

## 굴절형 신축이음장치의 피로내구성 평가

나준수<sup>1\*</sup>, 이타<sup>2</sup>, 한의석<sup>3</sup>, 성원규<sup>4</sup>, 이종석<sup>5</sup>

## Fatigue Durability Evaluation of Refraction Expansion Joints

Jun-Su Na<sup>1\*</sup>, Ta Lee<sup>2</sup>, Eui-Seok Han<sup>3</sup>, Won-Kyu Sung<sup>4</sup>, Jong-Suk Lee<sup>5</sup>

**Abstract:** The refraction expansion joints have been newly developed by complementing the problems of shock, noise, replaceability, displacement in the direction perpendicular to bridge, vertical difference, which are problems of existing expansion joints. The Refraction expansion joints are characterized by continuous surfaces with small impact and low noise. The behavior of the Refraction expansion joints performs the bridge expansion behavior by rotation of the link. In the rotational behavior of the link, the bolt is the central axis of the behavior. Therefore, it can be said that the durability of the bolt is very important. However, the theoretical and experimental verification of the bolt durability of the Refraction expansion joint is lacking. In this paper, to verify the fatigue durability of the bolt, test specimens with a 300 mm Refraction expansion joint were fabricated. A strain gauge dedicated to the bolt was installed inside the manufactured test specimen bolt. The test method was applied in accordance with KS F 4425. The fatigue durability of the bolts assembled inside the diaphragm expansion joint was confirmed by the repeated fatigue test of 2,000,000 cycles.

**Keywords:** Expansion Joints, Refraction, Low Noise, Bolt

### 1. 서 론

신축이음(Expansion Joints)은 온도변화에 의한 구조물의 신축거동, 활하중의 작용등 교량 상부구조물의 교축방향, 교축직각 방향 거동과 회전 거동을 원활하게 수용하기 위한 장치이다. 최근 교통량의 증가, 차량의 대형화, 차량의 주행속도 고속화 등의 이유로 신축이음장치는 충격과, 피로에 의한 파손이 빈번한 편이다. 공용중 신축이음장치 파손 시에는 교량을 이용하는 차량에게 매우 위험하며 안전사고를 유발 할 수도 있다. 또한 신축이음장치는 파손 시 2차적으로는 이물질이 교량 하부로 유입되며 교대, 받침, 거더 등에 손상을 입힌다. 위와 같이 신축이음 파손 시 발생하는 이물질 침투는 결국 교량의 수명감소 요인이 되기도 한다. 한편 1990년대 후반부터 국내에서는 교량 유지보수가 중요 시 되며 안전진단, 정밀안전진단 등을 통해 지속적으로 교량 보수를 실시한다. 특히 신

축이음장치는 교량 보수 비용에서 매우 큰 부분을 차지하고 있으며 교체 시에는 매우 고가의 비용이 발생한다. 이런 신축이음장치의 파손원인은 주로 볼트의 풀림 및 파단, 신축이음장치를 정착시키는 후타콘크리트의 국부파손, 강재부식으로 인한 파단, 이물질 침투등으로 파손되며 항상 상시 충격 하중을 받는 신축이음장치는 내구성이 매우 취약한 편이다(Dexter et al., 1997). 때문에 최근에는 고강도강, 알루미늄 합금, 망간 합금등을 이용해(Kim et al., 2009) 피로 내구성을 증가시키는 연구도 진행되고 있다. 한편 최근 도심지에서는 차량이 신축이음장치를 통과 할 때 나타나는 충격 소음에 대한 문제가 제기 되기도 한다. 굴절형 신축이음장치는 노면의 연속성을 확보하여 충격이 작고, 소음이 작으며, 내구성을 증가시킬 목적으로 개발 되었다. 이런 굴절형 신축이음장치는 링크의 회전에 신축거동을 수용하며 링크의 회전 축은 볼트로 구성된다. 굴절형 신축이음장치에서는 링크와 링크를 연결하고 거동의 중심이 되는 볼트는 매우 중요한 부품이라 할 수 있다. 이런 굴절형 신축이음장치의 볼트는 이론적, 실험적 연구가 부족하며, 거동의 중심 축이 되는 볼트의 신뢰성 확보를 위해 연구가 필요하다. 본 연구에서는 굴절형 신축이음장치에대해서 실험적 검증을 수행 하였다. 시험 시편은 신축량 300mm 용량의 굴절형 신축이음장치를 구성하였다. 시험 볼트 내부에 볼트용 스트레인 게이지를 삽입하여 시험 시편을 구성하였다. 시험 시편은 KS F 4425 시험 방법으로 수축 신장

<sup>1</sup>정회원, 진형건설 과장, 교신저자

<sup>2</sup>정회원, 쌍용건설(주) 기술연구소 차장

<sup>3</sup>정회원, 동일기술공사 기술연구소 이사

<sup>4</sup>정회원, 평화엔지니어링 기술연구소 이사

<sup>5</sup>정회원, 한국건설생활환경연구원 주임

\*Corresponding author: jsna@jhsys.co.kr

Jinhyung Construction Co. Ltd, Inhyangro 24 Gil Gochonup Kimposi Kyungkido Korea

•본 논문에 대한 토의를 2017년 12월 1일까지 학회로 보내주시면 2018년 1월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

시험 각 2500회, 수직피로반복시험 200만회를 수행하였으며, 볼트에 대한 피로강도를 국내 도로교설계기준과 비교 검토 하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 굴절형 신축이음장치

굴절형 신축이음장치는 링크를 좌우로 연결하여 링크의 회전으로 신축거동을 수용하는 방식이다. Photo 1, 2는 굴절형 신축이음장치 개념도와 현장설치전경이다.

기존에는 핑거형과, 레일형이 신축이음장치의 주종을 이루고 있었다. 하지만 레일형의 경우 소음의 문제, 교체 시 정착부 콘크리트의 크기문제로 교통통제 시간의 증가 문제가 있으며, 핑거형의 경우는 교축직각방향 거동의 문제, 지반 침하 시 단차문제가 발생된다. 이런 문제를 해결하기 위해 레일형의 경우는 소음저감 플레이트등을 추가하거나 핑거형의 경우는 교축직각으로 거동하기 위한 방안이 계속적으로 연구되어 왔다. 하지만 이런 연구는 기존 핑거형과 레일형 이라는 틀 속에서 국한 되어 연구 되었다. 이러한 배경으로 굴절형 신축이음장치는 기존의 핑거형과 레일형 방식과 완전히 다르고 새로운 거동방식으로 고안 되어 연구 되었다. 굴절형 신축이음장치는 교량을 교축방향으로 완전히 연결하여 주행 면의 이

격 공간이 없으며 완전히 연결된 신축이음장치 상부 주행면은 노면의 연속성으로 차량 주행 시 충격이 작으며 소음이 작은 것이 특징이다.

### 2.2 피로 설계 기준

#### 2.2.1 도로교설계기준 2012

도로교설계기준 6.6.1. 피로에서는 공칭 피로강도는 다음과 같이 규정한다.

$$(\Delta F)_n = \left(\frac{A}{N}\right)^{\frac{1}{3}} \geq \frac{1}{2}(\Delta F)_{TH} \quad (1)$$

$$N = (365)(100)n(ADTT)_{SL}, \quad (2)$$

여기서, A는 Table 1에서 선택한 상수( $MPa^3$ ), n은 선택한 트럭 한 대 통과 시 발생하는 응력범위의 반복 회수,  $(ADTT)_{SL}$  규정한 한차로당 일평균 트럭 교통량,  $(\Delta F)_{TH}$ 는 Table 2에서 택한 일정 피로 진폭 한계값( $MPa$ )이다.

식 (1)에서 여기서, A는 Table 1에서 선택한 상수( $MPa^3$ ), n은 선택한 트럭 한 대 통과 시 발생하는 응력범위의 반복 회수,  $(ADTT)_{SL}$  규정한 한차로당 일평균 트럭 교통량,  $(\Delta F)_{TH}$ 는 Table 2에서 택한 일정 피로 진폭 한계값( $MPa$ )이다.

위 식에서 볼 때 일정피로진폭 한계값을 넘는 피로강도는 응력범위의 3제곱에 반비례한다. 즉, 만약 응력범위가 1/2로



Photo 1 Refraction type expansion joints



Photo 2 Installation view

Table 1 Structure Detailed category a constant, A

Detailed category	A Constant, $A \times 10^{11} (MPa^3)$
Axial tension F8T bolt	5.61
Axial tension F10T bolt	10.3
Axial tension F13T bolt	4.32

Table 2 Nomianal fatigue strength of axial tension bolt(About 2 million cycles)

Bolt	A	Stress Range( $MPa$ )
F8T Bolt	5.61	65.5
F10T Bolt	10.3	80.2
F13T Bolt	4.32	60.0

Table 3 Limit value of fatigue amplitude

Detailed category	Limit value( $MPa$ )
Axial tension F8T bolt	100
Axial tension F10T bolt	110
Axial tension F13T bolt	80

감소된다면, 피로수명은 23배 만큼 증가한다는 것이다.

실험은 200만회 피로 반복을 수행하였으므로  $N$  에 200만을 적용하여 공칭 피로 강도를 구하면 Table 3과 같다.

### 2.3 굴절형 신축이음장치 피로 시험 방법

굴절형 신축이음장치의 평가 방법은 KS F 4425 신축이음장치 완제품 성능 시험방법으로 시험을 실시 하였다. 시험은 최소수축 시험, 최대신장 시험, 수직피로반복시험으로 총 3가지로 구성되며 각각의 조건은 다음과 같다.

#### 2.3.1 시험조건 (KS F 4425)

수축 및 신장 시험은 시료를 너비 방향에 평행한 방향으로 하여 시료를 고정시켜 수축 신장시킨 후 100 mm/min 이하의 속도로 하여 제시된 최소 신축량(수축) 및 최대 신축량(신장) 각각에서 신축량 1/3에 해당하는 신축량 만큼 변위를 갖도록 하여 각각 2500회를 반복 실행하여 시험을 실시 한다. 시험을 실시후에는 육안으로 변형, 파손등의 유무를 확인한다

피로 반복 시험은 시료를 고정시키고 최소 24.53 kN, 최대 116.2 kN의 하중을 가감하는 조작을 1사이클로 하여 3 Hz이하의 주파수로 200만회 시험한 후 시료의 이상 유무를 조사하며, 재하하중의 접촉 면적은  $510 \pm 10$  mm 이내 이어야 한다. Photo 3은 하중 재하면이며 Table 4는 설치센서 종류이다.

#### 2.3.2 시험 시편

시험시편은 신축량 300 mm의 굴절형 신축이음장치를 1.2 m 폭으로 구성하여 제작 하였다. 볼트는 F10T, M20 볼트를 적용하였으며 너트는 2 H 높이 일반 너트를 적용하였다. 링크는

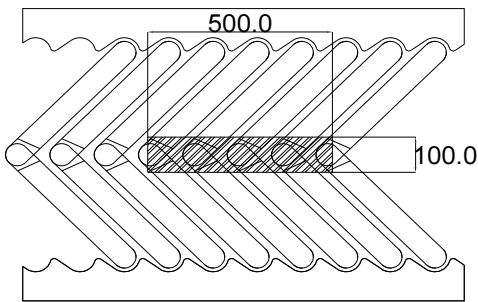


Photo 3 Loading area

Table 4 Sensor type

Number	Sensor type	location
1~3	Strain gage for bolt	Shoulder part of link(left)
4~11	Strain gage for bolt	Center of link
12~14	Strain gage for bolt	Shoulder part of link(right)
15~16	LVDT	Center of link

총 16개의 링크로 구성된다. 링크는 길이 41 cm, 두께 5 cm 제작 되었으며 재질은 SM490B재료를 사용하였다. 하부판은 SS400을 사용하여 제작 하였다. Photo 4는 시험 시편 전경이다.

#### 2.3.3 스트레인게이지 설치

굴절형신축이음장치 볼트의 변형률을 측정하기 위해 볼트 전용 센서를 사용 하였다. 볼트 전용 센서는 볼트에 축 방향으로 천공을 하여 천공구멍에 센서를 삽입하는 방법으로 설치 가된다. Photo 4 볼트를 삽입하기위한 볼트 천공 전경이다.

센서 설치위치는 링크가 만나는 중앙부에 8 point 설치하고 링크가 고정되는 양쪽 측면부에 3 point 설치를 하였다. 시험 시편 하부에는 LVDT를 설치하여 신축이음 중앙부에 처짐을 측정 하였다.



Photo 4 Test view

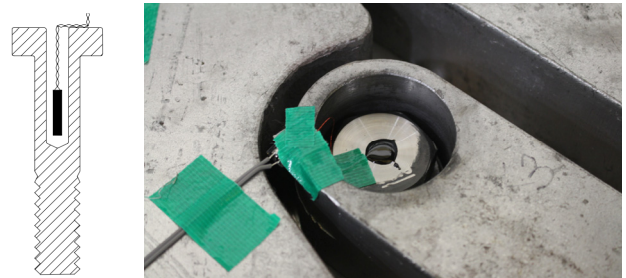


Photo 5 Installation bolt sensor

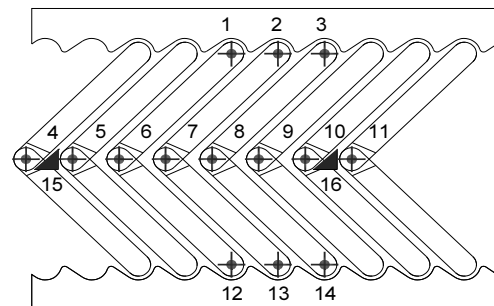


Photo 6 Location of sensor

## 2.4 시험 결과 및 분석

신축이음장치 반복하중을 200만회 재하한 후 변형률과 변위를 계측하였다. 계측후 1회, 1만회, 5만회, 10만회, 15만회, 25만회부터 5만회 단위로 시험 결과를 정리 하였다.

### 2.4.1 N1회 N200만회 변형률 분석

Fig. 1~3은 N1회에 측정한 볼트의 변형률이다. 4~11의 센서는 링크연결부 볼트(중앙부)에 측정값이며 1,2,3,12,13,14는 링크와 하판을 연결하는 어깨부 볼트에서 측정된 값이다. Fig. 1에서는 어깨부 볼트가 비선형탄성 거동하는 것을 확인할 수 있으며 링크가 솟은 방향으로 변형률이 높게 나타남을 알 수 있다. Fig. 2에서는 링크연결부(중앙부)에서는 변형률이 선형탄성 거동 하는 것으로 나타나며 변형률은 모든 볼트에서 비슷하게 나타나는 것으로 확인된다. 이는 링크하부에 연결된 보강대가 각각의 링크에 하중 분산효과를 발휘 한 것으로 사료된다. Photo 6는 각각 링크의 하중 분산효과를 유도 하는 링크 보강대 전경이다.

Fig. 3에서는 미세하게 비탄성 거동을 보이나 1~3어깨부 볼

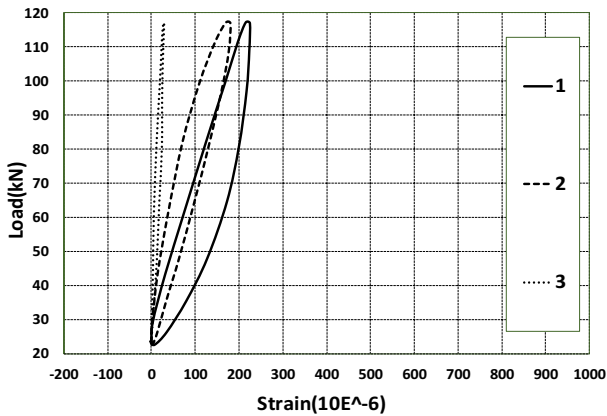


Fig. 1 N1 time(1~3 Bolt Strain)

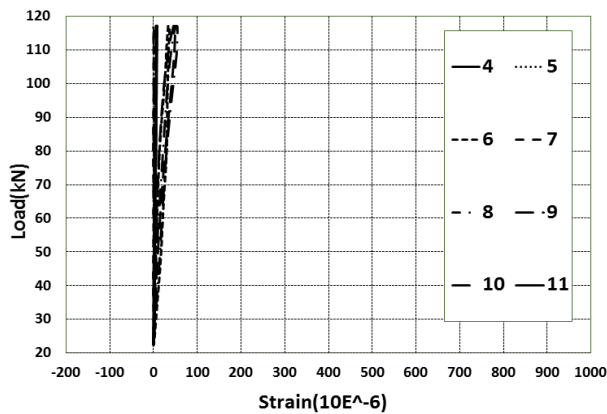


Fig. 2 N1 time(4~11 Bolt Strain)

트와 마찬가지로 탄성영역에서 거동하는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 4-6은 N200만회에 측정한 볼트의 변형률이다. Fig. 4에서는 어깨부 볼트가 비선형 거동을 보이나, 탄성영역에서 거동하는 것으로 확인된다 N1회랑 비교하면 변형률의 진폭은 약간 커진 것으로 사료되나 탄성영역에서 거동하므로 볼트피로 내구성은 문제가 없는 것으로 사료된다. Fig. 5는 중앙연결부 볼트이다. 전반적으로 선형탄성 거동을 보이며 N1회랑 비교하면 변형률의 변화는 미소한 것으로 사료된다. Fig. 6는 어깨부 우측 볼트이다. 변형률은 비선형 거동을 보이며 탄

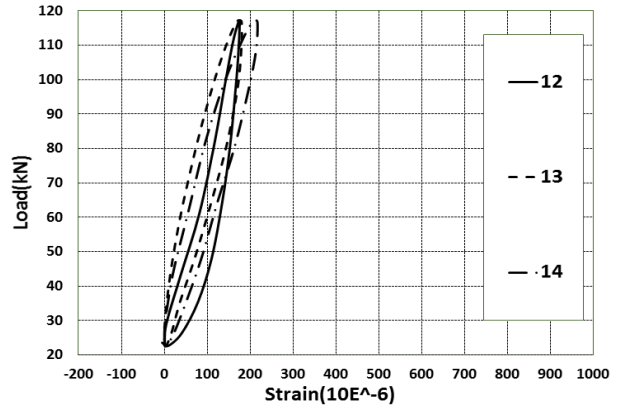


Fig. 3 N1 time(12~14 Bolt Strain)

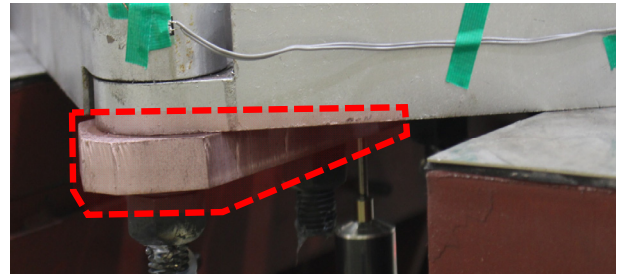


Photo 7 Link stiffener

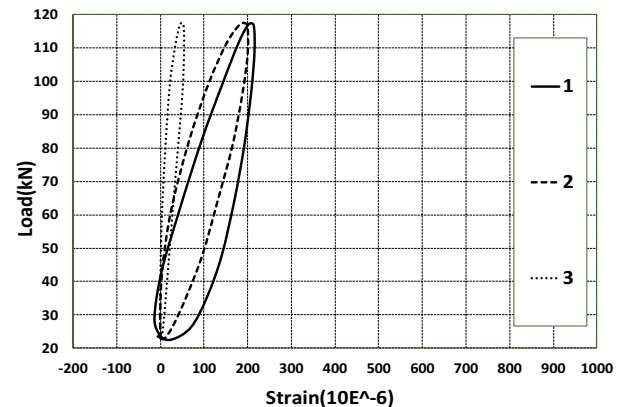


Fig. 4 N200 time(1~3 Bolt Strain)

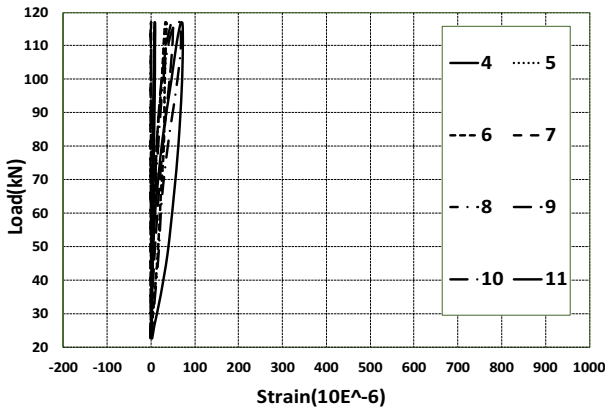


Fig. 5 N200 time(4~11 Bolt Strain)

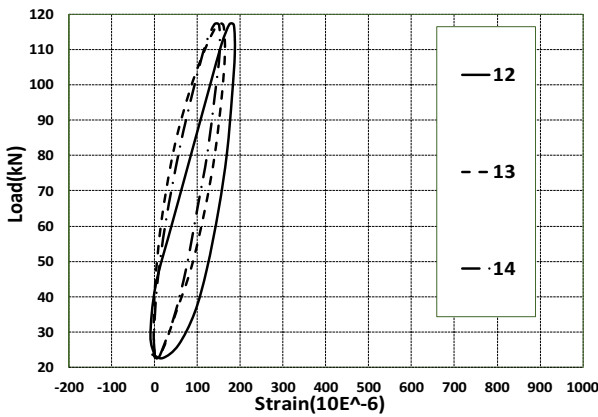


Fig. 6 N200 time (12~14 Bolt Strain)

성영역에서 거동 되는 것으로 확인된다. N1 회랑 비교 하면 변형률의 변화폭은 미소하게 증가 한 것으로 사료된다.

#### 2.4.2 수직 변위 분석

저소음 굴절형 신축이음장치 링크 연결부 하부에 설치된 LVDT를 이용하여 처짐량을 측정 결과 Fig. 7과 같다. LVDT1은 Photo 5에서 15번 센서이며, LVDT2는 16번 센서이다. LVDT2의 경우 가압되는 하중의 작용점에서 LVDT1 보다 가까우므로 변위가 조금 더 발생 한 것으로 보인다. 전체 적으로 변위는 2 mm 미만으로 미미 한 편이며, 피로반복하중에서의 변위 증가량도 0.5 mm 미만으로 미미 한 것으로 사료된다. 반복횟수 증가량 추이를 살펴보면 100만회를 넘어가면서 변위의 증가량도 거의 없어 지는 것으로 사료된다.

#### 2.4.3 설계 기준에 의한 피로강도 평가

200만회에 대한 도로교 설계기준 공칭피로강도는 식 (1)에 대입하면 . 80.15 MPa가 나온다. 계측에 의해 측정된 200만회째 변형률에 탄성계수를 곱하여 응력값으로 변환하여 설계기

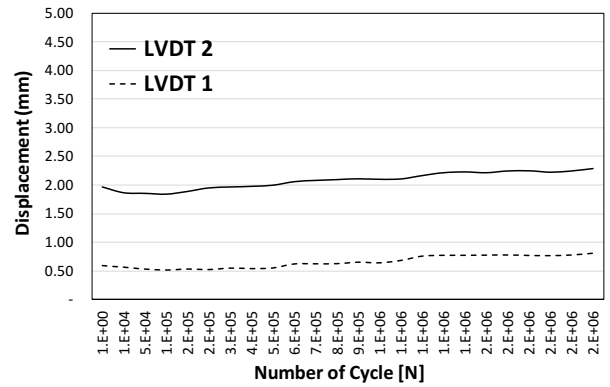


Fig. 7 displacement history

Table 5 Fatigue durability evaluation

No.	N=2 million Stress (MPa) ①	Nominal fatigue strength (MPa) ②	① ÷ ② × 100 (%)	Location
1	44	80.15	55	Shoulder part of link(left)
2	41	80.15	51	Shoulder part of link(left)
3	38	80.15	47	Shoulder part of link(left)
4	12	80.15	15	Center of link
5	13	80.15	16	Center of link
6	14	80.15	17	Center of link
7	13	80.15	16	Center of link
8	12	80.15	15	Center of link
9	14	80.15	17	Center of link
10	12	80.15	14	Center of link
11	13	80.15	16	Center of link
12	38	80.15	47	Shoulder part of link(right)
13	34	80.15	42	Shoulder part of link(right)
14	31	80.15	39	Shoulder part of link(right)

준 공칭 피로강도와 비교하면다음 Table 5와 같다.

Table 5에서 측정된 응력과 공칭 피로강도를 비교하였다. 링크가 하판과 연결되는 어깨부는 공칭피로강도의 31~44%의 축방향 응력이 측정되었고 링크연결부(중앙부)에서는 공칭피로강도의 14~17% 수준의 축방향 응력이 측정 되었다. 이는 굴절형 신축이음장치가 링크 중앙부에서는 축방향 응력이 어깨부에 비교하여 작게 발생하는 것으로 확인된다. 링크 중

양부 어깨부 모두 도로교설계기준에서 제시하는 공칭 피로강도를 200만회 기준으로 모두 만족하고 있는 것으로 나타나다.

다. 이에 감사드립니다.

### 3. 결 론

- 1) 굴절형 신축이음장치 볼트는 수직하중(24.53 kN~116.2 kN)을 받을 때 비선형 거동을 보이거나 탄성영역에서 거동하는 것으로 확인 된다. 피로 하중의 반복횟수가 증가함에 따라 변형률의 진폭크기는 미소하게 커지는 경향이 있으나 200만회 하중 재하 후에도 탄성거동을 하는 것으로 확인되며 볼트의 피로내구성은 안전한 것으로 나타나다.
- 2) 수직하중(24.53 kN~116.2 kN) 에 대한변위는 2.5 mm 미만으로 측정되었으며 피로하중 반복횟수가 증가함에 따라 변위증가량은 미소한 것으로 사료되며 피로하중 반복횟수가 100만회를 넘어서면 변위 증가량은 없는 것으로 나타나다.
- 3) 200만회 시험측정결과를 도로교설계기준 공칭피로강도와 비교 검토했을 때 링크 어깨부 볼트는 공칭피로강도의 31~44% 응력 수준을 보였으며 중앙부는 14~17% 수준의 응력이 측정 되었다. 중앙부는 수직하중에 대한 축방향 응력은 비교적 어깨부보다 적게 발생하는 것으로 나타났으며, 어깨부는 중앙 부보다 수직하중에 대한 축방향 응력이 많이 나타났다. 200만회 시험 측정결과 도로교 설계기준 공칭 피로강도와 비교했을 때 볼트에 대한 피로 내구성은 안정적인 것으로 사료된다.

### 감사의 글

본 연구는 국토교통과학기술진흥원 사업인 ‘국토교통기술 사업화 지원사업(중소기업 보유기술 사업화분야)중 『초장대 교량 적용가능한 2500 mm급 저소음(80 dB)신축이음장치 개발』 과제 [15TBIP-C092961-01]의 일환으로 이루어졌습니다

### References

AASHTO (2014), AASHTO LRFD Bridge design specifications.  
 Lee, David. J. (1994), Bridge Bearing and expansion joints, second edition, E&FN SPON, U.K.  
 Dexter, R. J., Connor, R. J., and Kaczinski, M. R. (1997), Fatigue design of modular bridge expansion joints, NCHRP Report 402, National Academy press.  
 Dexter, R. J., Mutziger, M. J., and Osberg, C. B. (2002), Performance testing for Modular Bridge Joint systems, NCHRP Report 467, National Academy press.  
 Han, J. W. and Park, Y. S. (2008), Experimental Study on Tensile Fatigue Strength of the High Strength Bolts, *Journal of Korean society civil engineers*, KSCE, 28(2A), 165-170.  
 Kim, K. Y., Kim, Y. J., Ahn, D. G., and Kim, C. H. (2009), Evaluation of Fatigue Endurance on Expansion Joint Manufactured Fe-Mn Damping Alloy, *Journal of Korean society civil engineers*, KSCE, 29(4D), 483-489.  
 Kim, Y. J., Kwak, L. J., Jo, C. B., and Yoon, H. J. (2009), The Static Behavior of Bridge Expansion Joints Due to the Wheel Load, *Journal of Korean society civil engineers*, KSCE, 28(3A), 357-366.  
 Korea road Association (2012), Design standards for road bridges (LRFD).  
 Korean society of stel structure (2009), Construction guideline for high strength bolt.  
 Korean society of stel structure (2009), Design standards manual for high strength bolt standard.  
 Na, J. S., Koo, J. H., Lee, S. M., Lee, H. M., Kim, B. S., and Lee, T. (2017), Development of multi span refraction type expansion joint, *Proceedings of the korean society od hazard mitigation 2017*, 220.  
 Oh, J., Song, H. S., Lee, S. S., Kim, H. S., and Lee, J. W. (2015), Design and construction of bridge expansion joint.

Received : 04/17/2017

Revised : 08/09/2017

Accepted : 08/14/2017

---

**요 지 :** 굴절형 신축이음장치는 신축이음장치의 문제점인 충격, 소음, 교체성, 교축직각방향 변위, 단차발생등을 보완하여 새롭게 개발되었다. 굴절형 신축이음장치는 주행면이 연속화 되어 충격이 작고 소음이 작은 것이 특징이다. 굴절형 신축이음장치의 거동 방식은 링크의 회전으로 신축 거동을 수행한다. 링크의 회전 거동 시 거동의 중심 축이 되는 것은 볼트이다. 그러므로 굴절형 신축이음 장치는 볼트의 내구성이 매우 중요하다고 할 수 있다. 하지만 굴절형 신축이음장치의 볼트 내구성은 이론적, 실험적 검증이 부족한 실정이다. 본 논문에서는 볼트의 피로 내구성을 검증 하기 위해 신축량 300 mm 굴절형 신축이음장치 시험 시편을 제작 하였다. 제작된 시험 볼트 내부에는 볼트 전용 스트레인게이지를 설치하였다. 시험 방법은 KS F 4425를 준용 하여 시험 하였다. 200만회 피로 반복 시험을 통해 굴절형 신축이음장치 내부에 조립된 볼트의 피로 내구성을 확인 하였다.

**핵심용어 :** 신축이음장치, 굴절형, 저소음, 피로내구성, 볼트