경량화를 위한 터널형 방음벽 구조의 매개변수 기반 고강도 강관 적용성 평가

Parametric Applicability Assessment of High-Strength Steel Tubes of Noise Tunnel Structures for Weight Reduction

윤태인* · 노명현** · 이상열***

Yoon, Tae-In*, Noh, Myung-Hyun**, and Lee, Sang-Youl***

Abstract

This study addresses the material nonlinear behaviors of noise tunnel structures composed of high-strength circular steel tubes for weight reduction. A finite element elastic and plastic analysis is performed for different types of flange connections of noise tunnels. The plastic behaviors of flange connections are also investigated considering increased road widths. To reduce the weight of noise tunnel structures, this study uses four types of steel associated with various geometries of the entire structure. From an economic point of view, the parametric results obtained in this study show that the proper use of high-strength steels makes a positive contribution to the design of lighter noise tunnels.

Key words : Noise Tunnel, Nonlinear Analysis, High Strength Steel, Flange Connection

요 지

본 연구는 경량화를 위한 고강도 강관 방음터널의 재료적 비선형 거동을 다룬다. 방음터널의 플랜지 접합부의 형상변화에 따라 유한요소 탄성 및 소성해석을 수행하였다. 또한, 플랜지 접합부의 소성 거동은 도로 폭을 증가하면서 규명하였다. 방음터널의 중량을 감소시키기 위하여 본 연구에서는 4가지 서로 다른 강종을 적용하였으며, 전체 구조물의 다양한 기하학적 형상변화와의 상관관계를 분석하였다. 본 연구에서 도출한 변수해석 결과는 경제적 관점에서 더욱 가벼운 방음터널의 설계에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 방음터널, 비선형해석, 고강도 강재, 플랜지 접합부

1. 서 론

대도시를 중심으로 차량 보급률이 지속적으로 증가함에 따라 이로 인한 각종 소음 문제 등이 최근 심각한 문제로 대두되고 있다. 특히, 빌딩 및 아파트의 고층화로 인하여 기존에 적용되어왔던 개방형 방음벽은 소음 감쇠 범위를 초과하는 경우가 빈번하게 발생하고 있다. 소음에 대한 제어

대책은 차량에 소음제어 장치를 부착하는 차음 설계법과 도로에 개방형 방음벽 또는 터널형 방음벽 등을 설치하는 방법이 있다. 그 중 터널형 방음벽은 기존의 개방형 방음벽에서 발생하는 회절음을 최소화하며 소음원으로부터 가시선을 직접 차단할 수 있기 때문에 소음저감 효과를 극대화할 수 있는 장점을 갖는다. 그러나 터널형 방음벽의 경우 개방형 방음벽에 비하여 큰 자중을 가지게 되는데, 특히

*정회원, 안동대학교 토목공학과 석사과정(E-mail: yti2475@gmail.com)

Member, Master Student, Department of Civil Engineering, Andong National University

**포스코 철강솔루션마케팅실 구조연구그룹 책임연구원(E-mail: mnoh@posco.com)

Senior Researcher, Structure Research Group, Steel Solution Marketing Dept., POSCO

***교신저자, 정회원, 안동대학교 토목공학과 부교수(Tel: +82-54-820-5847, Fax: +82-54-820-6255, E-mail: lsy@anu.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Andong National University

교량 위에 설치할 경우 교량에 대한 구조 안정성 확보에 중요한 문제를 발생시킬 수 있다. 또한 터널형 방음벽은 건축 및 토목구조물에 비해 시공 조건이 불리한 편이기 때문에 시공성 확보를 위해 구조재를 경량화 할 필요가 있다.

최근 국내외적으로 방음벽에 대해 많은 연구가 이루어지고 있다. 대표적으로 소음저감 효과를 증진하기 위한 설계 방향 연구와 튜브형 방음벽을 사용하여 성능 및 경제성을 증가시키는 연구가 있다(Kim et al., 2015; Lee and Kim, 2015; Kim, 2016; Lee, 2018). Kang et al. (2007)은 방음벽의 높이보다 높은 건물에 미치는 소음을 감소하기 위하여 특수한 형태의 소음감쇠기를 부착시키는 방법을 제시하였으며, Ahn et al. (2016)은 파이프 트러스빔을 이용한 경량방음터널의 설계적합성 평가를 수행하였다. Kim and Lee (2016)는 면에 다수의 구멍을 뚫어 특정 주파수의 영역만을 통과시켜 소음을 저감시킴과 동시에 풍하중을 줄이는 방안을 제시하였다. 또한, 복합소재 또는 친환경 소재 등 다양한 소재를 적용하여 경량 및 소음저감 효과를 다룬 연구가 존재한다(Prabesh, 2016; McAvoy and Theberge, 2015). 그러나 이와 같은 기존 연구의 경우 대부분이 허용응력설계법 개념의 탄성영역 기준으로 일반강재를 적용한 경우가 대부분이다.

방음터널을 경량화하기 위해서는 우선적으로 방음터널의 부재의 직경과 두께를 감소시켜야 한다. 이러한 감소로 인한 항복 응력초과 문제는 고강도 강재를 적용하여 해결할 수 있을 것이다. 본 논문에서는 전체 구조물의 해석 수행 후, 응력이 집중되는 플랜지 접합부에 대하여 재료적 비선형 해석을 수행한다. 또한, 플랜지 접합부의 형상 및 기하학적 물성변화, 강종의 변화, 그리고 차선수(도로 폭)의 변화에 따른 상호관계를 상세 규명하여 경량화를 위한 최적변수를 도출하고자 한다.

2. 터널형 방음벽 개요 및 기본이론

본 연구에서 다루는 터널형 방음벽 구조는 파이프 트러스 형태의 빔을 적용하여 경량화하고, 강성을 증대시켜 안정성과 경제성, 시공성 및 유지관리 등을 개선하는 주요 목적을 갖는다. Fig. 1은 6차선에 대한 터널형 방음벽 구조의 기하학적 형상 및 제원을 보여준다.

Fig. 1. Geometry of a Soundproof Tunnel

전체 구조물해석을 위한 터널형 방음벽에 작용하는 하중 조합은 건축 구조설계 기준(MLTM, 2012; MOLIT, 2018)에 의거하여 자중, 풍하중, 적설하중을 각각 적용하고 대하여 다음과 같은 하중조합을 추가 적용하였다.

$$LC_1 = D + S \quad (1)$$

$$LC_2 = \frac{D + W}{1.25} \quad (2)$$

$$LC_3 = \frac{D + W + S}{1.25} \quad (3)$$

여기서, $LC_1 \sim LC_3$ 는 각 조합하중, D 는 자중, W 는 풍하중(정압), 그리고 S 는 적설하중을 각각 의미한다. 전체해석 수행 후 산출된 단면력을 적용하여 부재 플랜지 접합부 볼트의 축력을 산정하였다. Standard T series M16 볼트를 적용하였으며 토크는 $106N \cdot m$ 이며 토크계수는 0.15, 직경은 16 mm이다. 한편, 본 연구에서는 일반 강재인 STK 400 (항복강도 235 MPa), STK 490 (항복강도 315 MPa)과 고강도 강재인 STKT 590 (항복강도 440 MPa), STKT 690 (항복강도 540 MPa)을 사용하였으며 접합부에서의 탄성 및 소성 해석을 각각 수행하였다.재료적 비선형 해석을 위하여 간편화된 유동응력-소성변형률 곡선을 유도하였으며, 다음과 같은 식을 적용하였다.

$$\sigma_{flow} = f_u \cdot (1 + \epsilon) \quad (4)$$

$$\epsilon = e^p \quad (5)$$

여기서, σ_{flow} 는 유동응력(flow stress)을 의미하며 f_u 는 인장강도, ϵ 는 소성 변형률, p 는 인장강도 도달시의 변형률을 의미한다. 본 연구에서는 Fig. 2와 같이 강종에 따른 유동응력-소성변형률 곡선을 유도하였으며, 인장강도 도달시의 변형률 p 를 0.15로 설정하였다. Fig. 2에서 소성 변형률은 이론적으로 최대 50%까지 표기하였으나, 실제 해석에서는 초기 소성변형률에 해당하는 15%를 적용하였다.

Fig. 2. Plastic Stress-Strain Curves for Different Steel Types

3. 유한요소 모델 및 해석변수

본 연구에서는 방음벽 터널 구조 및 상세 접합부 유한요소 해석에 대하여 고등해석 프로그램인 ABAQUS를 적용하였다. Shell 요소를 적용하여 3차원 모델링을 하였으며, Fig. 3(a)은 6차선 방음벽 터널 구조의 전체 모델링 및 하중작용을 보여준다. Fig. 3(b)는 기둥과 보의 접합부 및 중앙 보의 가로 및 세로 접합부 모델링 상세를 보여준다. Fig. 4는 플랜지 접합부의 모델링 상세를 보여준다. 본 연구에서는 Figs. 4 (a)~(c)와 같은 3가지 형상(Type A~C)의 플랜지 접합부를 적용하였으며, 경량화에 따른 고강도 강재의 적용성을 규명하기 위하여 플랜지 내경(d)와 두께(t)를 변수로 설정하였다.

Fig. 3. Modeling of Soundproof Tunnel

Fig. 4. Geometry of a Flange Connection

수치해석에서는 다양한 차선수 (도로폭) 대한 방음벽 구조의 적용성 규명을 위하여 2차선용 14.3 m (중앙경간 4.7 m), 4차선용 21.6 m (중앙경간 7.0 m), 6차선용 29.5 m (중앙경간 9.5 m), 그리고 8차선용 36.2 m (중앙경간 12.3 m)의 제원을 적용하였다. 차선수가 증가할수록 방음벽 터널의 중량은 증가하게 되며, 이러한 경우 경량화는 중요한 인자가 된다. 방음벽을 구성하는 강관은 3가지 서로 다른 형상의 연결부를 적용하였으며, 지주의 경우는 모든 차선별 방음벽에 대하여 $D=140$ mm, $t=5.0$ mm, 브레이싱은 $D=100$ mm, $t=3.0$ mm로 설정하였다. 반면, 상·하현 트러스부재의 경우는 직경과 두께는 16가지 경우에 대한 변수로 설정하였다(Table 1 참조). 그 이유는 상·하현 트러스부재가 구조물 중량의 대부분을 차지하며 두께 및 직경을 줄일 경우 지주가 부담하는 하중이 감소하는 효과가 있기 때문이다. 또한 지주는 자중, 적설하중 및 풍하중을 모두 부담하기 때문에 직경 및 두께를 가장 크게 설정하였으며, 브레이싱의 경우 하중을 지지하는 것 보다 각 프레임을 연결하는 역할을 하므로 최소한의 직경과 두께로 설정하였다. Table 1에서 설정한 설계변수는 실용적 측면에서 바로 구현하기 어려운 경우도 존재하나, 고강도 강재의 적용성을 이론적으로 파악하고자 다양한 범위에서 설정하였다.

Table 1. Parametric Cases for Different Diameter and Thickness (Unit: mm)

T	D			
	100	105	110	115
3.0	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
3.5	Case 5	Case 6	Case 7	Case 8
4.0	Case 9	Case 10	Case 11	Case 12
4.5	Case 13	Case 14	Case 15	Case 16

D = Diameter, T = Thickness

4. 전체 구조물 및 접합부 선형해석

4.1 전체 구조물 해석

Fig. 5는 2차선 적용 터널형 방음벽에 대한 응력분포를 보여준다. 그림에서 보이는 바와 같이 중앙 프레임의 상·하현 트러스부재에서 축응력이 가장 크며 상현에서는 최대 인장응력(T)이, 하현에서는 최대 압축응력(C)을 보임을 알 수 있다.

유한요소 해석결과, 최대발생 처짐은 Eq. (3)의 하중조합의 경우에 대하여 2~8차선에 대하여 모두 만족하는 것으로 나타났다. 특히, 8차선의 경우, 144 mm로 산정되었으며, 건축구조설계기준의 수직 처짐 제한기준(145.8 mm)을 만족하나 제한기준에 근접하므로 추가적인 보완이 필요할 것으로 판단된다. Tables 2~3은 차선 수 증가 따라 발생하는 최대 단면력을 나타낸다. 표에서 보이는 바와 같이 2차선의

축력이 가장 작으며 차선이 증가할수록 단면력은 급격히 증가하는 추세를 보인다. 반면, 발생 모멘트의 경우는 2차선에서 가장 크게 나타나며 차선이 늘어날수록 줄어드는 경향을 보인다. 이는 차선폭이 증가하면서 발생 모멘트를 감소시키기 위하여 부재 배치를 증가시키기 때문이다. 부재 증가에 따른 방음터널 구조의 중량 증가는 이를 지탱하는 하부구조에 심각한 영향을 미칠 수 있다.

Fig. 5. Induced Stresses of Road Soundproof Tunnels

Table 2. Induced Axial and Shear Forces of Soundproof Tunnel

Road Width		Axial (N)	Shear-y (N)	Shear-z (N)
2	C	81506.1	9009.6	2400.0
	T	-92417.5	-9211.0	-2400.9
4	C	172748.5	8443.8	2329.7
	T	-200764.0	-8747.8	-2330.3
6	C	278821.0	8263.7	2256.2
	T	-297317.0	-8619.0	-2256.2
8	C	342751.8	8288.1	2007.5
	T	-371142.0	-8913.0	-2007.5

C = Compressive force, T = Tensile force

Table 3. Induced Moments of Soundproof Tunnel

Road Width		Torsion (N · mm)	Moment-y (N · mm)	Moment-z (N · mm)
2	C	25824.5	3713.5	2101.64
	T	-17646.2	-3576.1	-2101.64
4	C	17871.0	3427.1	1620.7
	T	-13599.7	-3427.2	-1622.0
6	C	13427.5	3220.1	873.7
	T	-9996.9	-3220.1	-873.7
8	C	10011.5	2878.1	509.2
	T	-7724.2	-2877.3	-509.7

4.2 플랜지 접합부 상세해석

Fig. 6은 4차선에 대하여 전체해석에서 산출한 최대 인장하중을 가했을 때의 탄성 응력 분포를 보여준다. 전체적으로 압축응력보다 인장응력이 더욱 크게 나왔으며 각 접합부 형상에 따라 상이한 결과를 보였다. 강중, 차선폭 및 접합부 형상에 따른 상호관계는 Tables 4~5로 요약하였으며, 각 경우는 항복응력을 기준으로 검토하였다. 표에서 보이는바와 같이 2차선의 경우 STK 400기준으로 모두 항복응력을 만족하였으며, 4차선의 경우는 A타입의 인장응력만이 초과하였다. 반면, 6차선의 경우 C타입의 경우만 항복응력을 만족하였다. 따라서 4차선의 경우 인장응력을 받는 부분에 접합부를 설치하게 되는 경우 A Type의 사용은 바람직하지 않으며, B 혹은 C Type을 적용하거나 그렇지 않으면 직경 및 두께를 늘려야 한다. 6차선의 경우는 C타입을 제외하고는 모두 항복응력을 초과하므로 접합부 형상을 교체하여 사용하는 것 보다 직경 및 두께를 수정하거나 강재를 일반강재(STK 400)이 아닌 고강도 STK490 또는 STKT 590을 사용하는 것이 더욱 효율적일 것이다.

Table 5는 8차선에 대한 해석 결과를 보여준다. 8차선의 경우 응력이 크게 발생하여 STK 490을 기준으로 항복응력을 설정하였으며, C Type의 경우만 항복응력을 만족하였다. 따라서, 8차선의 경우에도 직경 및 두께를 늘리거나 STK 490이 아닌 STKT 590 및 STKT 690을 사용하는 것이 효율적인 것으로 분석된다.

Fig. 6. Induced Tensile Stresses at Flange Connections

Table 4. Induced Maximum Stresses (2~6 Lanes)

Type			Max. Stress		Check
			Bolt	Disk	
2	A	C	376.50	197.70	OK
		T	376.50	220.30	
	B	C	361.20	157.50	
		T	347.40	188.20	
	C	C	301.10	132.00	
		T	232.40	144.00	
4	A	C	376.50	204.40	OK
		T	376.50	237.20	NG
	B	C	361.20	164.10	OK
		T	347.40	203.70	
	C	C	301.10	137.90	
		T	232.40	154.00	
6	A	C	376.50	284.80	NG
		T	376.50	314.20	
	B	C	361.20	249.80	
		T	347.40	281.10	
	C	C	301.10	210.30	OK
		T	232.40	225.20	

C = Compressive force, T = Tensile force

Table 5. Induced Maximum Stresses (8 Lanes)

Type		Max. Stress (MPa)		Check
		Bolt	Disk	
A	C	376.50	420.90	NG
	T	376.50	436.90	NG
B	C	361.20	399.10	NG
	T	347.40	399.90	NG
C	C	301.10	281.20	OK
	T	232.40	298.40	OK

C = Compressive force, T = Tensile force

Fig. 7은 Type A~C에 대하여 차선별 최대응력을 비교한 것이다. 그림과 같이 2~4차선의 경우 응력의 변화는 크지 않으나, 6차선부터 급격히 응력이 증가하였다. 또한, 압축의 경우 2차선의 B Type까지는 허용응력 내이며, 6차선의 A Type까지 항복응력을 만족한다. 인장의 경우, 2~4차선의 A Type만 허용응력 내이며, 6차선은 A Type까지 항복응력을 만족하는 것으로 분석되었다. 따라서 6차선과 8차선의 경우 두께 및 직경을 조정하거나 고강도 강재를 사용해야 한다. 특히 8차선의 경우는 전체적으로 항복응력을 큰 차이로 초과하므로 고강도 강재의 사용이 요구된다.

(a) Max. Compressive Stresses

(b) Max. Tensile Stresses

Fig. 7. Maximum Stresses for Linear Analysis

5. 재료적 비선형 해석 기반 경량화 검토

Fig. 8은 접합부에 대한 강종별 탄성 선형해석과 재료적 비선형해석의 차이를 비교한 것이다. 그림과 같이 탄성해석의 경우 허용응력을 지나 한계응력을 초과한 경우에도 선형적인 거동만을 나타낸다. 반면, 소성해석까지 수행한 경우, STK 400은 235MPa, STK 490은 315MPa 이하의 경우, 각 강재별 항복응력을 초과하는 경계부터 비선형적 거동을 나타낸다. 재료적 비선형 해석은 사용재료의 항복점을 정확하게 산출하여 사용성을 검토하는 측면에서 필요하다.

Fig. 9는 재료적 비선형 해석으로 도출한 접합부 직경(t) 및 두께(t) 변화에 따른 강종 별 최대 인장응력을 비교한 것이다. 최대 인장 응력은 발생하는 강관의 말단에서 발생하였으며, 각 타입 중 가장 큰 응력이 발생한 Type A를 적용하였다. 그림과 같이 STK 400의 경우는 모두 소성영역에 해당하며 STK 490의 경우는 Case 1을 제외한 모두가 소성영역으로 나타났다. 반면, STKT 590과 STKT 690의 경우는 모든 Case에 대한 발생응력은 탄성영역 내에 존재한다. 따라서 고강도 강재를 적용하는 경우, 부재의 크기가 감소하는 경우 발생하는 항복응력 초과를 극복할 수 있다는 측면에서 유리한 것으로 분석된다.

Fig. 8. Comparison of Linear Analysis and Nonlinear Analysis (Type A)

Fig. 9. Induced Maximum Plastic Tensile Stresses for Different Steel Types

Tables 6~7은 고강도 강재를 사용하는 경우 경량화가 어느 정도 가능한지를 항복 응력을 기준으로 분석한 것이다. 각 차선별로 Case 16 ($D=115$ mm, $t=4.5$ mm)을 기준으로 Case 1을 사용하게 될 경우 최소 21.59%에서 최대 25.59%까지 경량이 가능한 것으로 분석되었다. 2차선의 경우 모든 경우가 만족되며 최대 21.59%까지 경량화가 가능한 것으로 분석되었다. 4차선의 경우 STK 400 강재를 사용한 A Type의 경우, Case 1이 만족되지 않아 STK 400의 A Type을 사용할 경우

21.99%까지 경량화가 가능하며 나머지 경우는 23.38% 경량화가 가능한 것으로 나타났다. 6차선의 경우는 STK 400의 A타입은 Case 1,2,3,4,5 9가 항복응력을 초과하였으며 Case 4를 사용할 경우 최대 19.58% 경량화가 가능한 것으로 분석되었다. 한편, B Type의 경우 Case 1과 2에 대해서만 항복응력을 초과하여 Case 3을 사용할 경우 21.05%까지 경량화가 가능한 것으로 나타났다. 그 밖의 경우는 모두 항복응력 이내이므로 최대 24.73% 경량화가 가능한 것으로 분석되었다.

Table 6. Weight Reduction (%) for Different Cases and Road Widths

Case	Road width (No. of Lanes)			
	2	4	6	8
Case 1	21.59	23.38	24.73	25.59
Case 2	20.31	21.99	23.26	24.07
Case 3	18.38	19.90	21.05	21.79
Case 4	17.10	18.51	19.58	20.26
Case 5	16.59	17.96	19.00	19.66
Case 6	15.09	16.34	17.28	17.89
Case 7	12.84	13.90	14.71	15.22
Case 8	11.34	12.28	12.99	13.45
Case 9	11.64	12.60	13.33	13.79
Case 10	9.93	10.75	11.37	11.77
Case 11	7.36	8.26	8.43	8.72
Case 12	5.64	6.11	6.47	6.69
Case 13	6.74	7.30	7.72	7.99
Case 14	4.82	5.21	5.52	5.71
Case 15	1.93	2.09	2.21	2.28
Case 16	0.00	0.00	0.00	0.00

Table 7. Mass of Soundproof Tunnel (8 Road)

Steel Type	Connection Type	Passed Cases	Weight Reduction(%)
STK 400	A	None	0.00
	B	16	0.00
	C	12,15,16	6.69
STK 490	A	16	0.00
	B	8,12~16	13.45
	C	4,7~16	20.26
STKT 590	A	All	25.59
	B	All	
	C	All	
STKT 690	A	All	25.59
	B	All	
	C	All	

8차선의 경우는 Table 7에서 보는 바와 같이 STK 400을 사용할 경우 A Type의 사용은 불가능하며 B Type의 경우는 Case 16만 사용 가능한 것으로 나타났다. C Type의 경우는 Case 12,15,16을 사용할 수 있어 최대 6.69% 경량화가 가능한 것으로 나타났다. STK 490의 경우, A Type은 Case 16만 사용 가능하며 B Type은 Case 8,12~16까지 사용가능하므로 최대 13.45% 경량이 가능한 것으로 분석되었다. C Type의 경우 Case 4,7~16까지 사용가능하여 최대 20.26% 경량이

가능하였으며, 고강도 강재인 STKT 590 및 690의 경우는 모든 Case가 사용 가능하여 최대 25.59% 경량화 가능한 것으로 분석되었다. 따라서, 8차선 적용 대형 방음형 터널의 경우는 고강도 강재를 적용하여 경량화하는 것이 유리함을 알 수 있다. 다만, 8차선용 방음터널 구조의 경우, 본 연구의 제한된 범위에서 상세히 다루지 않으나 처짐 제한 등 사용성에 대한 추가 상세 검토가 요구된다.

6. 요약 및 결론

본 연구에서는 터널형 방음벽 구조의 경량화를 위하여 고강도 강재의 적용성을 상세 분석하였다. 한계상태설계법 관점에서 재료적 비선형 해석을 통하여 다양한 변수해석을 통하여 항복응력 이내의 경량화가 가능한 최적 설계 변수를 도출하였다. 본 연구를 통하여 도출한 결과 및 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 차선 수 증가에 따라 방음터널 전체에서 발생하는 최대 단면력은 2차선의 축력이 가장 작으며 차선이 증가할수록 단면력은 급격히 증가하는 추세를 보였다. 부재 증가에 따른 방음터널 구조의 중량 증가는 이를 지탱하는 하부구조에 심각한 영향을 미칠 수 있다.
- (2) 각 차선폭에 대한 접합부는 C Type이 가장 유리하며, A Type이 가장 불리한 것으로 나타났다. 특히, 6차선 및 8차선의 경우는 C Type을 제외하고는 모두 항복응력을 초과하므로 접합부 형상을 교체하는 것 보다 직경 및 두께를 증가시키거나 고강도 강재의 적용이 바람직하다.
- (3) 접합부에 대하여 재료적 비선형 해석은 STK 400 및 STK 490은 각 강재별 항복응력을 초과하는 경계부터 비선형적 거동을 나타낸다. 따라서, 한계상태 설계법 관점에서 재료적 비선형 해석은 사용재료의 항복점을 정확하게 산출하여 사용성을 검토하는 측면에서 필요하다.
- (4) 각 차선폭에 대하여 고강도 강재를 사용하는 경우 2~6차선에 대하여 20% 내외의 경량화가 가능하다. 반면, 8차선의 경우는 접합부 Type에 따라 차이를 보이며, 고강도 강재를 적용하는 경우 약 26%의 경량화가 가능하다. 따라서, 대형 방음형 터널의 경우는 고강도 강재를 적용하여 경량화하는 것이 경제적 측면에서 유리할 것이다. 다만, 실용적 관점에서 사용성에 대한 상세검토가 요구된다.

본 연구는 사용 강재량 기준으로 경량화를 비교한 것이므로 향후 더욱 다양한 변수해석을 통한 상세규명이 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2016년도 서울시 산학연 협력사업 도시문제 해결형 기술개발 지원사업(과제명: 도심 주거지역 도로교통소음 저감 기술 고도화 및 가이드라인 개발, 과제번호: PS160001)의 지원을 받아 수행되었음.

References

- Ahn, D.W., Choi, S.J., and Noh, M.H. (2016). Evaluation of design compatibility for lightweight soundproof tunnels using pipe truss beams. *J. Korean Soc. Adv. Comp. Struc.*, Vol. 7, No. 1, pp. 9-18.
- Kang, D.J., Lee, J.W., Gu, J.H. (2007). Performance test of noise reducers installed on noise barrier. *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, Vol. 17, No. 12, pp. 1139-1144.
- Kim, D.E. (2016). *Study on the valuation of the tube type soundproof wall*. Master's thesis, Hanyang University.
- Kim, S.H., and Lee, D.C. (2016). Wind pressure reducing soundproof wall which has many holes on the surface and selectable stop-frequency ranges. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 36, No. 2, pp. 191-196.
- Kim, T.M., Kim, J.T., Park, G.H., Son, J.G., Ryu, L.O., and Koh, H.I. (2015). The study of noise reduction by noise protection roof: Design concept. *J. of Korean Society of Environmental Technology*, Vol. 16, No. 2, pp. 124-130.
- Lee, J.Y., and Kim, I.H. (2015). Evaluation of reduction in reflection sound bound from a shaped noise barrier panel. *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 17, No. 5, pp. 19-24.
- Lee, N.S., (2018). *A study on the efficient design of noise barriers and sound absorption tunnels on the roadside*. Master thesis, Mokpo National University.
- McAvoy D.S., and Theberge, R. (2015). *Comparison and testing of various noise wall materials*. Report No. FHWA/OH-2014/8, Ohio Department of Transportation.
- MLTMA (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs). (2012). *Road design manual*.
- MOLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport). (2018). *Korean building code*.
- Prabesh K.C. (2016). *Hempcrete noise barrier wall for highway noise insulation*. Bachelor thesis, Häme University, Hämeenlinna, Finland.

Received	September 28, 2018
Revised	October 5, 2018
Accepted	November 5, 2018