

# 흡음 외장재 부착에 따른 교량 주변 음향 특성 해석

이 유 열\*

\*호원대학교 자동차기계공학과

## Analysis on the Acoustical Characteristics for Arrounding of Bridge by Absortion Panel Attachment

You Yub Lee\*

\*Dept. of Automobile & Mechanical Engineering, Howon University

### Abstract

For the purpose of finding out the acoustical characteristics of exterior materials in bridge, analytical studies are performed with boundary elements method by using the commercial program SYSNOISE. Before analysis, to figure out material property, it was conducted experiments of absorption coefficient for absorptive material. And prediction of pressure were conducted I GIRDER type (before & after installation of absorption panel) and BOX GIRDER type (before & after installation of absorption panel) The results show that when the absorption panel is installed, environment around bridge can help reduce traffic noise. It was proved to be the effective noise reduction counter-plan for a traffic noise in the bridges.

**Keywords :** Absorption panel, Absorption coefficient, I GIRDER, BOX GIRDER

### 1. 서 론

도심 지역의 소음은 교통량 증가에 따라 증가하고 있는 추세에 있고, 특히 많은 차량이 고속으로 통과하는 고가도로 주변 지역은 소음 문제가 더욱 심각한 문제로 대두되고 있다. 이로 인한 민원 발생도 빈번해지고 있어서 적극적인 소음 방지책이 요구되고 있고 국민 생활 수준 및 가치관, 의식의 변화에 따른 정신적, 문화적 욕구 증대가 좀더 안락하고, 조용하며, 미관상 좋은 환경을 지향하고 있어, 도심의 중심을 지나는 고가 도로의 경관 및 교통 소음 감소는 필요 불가결한 요건이다.

현재는 이러한 고가 도로 주변 및 밑면에 대한 소음 방지 대책은 거의 전무한 상황이며 오래된 구조물 같은 경우 교량 하부가 외부에 그대로 노출되어 있어, 도

심의 오염 물질 및 부식, 먼지 등으로 인한 외관상 좋지 않음과 동시에 교통량 증가에 따른 소음의 반사 및 교량진동에 의한 주변지역 소음량 증가로 도시의 또 다른 문제로 부각되고 있다.

이러한 고가도로 주변의 소음 문제 해결을 위해 본 연구에서는 교량용 흡음 외장재를 사용한 효과적인 소음 저감[1] 대책의 수립에 대한 타당성을 검토하고자 하며 이를 위해서 흡음 능력을 가진 외장재를 부착한 교량에 대한 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 교량 외장재에 의한 소음 감소 효과를 검토하고자 한다[2,3]. 이때 사용되는 SYSNOISE(경계 요소법을 이용한 소음 해석 소프트웨어)는 교량 및 외장재를 모델링 하고, 흡음율 데이터 및 소음원 데이터를 입력하여 각 주파수 별로

†본 연구는 호원대학교 교내학술연구비의 지원에 의한 연구 결과입니다.

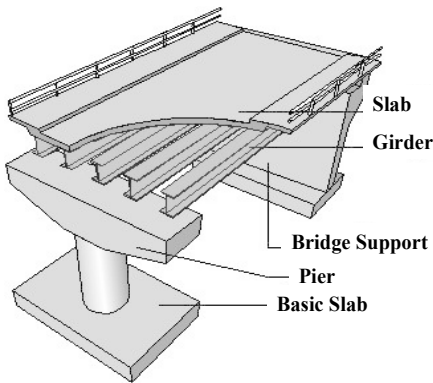
†Corresponding Author: You Yub Lee, Dept. of Automobile & Mechanical Engineering, Howon University, M · P: 010-5257-2182, E-mail: yylee@howon.ac.kr

Received July 17, 2014; Revision Received December 12, 2014; Accepted December 23, 2014.

흡음효과를 알아보고자 한다[4,5]. 이는 음원이 발생하였을 경우 교량 하면에 설치된 흡음패널에 의해 음의 에너지가 열 에너지로 변환되면서 나타나는 소음감소 효과를 신뢰성 있게 확인할 수 있다[6,7].

본 연구의 최종 목표는 교량 주변에 대한 효과적인 소음 저감을 위하여 외장재의 흡음재 삽입에 따른 모델링 및 음향학적 해석을 통한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하고, 이에 따른 특정 주파수 (250Hz)에 대한 음압 분포도로 그 성능을 평가함으로써 교량 외장재에 의한 고가 도로 주변의 소음 저감 대책에 대한 효과를 검토하고자 한다.

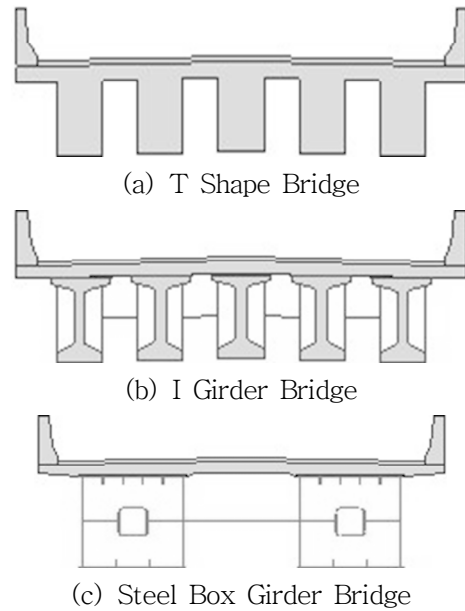
## 2. 교량형 외장재의 필요성



[Figure 1] Construction of bridge(Girder)

교량은 일반적으로 다른 교통로나 구축물 위를 건너갈 수 있도록 만든 고가 구조물을 말한다. 상부구조는 교대(Pier)나, 교각(Bridge Support)위에 있는 구조를 말하며, 일반적으로 주형(Girder), 슬래브(Slab) 등으로 구성되어 있다. 교량의 형식을 결정짓는 것은 주부재의 모양에 따라 결정되는데 주 부재란 교량에서 힘을 가장 많이 받는 부재를 말한다. 위의 그림에서 주부재가 주형(거더: girder)인 경우를 거더교, 아치인 경우를 아치교, 트러스인 경우를 트러스교라 하며, 케이블로 지지되는 경우에는 사장교 또는 현수교라고 한다. 현재 가장 많이 쓰이는 형식은 거더교이다. 슬래브는 상부에 차량 등이 다닐 수 있도록 하는 바닥판을 말한다. 그리고 일반적으로 슬래브 위에 차량이 다닐 수 있도록 포장하고 난간이나 중앙 분리대등을 설치한다.

하부 구조는 상부 구조에서 작용하는 하중을 지반에 안전하게 전달하는 역할을 하는 교대와 교각을 의미한다. 교대는 교량의 시중점부의 받침을 교각은 시중점부 이외의 중간 받침을 말한다.



[Figure 2] Classification of bridges for construction

그림(a)는 콘크리트 T 형교로 30m정도까지의 지간에 대하여 사용된다. 주형과 일체로 된 콘크리트 바닥판은 가로방향을 지간으로 하는 슬래브로 작용하는 동시에 주형에 대해서는 플랜지로 작용한다. 그림(b)는 I 형의 프리 스트레스 콘크리트 거더로 20-40m의 지간장에서 많이 쓰인다. 그림(c)는 철판으로 제작된 박스 형태의 거더로 지간장 60m정도가 경제적이다. 가장 많이 사용되는 교량 형식 중 하나이다. 그러나 이러한 교량들은 설치 시 도심 내의 미관을 저해하고 차량의 소음이 교량에 반사되어 보행자나 근처 거주자들에게 소음 피해를 발생시키는 문제점을 안고 있다. 이러한 이유로 교량형 외장재에 필요성이 증대되고 있는 실정이다. 또한 최근 시민들의 욕구의 증대로 주변환경에 대한 관심이 높아짐에 따라 구조물의 경관 향상을 요구하고 있고 외장재를 설치함에 따라 교량 구조물의 유지 관리 및 보호를 할 수 있다는 이유로 설치가 필요하다. 이러한 교량형 외장재의 기능 및 효과를 살펴보면, 교량의 하면이나 측면에 외장판을 부착하여 도심지 미관을 향상시키고 외장판에 흡음재를 삽입하여 흡음효과를 향상시킬 수 있으므로 교량의 진동 소음을 차단할 수 있어 도심지 주변 소음을 저감시킬 수 있을 것으로 예상된다.

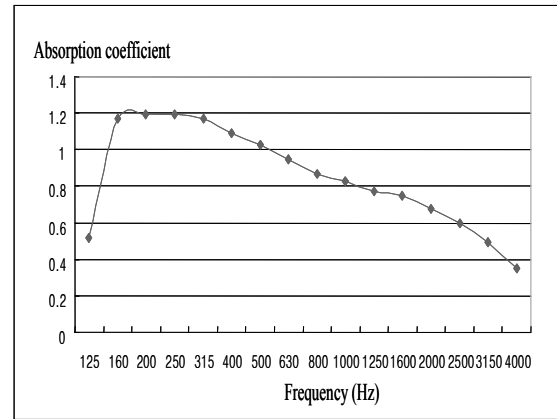
## 3. 흡음 외장재 특성

교량 하면에서 흡음 외장재를 통한 소음 감소 효과를 판별하기란 매우 어렵다. 결국 흡음 외장재는 교량

하면에서 발생하는 자동차 소음을 주변 민가 혹은 상가 등에 반사음에 의한 피해를 줄이도록 하는 것이며 이를 파악하기 위해 현장에서 장비 등을 설치하여 측정하기란 경제적인 면에서 매우 비효율적인 일이라 할 수 있다. 즉 감소 효과에 비해 매우 큰 비용이 들며 만약 측정을 한다고 하더라도 실제 교량 건설이 완료된 후 실제 자동차 소음에 의해 발생하는 주변 소음을 측정하고 외장재가 설치된 후 주변 소음을 측정하여 비교 분석하는 것이다. 만약 이렇게 하지 않을 경우에는 교량, 음원, 흡음 외장재 등을 축소 모델을 이용하여 반 무향실에서 측정하는 방법인데 이 또한 비용이 많이 들며 실제 교량에서의 측정과도 많은 차이가 발생한다. 결국 이러한 문제점 때문에 사용될 흡음 외장재에 대한 흡음율을 측정하여 각 주파수 별로 흡음효과를 조사한다. 이는 음원이 발생하였을 경우 교량 하면에 설치된 흡음 외장재에 의해 음의 에너지가 열에너지로 변환되면서 반사음을 적게 발생시키는 원리를 알아보기 위한 것이다. 또한 얻어진 결과를 통하여 음향 해석 시 시뮬레이션 조건으로 적용하고 교량에 부착하여 교량 형태별 효과를 파악 할 수 있다.

이번 연구에서 실시된 실험은 흡음 외장재에 대해서 잔향실법에 의해 흡음율을 측정하였다. 흡음 패널 타입 잔향실 시험시 흡음 면적은 11.875m<sup>2</sup>로 10m<sup>2</sup> 이상을 만족하고 흡음을 계산시 흡음면적을 환산하여 흡음율을 평가하였다. 흡음 외장재에 대한 흡음특성시험은 흡음 외장재 전면판은 용융 아연도강판 0.6t재질을 사용하였으며 개구율은 약 40%정도가 되며 후면판은 1t 용융아연도강판을 사용하였다. 그리고 흡음재는 밀도가 32K인 글래스울 100T를 사용하였다. 실험 장소는 잔향실에서 실시하였으며 잔향실의 용적은 325m<sup>3</sup>이고 음원은 백색잡음을 사용하였고 측정시 온도 및 습도는 각각 18.3℃, 65%로 KS F2805에서 정하는 실험조건을 만족하도록 하였다.

흡음 외장재 흡음 특성 결과 Fig. 3 그래프에서 볼 수 있듯이 저주파수 대역에서 흡음 특성이 좋게 나타났으며 중,고주파수대역에서의 흡음특성은 저주파수 대역보다 좋지 않게 나타났음을 알 수 있다.



[Figure 3] Absorption coefficient of panel

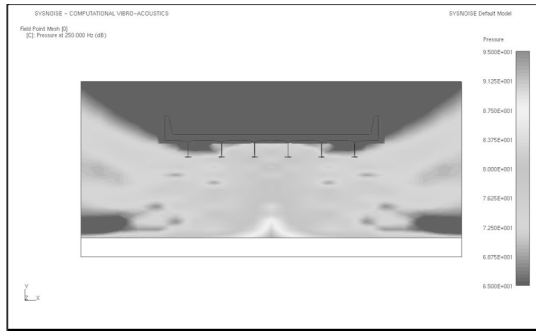
#### 4. 교량 형태와 흡음재 부착 위치에 따른 시뮬레이션 결과

음향 해석을 위한 교량의 형태는 일반적으로 많이 설치되고 있는 교량의 형태인 [Figure 2]에 소개한 I 거더형과 박스 거더형에 대하여 외장재 설치 전후에 대해서 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 수행 시 앞에서 실험에서 얻어진 흡음 외장재의 물성치를 이용하여 해석을 수행하였다. 해석 시 차량의 소음을 음원으로 가정하고 이 음원에 의한 음의 반사 및 굴절 그리고 회절 효과를 고려하여 주변 상가나 보행자의 위치에서 소음의 정도를 비교하였다. 여기서는 250Hz의 주파수에 대해서 대표적으로 시뮬레이션 결과를 나타내었는데 이는 <Table 1> 과 [Figure 3]에 나온 흡음 특성 결과중 외장재 흡음 특성이 최대치인 것을 고려하여 주파수 영역을 정하였다.

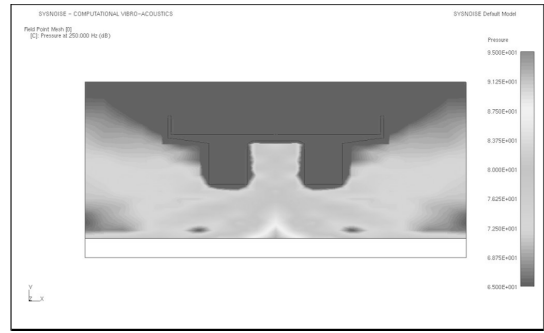
다음 그림들은 I 거더형 교량과 박스 거더형의 흡음 외장재 설치 전후의 음압의 분포를 나타내고 있다. [Figure 4]에서 (a)는 교량의 외장재 설치 전의 음압 분포를 나타내는 시뮬레이션 결과이다. (b)는 외장재가 교량의 양 옆에 설치된 경우에 있어서 음압 분포를 나타내고 있으며 (c)는 외장재가 교량의 양 옆과 교량 하부 바닥에 설치된 경우에 있어서 음압 분포를 나타내는 시뮬레이션 결과이다.

<Table 1> Absorption coefficient of Panel

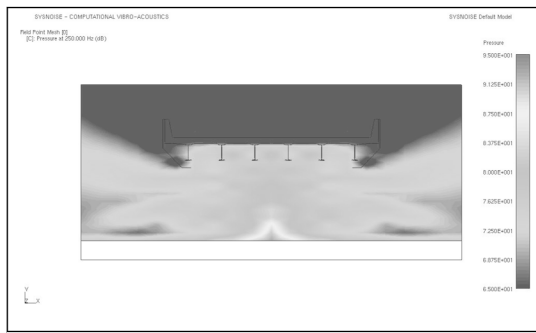
Frequency	125	200	250	400	500	1000	1600	2000	4000
Acoustic absorptivity	0.52	1.19	1.19	1.09	1.03	0.83	0.75	0.68	0.25



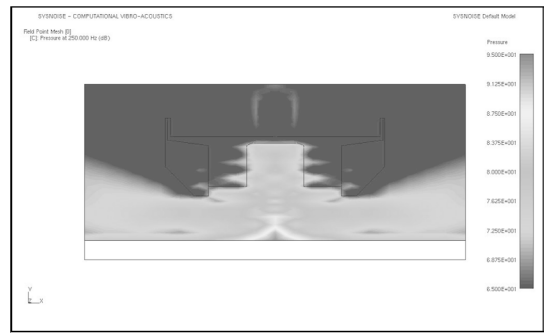
(a) Distribution of pressure before installation of panel



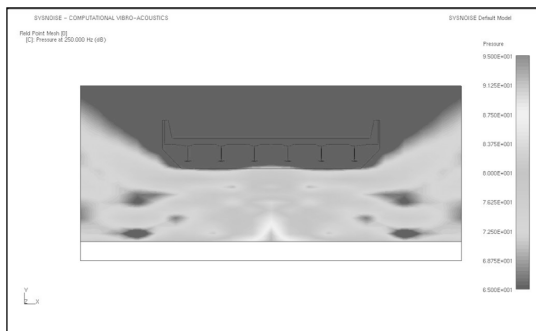
(a) Distribution of pressure before installation of panel



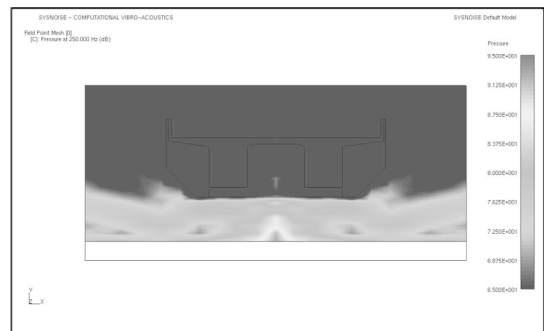
(b) Distribution of pressure after installation of side-panel



(b) Distribution of pressure after installation of side-panel



(c) Distribution of pressure after installation of side & bottom panel



(c) Distribution of pressure after installation of side & bottom panel

[Figure 4] Prediction of pressure around bridge with I GIRDER type (Before & After installation of absorption panel ( 250Hz ) )

[Figure 5] Prediction of pressure around bridge with BOX GIRDER type (Before & After installation of absorption panel (250Hz) )

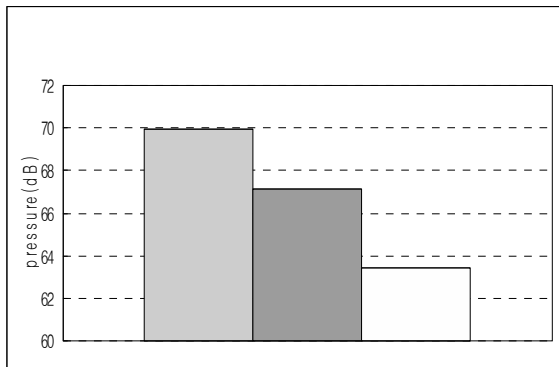
[Figure 5]는 박스 거더 타입의 시뮬레이션 결과로 (a)는 교량의 외장재 설치 전의 음압 분포를 나타내는 시뮬레이션 결과이다. (b)는 외장재가 교량의 양 옆에 설치된 경우에 있어서 음압 분포를 나타내고 있으며 (c)는 외장재가 교량의 양 옆과 교량 하부 바닥에 설치된 경우에 있어서 음압 분포를 나타내는 시뮬레이션 결과이다.

여기서 결과에 대한 비교에서 거리를 5m, 10m로 정한 이유는 상징적인 의미로서 비교, 평가를 쉽게 알아 볼 수 있도록 하기 위함이다. 위의 시뮬레이션 결과를 살펴보면 I형 거더 타입에서는 대체적으로 양 옆 및 바닥에 외장재가 모두 설치된 후가 설치 전보다는 대체로 음압 분포가 줄어들고 있으나 교량의 수평 위치(교량에

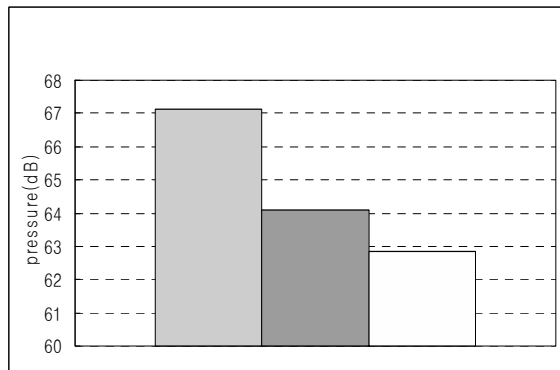
서 지면으로부터 5m, 수평거리 5m의 빌딩)에서는 음압의 감소가 그리 효과적이지 않는다는 점을 볼 수 있다. 이것은 교량 양 옆의 외장재의 반사효과에 의해서 보행자의 위치에서는 소음이 감소하나 빌딩의 위치에서는 반사로 인하여 그 효과가 반감되었다고 볼 수 있다. 그러나 박스 거더형에서는 I형 거더 타입보다는 양 옆 외장재의 소음 효과가 크고 보행자의 위치나 빌딩에 모두 소음이 현저하게 줄어드는 경향을 볼 수 있다.

아래 그림은 앞에서 시뮬레이션 한 결과를 좀 더 정확히 판단하기 위해 수치적으로 나타낸 것이다. 외장재 설치 전후에 대해서 보행자의 위치(교량에서 지면을 따라 5m떨어진 위치, 10m 떨어진 위치), 빌딩 거주자의 위치(교량에서 지면을 따라 5m떨어지고 지상으로 5m 떨어진 위치)에 대해서 각각의 경우에 대해서 음압을 비교한 표이다.

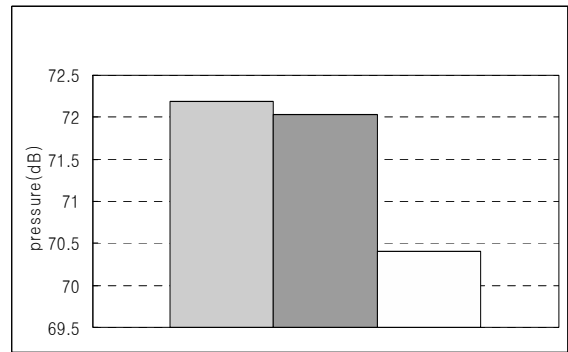
먼저 I거더 타입의 경우에는 보행자의 위치에서는 외장재를 설치한 후 MAX. 6dB, 평균적으로 3~5dB 소음이 감소하는 경향을 볼 수 있다. 그러나 빌딩의 위치에서는 외장재를 양 옆에만 설치할 경우에는 설치 전과 차이가 거의 없다는 결과를 볼 수 있다.



(a) Prediction of pressure at the position of walker (5m)



(b) Prediction of pressure at the position of walker (10m)

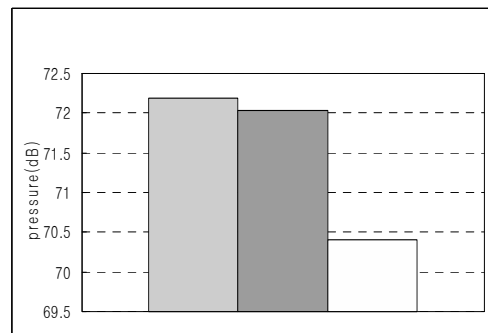


(c) Prediction of pressure at the position of building (5m)

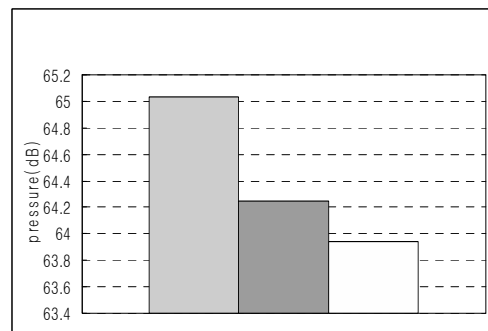
■ Pressure before installation of panel  
 ■ Pressure after installation of side panel  
 □ Pressure before installation of side & bottom panel

[Figure 6] Comparison of simulation results at I GIRDER type ( 250Hz )

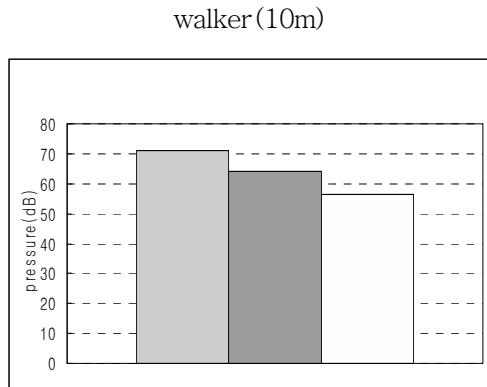
Box 거더형 교량에서는 외장재의 소음저감 효과가 I 거더형 보다는 외장재를 양 옆에만 설치 시에도 소음 저감 효과가 크다는 것을 볼 수 있고 전반적으로도 소음 저감 효과가 크다. 이는 교량 형태 즉 흡음재 부착 면적과도 연관이 있다고 볼 수 있다.



(a) Prediction of pressure at the position of walker (5m)



(b) Prediction of pressure at the position of



(c) Prediction of pressure at the position of building(5m)

Pressure before installation of panel  
 Pressure after installation of side panel  
 Pressure before installation of side & bottom panel

[Figure 7] Comparison of simulation results at BOX GIRDER type (250Hz)

## 6. 결론

이제까지 내용을 정리하면 다음과 같다.

(1) 교량 주변에 대한 효과적인 소음 저감을 위하여 흡음 외장재의 설치 위치에 따른 모델링 및 음향학적 해석을 통한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하여 가능성을 확인하였다

(2) 250Hz 특정 주파수에 대한 특성 결과 교량 구조 및 흡음재 부착 위치에 따라 효과적인 측면에서 동일한 흡음 외장재에 대해 차이가 있음을 확인하였다.

(3) 현장 상황에 맞는 좀 더 다양한 영역의 해석 수행이 부가적으로 진행된다면 소음 저감 효과를 고려한 교량 설계 시에 시행 착오적 손실을 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

## 7. References

[1] W.Lauriks, P.Mees and J.F.Allard(1992), "The Acoustic Transmission through Layered Systems", Journal of Sound and Vibration, Vol.155, No.1, pp.125-132

[2] Wayne B. McDonald, Rimas Vaicaitis and Michael K. Myers(1978), "Noise Transmission Through Plate Into an Enclosure", NASA Technical Paper No. 1173

[3] 秋山 茂, 伊藤雅夫, 石井榮一(1991), "發泡アルミニウムの音響特性", 九州工業技術試験所報告,

No.46, pp.45-54

[4] Leo L. Beranek and Istvan L. Ver(1992), Noise and Vibration Control Engineering, John Wiley and Sons, Inc.

[5] Crighton, Dowing, Williams, Heckl, Leppington(1992), Modern Methods in Analytical Acoustics, Springer-Verlag

[6] P.A.Nelson and S.J.Elliott(1992), Active Control of Sound, Academic Press

[7] J.F. Allard, Yvan Champoux and Claude Depollier(1987), "Modelization of layered sound absorbing materials with transfer matrices", J.Acoust.Soc. Am, Vol. 82, No. 5, pp. 1792 - 1796

## 저자 소개

### 이 유 엽



2004년 2월:한양대학교 대학원 자동차공학과(공학박사).  
 2014년12월 현재:호원대학교 자동차기계공학과 재직  
 관심분야 : 소음,진동, 동역학

주소 : 전북전주시 완산구 삼천동 1가