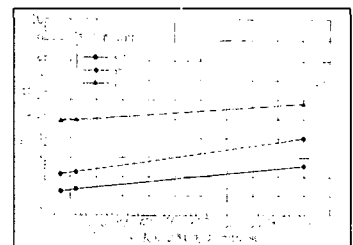


그림 15 하중-속도의존성

3.3 설치부의 면외재하 시험

거더가 낙교하여 걸쳐있는 상태에서 설치부에 면의 방향으로 변위가 발생하는 경우를 고려하여, 설치부에 스트레인 게이지를 붙여 두고 면외재하시험을 실시했다. 실제 지진시에는 체인과 설치부의 취합 상태가 일정하지 않고 특정 부위에서 서로 부딪히는 상황이 된다고 예상된다. 본시험에서는 설치 리브의 기부 연단에서 항복을 초래하는 과대한 변형이 국부적으로 발생하고 있다. FEM해석도 실시하였으나, 시험결과와 동일한 항복을 초래하는 과대한 변형이 발생하고 있다. 이렇게 설치 리브 전체에 걸쳐서 발생하는 응력을 허용응력 이하로 하는 것은 무리지만, 설치 리브를 Base plate에 완전용입 용접으로 접합시켜, 설치부 전체로 저항시키므로써 하중을 견딜 수 있다고 판단된다.

4. 유효성 평가

4.1 대상교량에 대한 시간이력응답하중

정적인장시험을 통해 얻은 블록형의 하중-인장변형 특성을 이용하여, 시간이력응답 해석을 실시했다. 대상교량은 시험시공한 면진교량으로 하중조건은 면진받침이 400%의 전단변형률에 이른 시점에서 면진받침이 파단하고, 그 힘이 블록형으로 전달되는 것으로 하였다. 이 조건에 의하여 블록형이 256mm 변형한 상태에서 20tf의 하중이 작용하게 된다. 단일 체인에 대해서도 동일하게 계산했다. 이 결과 응답하중은 그림 16에 보는 바와 같이 최대응답하중은 체인 하나일 때의 약 1/3이 되고, 고무피복에 의한 완충효과는 충분히 얻을 수 있음을 알 수 있다.

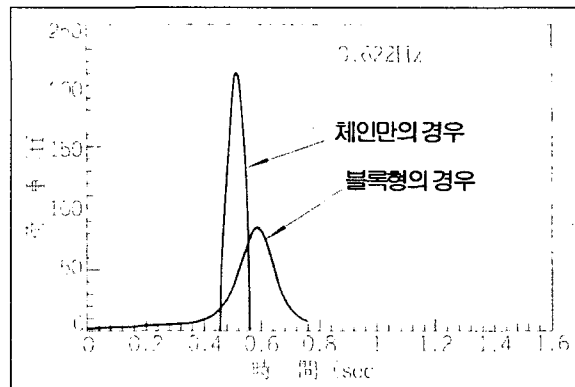


그림 16 시간이력응답하중

4.2 시험시공

시간 20m의 강합성판형을 (3+3+11)경간으로 연결한 한신고속도로에 블록형 고무피복식 낙교방지장치를 시험시공하였다. 설치 상황은 그림 17과 같다. 그 결과, 좁은 거더 유간부에 설치하기 위해서는 블록형의 구조폭을 매우 좁혀 두는 편이 시공하기 쉬움을 알 수 있었다.



그림 17 일본 한신고속도로 실제 설치예

5. 결론 및 고찰

- 1) 블록형 고무체인식 낙교방지장치는 기존의 강판재 링타입이나 전단키 형식의 낙교방지장치가 주로 교축방향으로만 거동할 수 있는데 비하여, 3차원 거동이 가능하다.
- 2) 특히 강재 체인형이 고무로 둘러싸여 있어 강재부식에 대한 저항성이 우수하며 교량상판의 이동 및 충격을 완화시키는 장점이 있다.
- 3) 지진시에 거더와 교좌장치의 허용변위를 넘는 경우에도 블록형 고무피복체인식 낙교방지장치는 충분한 내구력을 가지고 있음이 여러 시험방법을 통하여 입증되었다.

참고문헌

- 1) 橋梁補修・補強の 新技術, 建設圖書, 1994.
- 2) 日本土木學會, 콘크리트 標準示方書(規準集), 1996.
- 3) Fisher, J. W., "Fatigue and Fracture in Steel Bridge", John Wiley & Sons, pp. 42~60, 1984.
- 4) 關 惟忠, 宇野裕惠, 西岡敬治, 緩衝性のある落橋防止裝置, 橋梁と基礎, pp. 31~36, 1997.
- 5) 대한토목학회, 콘크리트 표준시방서, 1996.