쐐기를 이용한 높낮이 조절받침 개발 및 성능실험

Development and Tests for Adjustable Bearings Using Wedges to Adjust Elevation

최은수* · 태기호** · 백준호*** · 어 윤****

Choi, Eunsoo · Tae, Ghiho · Baek, Joon-ho · Eo, Yoon

Abstract

This study provides an idea of adjustable bearing using wedges, which adjusts elevation of a superstructure during construction and/or in service. Adjustable bearings can release developed stress in a superstructure causing from settlement and so on. This study prepares a wedged adjustable bearing and assess its performance from a few static loading tests. A tolerance of the bearing to adjust elevation is estimated to be 0.42 mm, which is in good performance. The deformation of 2.0 mm occurs due to loading of 1470 kN and the deformation is removed with releasing the loading. Thus, any residual deformation is not remained. Finally, finite element analyses are conducted to estimate stress in the sole plate of the adjustable bearing, which is distributed uniformly.

Key words : Bridge bearing, elevation control, load measurement, wedge action

요 지

본 연구에서는 교량의 시공 또는 사용 중 필요에 따라 상부구조의 높이를 조절할 수 있는 쐐기기술을 적용한 다목적 교량받침을 고안하고, 제작하여 그 성능을 평가하였다. 본 연구에서 고안한 높이조절 받침은 공용 중 교량의 지점침하 등으로 인한 구조물의 과도한 응력발생을 억제할 수 있다. 또한, 하중측정이 가능하도록 개발할 수 있어, 작용하는 수직하중의 변화를 계속하는 것이 가능하다. 제작된 받침에 대해서 실내실험을 수행하였고, 유한요소 해석을 수행하여 하중에 대한 응력변화를 검토하였다. 받침의 강재부분에 일정한 응력분포를 보이고 있는 것으로 나타났으며, 높이조절 오차는 0.42 mm로 성능을 만족한 것을 알 수 있었다. 또한, 사용하중과 극한하중에 대한 실험결과 극한하중 1470 kN까지 발생변위 2.0 mm로 나타났고, 하중제거 시 잔류변형은 나타나지 않은 것을 알 수 있었다.

핵심용어 : 교량받침, 높이조절, 하중측정, 쐐기작용

1. 서 론

교량의 상부구조와 하부구조의 접점에 설치되는 교량 받침은 상부구조에 가해지는 하중을 하부구조로 전달하고 필요에 따라 상부구조의 이동, 구속, 회전등의 기본적인 기능을 갖게 된다(Chen and Duan, 2003). 교량받침은 교량의 제 기능을 원활하게 발휘하고, 전체적인 안정성을 확보하는데 있어서 중요한 역할을 하므로 받침과 그 지지부에 대한 설계, 제작, 시공 및 유지관리 등에 특히 신중을 가해야 한다. 또한, 설치가 완료된 교량받침에 대해서는 막대한 하중이 상시 작용하므로 교체 또는 지점침하 등의 이유로 높이 보정을 위한 상부구조 승강 시 별도의 대책이 필요하다. 교량 받침의 교

체 시에는 교각 또는 교대의 교좌부에 잣을 올려놓고 상부구조를 인상할 수 있는 충분한 공간을 확보할 수 있도록 시공되어야 하며(Oh *et al.*, 2006; Choi *et al.*, 2008), 교각의 지점침하 등의 원인으로 상부구조를 인상할 경우에도 잣을 이용하여 상부구조를 인상한 후 덧판을 대어 받침 높이를 조정하는 등의 작업이 필요하고, 이 역시 시공 시 충분한 공간이 확보되어야 한다. 교량받침은 상부구조의 하중에 의한 일정한 연직하중과 통과차량 등에 의한 동적하중을 받고 있어 교량받침에는 항상 큰 압축력이 작용하게 되는데, 이러한 교량 구조물에 지점침하가 발생할 경우, 교량 상부의 수직 변형의 발생으로 부반력이 발생해 설계 시의 교량 하중전달 시스템과 실구조물의 하중전달 시스템이 달라져 상부구조에 큰

*교신저자. 정회원. 홍익대학교 토목공학과 부교수(Tel: +82-2-320-3060, FAX: +82-2-322-1244, E-mail: eunsoochoi@hongik.ac.kr)

Corresponding Author: Member, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Hongik University

**인우건설(주)

Inwoo Construction Company, Ph.D.

***에스코알티에스(주)

Esco RTS Co. Ltd., Ph.D.

****홍익대학교, 토목공학과, 석사과정

Master course, Department of Civil Engineering, Hongik University

Fig. 1. Shape of an Adjustable Bridge Bearing Using Bolt and Nut System (Kim et al., 2002)

응력변화가 발생하게 된다. 연속 거더교 또는 박스형 교량의 경우에 중앙부 교각 또는 교대부의 부등침하하는 상부구조에 추가적인 휨 응력을 발생시켜 상부구조의 균열과 손상을 발생시키고, 결국 초기 시공된 받침의 용량이 초과되어 받침의 파괴로 받침 교체 및 보수보강 비용을 증가시키게 될 것이다(HPC, 1996; HPC, 1998). 따라서 이러한 교량의 부등침하 등에 의한 구조물의 파괴를 방지하기 위해 상부 구조물의 높이를 조절하였으나, 많은 문제점이 발생되어 이를 보완하고 피해 발생 시 빠르게 대처하여 파괴 이전에 시스템을 개선하기 위하여 받침 자체를 인위적으로 승강시킬 수 있는 교량받침에 대한 개발이 필요하게 되었다. 일반적으로 교량의 시공 또는 사용 중 필요에 따라 상부구조의 높이를 조절할 수 있는 교량받침을 승강식 교량받침(injectable bearing) 또는 주로 상부구조의 높이를 보정하는 데 사용된다고 하여 높이보정용 받침(adjustable bearing)이라 한다(Caltrans, 1994). 높이조절 교량받침은 교량받침에 상부구조를 인양할 수 있는 장치를 부설하여 필요시에 간단한 장비를 이용하여 상부구조물 인상 또는 하강시킬 수 있는 교량받침을 말한다(AISI, 1996). 기존 교량을 연속화 하는 과정에서 지점을 인상시킬 때에도 사용될 수 있으므로 시공과 유지관리에 많은 편의성을 제공할 수 있는 교량받침이다.

기존의 높이조절 교량받침은 Fig. 1에 나타난 것과 같이 교량받침 하부에 설치된 볼트와 나사 시스템을 이용하여 상부구조를 승강 및 하강 시키는 구조이다(Kim et al., 2002). 그러나 이러한 구조는 교량받침에 작용하는 상부구조의 고정하중이 상당히 크기 때문에 나사산에 작용하는 마찰력이 크게 발생하여 나사를 회전시키기 위해서 큰 회전력이 요구되며, 구조상 나사를 회전시키기가 용이하지 않다. 또한, 유압에 의해서 높이를 조절하는 교량받침의 경우 실린더 내부 용액의 누출 및 변질에 의해서 기능을 상실할 우려가 있으며, 기계식에 비해서 내구성이 현저히 떨어진다고 판단된다. 본 연구에서는 제작이 보다 용이하고 사용이 간편한 켄기 시스템을 이용한 높이조절 교량받침을 개발하고자 하며, 개발된 받침의 기본적인 성능을 실험적으로 검증하고자 한다.

2. 켄기식 다목적 교량 받침

본 연구에서 개발된 받침은 높이조절 및 하중계측이 가능한 것으로 일반적인 교량받침의 하부에 켄기방식을 적용하여

Fig. 2. Schematic Drawing of a Wedged Adjustable Bearing

높이 조절이 가능하다. 높이 조절의 크기는 켄기의 각도에 의해 조절할 수 있으며, 교량 받침의 적용하중에 따라 일반적으로 20-50 mm 정도가 가능하다. 이는 교량받침에 작용되는 수직하중이 켄기에 의해 수평성분으로 전환되어 켄기의 경사각 크기와 마찰판의 마찰력 크기에 의해 높이 조절 시 적용할 하중의 크기를 산정할 수 있다. 받침의 높이 조절 시 적용되는 하중은 받침에 작용하는 수직하중의 크기를 켄기에 의해 수평성분으로 전환되는 수평 저항력을 측면에 하중계(load cell)를 설치하여 검출할 수 있어 켄기의 기하학적인 형상과 마찰 저항력으로부터 교량받침에 작용하는 수직하중의 크기에 대해 정확한 산정이 가능하며, 유무선 장비 적용 시 각각의 받침에 작용하는 하중을 상시 모니터링 할 수 있어 유지관리에 대한 편리성이 있다(Fig. 2 참조).

높이 조절방법 및 하중계측에 대한 개념은 켄기의 크기 및 경사각에 따라 높이 조절의 크기를 조절하고 켄기를 관통하는 고강도 앵커바(anchor bar)를 인위적으로 회전시키거나 폴링잭(pulling jack)을 이용하여 높이를 조절한다. 작용하는 수직하중이 작은 경우에는 고강도 앵커바의 머리(head) 부분을 별도의 도구를 이용하여 인위적으로 회전시킴으로써 소정의 높이를 조절할 수 있으며, 작용하중이 큰 경우에는 별도의 폴링잭을 이용하여 고강도 앵커바를 끌어 당겨서 소정의 높이에 도달되면 너트를 조여 고정시켜 조절할 수 있다.

2.1 받침의 켄기 원리

교량 받침에 작용하는 수직하중 F_v 는 Fig. 3에 나타난 것과 같이 켄기에 의한 치환된 수평력 성분 P 와 마찰재의 마찰 저항력에 의해 계산되어진다. 이때 수평력 성분 P 는 하중계에 의해 계측될 수 있으며, 마찰재의 마찰계수와 켄기의 경사각은 재료적 특성과 구조제원으로부터 정해지는 상수이므로 식 (1)에 의해 수직하중을 산정할 수 있다.

$$\frac{F_x}{P} = \frac{\cos \alpha - \mu \sin \alpha}{2(\sin \alpha + \mu \sin \alpha)} \quad (1)$$

여기서, α 는 웨지 경사면의 각이고, μ 는 웨지와 미끄럼판 사이의 마찰계수이다.

Fig. 3. Action Principal of Wedge

여기서, P 는 켜기 인상 시 필요한 수평하중이고, F_x 는 켜기식 받침면에 작용하는 연직하중이며, R 은 연직하중의 켜기 경사에 의한 분력과 분력에 대한 마찰력 성분의 합력이다.

본 연구에서 개발된 받침의 원리는 켜기에 작용하는 힘의 분력으로 생각할 수 있는데, 켜기의 이동으로 상부가 인상할 경우와 인상이 완료되어 켜기가 정지 상태에 있을 때로 나누어 생각할 수 있다. 켜기가 이동하여 인상할 경우, Fig. 3과 같이 켜기의 마찰면에 발생하는 마찰력과 그에 따른 합력이 수평 저항력에 영향을 주게 된다. 상부에서 가해지는 수직력(F_x)이 켜기에 작용하면 켜기의 경사각(α)에 의해 합력(N)이 발생되고 이는 켜기의 마찰면에 대한 마찰계수(μN)에 의해 마찰력(μN)이 작용하게 된다. 또한, 받침 정지 시에는 정지에 따른 마찰력과 이와외의 합력(R)은 작용하지 않는다.

2.2 받침의 구성

본 연구에서 고안한 높이조절 받침은 받침기능을 하는 부

분과 높이조절을 하는 기능이 분리되어 있으며, 받침기능부분은 기존의 교량받침을 그대로 사용할 수 있다. 전체적인 형상과 구성품이 Fig. 4에 나타나 있으며, 그림에서는 기존의 디스크받침(Choi *et al.*, 2006)과 높이조절 장치가 합성되어 있는 형태를 보여주고 있다. 기존에 개발된 하중 측정 베어링의 경우 받침 내 존재하는 고무판이 유체와 같이 거동한다는 가정 하에 고무판의 국부압력 유압센서를 이용해 측정하는 방법으로 수직하중을 계산하는 방식이다. 그러나 고무판의 유체 거동 및 국부 압력 측정으로 정확도가 떨어지고, 장시간 경과 시 고무판의 크리프 및 경화로 유체로 거동한다는 가정이 상이하여진다. 본 연구에서는 아래 Fig. 4와 같이 작용하는 수직하중을 기계 구조 장치인 켜기 시스템에 의해 수평성분으로 치환하여 하중계로 측정하게 하였으며, 이는 오차 발생 소지가 거의 없는 구조로 중앙볼트에 작용하는 수평력을 장착된 하중계로 측정하여 받침에 작용하는 수직력을 역산으로 산정할 수 있다. 또한, 기존의 높이 조절 받침은 고압의 유압을 주입시켜 받침의 레벨(level)을 높이는 구조로서 별도의 복잡하고 예민한 실링(sealing) 장치가 필요한 구조로, 장기적인 반복하중 및 회전에 의한 하자 발생 문제와 레벨을 낮추는 기능이 없어 적용에 한계를 지닌다.

3. 개발받침에 대한 형상구현

받침의 형상을 구현하기 위하여 상용프로그램인 Solid Edge와 ANSYS를 병행하여 설계를 하였으며, 초기 1개의 켜기로 거동하는 장치(Type 1)와 2개의 켜기로 거동하는 장치(Type 2)를 구현하였다. 1개의 켜기로 거동하는 장치는 Fig. 5와 같이 켜기 하판, PTFE(Polytetrafluoroethylene), 전단판, 중앙켜기, 켜기부, 켜기 상판, 중앙볼트, 지압판, 플러그 등으로 이루어져 있으며, 높낮이 조절 기능만 가능한 구조이다. 마찰판의 경우, 켜기가 움직이거나 정지 시 오차를 줄이기 위해 마찰계수가 작은 재료를 사용하는 것이 효과적이므로 현재 많이 사용되고 있는 PTFE 및 스페리컬 베어링에서 마찰재로 사용하는 황동기반 복합소재 베어링(Lubo 500SP)등 다양한 소재에 대한 검토를 진행하였다. 1개의 켜기를 갖는 높낮이 조절장치의 경우, 경사면이 한 방향으로 되어 있어 상부구조의 하중이 경사면의 방향으로 가해져 이를 방지하기 위해 전단판을 넣었는데, 전단판의 부식 및 강한 충격에 의

Fig. 4. General Shape and Components

Fig. 5. Content of Height Control Devices

Fig. 6. Height Control and Load Measurement Devices with Two Wedges

해 그 기능이 원활하지 않을 수 있다. 이를 위해 2개의 썰기를 대칭 형태로 배치함으로써 경사면의 방향이 중앙으로 향하고 썰기 각각에 하중이 분산됨으로써 상부 구조의 안정적인 배치를 유도하였다. 이는 썰기의 체적이 감소되고, 경량화 및 장치의 안정성이 크게 개선됨으로써 안정적인 하중계측 기능을 유지할 수 있을 것으로 판단된다(Fig. 6 참조).

4. 마찰재의 특성

반침의 개발에 있어서 재료도 중요한 요소 중 하나이다. 강재의 경우, KS 규격 등에서 강종별 성능 기준에는 큰 문

제는 없으나, 마찰재인 PTFE의 경우 사용상 중요성이 높지만 명확한 기준이 부족한 관계로 마찰계수가 작은 고내구성 재료의 선정이 필요하다. 일반적으로 PTFE의 경우, 마찰계수가 0.02-0.1로 매우 작고, 허용지압응력이 45 MPa로 성능이 우수하지만 고가의 재료이고, 마모 특성이 일부 나타나고 있어 본 연구에서는 적합한 소재의 개발을 위해 마찰, 고압성형, 압축실험을 통하여 적용 가능한 초고분자량 폴리에틸렌을 검토하였다.

일반적으로 썰기의 마찰면에 사용되는 마찰재는 고압의 하중을 받게 되므로 높은 압축강도가 요구된다. 이를 위해 고분자 재료를 직경 150 mm의 원형으로 제작하여 일정 압력의

Fig. 7. Experiment Results for Specimens

로 압축 실험을 시행하였다. 실험결과, Fig. 7과 같이 PTFE의 경우 100 MPa의 압력으로 압축한 결과 재하 지점으로부터 방사형으로 재료의 슬립이 발생하였으며, UHMW-PE의 경우 150 MPa의 압력에도 변형이 없는 것으로 나타났다.

한편, 재료의 마찰계수는 마찰속도와 압력에 따라 다르게 나타나기 때문에 직경 300 mm의 지그를 제작하여 재하시험기로 수직하중을 가한 후 수평방향으로 변위를 가하였다. 실험 결과 PTFE의 경우 정적 마찰계수보다 동적 마찰계수가 증가하는 것을 확인하였으며 이는 마모에 기인한 것으로 생각된다. UHMW-PE의 경우 마찰계수가 0.04-0.08의 범위에서 변화되는 것을 알 수 있으며 속도 증가 시 마찰계수도 증가하여 PTFE와 유사한 동특성이 관찰되었으며, 하중·변위 곡선에서도 정적거동시보다 동적거동 시 마찰력이 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

5. 개발된 받침에 대한 실험 및 결과

5.1 받침 제작 및 실험개요

개발된 높이 조절용 및 하중계측용 받침에 대한 성능을 평가하기 위해 하이브리드 실험센터에서 500 kN 용량의 동적 UTM을 사용하였으며, 변위변환계(LVDT)와 높이측정이 가능한 간단한 도구를 이용하여 측정하였다. 실험에 사용된 받침에 대한 제원을 Table 1에 나타내었다.

실험을 위하여 Fig. 8과 같이 UTM에 상하 압축판을 이용하여 설치하고 측면에 200 kN 용량의 하중계를 추가하여 실험을 수행하였다. 실험은 하중제어 방식으로 30 kN/sec로 하중을 증가하면서 실험을 수행하였으며, Fig. 9와 같이 일정진폭하중으로 300 kN 단위로 연속하중을 2분간 유지하여, 횡방향으로 발생하는 분력을 측정하였다. 또한, 극한하중 1,500 kN

Table 1. Specimen Properties

Dimension	500 mm × 250 mm
Slope	0.2
Weight	105.5 kg
Allowable capacity	900 kN
Limit capacity	1500 kN
adjustable height	30 mm

Fig. 8. Specimen Setup for Loading

Fig. 9. Loading Program (Service Load)

Fig. 10. Loading Program (Ultimate Load)

까지 하중을 증가시켜 파괴하중을 측정하였다. 극한하중 실험은 횡방향으로 설치된 하중계 용량보다 큰 하중이 크게 작용할 수 있기 때문에 횡방향 하중계를 제거하고 지속하중에 대한 받침의 거동을 파악하고자 하였다(Fig. 10 참조).

5.2 실험결과 및 분석

5.2.1 높이 조절에 대한 실험결과

개발된 받침에 대한 높이 조절의 경우, 기기의 최저 높이차를 Fig. 11과 같이 측정하여 성능을 평가하였다. 그 결과, Table 2와 같으며 높이차는 일정하게 나타나는 것을 알 수 있다. 계측기의 경우, 초기 값을 영점으로 정하고 높이차를 측정한 결과이고, 강철자에 의한 측정은 육안으로 상대적인 높이를 측정한 값이다. 또한, Figs. 12와 13에 하중 변위에 대한 주방향과 횡방향 결과를 나타내었다. 그 결과, 기계장치

Fig. 11. Principal for Height Control Measurement

Table 2. Test Result for Height Control

Measuring method	Steel ruler	Sensor
Base height	115 mm	0 mm
Maximum height	145 mm	30.42 mm
Difference	30 mm	30.42 mm

Fig. 12. Relationship Load and Displacement (Principal Direction)

Fig. 13. Relationship Load and Displacement (Translation Direction)

로 너트가 나사산을 따라 회전하여 발생하는 수평 변위에 의해 썰기가 이동하며 연직방향으로의 정밀한 변위를 주는 구조로 높이 조절시 오차가 0.42 mm로 측정되어 초기 예상했던 목표치인 0.4 mm에 근접한 것을 알 수 있었다.

연직하중에 따른 웨지의 수평방향 분력은 아래의 식으로 계산된다.

$$P' = P(S - 2\mu) \quad (2)$$

여기에서 P 는 연직하중, S 는 기울기, μ 는 마찰재의 마찰계수이다. 마찰계수는 압력, 미끄럼 속도 등에 의해서 계속적으로 변화하며 정확한 측정이 쉽지 않아 예측 오차를 줄이기 위해서는 마찰계수가 작을수록 더 정확한 하중 측정이 가능하게 된다. 마찰계수를 최소화하는 방법으로 본 연구에서는 실리콘 그리스로 표면을 코팅 처리한 PTFE를 사용하였다. 이 경우에 응력에 따라 약간의 변화는 있을 수 있으나 마찰계수는

Table 3. Test Results

Vertical loading	30 ton	60 ton	90 ton
Lateral load (calculated)	5.7 ton	11.4 ton	17.1 ton
Lateral load (measured)	5.579 ton	11.16 ton	17.14 ton
Vertical load (calculated)	29.36 ton	58.74 ton	90.21 ton
Error	2.1%	2.1%	0.23%

0.005-0.007 정도로 예상된다.

실험 결과, 측면 하중계를 통해 계측된 축방향 하중과 위의 식에 입력 연직하중을 대입하여 예측된 이론값을 Fig. 14에 나타내었으며, 이론값과 계측된 수평하중이 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 또한, 이론과 계측된 값을 비교 분석하였다. Table 3은 연직 하중을 증가시킨 후 약간의 지연시간동안 발생하는 크리프 변형이나 처짐 등의 영향을 계산에서 배제하기 위해 계산 시에 하중을 유지하는 2분 중 1분간의 데이터를 사용하여 계산한 것이다.

Table 3에서 알 수 있듯이 계측 값을 통하여 계산되는 연직하중과 실제 가해진 연직하중은 비교적 정확한 것으로 나타났다. 이 연구에서 제안한 장치를 이용한 연직 하중측정 기능이 유효성을 가지는 것을 확인할 수 있다. 측정 기간 1분 동안 측정된 수평하중의 편차는 0.488-0.085 kN으로 목표치인 1 kN보다 작게 나타났다.

5.3.2 사용하중에 대한 실험결과

실험 결과를 분석한 결과 연직 하중 및 그에 따른 연직 방향의 변위는 아래 Fig. 15와 같이 측정되었다. 발생한 연직 변위는 사용하중(883 kN)에서 2.5 mm, 극한하중(1470 kN)에서 2 mm로 측정되었다. 사용하중 하에서 변위가 극한하중에서 보다 크게 발생하는 원인은 제품 조립 후 각 부품에 사이에 존재하는 틈에 의한 것으로 판단되며, 실제 사용 환경에서는 하중에 의해서 이러한 틈이 제거되므로 사용하중 883 kN에 의해서는 2.5 mm 보다 작은 변위가 발생할 것으로 판단된다. 사용하중과 극한하중에서 발생하는 변위는 주로 PTFE의 압축과 연결볼트의 탄성변형에 의한 것으로 생각된다.

Fig. 14. Result for Load Measurement Test (Reaction)

Fig. 15. Relationship Load and Displacement with Varying Time

5.3.3 극한하중에 대한 실험결과

극한하중에 대한 실험결과, 1,500 kN까지는 안정성을 유지하고 있었으나, 하중을 계속 증가시켜 1,800 kN 부근에 도달하자 급격하게 중간 지지 로드가 소성변위를 일으키며 파괴되었다. Fig. 16에서 볼 수 있듯이 극한하중 (1470 kN)이 가해지는 동안, 변위 2 mm로 하중 900 kN에서와 동일하게 나타났으나, 1,800 kN 부근까지 증가하면서 변위가 갑작스럽게 증가함을 알 수 있다. 이는 받침이 극한하중까지는 침하 받

Fig. 16. A Relationship Load and Displacement

생 없이 하중을 지지하다가 파괴 하중 부근에서 연결봉에 급격한 소성변형이 발생하였고 이에 따라 상판이 아래로 7 mm 침하하면서 하판과 충돌했음을 의미한다. Fig. 17은 소성 변형된 로드와 결과로, 1,800 kN을 로드와 파괴하중이라 하면 로드에서 걸리는 응력은 M30의 유효 직경이 27.7 mm이므로 556 MPa로 계산될 수 있다. 재료 SM490의 허용응력은 315 MPa이고, 항복강도가 490-610 MPa이므로 극한하중 시험 중에 가해진 응력이 재료의 소성 변형을 발생시켜 장치를 파괴시킨 것을 알 수 있다. 따라서 볼트의 파괴 양상으로 볼 때, 응력집중이 나타난 부분인 중간 지지 봉의 지름을 증가시키거나 강도가 높은 재료를 사용하면 안전율을 높일 수 있을 것으로 생각된다.

6. 결 론

본 연구에서는 교량 받침에 대한 문제점을 보완하기 위하여 높이조절이 가능하고 하중계측이 가능한 받침을 제안하고 설계를 통하여 성능을 실험으로 검증하였다. 이에 실험결과를 정리하면 다음과 같다.

썩기 형태를 갖는 받침에 대한 재료적 특성 결과, UHMW-PE 재질이 PEFE 보다 마찰계수의 변화가 안정적인 것을 알 수 있었으며, 마모성도 우수한 것으로 나타났다.

개발된 받침은 너트가 나사산을 따라 회전하여 발생하는 수평 변위에 의해 썩기가 이동하며 연직방향으로의 정밀한 변위를 주는 구조로 높이 조절시 오차가 0.42 mm로 측정되어 초기 예상했던 목표치인 0.4 mm에 근접한 것을 알 수 있었다.

받침에 발생한 연직변위는 극한하중(1470 kN)에서 2.0 mm로 나타났으며, 이러한 연직 변위는 USMW-PE의 압축 및 연결봉의 탄성변형 의한 것으로 생각된다.

극한하중이 가해지는 동안, 변위 2.0 mm로 하중 900 kN에서와 동일하게 나타났으나, 1,800 kN 부근까지 증가하면서 변위가 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 이는 극한하중까지는 침하 발생 없이 하중을 지지하다가 파괴 하중 부근에서 로드와 급격한 소성변형이 발생하였고 이에 따라 상판이 아래로 7.0 mm 침하하면서 하판과 충돌한 것으로 생각된다.

Fig. 17. Yield of Bolt after Failure Test

감사의 글

본 연구는 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원의 연구비 지원에 의해서 수행되었으며, 이에 감사를 표하는 바입니다(Project No.: 13PRTD-C058772-03-000000).

References

- American Iron and Steel Institute (AISI) (1996) "Steel Bridge Bearing Selection and Design Guide," Highway Structures Design Handbook, Volume II, Chapter 4, National Steel Bridge Alliance, USA.
- Caltrans (1994) Bridge Memo to Designers, "Bearing and Expansion Devices," Volume I, Section 7, California, USA.
- Chen, W.F. and Duan, L. (2003) Bridge Engineering, CRC Press, Florida, USA.
- Choi, E., Lee, H.U., Kim, S.I. and Kim, L.H. (2006) Variation of Natural Frequency and Dynamic Behavior of Railway Open-Steel-Plate-Girder Bridge with Installing Disk Bearings, *Korean Society of Steel Construction Journal*, Vol. 18, No. 4, pp.437-446.
- Choi, E., Lee, H.U. and Lee, S.Y. (2008) Maintenance and Dynamic Behavior of Advanced Spherical bearings under Railway Open-Steel-Plate-Girder Bridges, *Korean Society of Railway Journal*, Vol. 11, No. 2, pp. 165-175.
- Honsu-sicocou Public Cooperation (HPC) (1998) Rail bridge sub-structure design criteria and manual, Japan.
- Honsu-sicocou Public Cooperation (HPC) (1996) A wind-resistance design criteria and manual, Japan.
- Kim, Y.J., Cho, J.R., Park, S.Y., Kim, B.S. and Yoo, M.S. (2002) Development of High Performance Bearings for Bridge II: Injectionable Bearing, *Korean Society of Civil Engineers Conference*.
- Oh, S.W., Choi, E., Jung, H.Y. and Kim, H.S. (2006) Static and Dynamic Behavior of Disk Bearings under Railway Vehicle Loading, *Korean Society of Steel Construction Journal*, Vol. 18, No. 4, pp. 469-480.

© Received September 17, 2013

© Revised September 25, 2013

© Accepted October 10, 2013