

공용중인 기존 교량용 방음터널(PEAT) 기술 소개

공급배 | ㈜서린브릿지텍 부장
 김안수 | 다스코㈜ 차장
 지용수 | ㈜펜타드 대표이사, 공학박사
 유동민 | 한국도로협회 연구위원, 도로 및 공항기술사

1. 개요

도로에서 발생하는 교통소음은 주변 아파트, 병원, 공공 시설 등의 거주자 및 이용자들에게 불편과 피해를 발생 시키며, 이와 관련된 민원이 지속적으로 증가하고 있다¹⁾. 최근 교통소음을 저감하기 위해서 소음의 흡음 또는 차단 효과를 얻을 수 있도록 방음시설이 설치되고 있는데, 특히 자동차 증가 및 주거 형태의 과밀, 자동차 전용 도로의 도심지 통과 등 소음으로 인한 교통소음을 저감 하는데 방음벽으로는 한계가 있기 때문에 방음터널의 설치 요구 및 설치 사례가 증가하고 있는 추세이다. 방음터널은 소음저감 효과가 매우 높으나 고가의 설치비용이 발생되며, 특히 공용중인 교량에 방음터널을 설치

하는 경우에는 기존 교량의 방호벽 등에 지주를 설치하기 위한 추가적인 보강과 이에 따른 하중 증가로 인해 교량손상 우려 및 내하력 저하 등의 문제점이 있다. 현재까지도 기존 교량 주변에 추가로 교각 및 교량을 신설하고 그 위에 거터를 설치하여 방음터널을 시공하는 방법이 주로 적용되고 있는데, 이 방식은 교각 및 교량의 신설로 인한 별도의 부지 확보와 교각 등 구조물 설치가 필요하여 경제성, 시공성 확보 등에 어려운 경우가 있음에도 그간 특별한 대안이 없어 소음 대책 마련에 한계가 존재했다. 그러나 최근 국토교통과학기술진흥원의 사업화지원사업으로 이러한 문제점을 개선한 기존 교량용 방음터널 설계·시공 기술이 개발되고 있어, 앞으로 기존 교량 구

〈그림 1〉 소음·진동 민원 발생 추이



〈사진 1〉 서울특별시 응봉교 방음터널



간의 소음 대책에 새로운 해결 방안이 될 것으로 기대하고 있다.

한편, 공용중인 방음터널에서 잇단 화재로 인명피해가 발생하여 정부에서는 국민 불안 해소 및 유사 사고의 재발 방지를 위해 '도로 방음시설 화재안전 강화대책'을 발표하였으며²⁾, 이와 관련된 재료 성능요건 및 방재기준 마련 등의 연구가 진행되고 있다.

〈사진 2〉 제2경인 고속도로 방음터널 화재³⁾



(출처 : 서울신문)

〈사진 3〉 용인 고가도로 방음터널 화재⁴⁾



(출처 : 연합뉴스)

〈그림 2〉 국토교통부 보도자료

국토교통부 보도 자료		국민의 안전과 편의를 위하여
배포 일시	2023. 2. 1.(수)	
담당 부서	도로국	과장 김형철 (044-201-3927)
	도로시설안전과	담당자 사무관 강지연 (044-201-3922) 최용훈 (044-201-3932)
보도일시	2023년 2월 2일 (목) 석간부터 보도하여 주시기 바랍니다. * 통신·방송인터넷은 2. 2.(목) 12:00 이후 보도 가능	
국토부, 「도로 방음시설 화재안전 강화대책」 발표		
□ 전국 방음터널 170개 중 PMMA 사용 58개 철거 및 교체 추진		
□ 방음시설 설계 기준 마련, 소방법·시설물안전법상 관리대상 추가 등 제도 개선		

따라서 본고에서는 기존 교량용 방음터널 기술(PEAT)과 함께 방음터널의 화재안전에 효과적인 새로운 기술을 소개하고자 한다.

2. PEAT 공법

PEAT(Pier Extended Arch Tunnel) 공법은 기존 노선에 방음터널을 설치해야 하는 구간 중 공용중인 교량의 노후화 또는 상부구조의 최적설계로 인해 방음터널 설치에 따른 추가 하중을 기존의 상부구조가 지지할 수 없는 경우에 적용될 수 있는데, 상부구조에는 방음터널 설치로 인한 추가하중이 전달되지 않도록 교각 코핑부를 브라켓으로 보강하고 방음터널 지지용 거터를 브라켓 사이에 설치한 후 그 위에 방음터널을 설치하는 기술이다. 즉, 교량 상부구조와 이격된 교각 보강용 브라켓과 신축거터를 구비한 공용중인 기존교량용 방음터널 기술이라고 정의할 수 있다.

PEAT 방음터널을 구성하는 핵심 기술은 추가로 설치되는 방음터널의 하중을 상부구조가 아닌 하부구조가 지지할 수 있도록 기존 교각에 '브라켓'을 설치하고 그 위에 방음터널 지주를 설치할 '보강 거터', 그리고 방음터널 접속부의 상대변위를 수용하기 위한 '지진격리형 조인트' 세 가지로 요약할 수 있으며, 각 기술별 세부 내용은 다음과 같다.

〈그림 3〉 PEAT 방음터널 개념도

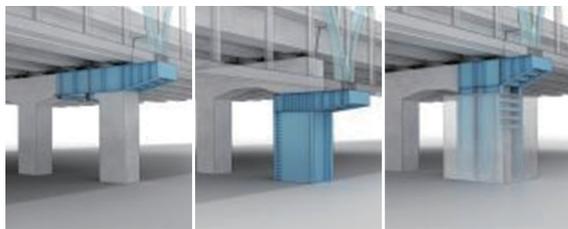


2.1 교각 보강용 브라켓

교각 보강용 브라켓은 기본적으로 방음터널을 지지하기 위한 구조체이면서, 노후화된 교각의 보강 및 교량의 내진성능 향상 등의 기능도 추가적으로 발휘할 수 있는 특징이 있다. 따라서 교각보강용 브라켓을 이용한 방음터널 시공방법은 기존 교량 상부구조 보강, 교각 및 거더의 신설 등 기존 공법과 대비하여 경제적인 측면에서 매우 우수하다고 할 수 있다.

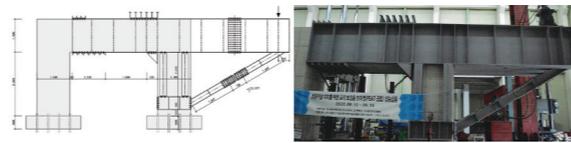
교각에 브라켓을 설치할 때, 앵커나 강재빔 및 강봉으로 고정하는 방법이 적용될 수도 있으나 기존 교각의 손상 가능성 및 철근 간섭 등의 문제가 예상되기 때문에 코핑을 감싸는 플레이트와 보강재로 면지지하는 방법을 적용하였고, 교각 형태에 따라 아래 <그림 4>와 같이 다양한 형태로 적용할 수 있다.

<그림 4> PEAT 방음터널 교각 보강용 브라켓의 설치 형태 예시

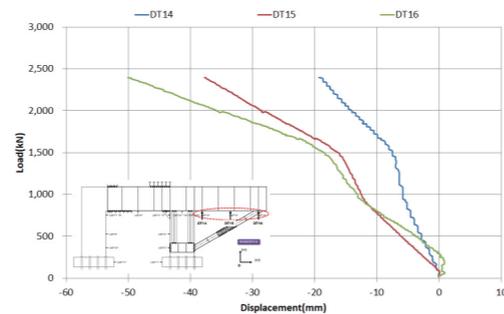


만일, 현장 여건에 따라 브라켓이 길어지는 경우에는 브라켓 끝단과 교각 하단을 연결하는 사보강재를 설치하여 하중지지 성능을 향상시킬 수도 있다. 이와 관련하여 교각 보강용 브라켓의 성능을 확인하고자 명지대학교 하이브리드구조실험센터에서 <그림 5>와 같이 실험을 수행하였고, 코핑 및 기둥부의 변위와 변형률을 측정·분석하였다. 특히 실험체의 브라켓은 설계하중의 1.2배 수준의 하중에도 충분한 내력을 확보하고 있으며, 방음터널의 하중은 교각에 많은 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 다만, 사보강재가 없을 경우에는 처

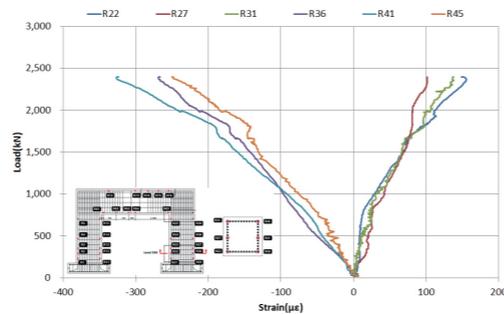
<그림 5> 교각 보강용 브라켓 실험체 도면 및 실험 전경



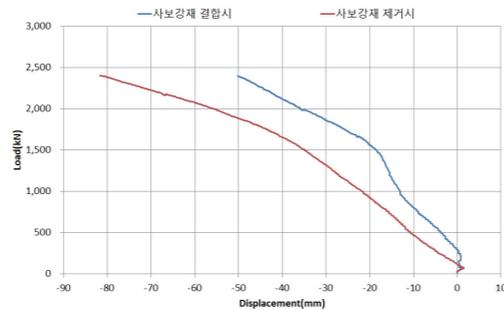
<그림 6> 교각 보강용 브라켓 실험 그래프



<하중-변위 그래프>



<하중-변형률 그래프>



<하중-변위 그래프(사보강재 유무)>

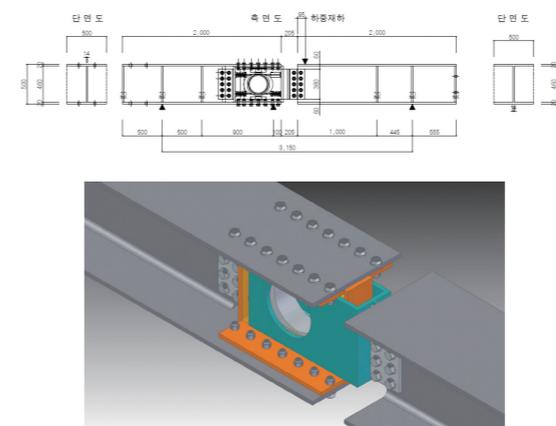
짐이 증가되어 사용성이 부족할 수도 있으나, 내력은 충분히 확보하고 있는 것으로 분석되었다.

2.2 보강거더

보강거더는 교각 보강용 브라켓 위에 설치하여 방음터널 지주를 지지하는 역할을 하는데, 온도하중 등에 의해 매우 큰 축력이 발생하게 된다. 기존 공법에서는 이러한 온도하중에 저항하기 위하여 거더 단면을 키우거나 추가 부재를 사용하고 있지만, 본 기술은 온도하중에 의한 축력을 제어하기 위해 신축장치(EH : Expansion Hinge)를 설치하여 경제성과 시공성을 향상시키고자 하였다.

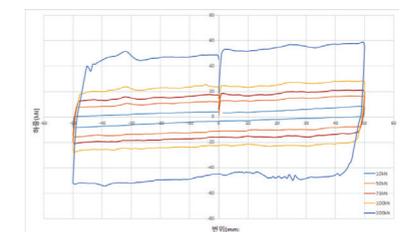
이 신축장치는 온도변화에 따른 신축을 허용하면서 모멘트만을 전달할 수 있는 장치로, 모멘트가 최소인 부분에 설치하여 연결부의 축력 등 구조적 안전성과 경제성을 향상시켰다. 특히 이 신축장치는 유닛형으로 개발하여 향후 유지관리 시에도 유닛만 교체할 수 있는 장점을 가지고 있으며, 방음터널 지점방식에 대한 선정방법도 수월할 뿐만 아니라 거더 단면을 대폭 축소하는 등 경제성을 확보할 수 있다.

<그림 7> 보강거더 개념도



신축장치를 포함한 보강거더의 성능을 확인하고자 <그림 8>과 같이 명지대학교 하이브리드구조실험센터에서 실험을 수행하였다. 실험 결과, 하중단계별 신축성능은 축하중을 제어하기에 충분하였고, 설계하중의 약 3배 수준의 하중에서도 신축 거동의 문제가 없는 것이 확인되었으며, 설계하중에서는 하중-변위 그래프가 일정하게 거동하였다. 다만, 하중이 증가할수록 하중-변위 그래프가 일정하지 않은 현상을 보이기도 했다. 이는 내부 신축장치의 마찰계수에 의한 영향으로 파악되었으며, 신축장치 제작 시 마찰을 최소화 할 수 있는 방안이 필요해보였다. 또한 연결부의 처짐을 방지하기 위해 거더와 신축장치의 연결부 상세 개선이 필요할 것으로 판단되었다.

<그림 8> 실험 전경 및 하중-변위 그래프



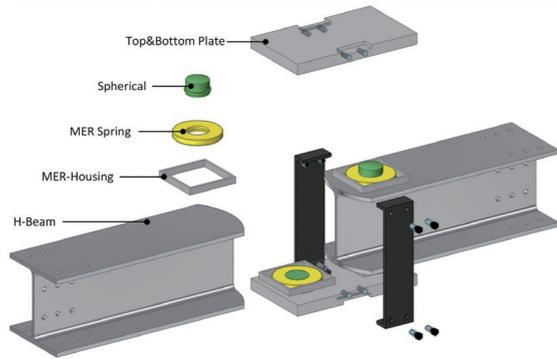
2.3 지진격리형 조인트

방음터널의 시공에 있어서 독립형 방음터널은 교량의 온도변화에 따른 신축이 반복적으로 발생할 때 상대변위가 발생되지 않으나, 광폭형(상/하행 분리교량)으로

시공되는 방음터널은 폭, 길이, 경간장, 재질 등에 따라 방향별로 상대변위가 발생하게 된다. 또한, 광폭형 방음터널은 교량별로 서로 상이하게 발생하는 변위에 의해 방음터널 지주 및 기초 부분이 비틀려 방음터널의 손상 또는 파손이 발생할 수 있다.

이 연구에서 개발된 방음터널 접속부 회전 및 변위 수용 장치(SBJ, Seismic Ball Joint)는 회전변위(비틀림) 및 이동변위를 수용할 수 있을 뿐만 아니라, 지진 발생 시 지진동의 에너지를 소산시킬 수 있다. 또한, 마찰판의 마찰계수 조정과 MER(Mass Energy Regulator) 스프링의 강성 설계를 통해 지진 시 방음터널에 작용되는 지진하중(지진동)의 제어가 가능함에 따라 변진 성능을 확보할 수 있다.

〈그림 9〉 지진격리형 조인트(SBJ) 개념도



지진격리형 조인트(SBJ)의 성능을 확인하고자 〈그림 10〉과 같이 ANSYS v17.2를 이용하여 FEM 상세 해석을 하였고, 최적화 설계를 통해 제작한 시험품(시제품)으로 건설품질기술연구원(ICQT)에서 내구성 시험을 수행하였다. 성능시험 결과, 유효강성 약 11%, EDC(Energy Dissipated per Cycle) 약 21%로서 지진 격리장치로서의 성능을 검증하였다. (지진격리장치 기본 성능 기준 ⇒ 유효강성 : ±20%이내 / EDC : -15이

〈그림 10〉 FEM 해석 및 시제품 시험 현황



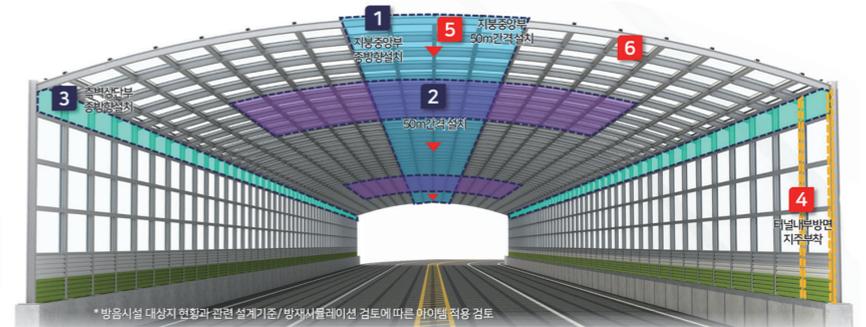
상) 또한, KS F 4425(교량 신축 이음장치 시험방법)을 차용하여 장기 신축이동량을 고려한 시험을 통해 내구성도 검증하였다.

3. 방음터널의 화재안전 확보를 위한 방재시스템 기술

방음터널에 화재 발생 시 안전을 확보하기 위해서는 화재 감지, 배연 기능, 내화 성능이 확보되어야 하며, 이와 관련하여 6가지 기능으로 구성된 방재시스템 기술은 다음과 같다.

- ① 자동배연창 : 대상지 개폐 필요 범위에 맞춤형 설계와 적용이 가능한 자동배연창 시스템으로 전기방식과 공압방식 선택가능 공법
- ② 자동슬라이딩 루프 : 방음터널의 넓은 면적의 개폐량 확보가 가능한 슬라이딩 형식 천장 루프시스템 공법
- ③ 자동루버 타입 방음판 : 측벽상단에 설치되어 천장 개폐창과 배연성능을 극대화한 루버타입 방음판
- ④ 지주보호 내화장치(FSS) : 내화도료가 도포된 내화 PLATE를 장착하여 화재 발생 시 메인지주를 보호하며 복구 시 메인지주 재사용이 가능한 장치
- ⑤ 화재감지장치 : 반경 50m 이내 모든 화재를 감지하는 360도 적외선 불꽃감지 제품
- ⑥ 고난연 PC시트 : 차량화재나 방화 등에 의한 발화 원으로부터 불이 옮겨 붙는 것을 지연하여 화재의 확산을 최소화하는 공법

〈그림 11〉 방재시스템 개념도



* 방음시설 대상지 현황과 관련 설계기준/방재시설레이션 검토에 따른 아이템 적용 검토
 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 22TBIP-C160942-02).

4. 결론

방음터널은 환경소음을 감소시킬 수 있는 방법으로 소음이 심한 구간에서는 설치 필요성이 매우 높은 시설물로 인식되고 있다. 하지만 현장 여건, 공사비, 기존 구조물의 노후화 등으로 인해 방음터널의 설치가 어려운 상황이 발생하고 있다. PEAT 방음터널은 이러한 한계를 극복하여 경제성, 시공성, 안전성 확보와 함께 도시 미관 향상을 기대할 수 있다.

또한, 교각 보강용 브라켓은 추가 하중에 대한 지지 뿐만 아니라 노후화된 교각의 보강용으로서도 역할을 하기 때문에 교량 설계, 보수/보강 등에도 본 연구의 상세 기술들이 널리 적용될 수 있을 것이다. PEAT 방음터널에 대해 설계 및 현장 기술자 그리고 발주처 관계자의 많은 관심을 부탁드립니다. 도로변 소음 대책이 필요한 현장에 널리 적용되어 교통소음으로 인해 고통 받는 국민의 불편과 피해가 해소되기를 기대한다.

참고자료

1. 2021년 소음·진동 관리시책 시·도별 추진실적, 환경부, 2022. 10.
2. 국토부, 「도로 방음시설 화재안전 강화대책」 발표, 국토교통부 보도자료, 2023. 2. 1.
3. 제2경인고속도로 과천 방음터널서 불... 5명 사망·37명 부상, 서울신문, 2022. 12. 29.
4. 용인 고가도로서 BMW차량 화재... 방음터널도 일부 불타, 연합뉴스, 2020. 08. 20.