

Fe-Mn 제진합금을 적용한 교량용 신축이음장치의 진동저감 효과에 관한 연구

Application of High Damping Alloys for Vibration Reduction in Bridge Expansion Joints

김태훈†·백진현*·한동운*·김정철*·백승한*·유문식**

T. H. Kim, S. H. Baik, J. C. Kim, D. W. Han, J. H. Baik, M. S. Yoo

Key Words : bridge expansion joint(교량 신축이음장치), damping alloy(제진 합금), vibration reduction(진동 저감), noise analysis(소음 분석), specific damping capacity(진동감쇠능)

ABSTRACT

Conventional methods for reducing vibration in engineering designs may be undesirable in conditions where size or weight must be minimized, or where complex vibration spectra exist. Fe-Mn Damping Alloy with a combination of high damping capacity and good mechanical properties can provide attractive technical and economical solutions to problems involving seismic, shock and vibration isolation. We have studied the noise and vibration characteristic of Dampalloy and checked Dampalloy reduced noise about 3.9dB and vibration about 15.9 times as compared conventional material through laboratory research. With this result, we obtained a good possibility of material substitution about the bridge expansion joint

1. 서 론

1970년대 이후 급속히 발달하는 산업경제에 발맞추어 국내에 매우 많은 수의 교량이 건설되어 이제는 건설된 지 30년 이상 된 교량도 상당수에 달한다. 교량의 부속장치 중에 하나인 교량용 신축이음장치(이하 신축이음장치)는 도로와 교량의 상부가 접하는 위치나 상부 구조가 분리되는 위치에 설치하여 구조물의 온도 변화, 콘크리트의 크리프 및 건조 수축, 차량 하중에 의해 발생하는 교량의 변위를 적절히 수용하여 통행 차량의 충격을 최소화시키고, 차량이 교량을 원활히 주행할 수 있게 하는 역할을 한다. 이러한 신축이음장치는 최근 교통량의 증가, 소홀한 시공, 미숙한 보수, 적기 미보수 등으로 교량의 구성 요소 중에서 가장 파손이 빈번한데, 그 중 조인트의 파손은 교면수와 오물이 교량하부로 흘러가 다른 교량 구성

요소인 교좌장치의 기능을 저해시키기도 한다.

이러한 신축이음장치는 교량 내 주요 구성 요소가 아닌 관계로 설계, 시공 그리고 보수에 있어서 소홀히 다루어져 왔으나, 교량의 원활한 구조적 거동을 확보하기 위해서는 매우 중요한 부속장치로 점차 인식되고 있다.

또한 신축이음장치에서는 차량 통행시 진동과 소음이 발생하여 승차감이 나빠져 쾌적한 운전을 방해하고 교통사고의 원인이 될 수 있으며, 잦은 보수로 인하여 교통체증을 유발시킨다. 아울러 신축이음장치에서 발생하는 진동과 소음은 환경 민원을 야기하여 문제가 되고 있다.

최근에 그 대안으로 무신축 이음교량(integral bridge)이 연구되고 있지만, 아직 이 방법은 단경간 소교량에 있어서만 사용이 제한되어 일반 교량에서는 신축이음이 사용될 수밖에 없는 실정이다. 그러므로 저소음·저진동 신축이음장치에 대한 연구는 향후 발생할 민원의 소지를 해결한다는 차원과 교량의 수명 연장, 운전성 향상이라는 다양한 측면에서 시급한 과제라 할 수 있다.

저소음·저진동 신축이음장치에 대한 연구는 현재 신축이음장치의 설계 변경에 주로 초점을 맞추어 진행되고 있는 실정이다. 그러나 신축이음장치의 설계 변경은 신축이음장치에 작용하는 활하중과 연중온도변화, 건조수축, 크리프에 의한 설계 신축량, 보수 및 교체의 용이성과 같

† (주)우진

E-mail : taihoon@woojininc.com
Tel : (031) 379-3422, Fax : (031) 379-3134

* (주)우진

** (주)케이알이엔씨

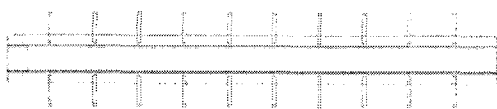
은 기존 신축이음장치의 설계 및 제작 규격을 준수하는 범위 내에서 이루어져야 하므로 제약이 많다. 또한 신축이음장치의 설계가 지나치게 저소음·저진동에 치중하여 제품에 삽입되는 신축성이 좋은 가황 고무의 비율이 많아지면서 방진·방음 효과는 얻을 수 있으나, 전체적인 강성의 저하로 인하여 교량을 통과하는 차량의 주행 안정성을 저해할 가능성이 있다. 따라서 많은 연구자들이 강성을 그대로 유지하여 주행 안정성을 확보하면서 방진·방음 효과를 얻기 위한 연구를 하고 있다.

따라서 본 연구에서는 방진·방음 효과를 얻을 수 있는 소재로써 기계적 강도가 우수하고 동시에 진동을 흡수하는 능력이 매우 우수한 Fe-Mn 제진합금 (이하 Dampalloy)이 레일 이음매로서 소음진동저감효과가 있는지 확인하기 위하여, 실험실 수준에서 소재평가를 실시한 후, 시험품을 제작하여 대체 실험을 통하여 건설·토목 분야에 제진합금의 적용 가능성을 검토해보았다.

2. 실험방법

2.1 시험품 선정

지금까지 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 신축이음장치의 형식은 레일(Rail) 타입과 핑거(Finger) 타입이다. 이미 선행연구로 인해 레일 타입은 저진동/고소음, 핑거 타입은 고진동/저소음의 특성을 나타냄이 확인되었다. 위에서 언급한 레일 타입과 핑거 타입의 형상을 그림 1에 나타내었다.



(a) Rail Type



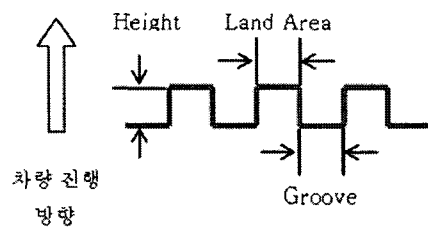
(b) Finger Type

그림 1. 신축이음장치 형상

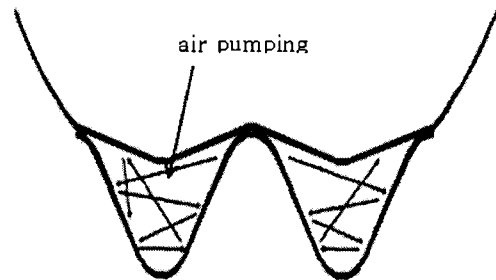
지금까지 핑거 타입에 적용된 Tinning 공법은 홈 방향이 차량의 진행과 직각 방향으로 설계되어서 수막현상방지의 효과가 있으나, 소음증대의 주요 원인으로 지적되어 왔다.

Grooving 공법은 그림 2-(a)와 같은 패턴으로 신축이음

장치에 차량 진행 방향으로 홈을 내는 것이므로 소음이 접하는 비표면적이 증대하여 소음경로가 길어져서 바퀴와 도로표면의 마찰 소음이 저감되며 그림 2-(b)와 같은 microtexture와 타이어 사이에 air pumping 구간이 형성되어, 소음이 흡수, 반사, 간섭되는 효과로 평균 3dB의 소음이 저감되는 것으로 확인되었다. 또한 이러한 Grooving 공법은 신축이음 전체 표면의 평탄성을 향상시켜 신축이음장치의 공용기간을 연장시킬 수 있다.



(a) grooving의 기본 패턴



(b) microtexture에서 air pumping 효과

그림 2. Grooving 효과

2.2 시험품 제작

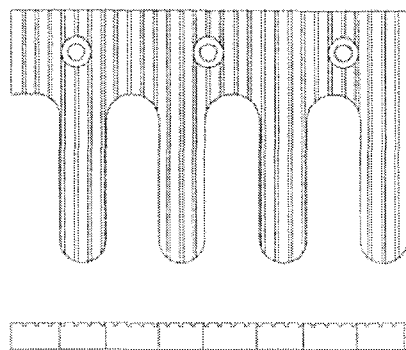


그림 3. 신축이음장치 평면도(上), 정면도(下)

기준에 사용되는 신축이음장치 중 S30급 신축이음장치와 동일한 모양(그림 3)으로 600×400×40(mm)크기의 주형을 제작하였다. 시제품 제작에 사용된 합금은 대기 중에서 500kg 용량의 고주파 유도로를 이용하여 용해·주입하였으며, 대기 중에서 냉각 후 단조와 진공열처리(1,050℃, 1 hr), 표면 Grooving 가공을 실시하여 대체 시험품을 제작하였다.

기준에 사용되는 신축이음장치 재질인 SM490(용접구조용 압연강재, KS D 3515) 합금 조성과 대체 시험품으로 제작한 제진합금의 합금 조성은 표 1과 같다.

표 1. 신축이음장치 재질의 화학성분 비교

화학성분	용접구조용 압연강재 (SM490)	Fe-Mn 제진합금 (Dampalloy)
C	0.20 이하	0.02
Mn	1.50 이하	17.61
Si	0.55 이하	0.42
P	0.04 이하	0.04
S	0.04 이하	0.03
Fe	Bal.	Bal.

표 2는 신축이음장치 시험 방법에 대한 한국 산업 규격 KS F 4425 내 신축이음장치의 기본 재질로 명기된 용접 구조용 압연강재(SM490)와 Dampalloy의 기계적 성질이다.

표 2. 기존 신축이음장치 재료 기계적 성질

항목	인장강도 (N/mm ²)	연신율 (%)	항복점 (N/mm ²)
용접구조용 압연강재 (KS D 3515, SM490)	490~608	23 이상	294 이상
Fe-17%Mn 제진합금 (Dampalloy)	813	43	374

2.3 진동감쇠능 측정

Dampalloy가 신축이음장치로서 진동저감효과가 있는지를 확인하기 위하여, 실험실 수준에서 소재 평가를 실시하기 위하여 시편 형태로 가공하여, 진동을 흡수하는 능력인 진동감쇠능(SDC, Specific Damping Capacity)을 측정하였다. 진동감쇠능 측정은 Dampalloy와 기존 신축이음장치 소재

(SM490)를 봉상 시편으로 제작하였고, 본 연구실에서 자체 제작한 Föpple-pertz형 비틀림 진자시험장치로 진동감쇠능을 비교 측정하였다.

이 시험장치의 원리는 비틀림진자 시험장치의 프레임에 체결된 시편을 자유진동시켰을 때 시간의 경과에 따라 진동의 진폭이 점차 감소해가는 것을 potentiometer로 감지하여, 증폭기를 거쳐 A/D converter를 통해 입력된 신호인 시간 대 진폭 변화 곡선으로부터 strain에 따른 진동감쇠능(SDC, %)을 측정하였다. 그림 4는 진동측정시스템의 개략도와 봉상 시편의 크기이다.

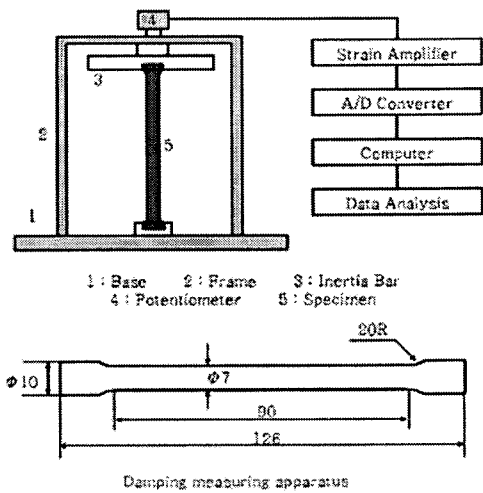


그림 4. 진동측정시스템의 개략도와 시편 크기

2.4 음압 레벨 측정

Dampalloy가 신축이음장치로서 소음 저감효과가 있는지를 확인하기 위하여, 실험실 수준에서 소재 평가를 실시하기 위하여 소음계(ONO SOKKI, LA210)를 이용하여 음압 레벨(dB(A))을 측정하였다. 이를 위하여 100×100×30(mm) 크기로 SM490과 Dampalloy 판재 시편을 제작하여 음압 레벨을 비교 측정하였다.

음압 레벨 측정은 KS A 0701(소음도 측정 방법)에 따라 시행하였고, KS C 1502(보통 소음계)에 규정된 소음계를 사용하여 청감 보정 회로의 A 특성에 의하여 측정하였다. A 특성(A-Weighted Network)은 주어진 광대역음을 하나의 단일값으로 표시하는데 가장 유용하게 사용되는 청감 보정 회로로 인간의 귀에 느껴지는 소음의 크기를 근사적으로 측정할 수 있는 것으로 알려져 있다. 음압 레

벨에 의한 재료의 평가는 보편적인 평가방법은 아니나, 충격소음을 듣는 제실자의 입장에서 느껴지는 소음의 크기를 근사적으로 평가하는 방법이라 할 수 있다.

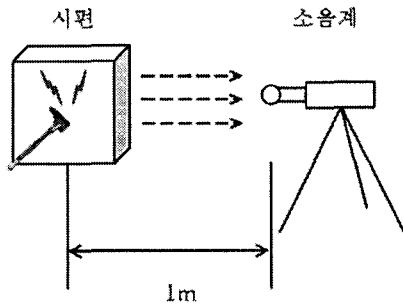


그림 5. 음압 레벨 측정 개략도

음압 레벨 측정은 판재의 중심부에 동일한 힘으로 충격을 가한 후 중심부로부터 1m 떨어진 지점에서 소음계로 각각 50회 측정 후 평균치를 구한다. 그림 5는 음압 레벨 측정의 개략도이다.

3. 시험결과

3.1 진동감쇠능 측정 결과

자체 제작한 Föpple-pertz형 비틀림진자 시험 장치로 기존 신축이음장치 재료 (SM490)와 대체 합금인 Dampalloy의 진동감쇠능을 측정한 결과 화면을 그림 6에 나타내었다.

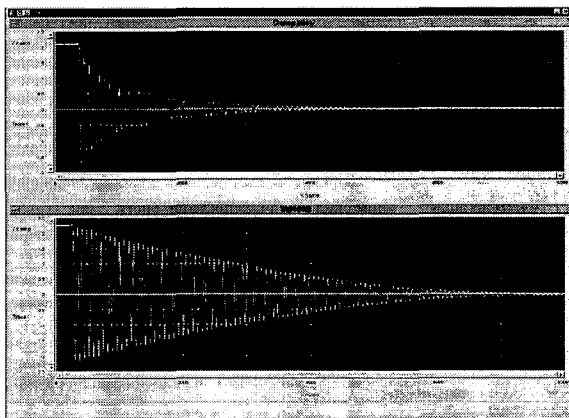


그림 6. 진동감쇠능 측정 화면

Dampalloy의 경우 초기부터 급격하게 진동감쇠가 일어나 약 5초 이후에는 거의 진동이 소멸되었으나, 기존 신축이음장치의 재료인 SM490의 경우 측정 완료 시점인 8초까지도 진동이 잔존하였으며, 또한 원신호를 가지고 SDC를 측정한 결과, Dampalloy의 경우 34.9%로 기존 신축이음장치의 재료인 SM490의 경우 2.2%에 비해 15.9배 우수하였다.

3.2 음압 레벨 측정 결과

기존 신축이음장치 재료(SM490)와 Fe-Mn제진합금으로 제작한 판재의 중심부에 동일한 힘으로 충격을 가한 후 중심부로부터 1m 떨어진 지점에서 소음계를 사용하여 청감 보정 회로의 A 특성에 의하여 각각 50회 측정 후 음압 레벨값을 그림 7에 나타내었다.

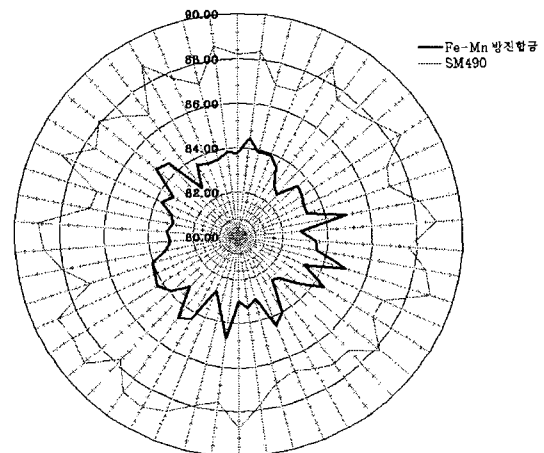


그림 7. 음압 레벨 비교 (단위 : dB)

시험 결과 Dampalloy 재질로 제작한 판재의 음압 레벨 측정 평균값은 83.77dB, SM490의 음압 레벨 측정값은 87.74dB로 3.97dB의 음압 레벨 차이를 보였다.

4. 결론

방음·방진 효과를 얻을 수 있는 소재로서 기계적 강도가 우수하고, 동시에 진동을 흡수하는 능력이 매우 우수한 Fe-Mn 제진합금이 교량용 신축이음장치로서 소음·진동 저감효과가 있는지를 확인하기 위해서, 실험실 수준에서 소재평가를 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 실험실 수준의 소재평가에서 Fe-Mn 제진합금과 기존 제질인 SM490의 진동감쇠능을 비교한 결과 Fe-Mn 제진합금의 진동감쇠능이 15.9배 우수하였다.

- 또한 외부 충격에 대한 음압 레벨 비교 측정 실험에서 Fe-Mn 제진합금의 음압 레벨이 SM490에 비해 3.97dB 낮음을 확인하였다.

이러한 실험실 수준의 소재 평가로 Fe-Mn 제진합금의 높은 진동감쇠능으로 진동 전달양을 줄이는 Material Damping을 이용한 신축이음장치의 재료 대체 가능성을 예상할 수 있었다. 이는 향후 진행 예정인 신축이음장치의 실제 교량 적용 실험에서 장치에 가해지는 진동 부하를 재료의 대체만으로 개선효과를 얻을 수 있는 성공 가능성을 확인한 것이다. 또한 재료의 대체가 자동차 주행시 발생하는 마찰 충격음도 감소시킬 수 있다는 가능성도 확인하였다.

이러한 대체 제품의 소음·진동 저감 결과는 신축이음장치뿐만 아니라 여타 건설부품에 적용하여 체계적인 분석과 평가를 하는데 중요한 요소라 사료된다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 국가지정연구실사업(NRL)으로 지원된 "제진금속의 소음진동 제어기술 개발"과제의 연구결과의 일부이며, 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) C.S. Choi and Woojin Inc., "Fe-Mn Group Vibration Damping Alloy Manufacture Method thereof", U.S. Pat., No. 5290372, 1992
- (2) 이정우, 박종원, 최은석, 진원중, 박성룡, 2004, "교량신축이음장치의 진동/소음 실험", 대한토목학회 2004년도 정기학술대회
- (3) ㈜KR Report, 2002, "Grooving에 따른 소음치 분석"
- (4) 한국도로공사 도로연구소, 1993, "신축이음장치에 관한 연구"
- (5) 건설부 국립건설연구소, 1982, "교량의 신축이음 및 교좌장치공법"
- (6) 한국표준협회, 2001, KS F 4425 (2001) "교량 신축 이음 장치 시험 방법"
- (7) 백승한, 손용철, 김정철, 한동운, 오상권,

1998, "Fe-Mn 고감쇠합금을 적용한 발전소 격납용기 살수펌프의 소음·진동 저감효과에 관한 연구", 한국소음진동공학회 1998년도 춘계학술대회 논문집, pp. 667~674

(8) 최영휴, 김현욱, 안영덕, 1997, "차륜주행충격에 의한 빗살형 교량 신축이음장치 구조물의 과도진동해석", 한국소음진동공학회 1997년도 춘계학술대회논문집, pp. 69~74