보안 과제( ), 일반 과제(◉) / 공개(◉), 비공개( )

국토교통기술사업화지원사업 최종 보고서

발 간 등 록 번 호
11-1613000-001866-01

R&D /
15TBIP-C081926-02

국토교통기술사업화지원사업 R&D Report

풍하중 저감형 방음판 개발 최종보고서

2017.05.01.

주관연구기관 / (주)에스코알티에스

협동연구기관 /

국 토 교 통 부

(전문기관) 국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

'국토교통기술사업화지원사업 풍하중 저감형 방음판 개발'(연구개발 기간 : 2014.09. ~ 2017.03.) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2017 . 05. 01.

주관연구기관명 : ㈜에스코알티에스 (대표자) 조 영 철 (인)
협동연구기관명 : (대표자) (인)
참여기관명 : (대표자) (인)

주관연구기관책임자: 지 용 수 (인)
협동연구기관책임자:
참여기관책임자:

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>15TBIP-C081926-02</td><td>해당 단계
연구 기간</td><td>30개월</td><td>단계구분</td><td>9/9</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4">국토교통기술사업화지원</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4">풍하중 저감형 방음판 개발</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">지 용 수</td><td>해당단계
참여
연구원 수</td><td>총: 22명
내부: 22명
외부: 명</td><td>해당단계
연구개발비</td><td>정부: 300,000 천원
기업: 200,000 천원
정부 외: 천원
계: 500,000 천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간
참여
연구원 수</td><td>총: 43명
내부: 21명
외부: 명</td><td>총 연구개발비</td><td>정부: 300,000 천원
기업: 200,000 천원
정부 외: 천원
계: 500,000 천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소속 부서명</td><td colspan="3">(주)에스코알티에스 기술연구소 기술개발팀</td><td colspan="2">참여기업명</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명:</td><td colspan="2">상대국 연구기관명:</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">연구기관명:</td><td colspan="2">연구책임자: 지 용 수</td></tr>
<tr><td colspan="4">1. 기존 방음판과 동일한 차음성능을 갖는 동시에 풍하중을 30% 저감할 수 있는 방음판 개발
2. 같은 높이의 방음판 설계/시공 시 기존 방음판 대비 작은 기초를 사용할 수 있어 기존의 방음판 시공이 어려웠던 장소에 설치가능
3. 동일한 기초를 갖을 경우 기존 방음판 대비하여 더 높게 설치할 수 있어 차음효과가 매우 높아짐
4. 기존의 방음벽 터널 시공 시 공기의 유동이 없어 터널 내부의 유해먼지 및 가스의 배출을 위해 추가적인 통풍시스템을 개발하여야 했으나, 통기형 방음판으로 방음터널을 구성할 경우 자연적인 통풍과 채광으로 추가적인 통풍 시스템이 불 필요하여 경제적으로 우수함
5. 이물질 유입이 있어서 자연스럽게 빠져나가도록 방음판 설계를 하여 추후 유지관리의 편이성이 증대</td><td colspan="2">보고서 면수 : P124</td></tr>
</table>

〈 요 약 문 〉

연구의 목적 및 내용	고속도로 품질기준을 만족하는 동시에 풍하중 저감율을 30% 저감할 수 있는 방음판 개발				
연구개발성과	○ 고속도로 재료품질기준 만족(500Hz : 25dB, 1,000Hz : 30dB) ○ 풍하중 저감률 30% ○ 방음판 두께 25㎝이하 ○ 방음판(㎡) 무게 50kg 이하				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 기존 방음판과 동일한 차음성능을 갖는 동시에 풍하중을 30%저감할 수 있는 방음판 개발 ○ 같은 높이의 방음판 설계/시공 시 기존 방음판 대비 작은 기초를 사용할 수 있어 기존의 방음판 시공이 어려웠던 장소에 설치가능 ○ 동일한 기초를 갖을 경우 기존 방음판 대비하여 더 높게 설치할 수 있어 차음효과가 매우 높아짐 ○ 기존의 방음벽 터널 시공 시 공기의 유동이 없어 터널 내부의 유해먼지 및 가스의 배출을 위해 추가적인 통풍시스템을 개발하여야 했으나, 통기형 방음판으로 방음터널을 구성할 경우 자연적인 통풍과 채광으로 추가적인 통풍 시스템이 불 필요하여 경제적으로 우수함 ○ 이물질 유입이 있어서 자연스럽게 빠져나가도록 방음판 설계를 하여 추후 유지관리의 편이성이 증대				
핵심어 (5개 이내)	방음판	통기형	풍하중	헬름헬쯔	친환경

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents	Developed a soundproof wall that meets highway construction material quality standards and can reduce wind load reduction by 30%.				
Results	○ Meets highway construction material quality standards(500Hz : 25dB, 1,000Hz : 30dB) ○ Reduce wind load reduction by 30% ○ Soundproof wall thickness 25cm or less ○ Soundproof sheet(m^2) weight 50kg or less				
Expected Contribution	○ Developed a soundproof wall that meets highway construction material quality standards and can reduce wind load reduction by 30%. ○ It can be installed in a place where it is difficult to construct a existing soundproof wall because a small base can be used compared to a existing soundproof wall ○ If they have the same foundation, they can be installed higher than the existing soundproofing wall, which greatly improves the sound insulation effect. ○ In case of existing soundproof wall tunnel, there is no air flow, so additional ventilation system has to be developed for exhausting harmful dust and gas inside tunnel. However, by installing ventilation soundproof wall tunnel, Economical because ventilation system is unnecessary. ○ Convenient maintenance by allowing foreign matter to escape naturally.				
Keywords	Soundproof wall	Ventilation system	Reduce wind load	Helmholtz' theory	Environment friendly

〈 Contents 〉

1. Introduction of Ceremony ·····1
2. Status of internal and external developed techniques ·····3
3. Contents and results of Ceremony ·····17
4. Achievement of Goal and Contribution to related fields ·····115
5. Plan to apply the result from the Ceremony ·····117
6. Foreign Scientific Technologies Acquired during the Research ·····119
7. Security Level of the Result from the Research ·····122
8. Research facilities & Equipments registered in the National Science & Technology Information Service ·····122
9. Safety Action during the Research ·····122
10. Representative Research Results ·····123
11. References ·····124

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ·····1
2. 국내외 기술 개발 현황 ·····3
3. 연구 수행 내용 및 성과 ·····17
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ·····115
5. 연구개발성과의 활용 계획 ·····117
6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 ·····119
7. 연구개발성과의 보안등급 ·····122
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설 · 장비 현황 ·····122
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 ·····122
10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적 ·····123
11. 참고 문헌 ·····124

1. 연구개발 목적

○ 현대사회는 차량의 수가 점차 증가하는 것과 더불어 교통 및 도로의 접근 용이성이 생활 편의성 기준의 하나로 부상하고 있어, 도로 인근 개발이 점점 활성화 되고 있고 주택 및 상가 등 생활공간과 밀접한 지역의 도로가 넓게 확충되는 등의 개발이 급증하고 있어 이로 인하여 인근에서 겪는 소음 피해가 극심해져 많은 민원이 제기되고 있음

○ 단순히 풍하중만을 저감하는 것이 아니라 기존 방음벽 대비 보다 우수한 소음 차단 성능과 더불어 우수한 가격 경쟁력의 방음벽을 개발

○ 구조적으로 기초, 지주 형성 규모에 한계가 있는 기존 교량, 비좁거나 지반 구조 또는 공간의 한계로 인해 충분한 높이로 방음벽이 형성되지 못해 기준 이상의 소음 피해에 노출된 다수의 민원을 해소하는 것에도 큰 도움이 될 것으로 판단됨

○ 기존의 폐쇄형 방음벽이 아닌 통기형의 방음벽의 경우, 풍하중 저감이 효과적이고 도로의 열기가 외부와 효과적으로 순환되기 때문에 도로의 열화 현상으로 인한 손상 저감과 더불어 도시 열섬화 현상의 해소에도 일부 효과가 있을 것으로 판단됨

2. 연구개발의 필요성

○ 현재 소음 피해를 줄이기 위해 방음벽을 설치하고 있으나, 기존의 방음벽은 구조적 한계로 인해 증설이 불가능하여 한계 기준 이상의 소음이 발생하는 경우가 존재하며, 증설이 가능하다고 하여도 높이 증가에 따라 설치비용이 기하급수적으로 폭등하여 필요한 만큼 증설하기 어려운 실정임

○ 기존 방음벽의 경우, 풍하중을 직접적으로 견뎌야하기 때문에 높이가 증설될수록 기초, 지주, 앵커 등의 규격이 기하급수적인 증가가 필수적이지만, 반대로 풍하중을 저감하는 만큼 설치비는 큰 폭으로 감소하게 되기 때문에 매우 효과적인 시장경쟁력을 형성할 수 있음

○ 이에, 통기형 방음판 기술 개발을 통해 한국도로공사 '건설재료 품질기준'의 방음판 성능 기준을 만족하면서, 기존 방음판 대비 풍하중을 30%이상 저감하여 높이 증설에 따른 설치비 부담을 효과적으로 절감하고, 소음 피해에 따른 민원 문제를 해소하고자 함

3. 연구개발 범위

가. 풍하중 저감형 방음벽 기술 개발 및 검증

○ 풍하중 저감형 방음벽 설계 요소 및 핵심 기술 도출
- 설치 환경에 따른 소음 특성 해석 및 통기형 방음벽 기능적 이론 확립
- 방음벽 규모에 따른 기초, 지주 등의 설치 규모와 구조적 안정성 검토

○ 방음벽에 작용하는 풍하중 및 유동 흐름 분석 (기존 방음벽과 비교 분석)
- 풍속 및 풍향에 따른 풍하중 분석
- 방음벽 높이에 따른 풍하중 변화 및 유체 흐름 분석
- 시뮬레이션 및 실측데이터 확보 및 비교 검토

○ 교통 환경별 발생하는 소음 특성을 분류하여 맞춤식 설계모형 개발
- 소음 특성에 따른 설계 사항 정립 (공식화)

○ 풍하중 저감형 방음벽 설계
- 교통 환경별 맞춤식 방음판 설계 및 설계 공식 도출
  (바람 통과형 방음판의 음향 저감기술의 설계 적용)

- 풍하중 저감형 방음벽의 지주 설계

○ 풍하중 저감형 방음벽 시작품 제작
- 방음판 및 기초, 지주 등 구성품 재질 분석 및 시험
- 풍하중 저감형 방음판 시작품 제작 및 성능시험 (방음판 단품 구성)

○ 현장시험 및 성능시험, 장기간 성능 모니터링
- 시범설치구역 선정 및 테스트 항목 검토
- 풍하중 저감형 방음벽 시작품 제작 및 성능시험 (방음벽 전체 구성)
- 방음벽 설치 (실 환경에 설치 적용하여 실증 데이터 확보)
- 장시간 모니터링 체계 구축

○ 풍하중 저감형 방음벽 시공 및 유지관리기술 개발
- 방음벽 시공기술 및 공법 선정 및 시방서 작성
- 유지관리 방안 및 매뉴얼 확립

○ 시험 인증 평가 진행
- 공인 시험을 통한 인증서 획득

나. 풍하중 저감형 방음벽 사업화(양산체제 구축)

○ 방음벽 원가 분석 및 사업화 전략 구축

○ 풍하중 저감형 방음벽 대량 생산 체제 구축

○ 제조 및 시공 품질 관리 체제 구축

2.1 관련 분야의 국내외 연구동향 및 학술적 성과

2.1.1 국가연구개발사업 유사연구 검토

가. 연구개발과제의 중복방지를 위한 조사 및 검토결과

(단위 : 억원)

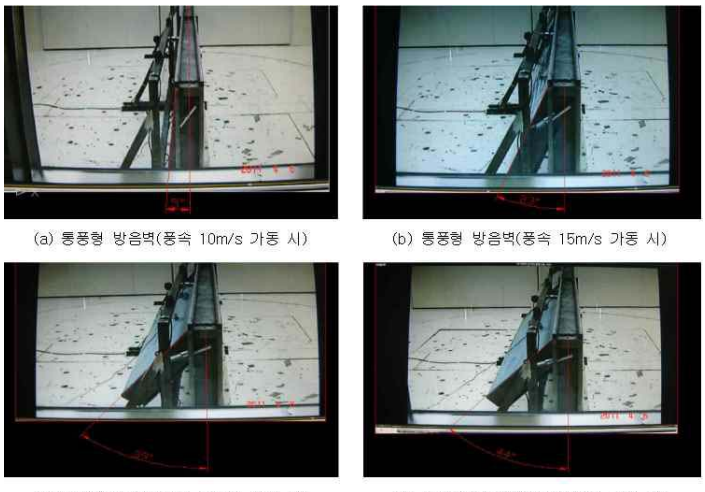
부처명	사업명	과제명	예산	비 고
국토교통부	철도기술연구사업	철도 선로변 지속가능 저소음화 기술 개발	128	5년

나. 연구개발과제의 차별화 방안

○ 선행된 유사연구에서 개발 진행된 방음벽의 경우, 풍하중 저감이라는 동일한 목적을 방음벽을 개발하고 있으나, 고속철도용 근접 방음벽으로 순간적으로 강한 풍압이 작용할 때에 방음벽의 파손을 줄이기 위한 목적이기 때문에 본 과제와 같이 상시적 형태로 풍하중을 저감하여 기초, 지주, 앵커 등 기반시설 규모를 축소화하고 이를 통해 설치비용을 절감하고자 하는 목적과는 다소 상이함

○ 기존 수행된 과제에서의 기술은 풍압이 작용하면 방음판이 회전하여 개폐되는 형식으로 이는 방음판이 개방되는 순간에는 풍하중을 저감시킬 수 있으나, 소음이 유입되어 소음 차단 성능이 함께 저감되는 문제가 있으며, 풍하중 저감 효과가 상시적이지 못함

○ 본 연구 개발 기술은 매질(바람)이 상시적으로 통과 가능한 통기구가 구성되어 있어 상시적으로 풍하중 저감 효과가 있으며, 방음판이 회전하는 등의 기구적 구성이 불필요하여 내구성 및 제작이 간결하고 소음은 공명부를 통해 상시적으로 차단되어 풍하중 저감과 우수한 소음 차단 성능 두 가지 모두 만족함. 이에 동일 규격 대비 보다 저렴한 설치비로 높고 소음 차단 성능이 우수한 방음벽 구성이 가능하고 기초, 지주, 앵커 등의 기반시설 규모 추고가 가능해 고가, 교량, 옹벽, 협소 공간 등에도 큰 폭으로 활용 가능함



(a) 통풍형 방음벽(풍속 10m/s 가동 시) (b) 통풍형 방음벽(풍속 15m/s 가동 시)

(c) 통풍형 방음벽(풍속 20m/s 가동 시) (d) 통풍형 방음벽(풍속 25m/s 가동 시)

<도로교통연구원이 개발한 도로교통용 풍하중 저감 방음벽>

2.1.2 관련분야의 국내외 연구동향 및 학술적 흐름 분석

○ 본 연구에서의 통기형 방음벽 연구는 머플러 중 공명식 머플러의 개념을 확장한 것으로 최근 국외와 국내에서 매질과 소리를 분리하는 기술로 주로 음향메타물질의 시각에서 다루고 있으며, 최근 바람과 같은 매질과 소음을 따로 분리하여 바람은 통과시키고 소음은 공명부에서 상쇄하여 차단하는 것이 가능한 기술로 현재 방음벽에 응용한 경우를 연구한 사례는 전무한 상태임

○ 국내에 설치되는 방음벽은 대부분 흡음형과 특수형으로 반사형 방음벽의 경우는 10% 내외의 비율을 나타내고 있으며, 방음벽의 높고 낮음을 이용해 소음을 줄이는 단순형태의 방음시설물을 대부분 적용하고 있음

방음시설의 종류		특징 및 장단점	제품 사진
흡음형	칼라 방음벽	특징 : 도로 반대편에 반사음에 의한 영향이 우려되는 곳에 설치함. 장점 : 내구성 및 흡차음 성능 우수 단점 : 외관이 오염되기 쉬움. 동식물의 이동을 방해하여 생태계 단절	
	알루미늄 방음벽	특징 : 도로 반대편에 반사음에 의한 영향이 우려되는 곳에 설치함. 장점 : 내구성 및 흡차음 성능 우수. 단점 : 외관이 오염되기 쉬움. 동식물의 이동을 방해하여 생태계 단절	
반사형	투명 방음벽	특징 : 시야확보가 가능한 지역에 설치함 (IC부근, 주택밀집지역) 장점 : 시야 확보 가능, 미관 우수. 단점 : 고가이고 유지보수가 어려움. 동식물의 이동을 방해하여 생태계 단절	
	콘크리트 방음벽	특징 : 도로 반대편에 반사음에 의한 영향의 우려가 없는 곳에 설치 장점 : 가격이 저렴함 단점 : 미관이 좋지 못함 동식물의 이동을 방해하여 생태계 단절	
상단 장치	간섭형	특징 : 간섭효과에 의한 회절음 저감. 장점 : 방음벽 높이를 줄일 수 있음. 다양한 방음벽에 응용 가능 단점 : 별도의 수직벽체 방음벽 필요. 고가임.	

	흡음형	특징 : 흡음재에 의한 회절음 저감 장점 : 방음벽의 높이를 줄일 수 있음 다양한 방음벽에 응용 가능 단점 : 별도의 수직벽체 방음벽 필요. 고가임.	

<국내 방음시설의 장단점 및 설치사례>

가. 국내외 연구동향 (기술 동향)

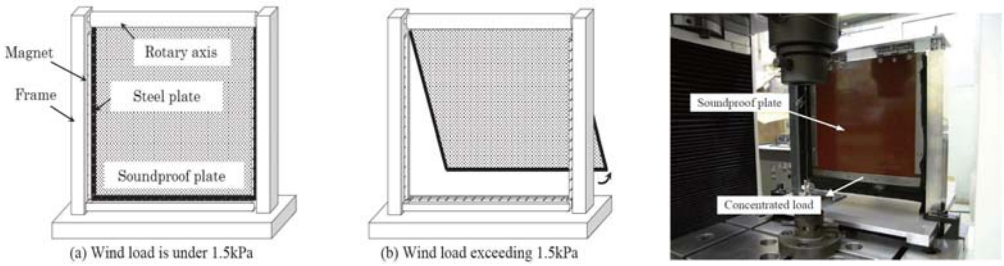
(1) 국내 연구 동향 및 학술적 흐름

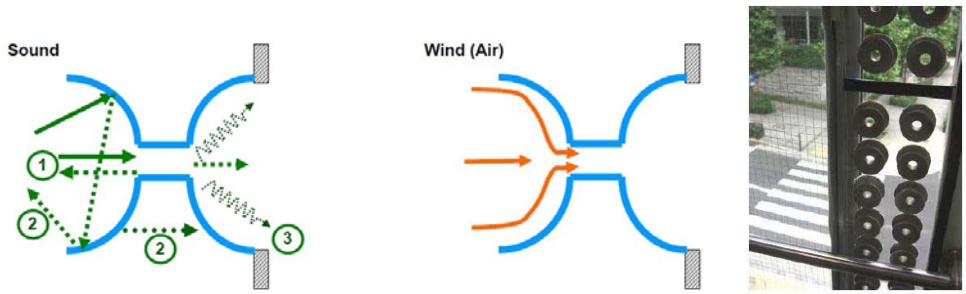
○ 아직 국내에서는 방음벽에 대한 연구는 물론이고 풍하중 저감을 위한 체계적인 연구가 이루어지지 않고 있는 실정이며, 고가나 교량의 경우 풍하중으로 인해 방음벽의 높이가 제한 받아 방음벽을 적용하지 못하는 사례만 전달됨에 따라 풍하중을 저감하여 살계 할 수 있는 기술에 대한 관심이 점차 증가하고 있는 추세
○ 국내 방음벽 관련 연구는 국외에 비해 부족한 것이 사실이나 국내 방음벽 기술 수준은 결코 낮지 않음. 또한 소음 피해로 인한 민원이 꾸준히 제기되고 소음 규제가 점차 강화되고 있어 국내 방음벽 시장은 확대될 것으로 예상됨

(2) 국외 연구 동향 및 학술적 흐름

○ 국외에서도 교통량의 증가와 밀집현상으로 인해 교통소음에 대한 피해가 커지고 있고 상공업지역은 물론 주거지역까지도 그 영향이 확산되고 있어 교통소음 저감을 위한 전파경로 대책으로서 방음벽의 설치가 활발하게 진행되어 왔으나 국내의 경우와는 다르게 방음벽의 높이를 키우는 방향보다는 소음 저감형 도로, 차량의 소음 저감 대책, 풍량 및 기후에 대한 안정성 등의 소음 발생원에 대한 연구가 주를 이루고 있으며, 방음벽의 경우는 주변주민들의 조망권을 확보하기 위한방향이 기술개발이의 주를 이루어지고 있음

○ 주요 기술 및 연구 내용 요약

기술분류	개폐식 풍하중 저감형 방음판		
출처	Japan Science and Technology Agency		
논문명	Development of a wind load reduction soundproof system		
저자	Daigo SATO 외	발표년도	2013
주요내용			
	무풍 시 또는 풍하중이 소정값(1.5kPa) 이하 일 때 방음판은 고정되어 있어 목표로 한 16dB를 충분히 상회하는 차음성능이 얻는 한편, 풍하중이 1.5kPa(풍속 약 35m/s)를 넘으면 풍하중은 방음판 주변의 자력에 의한 고정력보다 강하게 되어 방음판이 열리는 구조로 구성되어 있음. 이로 인해 의해 방음판의 풍하중을 저감시켜 풍속 약 49m/s의 강풍 시에도 방음판과 지주에 걸리는 풍하중을 1.5kPa X (방음판과 지주의 전면적) 이하로 억제할 수 있음 (풍속 35m/s의 바람은 차량이 주행할 수 없는 정도의 강풍)		

기술분류	통기형 풍하중 저감형 방음판		
출처	www.comnex.co.jp		
자료명	High Ventilation Soundproofing wall		
저자	COMNEX CO.,LTD (일본)	발표년도	2012.08
주요내용			
	일반패널이 소음은 차단하지만 풍하중을 직접적으로 받기 때문에 구조안정성이 떨어지고 일반 공기 통로를 적용한 패널은 소음 저감 능력이 저하되는 문제가 있던 문제를 방음판의 좁은 공기유입구로 공기의 통과 유속을 증가시켜 바람의 이동을 원활하게 하면서 소음은 반원형 입구에 굴절되어 대부분이 통과하지 못하는 원리를 적용하여 문제점을 해소함. 패널의 외형은 본 연구에서 제시하는 패널과 유사하나 환기형 패널로서 풍하중 저감효과 증가시키기 위해서는 공기유입구 직경을 크게 하여야 하나 이 경우 방음성능은 현저히 떨어지게 됨. 따라서 공명부와의 상관관계를 통해 상시 방음 성능을 유지하며 통기홀 직경을 크게하여 풍하중 저감할 수 있는 본 연구 기술과는 차별됨. 기계연구원에서 비교시험 결과 일본기술대비 방음 성능이 평균 15dB 우수하였음.		

2.2 국내외 관련 기술 특허 동향

가. 국내 지적재산권 수준 비교·분석

○ 본 연구의 통기형 방음판은 통기부와 공명부로 나누어져 통기부를 통해 바람이 통과하여 풍하중은 효과적으로 저감하고 통기부와 공명부의 형태를 차단하고자 하는 소음의 특성에 맞춰 설계해 소음을 차단하는 방법으로 바람은 통과하고 소음은 상쇄되어 제거하는 기술로 이와 같은 개념의 기술 특허는 우리 연구단의 기술 외에는 전무한 상태이기 때문에 특허 분쟁의 여지가 없고 기술 경쟁력이 매우 높음

○ 국내 특허의 경우, 방음벽 재료의 제조법 등에 대한 특허가 대부분 이며, 핵심특허를 분석해본 결과 일조, 경관, 조망, 압박감, 통풍, 전파 장해, 풍하중 문제를 주요 문제점으로 판단하고 있으며, 이에 대한 해결책의 필요성이 거론되고 있음

○ 도로교통에 따른 소음저감을 위한 방음벽으로서 면풍 방음 시스템에 대한 특허가 일부 있으며 그 종류가 다양하지만, 재료적인 차이와 제조법에 관한 특허가 대부분으로 구조적으로 새로운 방향을 제시하거나 새로운 개념을 적용한 기술 특허는 찾아보기 어려운 실정임

○ 따라서 도로교통 소음원과 풍하중 저감 요소를 고려한 본 연구의 신개념 통기형 방음판을 활용한 방음벽에 대한 기술 특허를 현재 출원된 특허를 기초로 보다 확장한다면 기술 보호는 물론이고 독자적인 기술 경쟁력으로 사업 영역을 확보하는데 유리할 것으로 판단됨

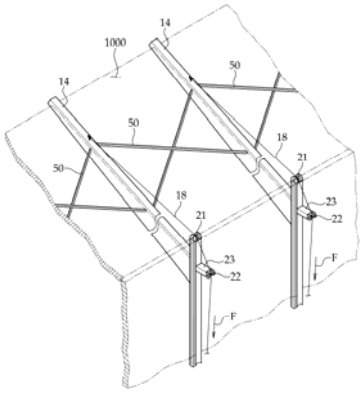
나. 국내 관련 특허

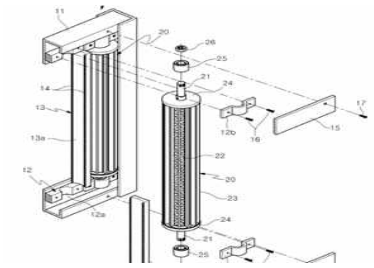
○ 관련 특허 목록

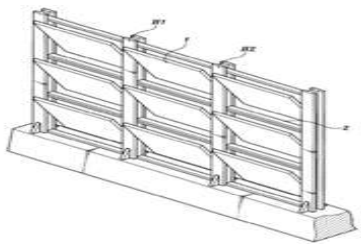
No.	공개번호	세부분류	기술내용
1	10-2013-0013355	루프형 방음벽 (풍하중 저감형)	루프형 방음벽에서 개폐형 구조 설치를 통해 풍압에 의한 루프 파손 완화
2	출원번호 10-2008-0019909	방음 통풍 패널	풍압이 작용하여 회전하는 흡음재로 구성된 흡음패널로 방음판을 구성하여 풍저항을 저감하는 기술
3	출원번호(실용신안) 20-2002-0008055	풍압흡수형 회전식 방음벽	일정 수준 이상의 풍압이 방음판에 적용하는 경우, 방음판이 회전하여 풍하중을 저감하는 기술
4	10-0899929	풍하중 저감 방음벽	방음판 사이에 스페이서를 통해 공간을 형성하여 바람 유동 통로를 형성하여 풍하중을 저감
5	10-0908682	풍하중 저감 방음벽	알루미늄 재질을 포함하는 방음패널의 회전으로 풍하중 저감

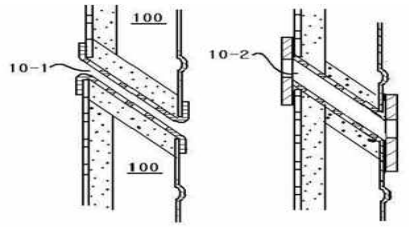
6	10-1012468	풍하중 저감 시스템	풍압조절가능한 H빔 체결구조를 이용한 풍압완충시스템
7	20-0436715	풍하중 저감 시스템	풍압을 이용한 소음간섭장치
8	특2001-0091762	풍하중 저감 시스템	방음벽, 광고판 등의 직립판구조물의 풍압 감소장치
9	10-2010-0001344	풍압력 완화장치	굴절형 차단벽에 위한 풍압력 완화장치
10	10-2013-0027916	풍하중 저감장치	통풍형 소음감쇠기를 통해 소음감쇠
11	10-2013-0113235	풍하중 저감 방음벽	탄성 복원력을 이용한 통풍조절장치로 이루어지는 양방향 통풍형 방음벽
12	10-2013-0016960	풍하중 저항 방음벽 시공 방법	H형강 접함과 콘크리트 지주와의 결합으로 풍하중에 대한 휨강도 증대시키는 방음벽

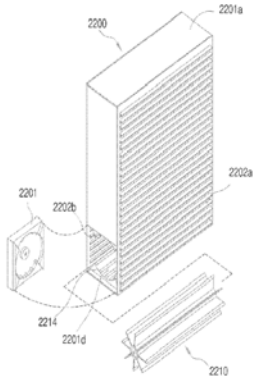
○ 특허별 요약 분석

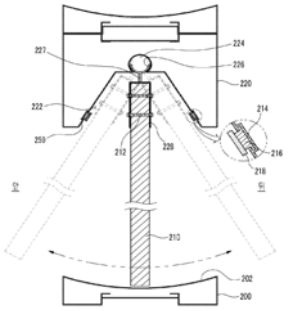
명 칭	텐던으로 보간된 루프형 방음벽		
출원번호	10-2011-0074950	**출원일**	2011년 07월 28일
공개번호	10-2013-0013355	**공개일**	2013년 02월 06일
출원인	테크스타 코리아	**발명자**	최성준 외
활용분야	방음벽 파손 저감	**실현가능성**	낮음
특허 요약	 방음벽에 가해지는 설정압을 초과하는 강풍 또는 돌풍이 발생하는 경우에 지붕패널이 개폐 가능하도록 힌지에 고정되는 풍압조절용 도어를 구성하였으며, 풍압조절용 도어 상면과 지주에 힌지로 고정된 텐션부재의 장력을 이용한 댐핑 작용을 통해 방음벽에 가해지는 충격을 최소화		
개발 기술과의 차별성	루프형으로 구성하여 방음효과를 높인 기술로 본 연구의 개발 기술과는 달리 수직벽체의 풍하중 저감이 아닌 루프의 풍압에 의한 파손을 완화하기 위한 목적의 기술임		

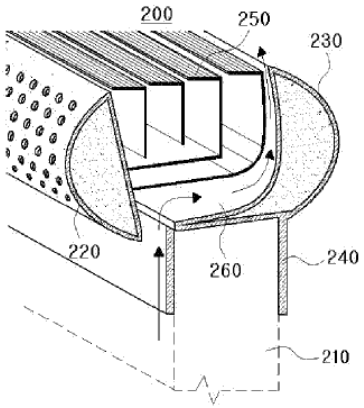
명 칭	방음 통풍 패널		
출원번호	10-2008-0019909	출원일	2008년 03월 04일
공개번호	해당 없음	공개일	해당 없음
출원인	㈜삼정스틸	발명자	전영진 외
활용분야	방음벽 풍하중 저감	실현가능성	낮음
특허 요약	 방음통풍패널에 바람의 압력에 의한 풍압이 작용할 때 회전하여 바람을 통풍시킴으로써 도로 방음벽 또는 도로 중앙분리대를 풍압으로부터 보호하고 동시에 소음을 차단할 수 있도록 하는 방음통풍패널에 관한 기술		
개발 기술과의 차별성	해당 기술은 방음벽 수직벽체를 회전하는 흡음재 패널로 구성하여 풍하중을 저감하는 기술로 기술 구현에 있어 구조적으로 복잡하고 많은 기계적 구성품들이 필요함. 이에 회전부를 포함한 기구 구조물의 내구성 문제와 노후시 오히려 기계적 소음 발생 가능이 있으며 고가의 설치 비용과 많은 유지보수가 어려움		

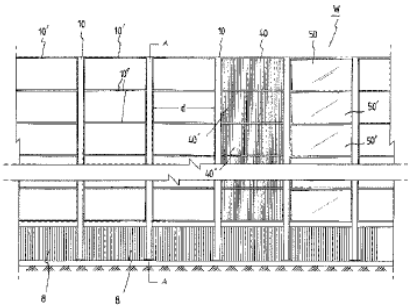
명 칭	(실용실안) 풍압흡수형 회전식 방음벽		
출원번호	20-2002-0008055	출원일	2002년 03월 19일
공개번호	-	공개일	-
출원인	정유진	발명자	정유진 외
활용분야	방음벽 풍하중 저감	실현가능성	높음
특허 요약	 지주와 지주 사이에 끼워지는 외측 프레임과, 이 외측 프레임 내에 회전축에 의해 유동 가능하게 끼워지는 방음판으로 이루어져 방음판이 설계 풍하중 이상의 풍압이 작용하는 경우 어느 일방으로 탄성력을 가지며 회전하는 풍하중 흡수형 회전식 방음벽		
개발 기술과의 차별성	해당 기술의 경우, 회전축이 기구적 내구성 문제와 구성 비용이 추가적으로 필요하며, 풍압에 위해 방음판이 회전할 때 발생하는 틈새로 소음의 유입이 발생함. 이에 상시형 풍하중 저감이 아닌 태풍이나 강풍 등의 파손 위험 감소를 위한 기술로 판단해야함		

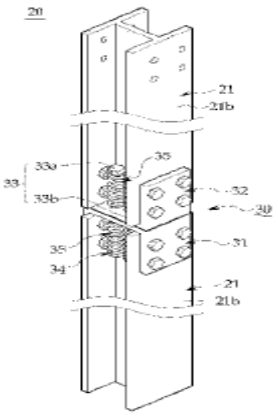
명 칭	풍하중을 저감할 수 있는 방음벽		
출원번호	10-2008-0019206	출원일	2008년 02월 29일
공개번호	10-0899929	공개일	2009년 05월 21일
출원인	리텍건설환경(주)	발명자	강윤하 외
활용분야	방음벽 풍하중 저감	실현가능성	높음
특허 요약	 바람이 불면 바람의 일부가 풍도(방음판과 방음판 사이에 스페이서를 삽입하여 구성)를 통하여 방음벽의 후면으로 배출되는 형태로 방음판(100)과 방음판(100) 사이에 일정 두께의 스페이서(13)를 설치하고 방음판(100)을 지주를 따라 계속 위로 쌓아 스페이서(13)의 두께만큼의 간격을 가지는 풍도(10)를 형성함		
개발 기술과의 차별성	본 연구에서의 개발 기술과 달리 통과하는 소음을 상쇄하는 것이 아닌 단순히 바람 통로를 구성하는 방법으로 풍하중 저감 효과를 증진하기 위해서는 풍도의 간격을 넓혀야 하지만, 풍도의 간격이 넓어질수록 유입되는 소음도 함께 증가하며, 풍도의 간격과 유동 특성의 공명 주기가 일체하는 경우, 강한 증폭 소음이 발생할 수 있음		

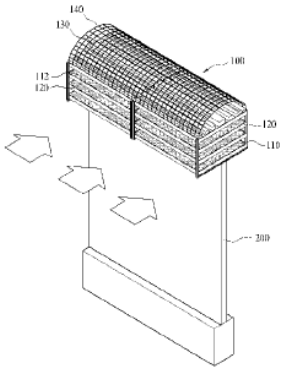
명칭	풍압 및 소음저감장치가 구비된 방음패널을 이용한 방음벽		
출원번호	10-2008-0067283	출원일	2008년 07월 10일
공개번호	10-0908682	공개일	2009년 07월 14일
출원인	최이석	발명자	최이석
활용분야	방음벽 풍하중 저감	실현가능성	낮음
특허 요약	 소음과 직접 면하는 부위에 장착되는 발포 알루미늄판 및 상기 발포 알루미늄과 대향된 측에 부착된 알루미늄시트를 포함하는 통상의 방음패널로 구성된 방음벽에 있어서 상기 각각의 방음패널에는 일정치 이상의 풍압이 작용했을 때 회전되어 풍압을 감소시키는 역할을 하도록 구성됨		
개발 기술과의 차별성	상시적으로 수직벽면체에 작용하는 풍하중을 저감할 수는 있으나, 회전기구물이 다수 포함되어 있어, 제작성이 어렵고 비용이 고가이며, 내구성 확보와 유지보수에 어려움이 있음. 또한, 회전기구물의 품질 및 손상, 수명에 따라 추가적인 기계적 소음이 발생할 수 있음		

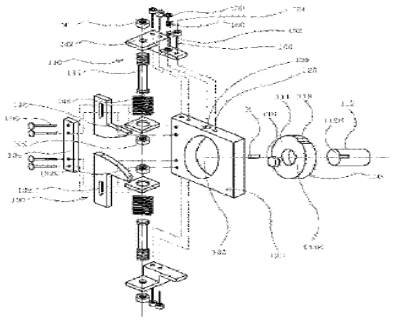
명칭	풍압조절가능한 H빔 체결구조를 이용한 풍압완충시스템		
출원번호	10-2010-0095566	출원일	2010년 09월 30일
공개번호	10-1012468	공개일	2011년 01월 26일
출원인	에스에이 주식회사	발명자	박춘종
활용분야	풍하중 저감형	실현가능성	높음
특허 요약		설정된 수치 이상의 풍압에서 방음판이 힌지를 중심으로 시계 추와 같이 왕복운동을 함으로써 방음벽에 가해지는 풍압을 흡수하여 파손의 위험성을 저감시키고 전체적인 내구성을 향상시키며, 방음판이 설정된 각도 범위 내에서 움직이도록 상부바에 지지면을 형성하고 상기 지지면에는 충격흡수부를 구성하여 상기 방음판과 부딪혀서 발생되는 소음을 용이하게 흡수함	
개발 기술과의 차별성	강한 풍압에서 방음판이 회전하여 개방되도록 구성된 기술로 방음벽의 수직 벽면체에 작용하는 풍하중을 저감할 수는 있으나, 방음판이 풍압에 의해서 개방되어진 상태에서는 소음 차단 성능이 개방되어진 공간만큼 증가하기 때문에 상시적 풍하중 저감이 아닌 파손의 위험이 있는 한계 상황에서의 일시적 풍하중 저감 기술로 판단해야함		

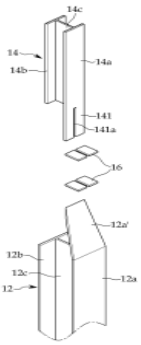
명칭	풍압을 이용한 소음간섭장치		
출원번호	20-2007-0012009	출원일	2007년 07월 20일
공개번호	20-0436715	공개일	2007년 09월 18일
출원인	에스에이 주식회사	발명자	박춘종
활용분야	소음간섭장치	실현가능성	높음
특허 요약		풍압을 이용한 소음간섭장치에 관한 것으로, 보다 자세하게는 차량의 통행으로 인해 발생하는 소음을 제거하고, 바람의 방향을 바꾸어 소음전달을 저지하며 비나 눈이 올 경우에도 침식되지 않는 풍압을 이용한 소음간섭장치에 관한 기술임	
개발 기술과의 차별성	방음벽의 수직벽면체의 풍하중 저감 효과는 없으며, 방음벽 상단부에 설치되어 풍압에 의해 상측의 소음에 간섭효과를 일으켜 방음벽 상측의 소음을 저감시키는 기술로 방음벽을 보다 낮게 설치할 수 있도록 고안된 기술임		

명칭	방음벽, 광고판 등의 직립판구조물의 풍압감소장치		
출원번호	10-2000-0013784	출원일	2000년 03월 18일
공개번호	특2001-0091762	공개일	2001년 10월 23일
출원인	차무휘	발명자	차무휘
활용분야	풍하중 저감 시스템	실현가능성	높음
특허 요약	 최상위의 차폐판이 인가되는 풍압에 의하여 개방되면 하위의 복수개의 차폐판이 연동하여 개방되는 구동연결수단과 상기 최상위 미만의 차폐판의 회동구동으로는 그 상위의 차폐판의 개방을 금지시키는 록킹수단을 포함한 풍하중 저감 시스템		
개발 기술과의 차별성	강한 풍압에서 차폐판이 회전하여 개방되도록 구성된 기술로 방음벽의 수직 벽면체에 작용하는 풍하중을 저감할 수는 있으나, 차폐판이 풍압에 의해서 개방되어진 상태에서는 소음 차단 성능이 개방되어진 공간만큼 증가하기 때문에 상시적 풍하중 저감이 아닌 파손의 위험이 있는 한계 상황에서의 일시적 풍하중 저감 기술로 판단해야함		

명칭	굴절형 차단벽을 위한 풍압력 완화장치		
출원번호	10-2008-0061206	출원일	2008년 06월 26일
공개번호	10-2010-0001344	공개일	2010년 01월 06일
출원인	주식회사 예경산업개발, 이선애	발명자	김용민 외
활용분야	풍압력 완화 장치	실현가능성	낮음
특허 요약	 풍압력이 가해지면 굴절을 통해 하중을 저감하는 굴절형 방음벽으로 수직하게 설치되는 제1 수직프레임과 이 제 1수직프레임의 상부에 배치되는 제2 수직프레임으로 이루어지고 상기 제1,2 수직프레임의 연결부분에는 상기 제2 수직프레임이 상기 제1 수직프레임에 대해 일정 각도범위 내에서 탄력적으로 굴절 가능하도록 풍압력 완화부가 구성되어 있음		
개발 기술과의 차별성	굴절부에 구성된 수직프레임 연결부가 전체적으로 설치된 방음판의 무게에 대한 하중을 모두 견뎌야 하기 때문에 구조적 강도와 내구성, 신뢰성에 대한 확보가 어려우며, 해당 연결부가 반복적인 피로 하중으로 파손되면 더 큰 사고를 야기할 수 있음		

명칭	방음벽 상단에 설치되는 통풍형 소음감쇠기		
출원번호	10-2011-0091444	출원일	2011년 09월 08일
공개번호	10-2013-0027916	공개일	2013년 03월 18일
출원인	한국철도기술연구원, 유니슨테크놀러지 주식회사	발명자	김영찬 외
활용분야	풍하중 저감 장치	실현가능성	높음
특허 요약		방음벽 상부에 구비되며 외형을 이루며 상기 방음벽의 내외측이 서로 연통되도록 하나 이상의 통풍구가 구비된 하우징 및 상기 하우징 내부에서 상기 통풍구의 내면에 구비되어 상기 통풍구를 통해 전달되는 소음을 저감시키는 흡음배플을 포함하여 구성된 방음벽 상단에 성치되는 통풍형 소음감쇠기 기술임	
개발 기술과의 차별성	방음벽의 수직벽면체의 풍하중 저감 효과는 없으며, 방음벽 상단부에 설치되어 방음벽 상단을 통과하는 소음을 저감함에 따라 기존 대비 방음벽을 보다 낮게 설치할 수 있도록 고안된 기술임		

명칭	양방향 통풍형 방음벽		
출원번호	10-2012-0035660	출원일	2012년 04월 05일
등록번호	10-2013-0113235	등록일	2013년 10월 15일
출원인	한국도로공사	발명자	엄주용 외
활용분야	풍하중 저감 장치	실현가능성	낮음
특허 요약		방음벽 지주(10), 방음벽 지주(10)의 측면(12)에서 회전이 가능하게 결합되는 방음판(20), 및 방음판(20)이 회전 가능하도록 방음판(20)의 일측에 축 결합되어 방음판(20)의 회전 운동에 대하여 직진운동으로 변환시키며 직진운동의 변위에 대하여 탄성적 복원력을 제공하여 방음판(20)의 회전에 대하여 위치를 원위치 시키기 위한 통풍조절장치(100)로 이루어진 양방향 통풍형 방음벽 기술임	
개발 기술과의 차별성	방음판 및 통풍조절장치를 통해 일시적 풍하중 저감 효과를 얻을 수 있으나, 기구적 구성품이 많고 구조가 난해하여 제작 난이도가 높으며, 제작비용이 높고 기구인 부품이 많이 들어감에 따라 내구성 및 신뢰성이 떨어짐. 또한 방음판이 통풍조절장치에 의해 개방되어 풍하중을 저감시키는 동안에는 개방된 공간으로 소음이 유입되어 소음 감소 효과가 반감됨		

명칭	발명의 명칭 서로 다른 단면 면적으로 접합되어 있는 슬림 지주 및 이를 이용한 방음벽의 시공 방법		
출원번호	10-2011-0079177	출원일	2011년 08월 09일
공개번호	10-2013-0016960	공개일	2013년 02월 19일
출원인	테크스타 코리아 주식회사	발명자	최성준
활용분야	방음벽 기반시설 시공 기술	실현가능성	높음
특허 요약	 서로 다른 면적을 갖는 2개의 H형강을 크로스 접합시켜 접합 이음부가 길어져 접합 강도를 향상시키고 지주 하단을 콘크리트와 합성시켜 풍하중에 저항하는 휨강성을 일층 증대시킬 수 있도록 한 서로 다른 단면 면적으로 접합되어 있는 슬림 지주 시공 기술		
개발 기술과의 차별성	방음벽의 기반시설인 기초와 지주의 제작 및 시공 방법에 관한 기술로 풍하중에 저항하는 휨강성 증대를 위한 기술임		

나. 국외 지적재산권 수준 비교·분석

○ 국외의 경우도 국내와 동일하게 본 연구의 통기형 방음판과 같이 통부와와 공명부로 나누어 바람은 통과시키고 소음은 상쇄하여 저감시키는 기술에 대한 특허는 전무한 상태임

○ 국외 특허의 경우, 단순 소음 저감 벽체에 대한 기술 특허가 대부분으로 이루어져 있으며, 이는 국내와 달리 높은 방음벽을 선호하지 않아 풍하중 저감을 통한 높은 방음벽 설치비 절감에 대한 필요성이 크지 않기 때문으로 판단됨

○ 국외의 경우, 소음 저감에 대해 새로운 개념의 형태를 응용한 기술적 접근이 많고, 성능의 도달 수준이 높아 본 연구에서의 소음 차단 성능이 국외 기술 대비 어느 정도 경쟁력이 있는 지 긴밀한 검토가 필요할 것으로 판단됨

2.3 국내외 시장분석 및 사업화 전망

가. 국내 시장 예측 및 발전 전망

○ 방음벽 시장의 평균 증가율 11.6%를 적용해 예상하면, 2011년에는 순수 방음벽 시장 규모가 약 2,027억 원, 2015년에는 3,144억에 달할 것으로 예상되며, 옹벽 및 담장, 중앙분리대 등 연관 산업 시장 규모는 2015년에는 약 3조원 이상임

구 분	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	성장률
국내 (억원)	1,584	1,792	2,027	2,262	2,525	2,817	3,144	11.6%
출처 : 중소기업청 비즈니스지원단(2011), 세계시장의 1%로 반영하여 예측								

○ 국내 방음벽 시장은 매년 10% 이상의 고성장을 기대해 볼 수 있음

○ 본 연구를 통해 개발되는 풍하중 저감용 방음벽은 기존에 있는 기술을 획기적으로 개량하고 최적화한 신개념 방음벽으로서 차별화된 제원을 통해 시장 진출 가능성은 매우 높게 평가할 수 있음

○ 또한 원천 기술을 확보함으로써 기술 경쟁력 또한 높음

나. 해외 시장 예측 및 발전 전망

○ 해외 방음벽 시장규모는 2011년 226억 달러에서 연평균 11.6% 성장하여, 2014년 314억 달러로 성장할 전망임

○ 현재 방음벽의 세계적 추세는 친환경 산업의 추세에 맞춰 새로운 형태의 방음시설이 개발되고 있음

구 분	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	성장률
해외 (억달러)	179	203	226	253	282	314	310	11.6%
출처 : 중소기업청 비즈니스지원단(2011)								

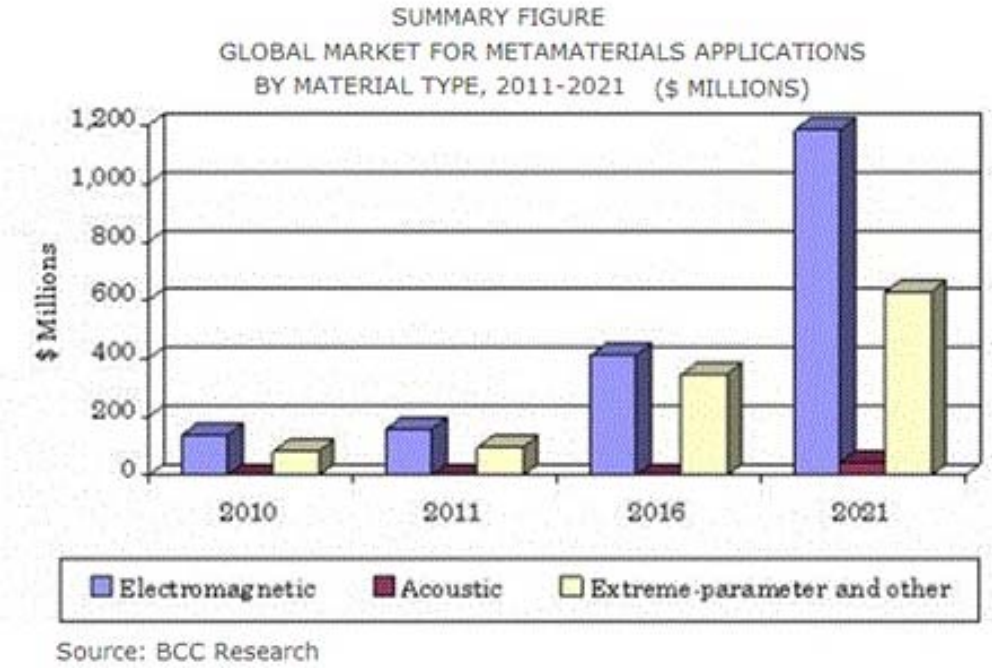
○ 현재 사용중인 방음벽은 통풍이 불가하거나 통풍시 소음 감소효과가 떨어지지만, 본 연구의 신개념 풍하중 저감용 방음벽은 공기 흐름의 차단 없이 실질적인 소음에 대한 감소만이 이루어지기 때문에 기술력 수준에서는 매우 높게 평가 할 수 있음

다. 해외 업체, 연구기관과의 공동연구 필요성 및 추진 방안

○ 본 연구에 적용되는 기술은 해외 보다 앞서 개발 진행되고 있는 신개념의 통기형 방음판 기술로 공동연구를 통한 기술 습득이 필요하지 않으며, 추후 사업화 진행이후 해외 판매 시에 현지 생산화 등의 관점에서 해외 업체와 공동 업무 추진 검토 예정임

○ 방음벽의 경우, 신개념 형태의 기술은 실제 현장에 설치를 통해 그 기술의 성능을 입증하기가 어려운 부분이 있기 때문에 연구기관을 통해 방음판 단품에 대한 성능 시험 평가를 진행하고, 평가 결과를 토대로 제안기관의 시험 부지를 제공받아 방음벽의 현장 성능 평가 및 신뢰성 검증을 진행할 예정에 있음

○ 본 연구에 적용되는 기술인 메타물질 관련분야 연구가 본격적으로 시작된 것은 극히 최근인 21세기 이후이나, 그 응용분야가 넓어 메타물질 관련 시장은 앞으로 2년 이내인 2016년에 7억불 이상이 될 것이라고 예측되고 있어 타산업의 다양한 분야에 대한 응용과 시장선점을 통한 고수익 창출이 가능할 것으로 판단됨



<메타물질 관련 예측 시장>

라. 개발된 기술의 해외 시장 진출 방안

○ 본 연구의 기초기술인 메타물질 관련분야가 국제적인 관심을 받고 있는 것을 활용하여 국제 학술대회 참가 및 논문 발표를 통해 인지도를 높이고, 전시회 참가를 통해 마케팅 및 홍보 활동을 진행할 예정에 있음

○ 국외의 경우, 국내와 달리 높은 방음벽을 선호하지 않아 풍하중에 저감에 대한 장점이 부각되지 않는 다는 점을 인지하고 무리한 투자를 하지 않는 선에서 본 연구 기술의 장점인 도시열섬화 해소와 도로변 공기 순환을 통한 도로 환경 개선, 생태계 보호 등을 중점적으로 부각하여 마케팅 활동 진행 예정임

▣ 1차년도

1.풍하중 저감형 방음판 차음성능시험

1.1 시험 목적

본 시험은 목포해양대학교 김상훈교수의 『차단 주파수 영역의 선택이 가능한 풍압저감형 방음벽』에서 기술하고 있는 이론을 바탕으로 풍하중을 30% 저감 및 기존의 방음판의 차음성능을 유지하는 풍하중 저감형 방음판을 개발하는데 목적이 있다.

본 시험에서 사용되는 방음판 시험체는 김상훈교수의 논문에서 제시하는 공식을 사용하여 제작하였으며, 앞으로 진행될 차음성능시험은 다양한 설계인자들을 적용하여 공식의 적정성 검증하고자 한다.

1.2 풍하중 저감형 방음판 설계이론

풍하중 저감형 방음판 개발을 위하여 목포해양대학교 김상훈교수의「통기형 방음창의 설치 및 관찰」에서 제시하는 이론을 방음판에 적용하여 풍하중 30%, 도로공사 방음벽 차음성능기준 및 재료품질시험 만족하는 방음판 개발을 하고자 한다.

공진통에 공명이 일어나면 여러 개의 공진주파수 모드가 형성되는데 그 중에 가장 낮은 공진주파수가 방음의 주력 주파수가 된다. 이 주파수는 아래의 헬름홀츠 공진기의 공진주파수로부터 구할 수 있다.(그림 1.1 참조.)

$$f_o = \frac{v}{2\pi}\sqrt{\frac{S}{VL_e}}$$

여기에서 v : 음속

S : 공명통 입구의 면적($S=\pi\times D\times t$)

D : 통기구의 직경

t : 방음판의 두께

V : 공명통의 부피

L_e : 공명통의 유효목길($L_e \simeq 0.85r_e$)

방음 주파주 영역은 공진주파 f_o부터 고주파 음역대이다.

$$f_o < f < \sqrt{1+G}\,f_o$$

G는 방음판의 구조에 따라 결정되는 기하학적 요소(geometric factor)로써 근사적으로 공진통 부피를 공기통로의 부피로 나눈 값이다.(Fang et al., 2006, Kim, 2015)

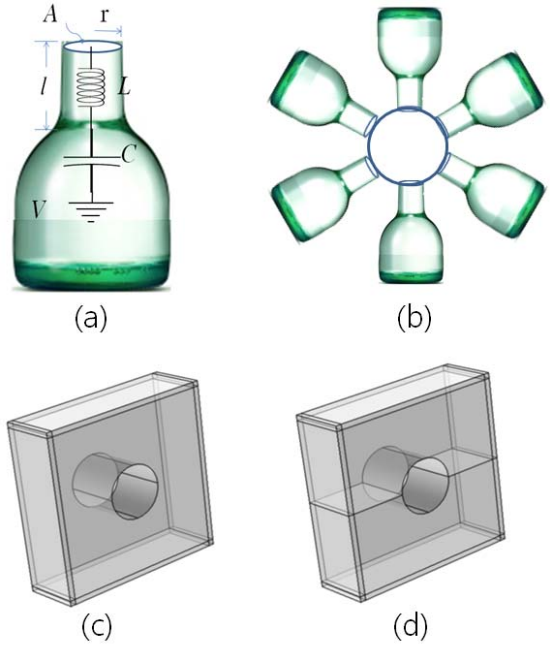


그림 1.1 풍하중 저감형 방음판 적용 이론

상기의 공식을 이용하여 풍하중 저감형 방음판 설계/시험/검증/보완함으로써, 원하는 주파수를 차단할 수 있는 풍하중 저감형 방음판을 개발 하는 것이 이번 과제의 최종 목표이다.

1.3 시험개요

차음성능시험은 한국건설생활환경시험연구원(KCL)과 한국건설기술연구원(KICT)에서 진행되었으며, KS F 2808 : 2011 (건물 부재의 공기 전달음 차단 성능 실험실 측정 방법)에 의거하여 음원실과 수음실 사이의 시료 설치용 개구부에 시료를 설치하고 음원실에서 음을 발생하여 두 잔향실의 평균음압레벨 차를 측정하고 수음실의 흡음력을 보정하고 규격에 주어진 식을 이용하여 시료의 음향감쇠계수를 산출하였다.

가. 실내 평균음압레벨 측정

각 실에 무지향성 마이크로폰을 마이크로폰 간 0.7m, 음원으로부터 1.0m, 실의 경계 및 확산체로부터 0.7m 이상 떨어진 5개의 위치에 고정하여 측정 된 음압 레벨의 에너지 평균값(L)을 산출

$$L = 10\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}10^{Li/10}\right)$$

여기에서 L_i : i번째 고정 측정점에서 음압 레벨의 측정값 (dB)

n : 고정 측정점 수

나. 수음실 등가 흡음력 측정

수음실 내 1점에 음원 스피커를 설치하고 3점 이상의 균등한 측정점에서 음원단속법으로 잔향시간을 측정하여 등가 흡음력 산출

$$A = \frac{0.16V}{T}$$

여기에서 A : 등가 흡음력 (m^2)
V : 수음실의 체적 (m^3)
T : 수음실의 잔향 시간 (s)

다. 음향감쇠계수의 산출

음원실과 수음실의 평균음압레벨차를 구하고 수음실의 흡음력을 보정하여 음향감쇠계수 (R)산출

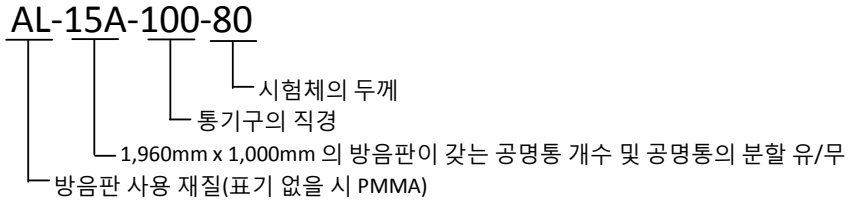
$$R = L_1 - L_2 + 10\log\left(\frac{S}{A}\right)$$

여기에서 L_1 : 음원실에서의 평균 음압레벨 (dB)
L_2 : 수음실에서의 평균 음압레벨 (dB)
S : 시료의 면적 (m^2)
A : 수음실의 음향 파워 흡음력 (m^2)

1.4 방음판 시험체 및 시험 Case 선정

본 시험에서 사용되는 시험체는 방음판에 통기구를 뚫어 바람을 통과시킴으로서 풍하중을 줄이는 형태이며, 이러한 통기형 구조에서 각각의 설계인자(두께, 통기의 직경, 챔버의 크기, 시험체의 재질 등)에 따른 차음성능의 추이를 검토하기 위하여 다음과 같이 차음성능 시험을 진행하였다.

방음판 시험체는 다음의 방식으로 명명하였다.



1.4.1 제1차 차음성능시험 시험체 및 시험 Case

제1차 차음성능시험은 2015년 03월 23일~26일에 걸쳐 진행되었다.

목포해양대에서 통기구의 직경은 100mm와 두께 80mm를 고정한 후, 방음판(1,960mm x 1,000mm)이 각각 15개와 21개의 공명통을 갖는 시험체를 제시하였으며, 이와 더불어 개구율 30%를 갖는 28ea의 공명통과 통기구 직경이 150mm인 시험체에 대하여 다음과 같이 시험을 진행하였다. 또한, 방음판 시험체 중'15A-100-80'의 시험체에 대하여 스테인레스 재질을 사용하여 재질에 따른 차음성능의 차이를 확인하고자 하였다.

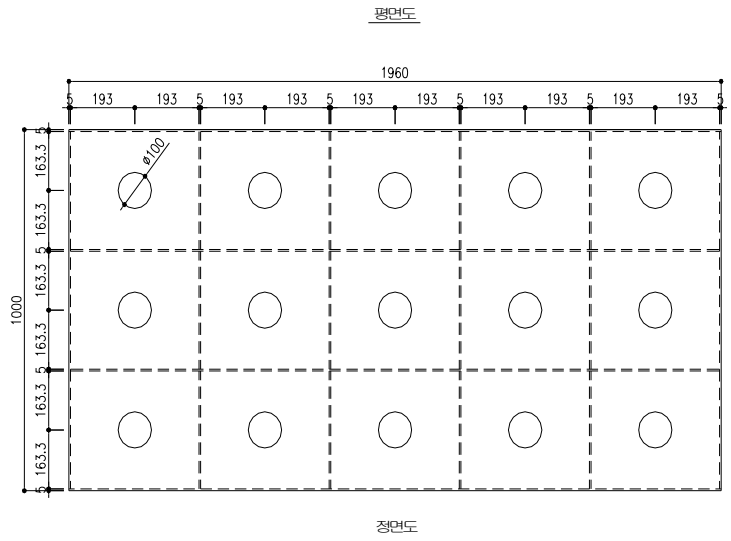
이론적으로 저주파(500Hz) 음역대의 시험체의 공명통의 부피가 50%가 되면 고주파(1,000Hz) 음역대의 차음성능을 보이므로, 이를 반영하기 위하여 같은 수의 공명통과 같은 직경을 갖지만, 부피가 다른 방음판의 설계를 위해 공명통과 통기구를 수평으로 나눠 고주파 음역대의 차음성능을 갖는 방음판을 설계하였다.

제1차 차음성능시험에서 진행한 시험 Case는 다음과 같다.

표 1.1 풍하중 저감형 방음판 시험체 1차 시험

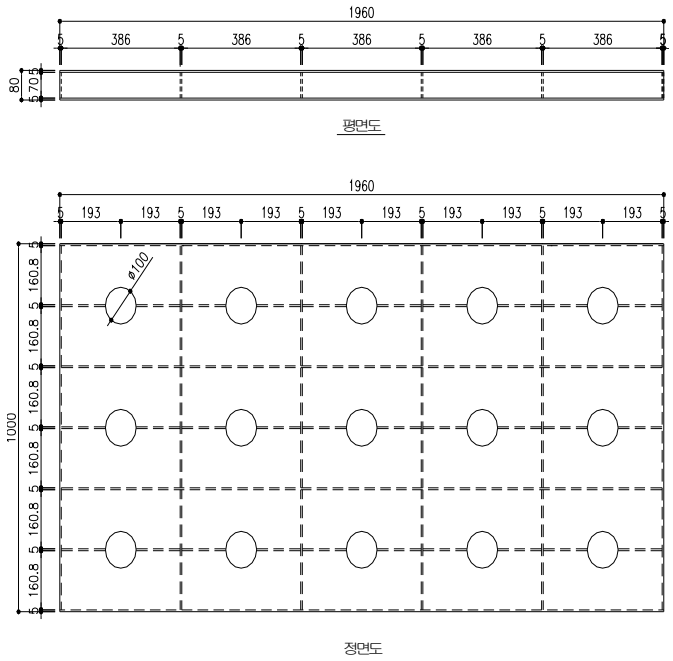
시험체		설계인자	비고
앞	뒤		
반사형	반사형	-	-
15A-100-80[1)]	-	기준 시험체	500Hz 음역대 차음성능발현 예상
	15A-100-80	중첩	-
	15B-100-80	중첩	-
15B-100-80[1)]	-	공명통 분할	1,000Hz 음역대 차음성능발현 예상
15A-150-80	-	통기구 직경	
21A-100-80	-	공명통 부피	500Hz 음역대 차음성능발현 예상
	21B-100-80	두께/음역대	중첩
21B-100-80	-	공명통 분할	1,000Hz 음역대 차음성능발현 예상
28A-150-80	-	공명통 부피 통기구 직경	풍하중감소 고려하여 개구율 30% 적용
	28A-150-80		
	28B-150-80		
28B-150-80	-		
AL-15A-100-80		재질	알류미늄으로 제작 (t=5mm)
AL-15A-100-80	AL-15B-100-80		
AL-15B-100-80			
15A-100-80-F		공명효과	두꺼운 필름을 사용하여 공명효과 제거

1) A & B : 공명통 수평 분할 유/무(A:미분할, B:분할)



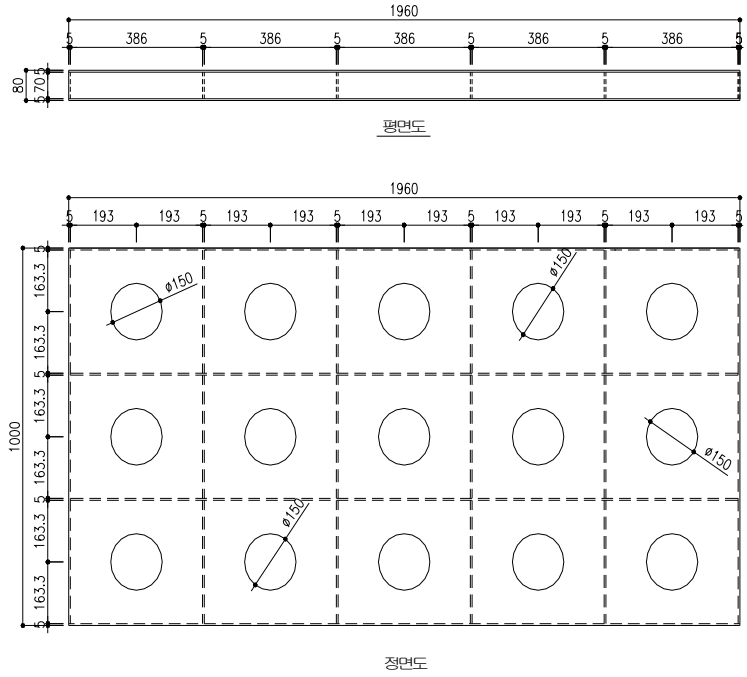
명칭	15A-100-80
규격	1,960x1,000x80
재질	아크릴(PMMA)
통기구 직경	100mm
통기구 개수	15EA
공명통 규격	386x326.7x70
공명통 분할	미 분할

그림 1.2 15A-100-80



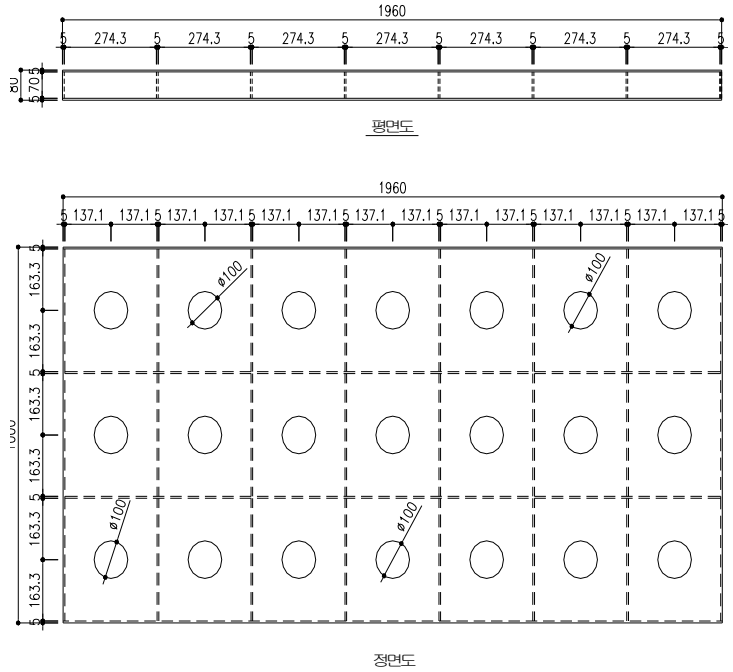
명칭	15B-100-80
규격	1,960x1,000x80
재질	아크릴(PMMA)
통기구 직경	100mm
통기구 개수	15EA
공명통 규격	386x326.7x70
공명통 분할	분할

그림 1.3 15B-100-80



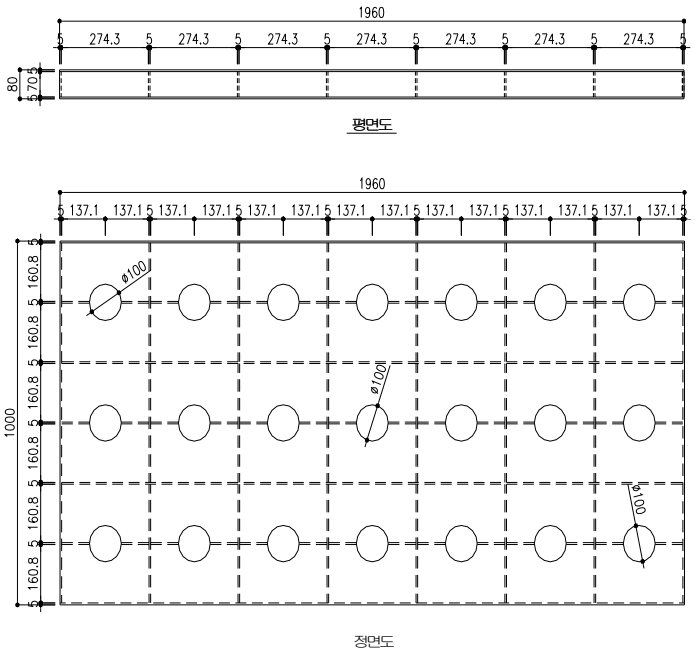
명칭	15A-150-80
규격	1,960x1,000x80
재질	아크릴(PMMA)
통기구 직경	150mm
통기구 개수	15EA
공명통 규격	386x326.7x70
공명통 분할	미 분할

그림 1.4 15B-150-80



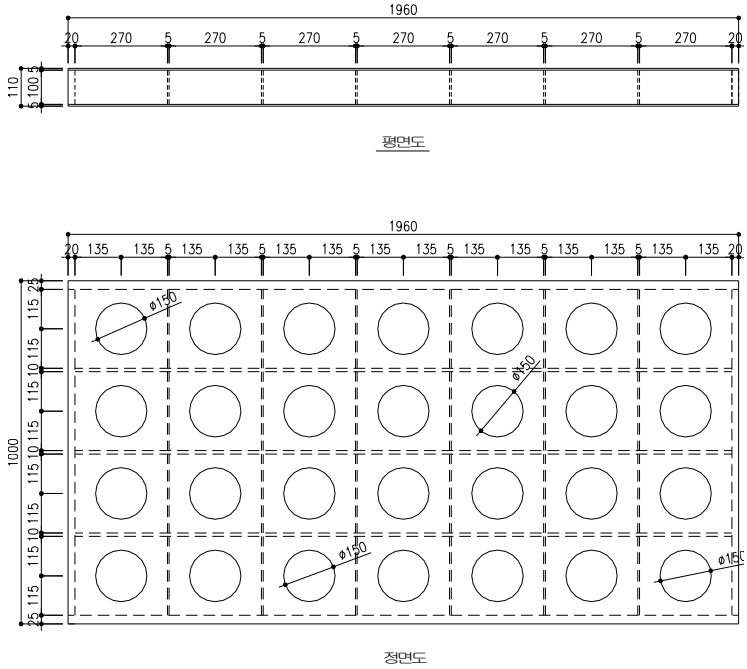
명칭	21A-100-80
규격	1,960x1,000x80
재질	아크릴(PMMA)
통기구 직경	100mm
통기구 개수	21EA
공명통 규격	274.4x326.7x70
공명통 분할	미 분할

그림 1.5 21A-100-80



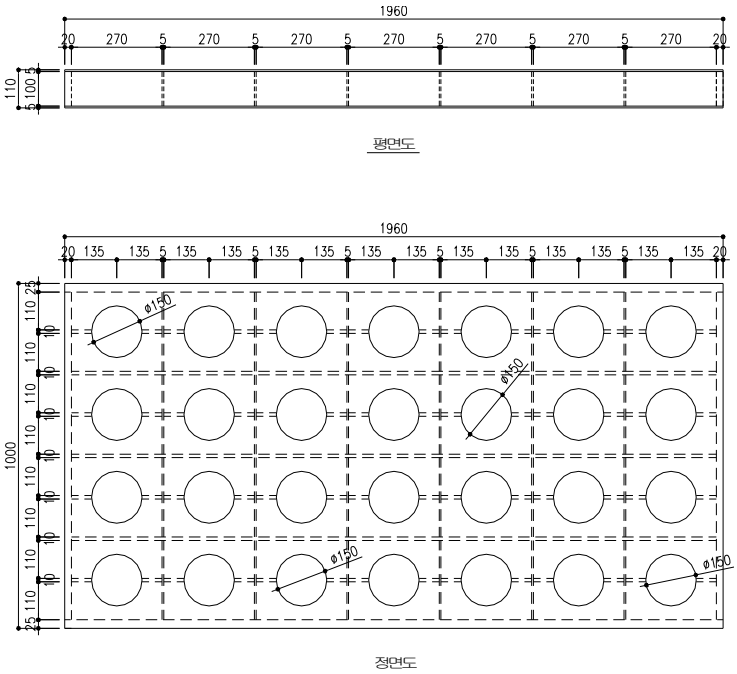
명칭	21B-100-80
규격	1,960x1,000x80
재질	아크릴(PMMA)
통기구 직경	100mm
통기구 개수	21EA
공명통 규격	274.4x326.7x70
공명통 분할	분할

그림 1.6 21B-100-80



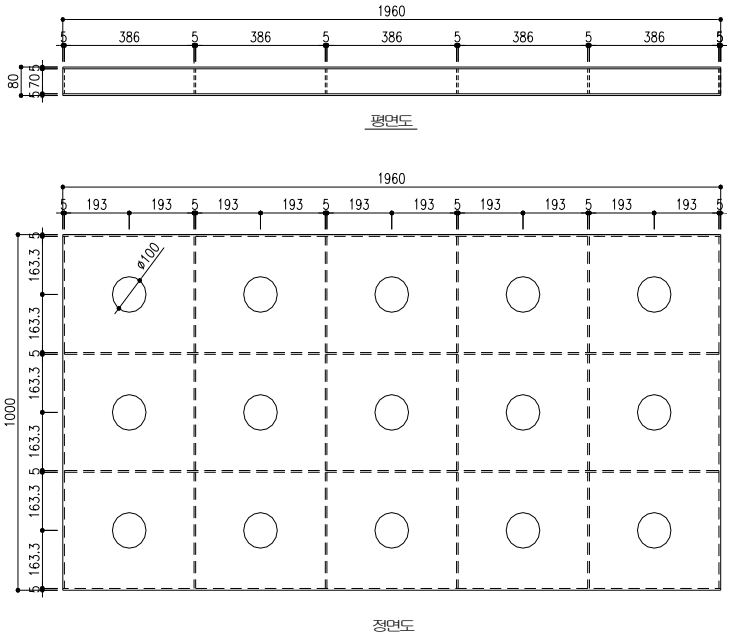
명칭	28A-150-110
규격	1,960x1,000x110
재질	아크릴(PMMA)
통기구 직경	150mm
통기구 개수	28EA
공명통 규격	270x230x70
공명통 분할	미 분할

그림 1.7 28A-150-110



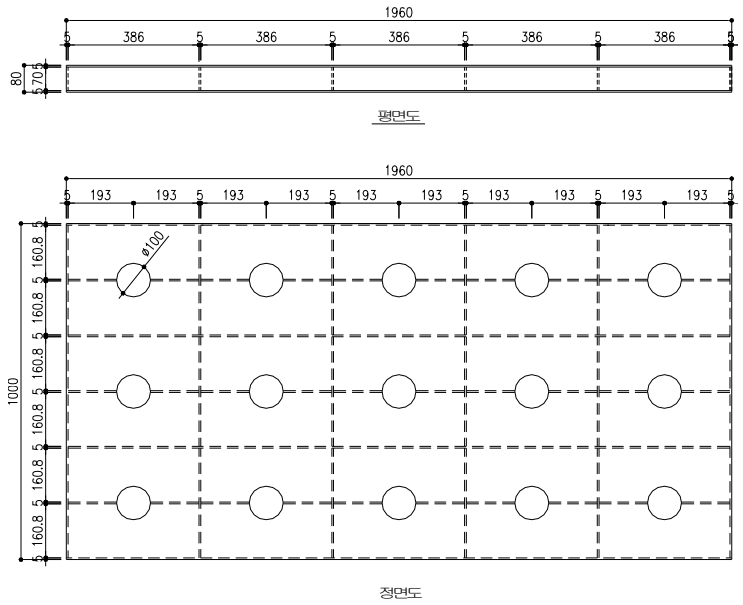
명칭	28B-150-110
규격	1,960x1,000x110
재질	아크릴(PMMA)
통기구 직경	150mm
통기구 개수	28EA
공명통 규격	270x230x70
공명통 분할	분할

그림 1.8 28B-150-110



명칭	AL-15A-100-80
규격	1,960x1,000x80
재질	알루미늄
통기구 직경	100mm
통기구 개수	15EA
공명통 규격	386x326.7x70
공명통 분할	미 분할

그림 1.9 AL-15A-100-80



명칭	AL-15B-100-80
규격	1,960x1,000x80
재질	알루미늄
통기구 직경	100mm
통기구 개수	15EA
공명통 규격	386x326.7x70
공명통 분할	분할

그림 1.10 AL-15B-100-80

1.4.2 제2차 차음성능시험 시험체 및 시험 Case

제1차 차음성능시험을 진행한 결과 공명통을 수평 분할 할 경우 1,000Hz의 차음음역대에서 차음성능이 발휘 할 것이라는 예상과는 달리 분할과 미 분할의 차이가 발생하지 않았다. 따라서, 이러한 문제점과 시험체 설계인자 사이의 관계를 명확히 알고자 제2차 차음성능시험을 진행하였다. 각각의 설계인자들이 영향을 주는 추이를 파악하고자 각각의 설계인자 별로 3Case씩 시험을 진행하여 차음성능에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

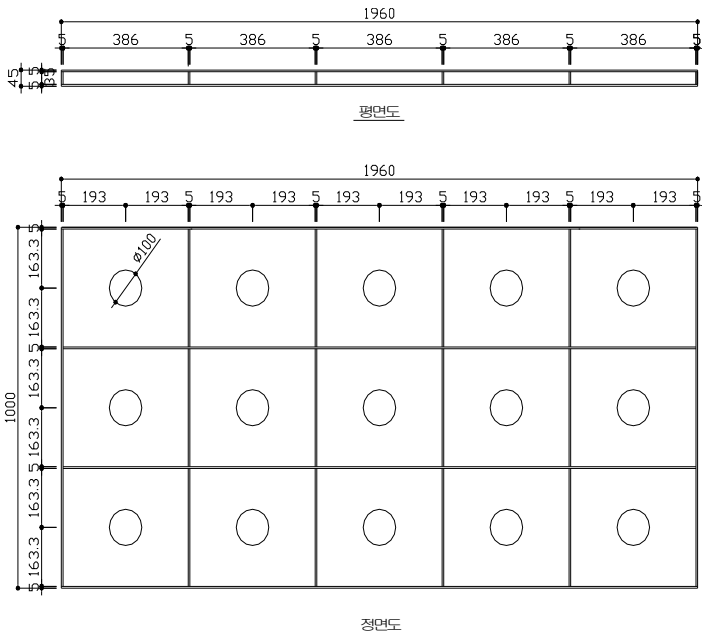
본 시험에서는 제1차 차음성능시험에서 이종 재질에 대한 차음성능의 차이를 확인하려 하였으나, 판의 두께(5mm)로 매우 두꺼워 이를 확인할 수 없었기 때문에 방음판의 두께를 1mm로 변경하여 아연도금강판, 스테인레스 및 PMMA의 재질에 따른 차음성능을 확인하고자 하였다.

제1차 차음성능시험을 토대로 공식을 점검 및 보완하였으며, 공식을 적용한 시험체를 시험에 적용하여 보완/수정된 공식의 적정성을 찾고자 하였다.

방음판 시험체 및 각각의 시험 Case는 표 1.2와 그림 1.11~그림 1.19와 같다.

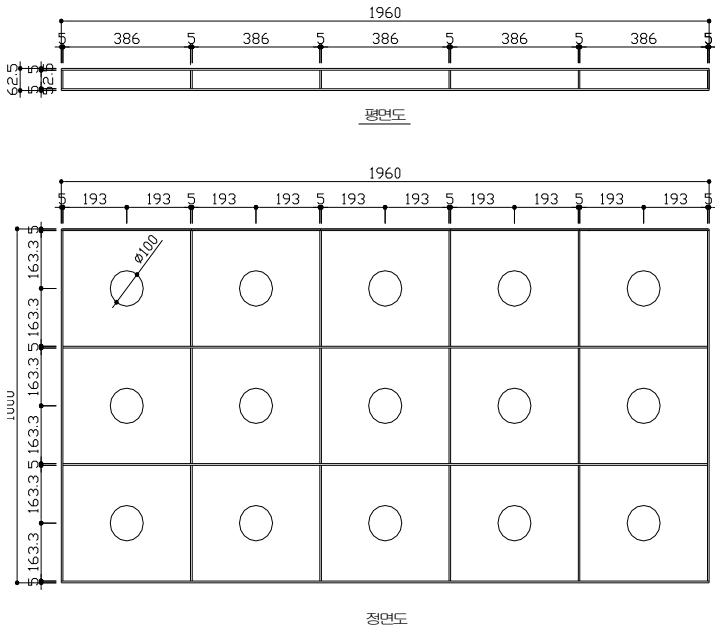
표 1.2 풍하중 저감형 방음판 시험체 2차 시험

시험체		설계인자	비고
앞	뒤		
15A-100-45	-	두께	-
15A-100-62	-		-
15A-100-150	-		-
15A-100-80-3/4	-	부피	다각형 챔버
15A-100-80-2/4	-		원통형 챔버
15A-130-70-Hi-A	-	수정공식 적용	
15A-130-70-Hi-B	-		격벽
15A-130-70-Hi-C	-		격벽 이동
15A-130-70-Hi-A	15A-130-80-Hi-B	중첩	-
SUS-15A-100-73	-	스테인레스	전면판 & 후면판 t=1.0mm 적용
ST-15A-100-73	-	아연도금강판	
15A-100-Cap-1/2	-	Filter	Filter 개구율
15A-100-Cap-1/4	-		
15A-130-80	-	직경	직경:130mm
15A-Multi-240	-	-	-



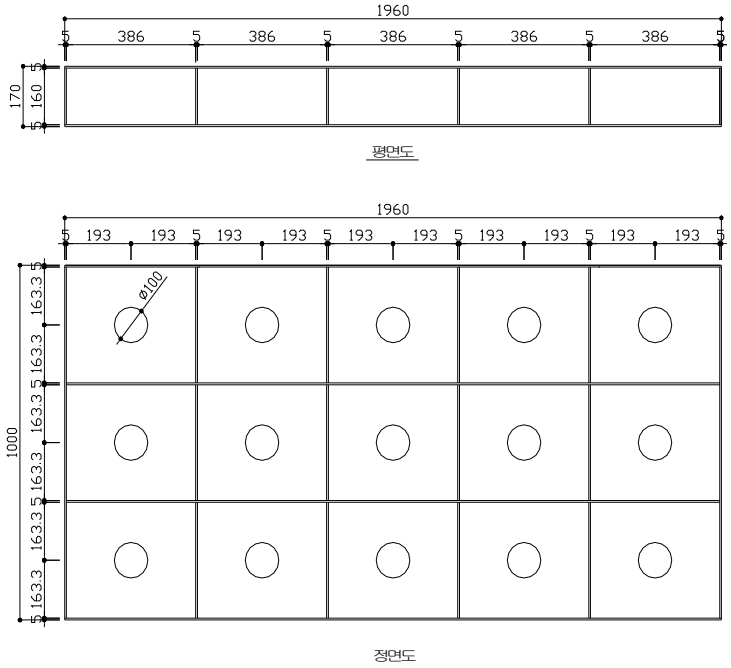
명칭	15A-100-45
규격	1,960x1,000x80
재질	아크릴(PMMA)
통기구 직경	100mm
통기구 개수	15EA
공명통 규격	386x326.7x35
공명통 분할	미 분할

그림 1.11 15A-100-45



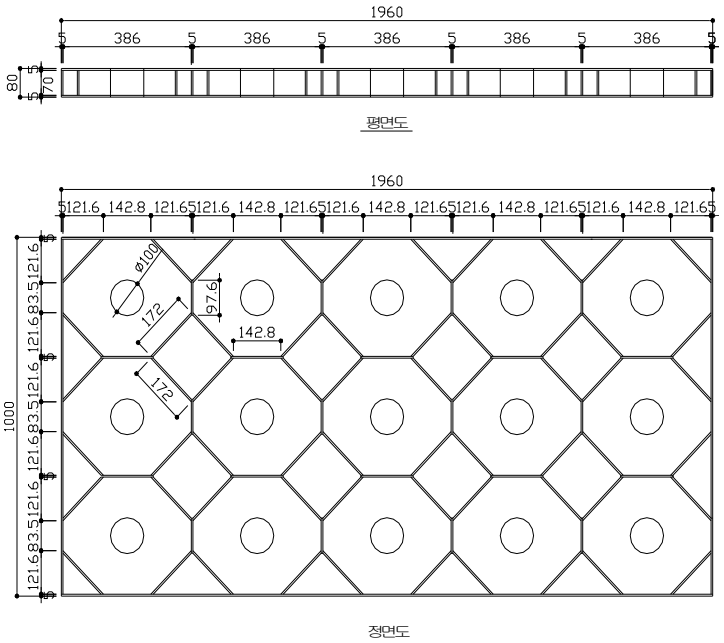
명칭	15A-100-62
규격	1,960x1,000x80
재질	아크릴(PMMA)
통기구 직경	100mm
통기구 개수	15EA
공명통 규격	386x326.7x52.5
공명통 분할	미 분할

그림 1.12 15A-100-62



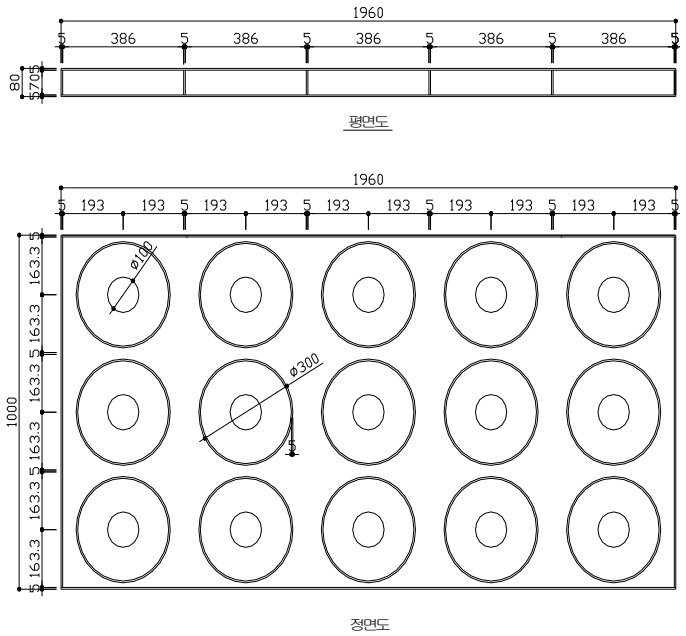
명칭	15A-100-150
규격	1,960x1,000x80
재질	아크릴(PMMA)
통기구 직경	100mm
통기구 개수	15EA
공명통 규격	386x326.7x160
공명통 분할	미 분할

그림 1.13 15A-100-170



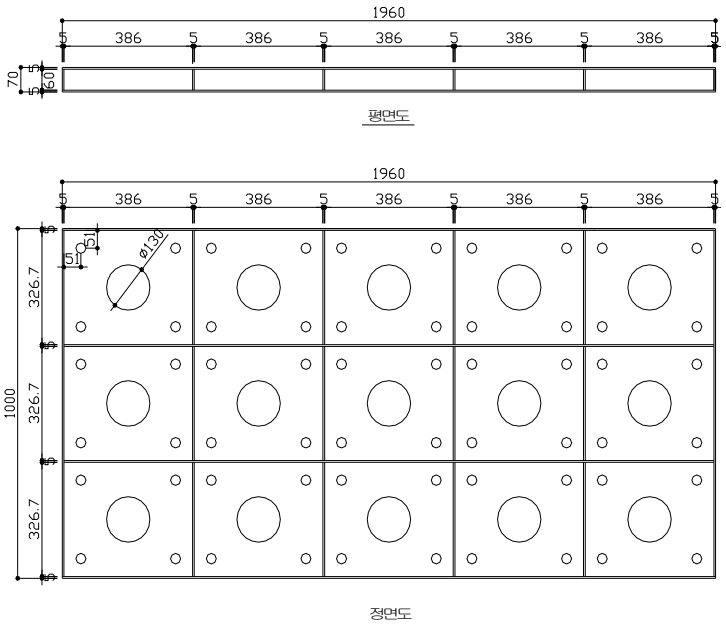
명칭	15A-100-80-3/4
규격	1,960x1,000x80
재질	아크릴(PMMA)
통기구 직경	100mm
통기구 개수	15EA
공명통 규격	(386x326.7x70) *3/4
공명통 분할	미 분할

그림 1.14 15A-100-80-3/4



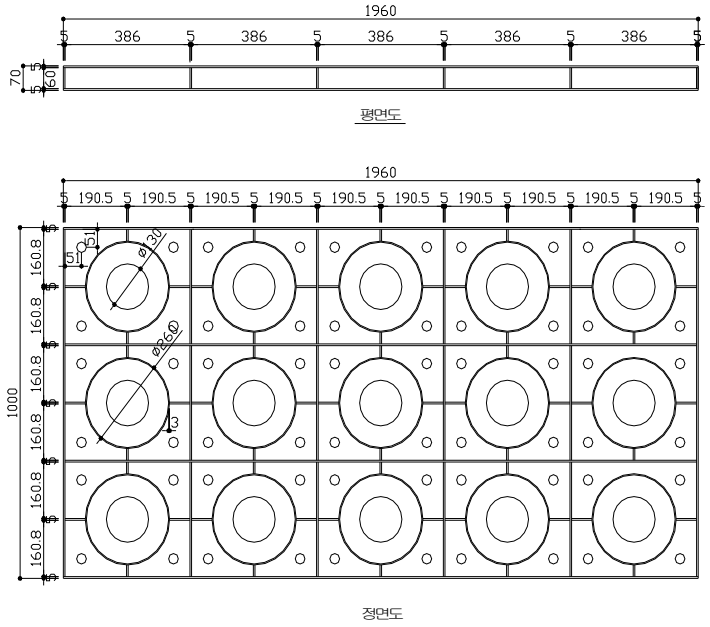
명칭	15A-100-80-2/4
규격	1,960x1,000x80
재질	아크릴(PMMA)
통기구 직경	100mm
통기구 개수	15EA
공명통 규격	(386x326.7x70) *1/2
공명통 분할	미 분할

그림 1.15 15A-100-80-2/4



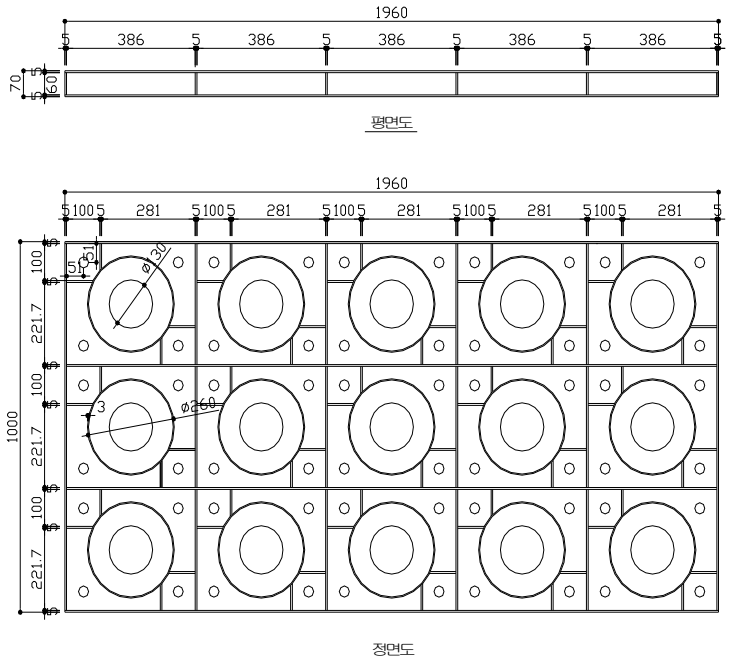
명칭	15A-130-70-Hi
규격	1,960x1,000x70
재질	아크릴(PMMA)
통기구 직경	30mm, 130mm
통기구 개수	15EA
공명통 규격	-
공명통 분할	미 분할

그림 1.16 15A-130-70-Hi



명칭	15A-130-70-Hi-A
규격	1,960x1,000x70
재질	아크릴(PMMA)
통기구 직경	30mm, 130mm
통기구 개수	15EA
공명통 규격	-
공명통 분할	미 분할

그림 1.17 15A-130-70-Hi-A



명칭	15A-130-70-Hi-B
규격	1,960x1,000x70
재질	아크릴(PMMA)
통기구 직경	30mm, 130mm
통기구 개수	15EA
공명통 규격	-
공명통 분할	미 분할

그림 1.18 15A-130-70-Hi-B

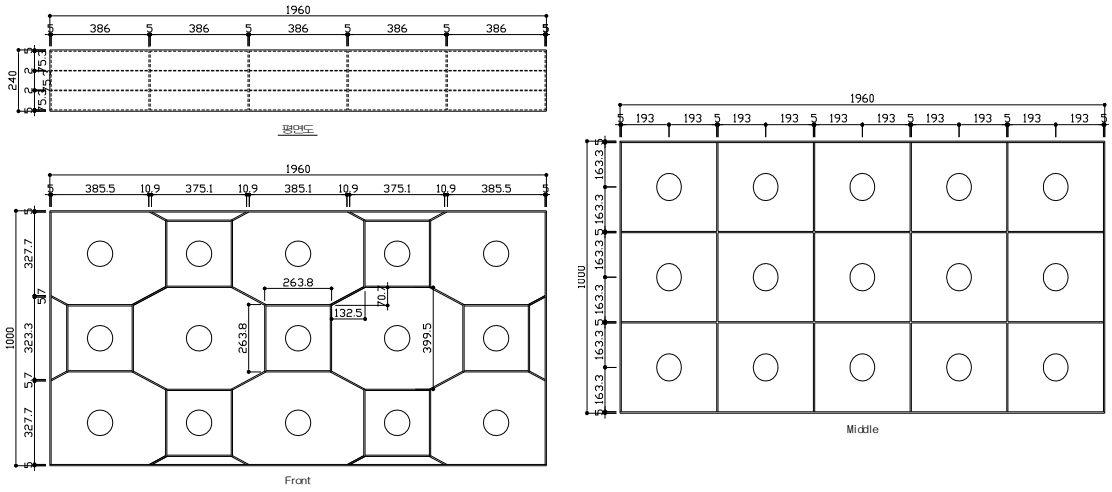
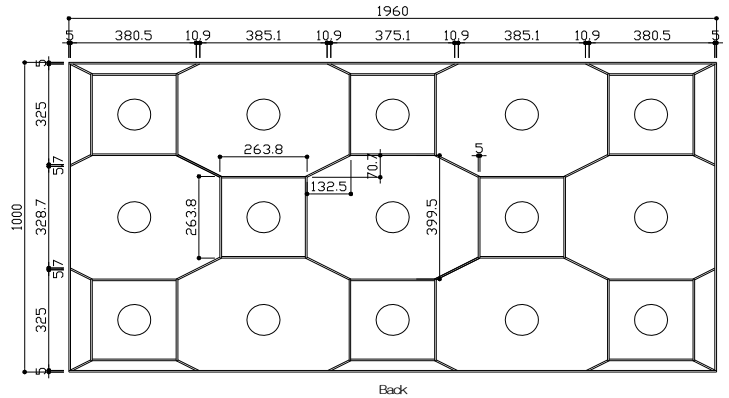


그림 1.19 Muti-240(1)



명칭	15A-Multi-240
규격	1,960x1,000x70
재질	아크릴(PMMA)
통기구 직경	100mm
통기구 개수	15EA
공명통 규격	-
공명통 분할	미 분할

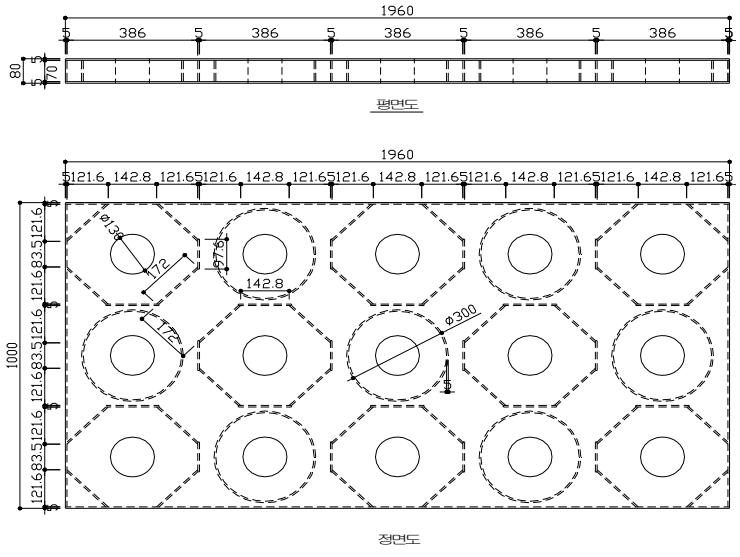
그림 1.20 Muti-240(2)

1.4.3 제3차 차음성능시험 시험체 및 시험 Case

제2차 차음성능시험에서 차음성능기준인 500Hz음역대에서 25dB, 1,000Hz음역대에서 30dB를 통과한 시험체에 대하여 두께를 줄여 풍하중 저감형 방음판의 최적화를 꾀하였으며, 기존 방음판 시험체에서는 목표 저주파 음역대(500Hz) 또는 고주파 음역대(1,000Hz)에 맞추어 설계를 진행하였으나, 제3차 차음성능시험에서는 하나의 시험체에서 저주파와 고주파 음역대를 동시에 차단할 수 있는 시험체를 제작/시험하였다.

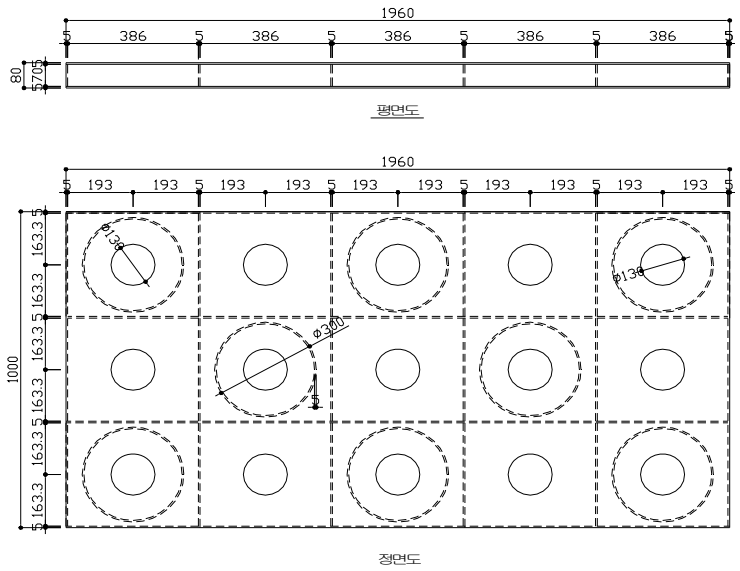
표 1.3 풍하중 저감형 방음판 시험체 3차 시험

시험체		설계인자	비고
앞	뒤		
Mix-15A-100-80_2/4_3/4		결합	저주파 & 고주파 음역대 동시차단
Mix-15A-130-80_4/4_3/4	Mix-15A-130-80_4/4_3/4	중첩	
Mix-15A-100-80_2/4_3/4		결합	
Muti-152		두께	240->152
15A-100-80-Slit		Slit	유지보수



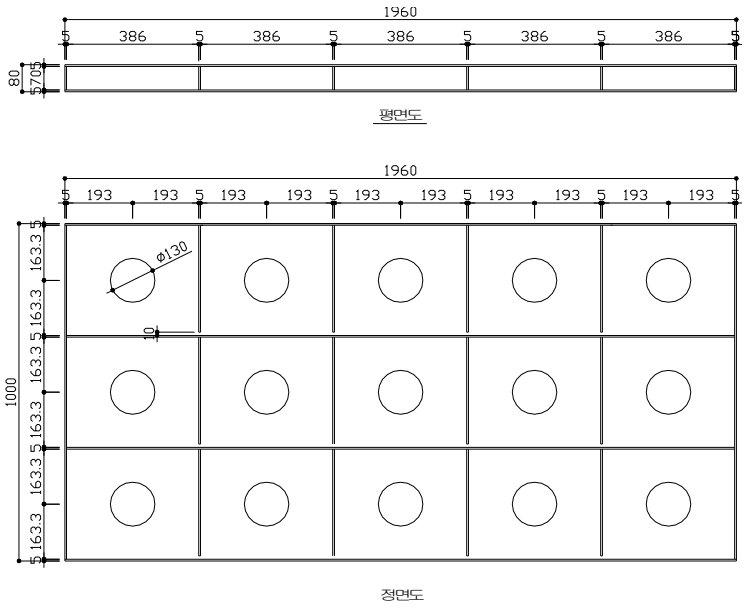
명칭	Mix-15A-100-80-2/4_3/4
규격	1,960x1,000x70
재질	아크릴(PMMA)
통기구 직경	100mm
통기구 개수	15EA
공명통 규격	386x326.7x60
공명통 분할	미 분할

그림 1.21 Mix-15A-80-2/4_3/4



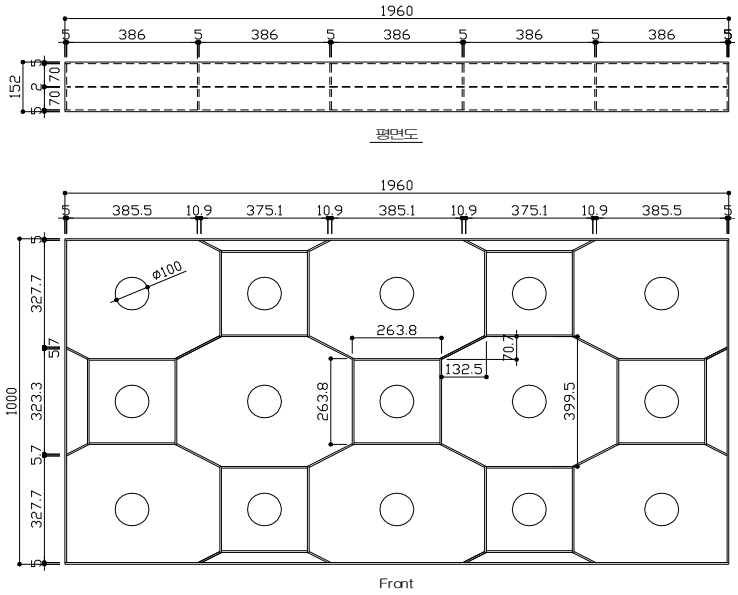
명칭	Mix-15A-100-80 -4/4_3/4
규격	1,960x1,000x70
재질	아크릴(PMMA)
통기구 직경	100mm
통기구 개수	15EA
공명통 규격	386x326.7x60
공명통 분할	미 분할

그림 1.22 Mix-15A-80-4/4_3/4



명칭	15A-100-80-Slit
규격	1,960x1,000x70
재질	아크릴(PMMA)
통기구 직경	100mm
통기구 개수	15EA
공명통 규격	386x326.7x60
공명통 분할	미 분할

그림 1.23 15A-100-80-Slit



명칭	Multi-152
규격	1,960x1,000x70
재질	아크릴(PMMA)
통기구 직경	100mm
통기구 개수	15EA
공명통 규격	-
공명통 분할	미 분할

그림 1.24 Muti-152

1.5 시험체 제작

방음판 설계의 기초 이론인 헬름헬쯔 공식을 사용하기 위해서는 공명통의 밀실이 가장 중요한 요건이다. 따라서, 방음판 시험체 제작 시 공명통의 밀실하게 만드는 방법에 대한 연구가 이루어졌다.

1.5.1 제작 공정

아크릴(PMMA)과 금속재의 접합방법이 상이하므로 각각의 경우에 대하여 제작방법을 마련하여야 하였다.

PMMA 초기에는 볼트를 이용하여 조립/분해가 가능하도록 만들고 접합부에 실리콘으로 처리하여 누음이 발생하지 않는 밀실로 제작하려 하였으나, 아크릴 조립 시 볼트를 사용하게 될 경우 아크릴 쪽 나사산이 쉽게 파손되어 제작의 어려움이 있었다. 따라서, 그림 1.25와 같이 아크릴 전용 접착제를 사용하여 제작을 하였다.

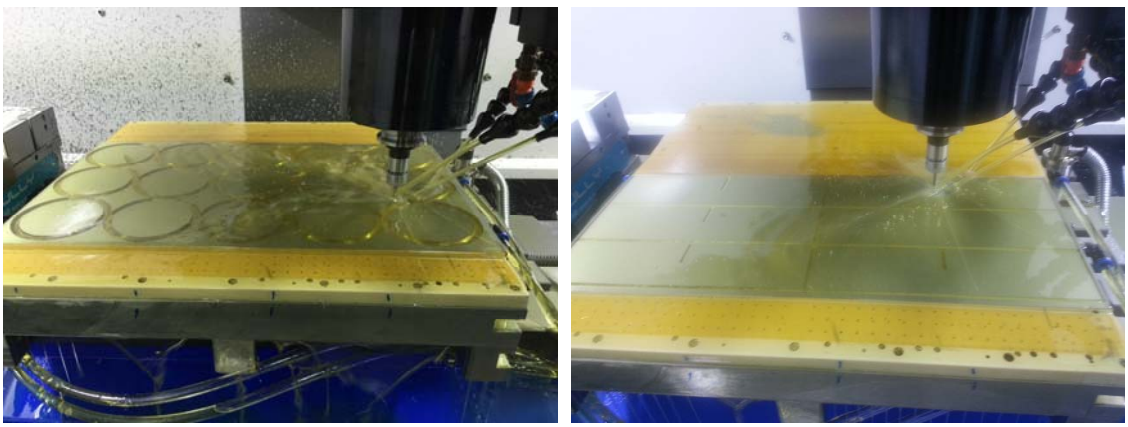


그림 1.25 아크릴(PMMA) 가공

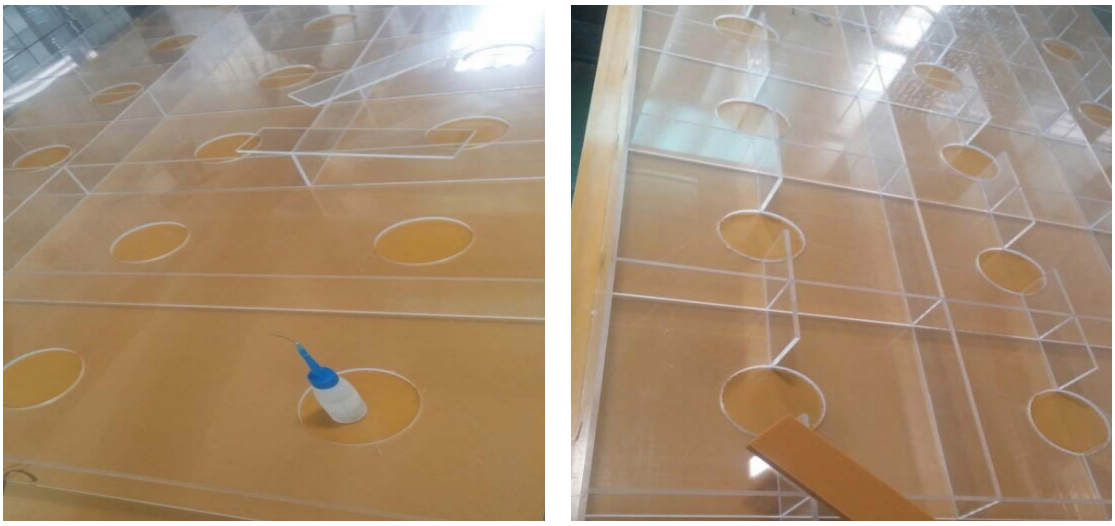


그림 1.26 아크릴(PMMA) 조립

아연도금 강판과 스테인레스 재질의 제작은 볼트를 사용하였으며, 용접을 통한 제작이 고려되었으나, 내부의 공간이 협소하여 용접이 불가능하여 볼트 조립으로 방향을 선회하였다. 금속 재질간의 밀실한 접합을 위하여 그림 1.27과 같이 스폰지 형태의 테이프와 실리콘을 사용하여 금속재 방음판을 제작하였다.

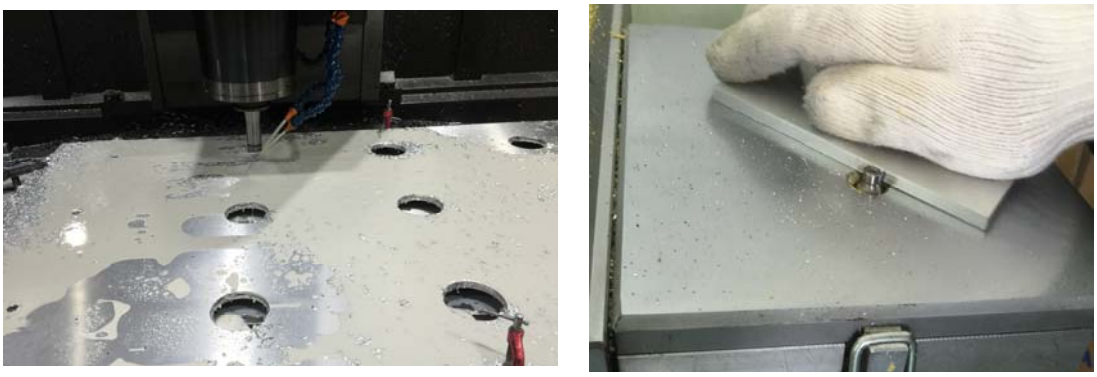


그림 1.27 금속재 가공

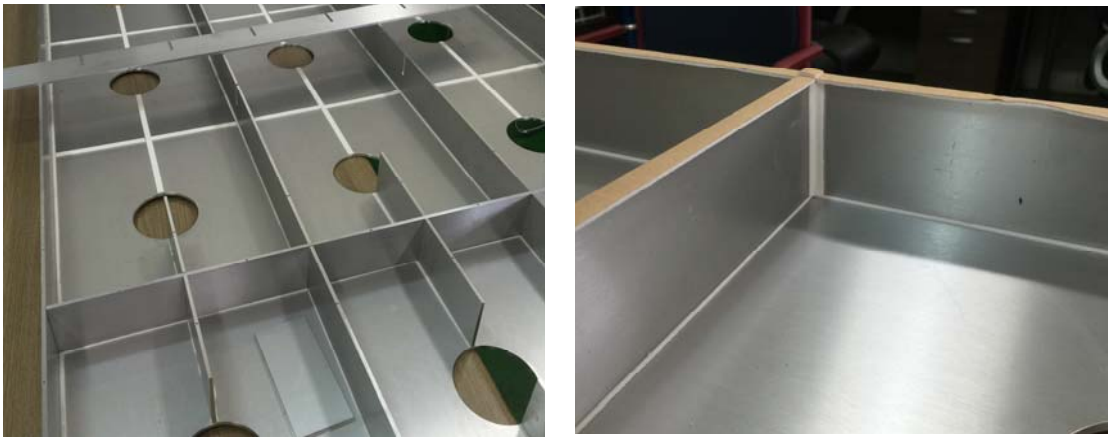


그림 1.28 금속재 조립

1.5.2 검수

제품의 검수는 육안 검사와 측정도구를 이용한 검사를 하였으며, 수량 및 밀실 여부를 확인하였다.



그림 1.29 제품 검수

1.5.3 시험체 사진대지

15A-100-80



15B-100-80



AL-15A-100-80



AL-15B-100-80



21A-100-80



21B-100-80



28A-150-110



28B-150-110



15A-100-45



15A-100-62



15A-100-150



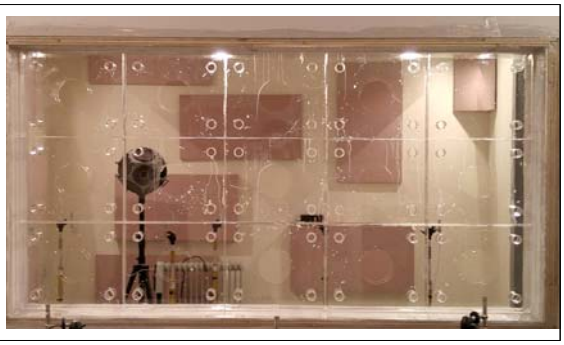
15A-100-80-2/4



15A-100-80-3/4



15A-130-70-Hi-A



15A-130-70-Hi-B



15A-130-70-Hi-C





그림 1.30 실험체 사진대지(1차년도)

1.6 시험 결과 및 분석

본 절에서는 1차~3차 차음성능시험 결과에 대하여 각각 항목별(공명효과 유/무, 두께, 재질, 통기구 직경 등) 결과를 정리하고 분석하고자 한다.

1.6.1 공명 효과

본 시험은 통기구가 없는 반사형 방음판, 통기구를 통해 발생하는 공명현상을 적용한 풍하중 저감형 방음판과 공명이 일어나지 않는 단순 통기구만 있을 경우를 비교함으로써, 본 풍하중 저감형 방음판의 개발에 있어서 통기구를 통한 공명현상이 차음성능에 유효한 영향이 있음을 확인하고자 하였다.

밑의 그림 1.22와 표 1.4에서 보여 지듯이, 통기구가 없는 반사형 방음판이 가장 유수한 효과를 보였으며, 공명효과를 제거한 시험체 대비하여 공명형이 우수함을 확인할 수 있었다.

이러한 결과를 볼 때, 통기구를 뚫어 바람이 통하게 함으로서 풍하중을 줄이고 차음효과는 기준을 만족하는 방음판 개발의 가능성을 확인할 수 있었다.

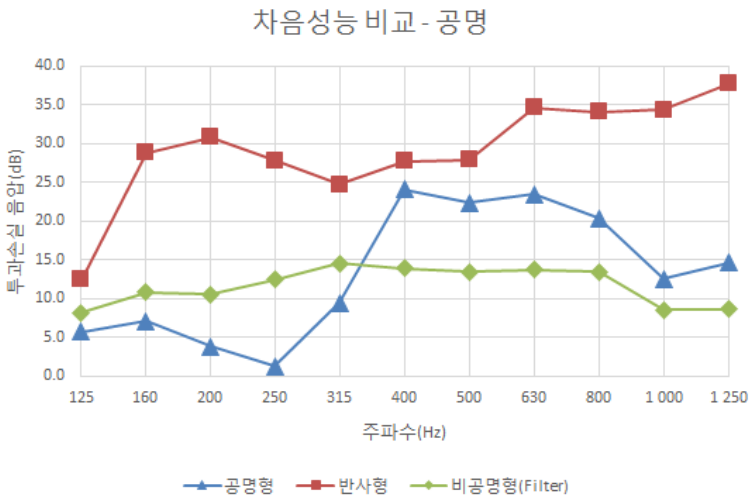


그림 1.31 공명효과

표 1.4 풍하중 저감형 방음판 시험 - 공명효과

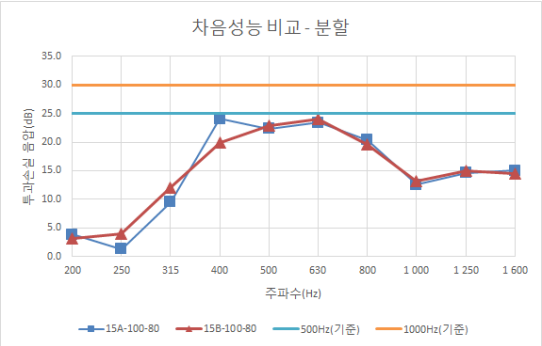
주파수(Hz)	투과손실 음압(dB)			비고
	비 공명형 (통기만 가능)	공명형	반사형	
100	11.5	9.3	15.9	
125	8.2	5.8	12.5	
160	10.9	7.1	28.8	
200	10.5	3.8	30.8	
250	12.5	1.3	27.8	
315	14.6	9.5	24.7	
400	13.9	24.1	27.7	
500	**13.4**	**22.4**	**27.9**	**기준:25dB**
630	13.7	23.4	34.6	
800	13.5	20.4	34.1	
1 000	**8.5**	**12.6**	**34.3**	**기준:30dB**
1 250	8.7	14.6	37.8	
1 600	12.5	15.0	40.5	
2 000	13.5	15.9	41.7	
2 500	11.8	14.3	42.6	
3 150	12.4	14.1	43.4	
4 000	12.7	14.7	41.8	
5 000	13.3	14.4	40.9	

상기의 표 1.4에서 보여 지듯이, 공명형과 반사형 대비 통기만 목적으로 만든 방음판 시험체에서는 차음이 거의 일어나지 않는 것을 확인할 수 있었다. 반사형 대비 공명형 시험체의 경우 저주파영역(500Hz)에서는 차음성능이 크게 떨어지지 않았지만, 고주파(1,000Hz) 에서는 차음성능이 급격히 낮아짐을 확인하였다. 이는 고주파에 대비하여 저주파의 회절성이 강해 공명현상이 더 강하게 일어나 차음성능이 높아지는 것으로 판단된다.

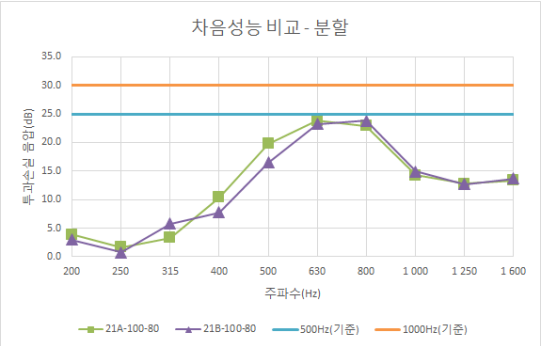
1.6.2 분할 효과

풍하중 저감형 방음판 개발에 사용된 공식에 따르면, 저주파(500Hz)를 목표로 한 방음판 시험체의 부피를 1/2로 줄일 경우 고주파(1,000Hz)의 음역대의 차단이 예상되었으나, 차음성능시험을 진행한 결과 통기구를 입구와 시험체를 동시에 수평으로 분할한 시험체는 차음성능이 서로 비슷한 양상이 보여 수평분할이 의미가 없음을 알 수 있었다.

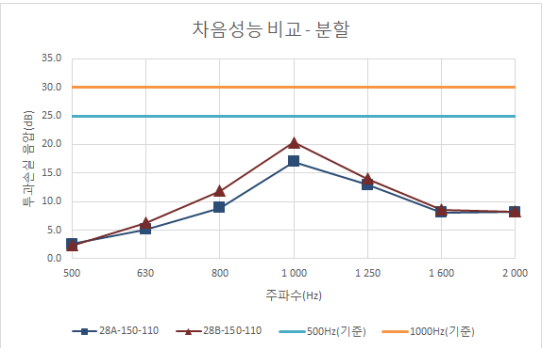
15A-100-80 & 15B-100-80



21A-100-80 & 21B-100-80



28A-150-80 & 28B-150-80



종합

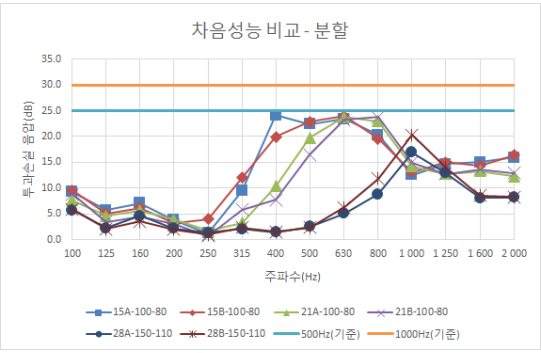


그림 1.32 공명통 분할

표 1.5 풍하중 저감형 방음판 시험 - 분할

주파수(Hz)	투과손실 음압(dB)						비고
	15A-100-80	15B-100-80	21A-100-80	21B-100-80	28A-150-110	28B-150-110	
100	9.3	9.6	7.6	8.8	5.8	5.9	
125	5.8	5.1	4.6	3.5	2.3	2.1	
160	7.1	6.2	5.7	4.5	4.7	3.6	
200	3.8	3.2	3.9	3.0	2.2	2.0	
250	1.3	4.0	1.7	0.7	1.4	1.0	
315	9.5	12.0	3.3	5.8	2.1	2.4	
400	24.1	19.9	10.4	7.7	1.5	1.6	
500	**22.4**	**22.8**	**19.7**	**16.5**	**2.6**	**2.4**	**기준:25dB**
630	23.4	24.0	23.8	23.2	5.1	6.3	
800	20.4	19.5	22.9	23.8	8.9	11.9	
1 000	**12.6**	**13.1**	**14.2**	**15.0**	**17.0**	**20.4**	**기준:30dB**
1 250	14.6	15.0	12.8	12.7	12.9	14.0	
1 600	15.0	14.4	13.3	13.7	8.1	8.6	
2 000	15.9	16.4	12.3	12.9	8.2	8.3	
2 500	14.3	14.5	13.7	13.5	7.5	7.5	
3 150	14.1	15.2	13.1	13.3	7.3	7.5	
4 000	14.7	15.0	13.3	13.6	6.9	7.5	
5 000	14.4	14.8	12.6	12.6	7.2	7.0	

1.6.3 통기구의 직경

통기구의 직경의 직경은 풍하중 저감에 직접적으로 영향을 미치는 인자로써, 직경이 크면 풍하중에는 유리하지만 방음판의 본래의 소음의 차음을 효과적으로 할 수 없기에 풍하중 저감과 소음 차단을 효과적으로 하기 위하여 통기구의 직경을 변화 시키며 그 추이를 연구하였다.

그림 1.27에서 보여 지듯이, 통기구의 직경이 커짐에 따라 차음 음역대가 저주파에서 고주파 쪽으로 이동하였다. 또한, 차음 성능이 지수함수와 같이 통기구의 직경이 커짐에 따라 저주파 음역대에서 급격이 투과손실 음압이 낮아짐을 확인하였다. 따라서, 통기구의 직경은 100mm~130mm으로 하는 것이 유리한 것으로 판단된다.

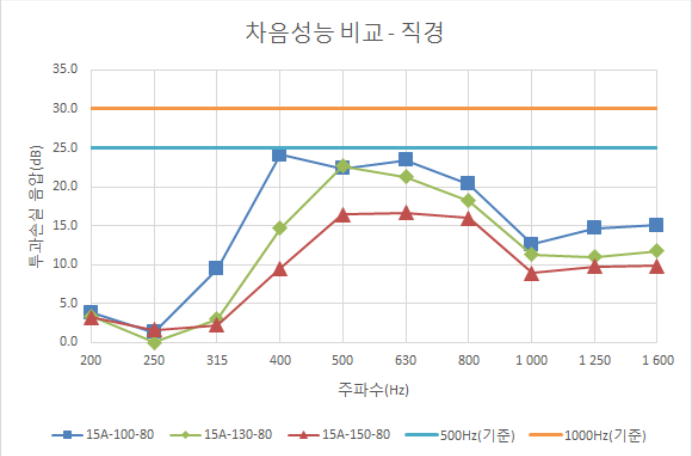


그림 1.33 통기구 직경

표 1.6 풍하중 저감형 방음판 시험 - 직경

주파수(Hz)	투과손실 음압(dB)			비고
	15A-100-80	15A-130-80	15A-150-80	
100	9.3	8.9	7.4	
125	5.8	3.6	3.9	
160	7.1	6.2	5.5	
200	3.8	3.4	3.2	
250	1.3	0.0	1.6	
315	9.5	3.0	2.2	
400	24.1	14.7	9.5	
500	**22.4**	**22.7**	**16.4**	**기준:25dB**
630	23.4	21.3	16.7	
800	20.4	18.2	16.0	
1 000	**12.6**	**11.3**	**8.9**	**기준:30dB**
1 250	14.6	11.0	9.7	
1 600	15.0	11.7	9.8	
2 000	15.9	12.5	10.2	
2 500	14.3	11.6	10.5	
3 150	14.1	11.7	10.1	
4 000	14.7	11.3	10.1	
5 000	14.4	11.6	9.9	

1.6.4 공명통의 부피

본 시험은 1.1.5.2에서 보여지는 바와 같이, 수평 분할하는 것은 차음성능에 영향 없다는 시험 결과를 토대로 공명통의 부피에 따른 차음성능을 파악하기 위하여 차음성능시험을 진행하였다.

15A-100-80 시험체의 공명통 부피를 기준으로 하여 50%, 75%의 부피를 갖는 시험체에 대하여 시험을 진행하였다. 공명통의 부피가 클수록 저주파 음역대의 소음차단에 유리하며, 공명통의 부피가 작을수록 고주파 음역대의 소음차단에 유리함을 확인할 수 있었다.

이러한 결과를 볼 때, 공명통의 부피가 작은 것과 큰 것을 겹쳐 방음판를 제작할 경우 저주파~고주파에 이르는 소음을 효과적으로 차단할 수 있을 것이라 판단된다.

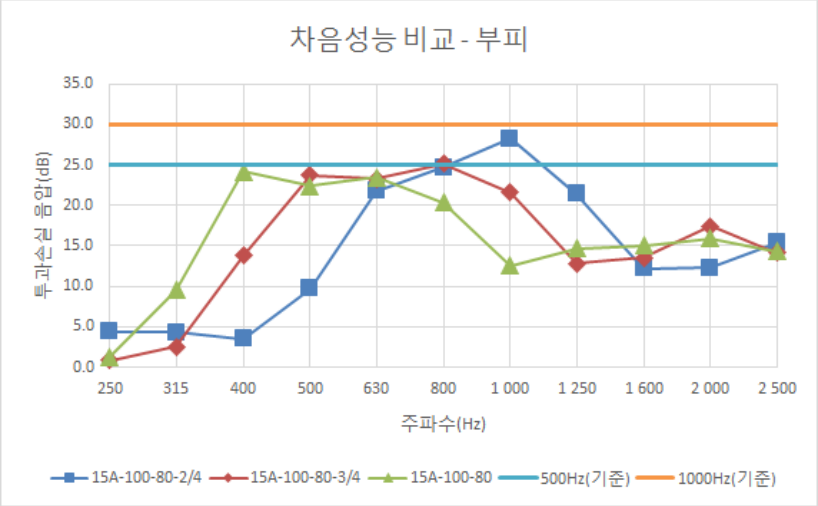


그림 1.34 공명통 부피

표 1.7 풍하중 저감형 방음판 시험 - 공명통의 부피

주파수(Hz)	투과손실 음압(dB)			비고
	15A-100-80-2/4	15A-100-80-3/4	15A-100-80	
100	10.3	9.9	9.3	
125	6.0	5.7	5.8	
160	8.5	8.3	7.1	
200	6.4	4.9	3.8	
250	4.4	0.8	1.3	
315	4.3	2.6	9.5	
400	3.5	13.8	24.1	
500	**9.7**	**23.8**	**22.4**	**기준:25dB**
630	21.8	23.3	23.4	
800	24.7	25.1	20.4	
1 000	**28.3**	**21.6**	**12.6**	**기준:30dB**
1 250	21.4	12.8	14.6	
1 600	12.2	13.5	15.0	
2 000	12.3	17.5	15.9	
2 500	15.4	14.2	14.3	
3 150	16.1	14.5	14.1	
4 000	14.0	15.0	14.7	
5 000	14.4	14.2	14.4	

1.6.5 방음판의 재질

이종 재질에 대하여 차음성능시험을 다음과 같이 아크릴(PMMA), 스테인레스 재질과 아연도금강판에 대하여 진행한 결과, 차음 성능은 스테인레스와 아크릴 재질에서 우수하였으며, 아연도금강판에서 차음성능이 다소 낮아지는 모습을 보였다. 이러한 차음성능시험 결과로 볼 때, 재질에 대한 영향보다는 형상에 의하여 차음성능이 결정되는 것으로 판단되어진다. 따라서, 풍하중 저감형 방음판의 차음성능시험은 제작이 용이하고 제품을 파악하기 쉬운 아크릴(PMMA) 재질을 사용하여 진행하였다.

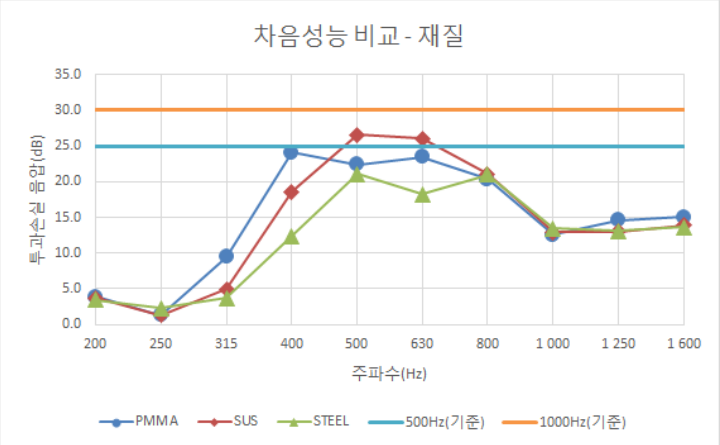


그림 1.35 공명통 재질

표 1.8 풍하중 저감형 방음판 시험 - 재질

주파수(Hz)	투과손실 음압(dB)			비고
	PMMA	SUS	STEEL	
100	9.3	9.6	9.5	
125	5.8	4.4	4.7	
160	7.1	7.1	6.3	
200	3.8	3.7	3.5	
250	1.3	1.3	2.3	
315	9.5	5.0	3.7	
400	24.1	18.6	12.4	
500	**22.4**	**26.6**	**21.1**	**기준:25dB**
630	23.4	26.0	18.2	
800	20.4	21.1	21.0	
1 000	**12.6**	**12.9**	**13.4**	**기준:30dB**
1 250	14.6	13.0	13.1	
1 600	15.0	13.9	13.7	
2 000	15.9	14.7	15.0	
2 500	14.3	13.8	13.6	
3 150	14.1	13.9	14.1	
4 000	14.7	14.4	14.5	
5 000	14.4	14.1	14.2	

1.6.6 방음판 시험체 중첩

과제 목표인 차음성능(500Hz:30dB, 1,000Hz:30dB)을 만족시키기 위하여 저주파 음역대의 소음을 차단하는 방음판 시험체와 고주파 음역대의 소음을 차단하는 방음판 시험체를 중첩시킴으로써, 저주파 음역대의 소음과 고주파 음역대의 소음을 효과적으로 차단하고자 하였다.

시험결과 중첩의 투과손실음압은 각각의 시험체의 차음성능의 합에 약 0.6배로 나타났다. 이러한 시험결과를 추후 풍하중 저감형 방음판에 적용함으로써, 좀 더 경제적이며 효율적인 방음판 개발이 가능할 것으로 판단된다.

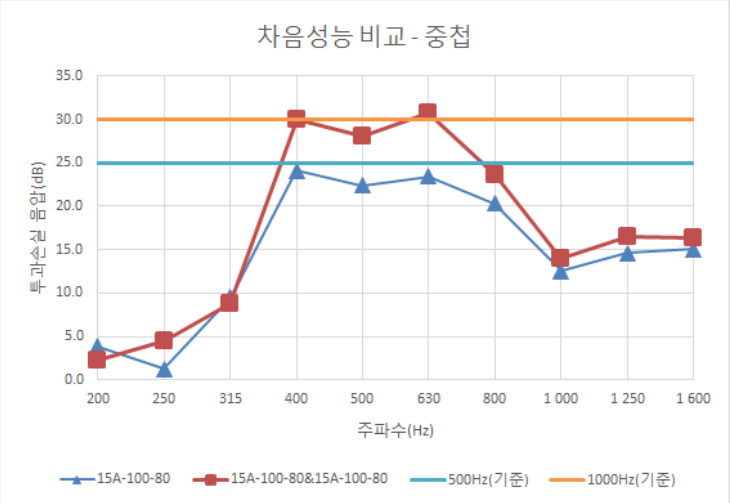


그림 1.36 시험체 중첩(15A-100-80&15A-100-80)

표 1.9 풍하중 저감형 방음판 시험 - 중첩

주파수(Hz)	투과손실 음압(dB)		Ratio (B/(A+A))	비고
	15A-100-80 (A)	Combi. (B)		
100	9.3	10.7	0.57	
125	5.8	5.4	0.46	
160	7.1	5.0	0.35	
200	3.8	2.3	0.30	
250	1.3	4.6	1.77	
315	9.5	8.7	0.46	
400	24.1	30.0	0.62	
500	**22.4**	**28.0**	**0.63**	**기준:25dB**
630	23.4	30.7	0.65	
800	20.4	23.6	0.58	
1 000	**12.6**	**13.9**	**0.55**	**기준:30dB**
1 250	14.6	16.4	0.56	
1 600	15.0	16.3	0.54	
2 000	15.9	18.7	0.59	
2 500	14.3	16.8	0.59	
3 150	14.1	16.6	0.59	
4 000	14.7	17.6	0.60	
5 000	14.4	17.4	0.60	

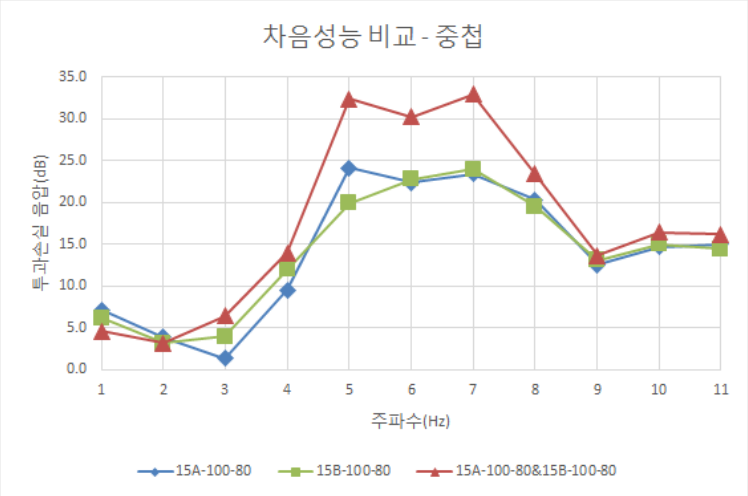


그림 1.37 시험체 중첩(15A-100-80&15B-100-80)

표 1.10 풍하중 저감형 방음판 시험 - 중첩

주파수(Hz)	투과손실 음압(dB)			Ratio (C/(A+B))	비고
	15A-100-80 (A)	15B-100-80 (B)	Combi. (C)		
100	9.3	9.6	10.5	0.56	
125	5.8	5.1	5.2	0.47	
160	7.1	6.2	4.6	0.34	
200	3.8	3.2	3.2	0.45	
250	1.3	4.0	6.4	1.22	
315	9.5	12.0	13.9	0.65	
400	24.1	19.9	32.4	0.74	
500	**22.4**	**22.8**	**30.3**	**0.67**	**기준:25dB**
630	23.4	24.0	33.0	0.70	
800	20.4	19.5	23.5	0.59	
1 000	**12.6**	**13.1**	**13.6**	**0.53**	**기준:30dB**
1 250	14.6	15.0	16.4	0.55	
1 600	15.0	14.4	16.2	0.55	
2 000	15.9	16.4	18.4	0.57	
2 500	14.3	14.5	16.8	0.58	
3 150	14.1	15.2	17.3	0.59	
4 000	14.7	15.0	18.0	0.61	
5 000	14.4	14.8	17.4	0.60	

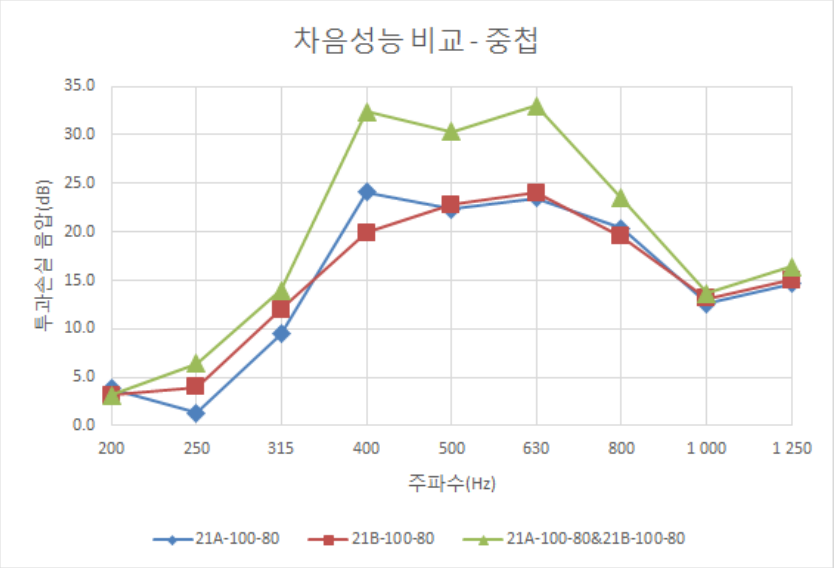


그림 1.38 시험체 중첩(21A-100-80&21B-100-80)

표 1.11 풍하중 저감형 방음판 시험 - 중첩

주파수(Hz)	투과손실 음압(dB)			Ratio (C/(A+B))	비고
	21A-100-80 (A)	21B-100-80 (B)	Combi. (C)		
100	7.6	8.8	9.4	0.57	
125	4.6	3.5	3.9	0.48	
160	5.7	4.5	4.3	0.43	
200	3.9	3.0	1.6	0.23	
250	1.7	0.7	1.8	0.74	
315	3.3	5.8	8.1	0.89	
400	10.4	7.7	10.7	0.59	
500	**19.7**	**16.5**	**26.6**	**0.73**	**기준:25dB**
630	23.8	23.2	29.9	0.64	
800	22.9	23.8	32.2	0.69	
1 000	**14.2**	**15.0**	**16.6**	**0.57**	**기준:30dB**
1 250	12.8	12.7	14.1	0.55	
1 600	13.3	13.7	14.2	0.53	
2 000	12.3	12.9	14.1	0.56	
2 500	13.7	13.5	16.5	0.61	
3 150	13.1	13.3	15.0	0.57	
4 000	13.3	13.6	15.1	0.56	
5 000	12.6	12.6	14.8	0.59	

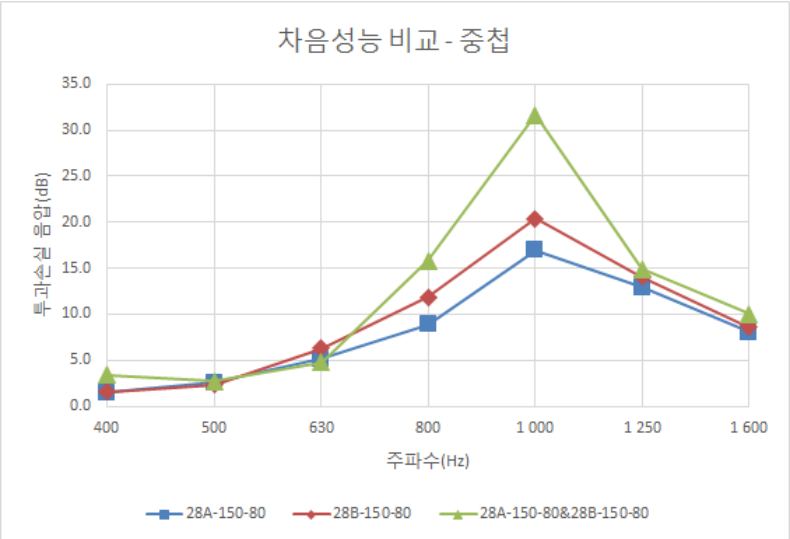


그림 1.39 시험체 중첩(21A-100-80&21B-100-80)

표 1.12 풍하중 저감형 방음판 시험 - 중첩

주파수(Hz)	투과손실 음압(dB)			Ratio (C/(A+B))	비고
	28A-150-80 (A)	28B-150-80 (B)	Combi. (C)		
100	5.8	5.9	6.3	0.54	
125	2.3	2.1	2.3	0.52	
160	4.7	3.6	3.9	0.48	
200	2.2	2.0	1.4	0.34	
250	1.4	1.0	0.0	0.00	
315	2.1	2.4	3.0	0.67	
400	1.5	1.6	3.4	1.13	
500	**2.6**	**2.4**	**2.7**	**0.56**	**기준:25dB**
630	5.1	6.3	4.8	0.42	
800	8.9	11.9	15.8	0.76	
1 000	**17.0**	**20.4**	**31.6**	**0.85**	**기준:30dB**
1 250	12.9	14.0	14.9	0.55	
1 600	8.1	8.6	10.0	0.60	
2 000	8.2	8.3	10.4	0.63	
2 500	7.5	7.5	8.5	0.57	
3 150	7.3	7.5	8.6	0.58	
4 000	6.9	7.5	9.0	0.63	
5 000	7.2	7.0	8.7	0.62	

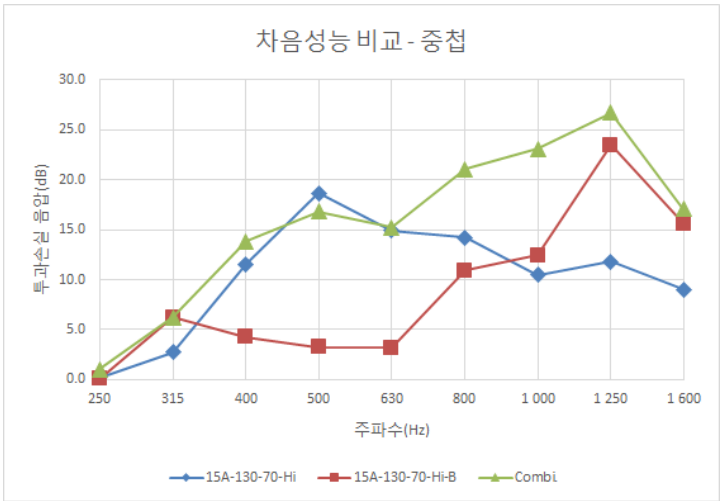


그림 1.40 시험체 중첩(15A-130-70-Hi&15A-130-70-Hi-B)

표 1.13 풍하중 저감형 방음판 시험 - 중첩

주파수 (Hz)	투과손실 음압(dB)			Ratio (C/(A+B))	비고
	15A-130-70-Hi (A)	15A-130-70-Hi-B (B)	Combi. (C)		
100	8.0	7.6	8.6	0.55	
125	3.4	3.1	3.8	0.58	
160	5.8	5.2	5.2	0.47	
200	3.0	2.8	2.7	0.46	
250	0.2	0.1	1.0	4.15	
315	2.7	6.2	6.2	0.69	
400	11.6	4.3	13.8	0.87	
500	**18.7**	**3.3**	**16.8**	**0.77**	**기준:25dB**
630	14.9	3.2	15.2	0.84	
800	14.2	10.9	21.1	0.84	
1 000	**10.5**	**12.5**	**23.1**	**1.01**	**기준:30dB**
1 250	11.8	23.5	26.7	0.76	
1 600	9.0	15.6	17.1	0.69	
2 000	7.4	11.0	14.3	0.77	
2 500	9.7	9.5	12.2	0.64	
3 150	10.3	10.7	13.3	0.63	
4 000	9.2	11.1	13.4	0.66	
5 000	9.9	10.7	13.3	0.64	

1.6.7 설계 이론식

1.2절에서 방음판 설계이론에 대하여 다루고 있다. 이 식으로부터 '15A-100-80' 방음판 시험체를 비롯한 각각의 설계인자 별 방음판 시험체를 제작 및 시험을 진행하였다.

차음성능이 시작되는 저주파 음역은 공식 $f_o = \frac{v}{2\pi}\sqrt{\frac{S}{VL_e}}$ 를 사용하여 구할 수 있다. 하지만, 고주파 음역은 $\sqrt{1+G}f_o$로 논문에서 정의하고 있는데 저주파 음역에서 고주파 음역이 매우 넓은 차음 영역대를 보이고 있어 이에 대한 검토가 필요 하였다.(자세한 내용은 1.2절 참조)

이에 따라, 고주파 음역을 새로 정의할 필요성이 발생하였다. 현재까지의 시험결과를 분석하여 다음과 같은 경험식을 만들었다.

$$f_{\max} = \sqrt{\sqrt{\frac{v^4 S}{VL_e m^2}}}$$

여기에서 v : 음속

S : 공명통 입구의 면적($S = \pi \times D \times t$)

D : 통기구의 직경

t : 방음판의 두께

V : 공명통의 부피(통기구의 부피 제외)

L_e : 공명통의 유효목길($L_e \simeq 0.85 r_e$)

상기의 공식을 사용하여 차음이 시작되는 저주파 음역(f_0)에서 차음성능이 감소한 후 일정한 차음성능을 보이는 고주파 음역($f_{\max}$)까지로 정의하였으며, 이 공식을 이용하여 표 1.15에 결과를 정리하였다.

표 1.14 방음판 차음성능 음역대

시험체	논문(Hz)		수정식(Hz)		차음시험(Hz)	
	저주파	고주파	저주파	고주파	저주파	고주파
15A-100-45	405.82	6516.05	405.82	931.10	315	1000
15A-100-62	396.02	6358.65	396.02	919.79	315	1000
15A-100-80	386.90	6212.13	386.90	909.13	315	1000
15A-100-150	348.25	5591.58	348.25	862.53	315	1000
15A-100-80-3/4	446.81	5490.96	446.81	976.99	400	1250
15A-100-80-2/4	551.50	4638.11	551.50	1085.43	500	1600
15A-130-80	404.68	3844.76	404.68	929.79	400	1000
15A-150-80	416.89	2974.99	416.89	943.71	400	1000
21A-100-80	465.30	5309.01	465.30	997.00	400	1000
28A-150-110	633.96	2227.82	633.96	1163.75	630	1600

상기의 표 1.15의 결과와 차음 음역대를 정의한 경험식을 사용하여 다음과 같이 방음판 시험체를 제작하였다.

표 1.15 차음 음역대 설계 검증

구 분	15A-130-70-Hi-A	15A-130-70-Hi-B	비 고
규 격	386mm x 326.7	ϕ260mm	
두 께	60mm	60mm	
통기구 직경	ϕ30mm[1] & ϕ130mm	ϕ30mm & ϕ130mm	
예상 차음영역 (주 공명통)[2]	460Hz~890Hz	740Hz~1290Hz	
예상 차음영역 (보조 공명통)[3]	-	980Hz~1290Hz	

1) '15A-130-70-Hi-B'의 보조 공명통의 통기구로 바람이 통할 수 있도록 제작
2) 공명이 일어나는 주요부
3) '15A-130-70-Hi-B'는 고주파 영역의 소음을 차단하기 위하여 제작하였으며, 고주파 음역대의 차음성능을 높이기 위해 보조 공명통을 제작

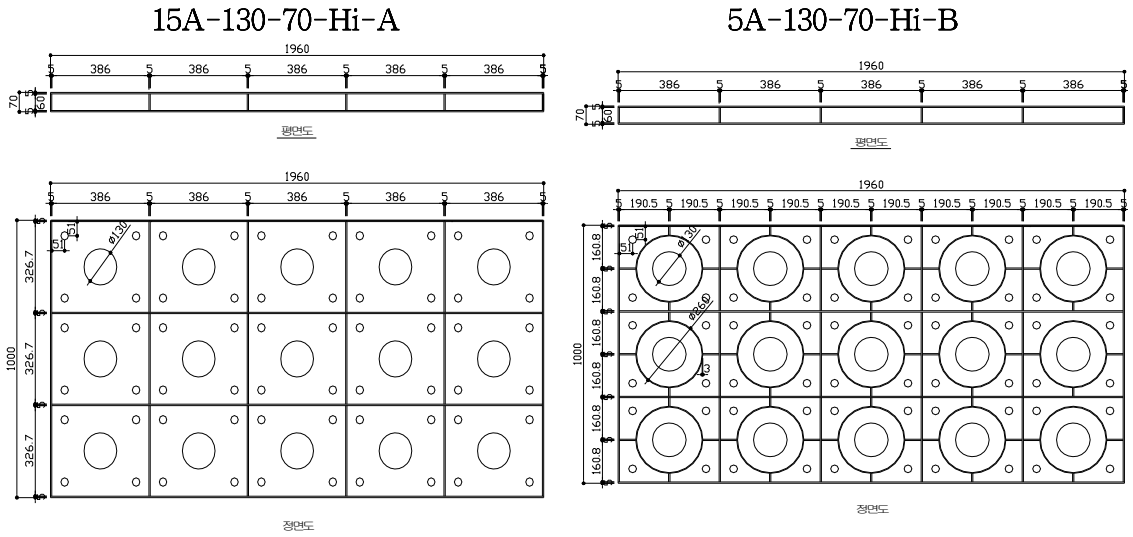


그림 1.41 차음 음역대 설계 검증

아래의 표 1.17과 그림 1.35에 정리한 바와 같이 차음성능 결과는 1/3옥타브 밴드로 결과가 출력되어 상세한 Hz별 차음 음역대를 확인할 수 없었으나, 차음 음역대의 설계공식은 저주파(0Hz~1000Hz)사이의 차음 음역대에서는 매우 유사한 결과를 보임을 확인할 수 있었다. 하지만, 고주파 음역대(1000Hz이상)의 설계에서는 저주파 음역대 보다는 차이가 발생함을 확인하였다. 따라서, 추후 연구에서 고주파 음역대의 차음영역의 보다 정확한 설계를 위해 고주파 음역을 결정하는 계수에 대한 연구를 진행할 예정이다.

표 1.16 설계 검증

주파수(Hz)	투과손실 음압(dB)		비고
	15A-130-70-Hi-A	15A-130-70-Hi-B	
100	8.0	7.7	
125	3.4	2.8	
160	5.8	5.5	
200	3.0	2.8	
250	0.2	0.3	
315	2.7	2.0	
400	**11.6**	7.7	
500	**18.7**	6.0	
630	**14.9**	3.9	
800	**14.2**	**12.1**	
1 000	**10.5**	**13.2**	
1 250	11.8	**18.5**	
1 600	9.0	**15.6**	
2 000	7.4	**11.0**	
2 500	9.7	9.5	
3 150	10.3	10.6	
4 000	9.2	11.3	
5 000	9.9	10.8	

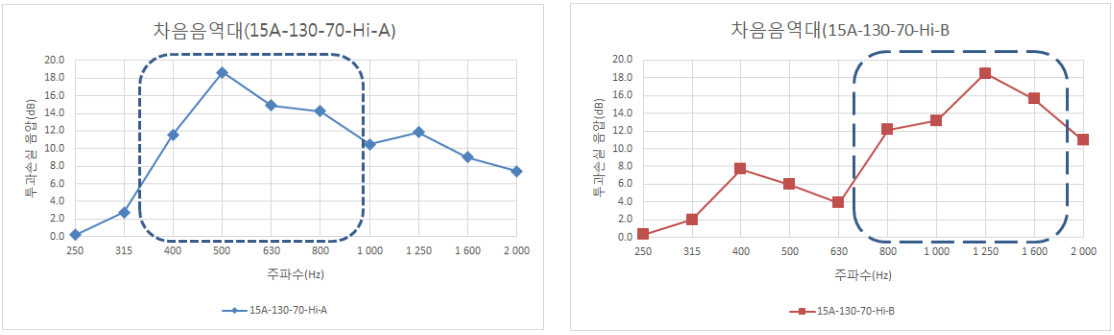


그림 1.42 설계 검증

1.6.8 결합(Blending)

대부분의 차음성능시험은 동일한 구조의 방음판을 대상으로 하였다. 이를 통하여 설계인자가 차음성능에 작용하는 영향을 연구하였으나, 본 절에서는 특정주파수 음역대의 차음성능을 발휘하는 방음판이 아닌 저주파 음역대에서 고주파 음역대를 아울러 소음차단이 가능한 방음판을 개발하고자 시험을 진행하였다.

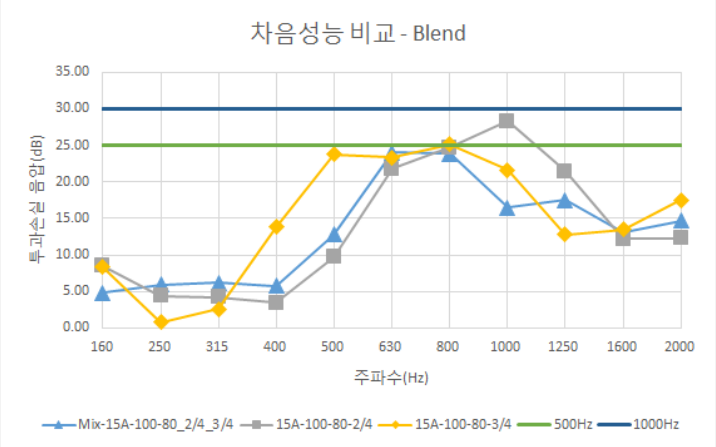


그림 1.43 시험체 결합(15A-100-80-2/4 & 15A-100-80-3/4)

표 1.17 시험체 결합

주파수(Hz)	투과손실 음압(dB)			비고
	15A-100-80-2/4	15A-100-80-3/4	Blend	
100	10.3	9.9	9.20	
125	6.0	5.7	8.10	
160	8.5	8.3	4.80	
200	6.4	4.9	3.70	
250	4.4	0.8	5.90	
315	4.3	2.6	6.20	
400	3.5	13.8	5.80	
500	**9.7**	**23.8**	**12.80**	**기준:25dB**
630	21.8	23.3	24.00	
800	24.7	25.1	23.80	
1 000	**28.3**	**21.6**	**16.50**	**기준:30dB**
1 250	21.4	12.8	17.50	
1 600	12.2	13.5	13.10	
2 000	12.3	17.5	14.70	
2 500	15.4	14.2	15.40	
3 150	16.1	14.5	15.80	
4 000	14.0	15.0	15.00	
5 000	14.4	14.2	15.10	

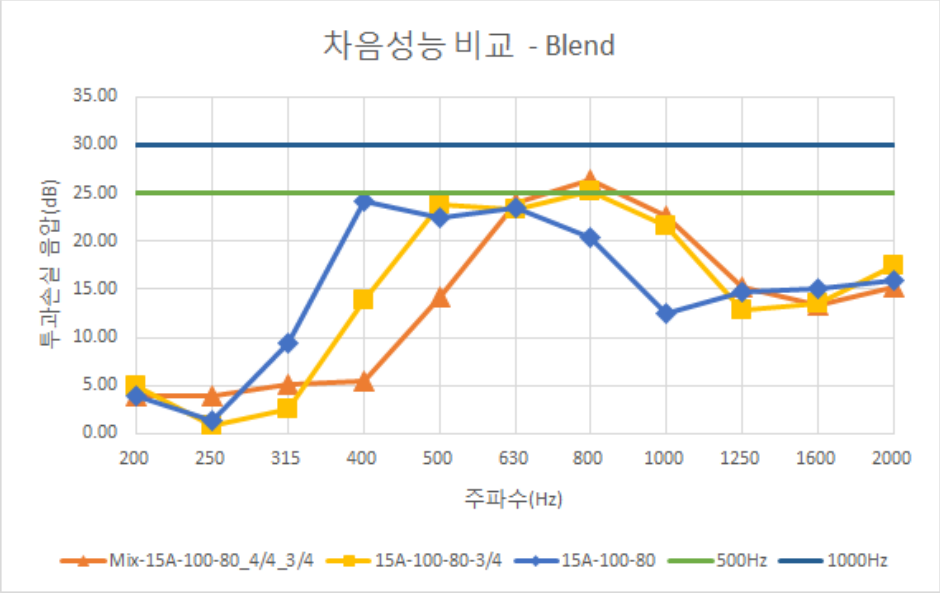


그림 1.44 시험체 결합(15A-100-80-3/4 & 15A-100-80)

표 1.18 시험체 결합

주파수(Hz)	투과손실 음압(dB)			비고
	15A-100-80	15A-100-80-3/4	Blend	
100	9.3	9.9	9.20	
125	5.8	5.7	8.10	
160	7.1	8.3	4.80	
200	3.8	4.9	3.70	
250	1.3	0.8	5.90	
315	9.5	2.6	6.20	
400	24.1	13.8	5.80	
500	**22.4**	**23.8**	**12.80**	**기준:25dB**
630	23.4	23.3	24.00	
800	20.4	25.1	23.80	
1 000	**12.6**	**21.6**	**16.50**	**기준:30dB**
1 250	14.6	12.8	17.50	
1 600	15.0	13.5	13.10	
2 000	15.9	17.5	14.70	
2 500	14.3	14.2	15.40	
3 150	14.1	14.5	15.80	
4 000	14.7	15.0	15.00	
5 000	14.4	14.2	15.10	

처음 예상은 차음성능은 다소 감소하더라도 저주파 소음과 고주파 소음을 동시에 차단하는 것이었다. 하지만, 상기의 표와 그림에서 정리된 바와 같이 ‘ 15A-100-80-3/4’의 차음 음역대 폭과 차음성능을 비교해 볼 때 오히려 차음 음역대의 폭이 좁아졌으며, 차음성능은 낮아져 시험체에 성능이 다른 방음판을 결합하는 것은 지양해야 할 것으로 판단되어 진다.

1.6.9 복합(Complex)

공명통의 부피가 클수록 저주파 음역대의 소음차단에 효과적이며, 작아질수록 고주파 음역대의 소음차단에 효과적이라는 것은 시험을 통해 알 수 있었다.

이러한 성능을 좀 더 효율적으로 높이기 위하여 음파가 지나가는 공명통의 부피를 연속적으로 변화시켜 그 성능을 확인하였다.

밑의 그림 1.45 및 표 1.19에서 보여 지듯이, 500Hz에서 31.4dB, 1,000Hz일 때 32.2dB로 매우 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있었다.

Multi-240은 두께가 240mm에 이르는 방음판으로서 매우 두꺼운 측에 속하는 만큼 두께를 줄이면서 만족하는 차음성능을 발휘하는 최적의 두께를 찾는 연구가 필요하다고 판단된다.

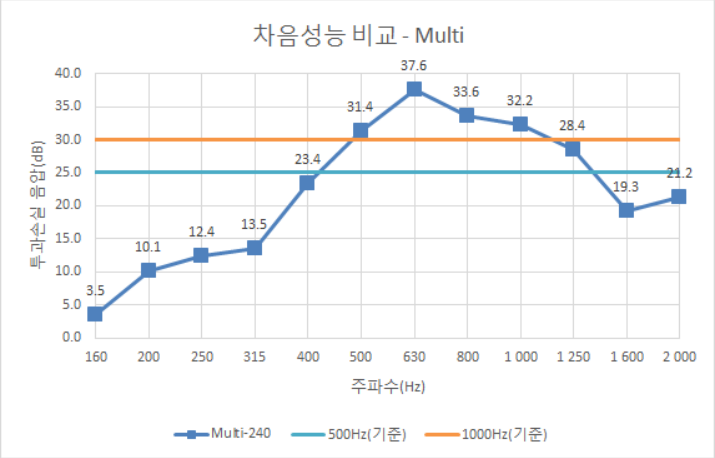


그림 1.48 복합(Complex)

표 1.19 풍하중 저감형 방음판 시험 - 복합(Complex)

주파수(Hz)	투과손실 음압(dB)		비고
	Complex-150	Complex-240	
100	8.8	8.4	
125	8.4	0.6	
160	2.9	3.5	
200	3.8	10.1	
250	9.6	12.4	
315	18	13.5	
400	16.5	23.4	
500	**24**	**31.4**	**기준:25dB**
630	31.3	37.6	
800	30.1	33.6	
1 000	**27.1**	**32.2**	**기준:30dB**
1 250	22.7	28.4	
1 600	17.5	19.3	
2 000	20	21.2	
2 500	17.3	18.9	
3 150	18.2	22.2	
4 000	17.8	21.1	
5 000	17.2	19.7	

2.방음판 풍하중 저감

2.1 개요

본 과제목표인 풍하중 저감 30%를 달성하기 위하여 우선적으로 통기의 직경(개구율), 동일한 개구율에 다수의 통기구 및 방음판 두께에 따른 풍하중의 경향을 분석하기 위하여 전산해석(유동해석)을 수행하였다. 전산해석 결과를 토대로 부산대 풍동시험동에서 풍동시험을 계획/진행하였다.

2.2 제1차 유동해석

통풍형 방음판의 개구율에 따른 풍저항 감소율을 개략적으로 산출하여 차음성능시험에 반영하며, 각각의 풍속 작용 시 가장 높은 힘을 받는 구역 또는 Max. 값을 분석하여 추후 방음판 기초 설계시 방영하기 위한 설계 요소를 도출하는 데 그 목적이 있다.

2.2.1 유동해석 조건 및 검토방법

통풍공 풍저항 검토를 위한 방음판의 크기는 “W × H × L = 1960 × 1000 × 80”로 3D-Modeling을 구현하였으며, 이는 방음판 시험 규격을 참조로 하였다.

통풍공의 규격은 지름 100mm ~ 300mm까지 적용을 하였으며, 각 통풍공의 설치수량은 “”W × H = 5EA × 3EA“로서 총 15개의 통풍공을 적용하였으며, 검토 풍속은 “10m/s, 20m/s, 30m/s, 40m/s, 50m/s”를 기준으로 검토 및 분석을 진행하였다.

2.2.2 유동해석 결과 및 소결

방음판 시험체(1960mm x 1000mm)에 대하여 통기구의 직경별 유동해석을 진행한 결과 통기구의 직경이 ϕ160mm일 때 풍하중 감소율이 30%를 넘는 것으로 산출되었다. 하지만, 통기구의 직경이 ϕ130mm이상이 될 경우 차음성능을 만족하기 어려운 문제점이 발생하였다. 따라서, 실제 풍동시험을 진행하여 해석의 타당성을 검증할 필요가 발생하였다.

표 2.1 방음판 유동해석 정리

구분	풍속	최대 작용 압력	평균작용압력	풍저항 감소율	통풍공 지름	개구율
Part#01	10m/s	73.6 Pa	30.3 Pa	32.4%	160 mm	15.4%
Part#02	20m/s	268.6 Pa	120.7 Pa	33.0%		
Part#03	30m/s	587.4 Pa	271.6 Pa	33.1%		
Part#04	40m/s	1,036.0 Pa	482.8 Pa	33.2%		
Part#05	50m/s	1,611.2 Pa	754.4 Pa	33.2%		

2.3 풍동시험(부산대)

2.2절에서 정의한 바와 같이 풍동시험을 통하여 유동해석의 검증이 필요하여 다음과 같이 풍동시험을 진행하였다.

2.3.1 시험개요

본 시험은 유동해석을 통하여 산출된 방음판 대비 통기구의 직경에 따른 개구율을 토대로 방음판에 작용하는 풍하중의 비교/검토/검증을 하고자 하였다.

2.3.2 제1차 풍동시험

제1차 풍동시험은 풍동터널이 아닌 그림 2.1에서 보여 지듯이 풍동터널 외부의 Fan 앞에 지그를 설치하고 시험을 수행하였다. 풍하중 저감형 방음판의 크기는 풍동 Fan의 크기를 고려하여 1,187mm x 1,000mm의 크기로 제작을 하였으며, 풍속은 풍동 시험동의 최대풍속인 11.5m/s로 시험을 진행하였다.



그림 2.1 풍동시험 위치 전경

2.3.2.1 측정 장비 및 위치

LoadCell의 형상과 측정위치는 밑의 그림 2.2와 같다.(자세한 제원은 부록 1. 참조)

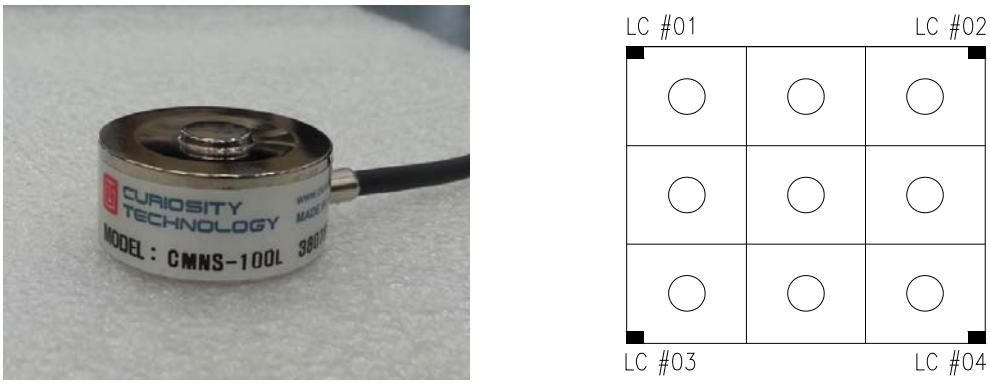


그림 2.2 LoadCell (Max.Capacity:500kgf)

2.3.2.2 풍동시험 시험체 및 시험 Case 선정

풍산대에서 진행된 풍동시험은 표 2.1과 그림 2.1에 정의한 바와 같이 총 9Case로 직경의 변화에 따른 풍하중 저감효과와 중첩/두께에 따른 풍하중 저감효과를 알고자 시험 Case를 선정하였다.

표 2.2 부산대 풍동시험 Case

구분	직경(mm)	시험체 두께(mm)		통기구수 (ea)	개구율	비고
		앞	뒤			
1	100	80		9	6.0%	
2	130	80		9	10.4%	
3	160	40		9	15.4%	
4		60		9	15.4%	
5		80		9	15.4%	
6		40	60	9	15.4%	
7		40	80	9	15.4%	
8		60	80	9	15.4%	
9		40+60	80	9	15.4%	

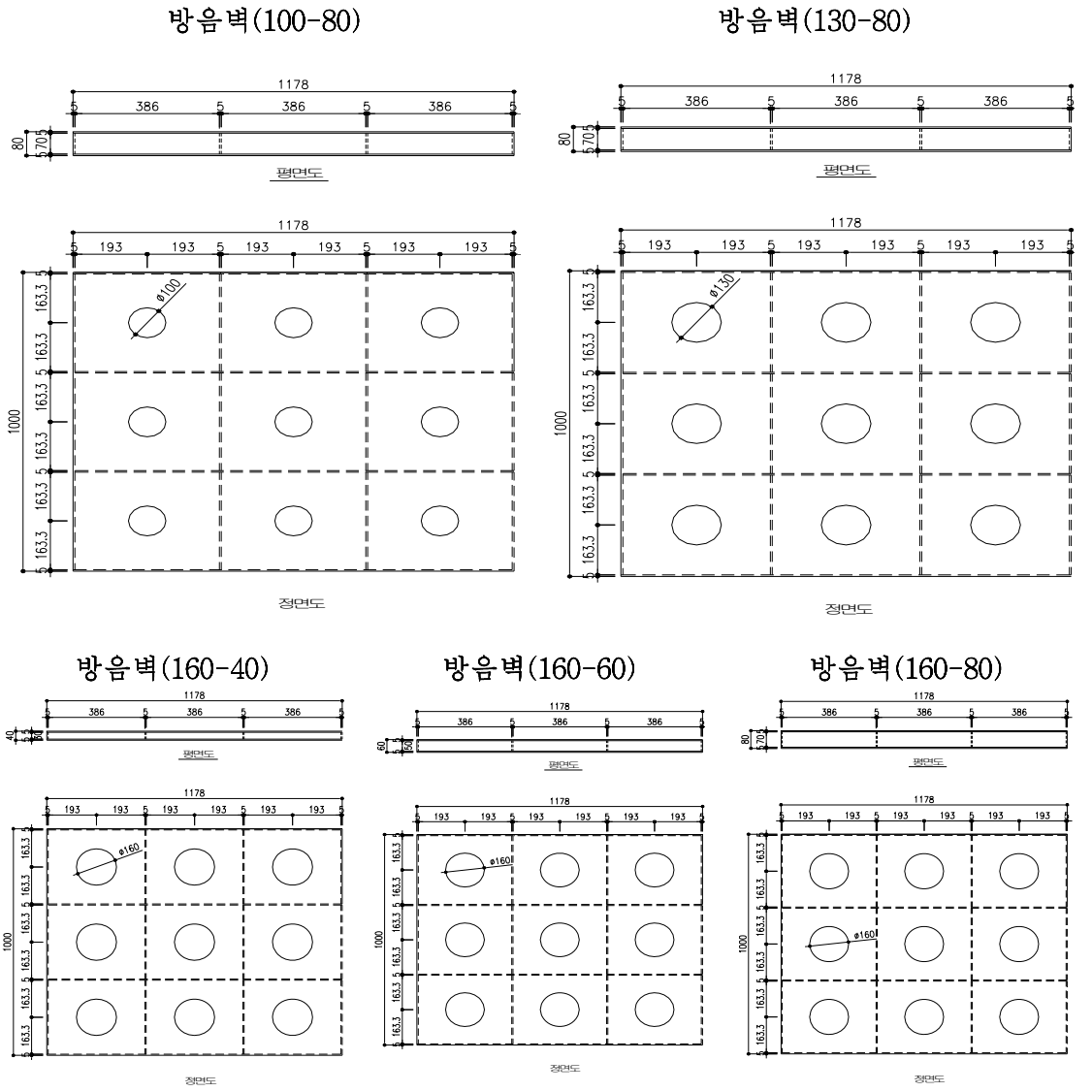


그림 2.3 제1차 풍동시험용 시험체

2.3.2.3 소결 및 풍동시험 개선안

바람에 의한 풍하중을 계측하기 위하여 시험 진행하였으나, 예상과는 달리 바람이 약하게 불었으며, Fan에 근접하게 방음판을 위치시켜 Fan의 외곽부에는 강한 바람이 불며 중앙쪽으로 들어갈수록 바람이 잦아지는 현상이 일어났다. 따라서, 방음판에 균일한 하중이 발생하지 않았으며, 좌우의 풍압 또한 일정하지 않았다.

LoadCell의 계측 최대하중이 500kgf로 제1차 풍동시험의 약한 풍속으로는 방음판에 작용하는 하중을 정확히 판단하는데 있어 어려움이 있었다.

방음판의 하부와 지그와 접촉하는 부분에 마찰력으로 인한 정확한 측정이 불가능하여 제1차 풍동시험을 개선한 제2차 풍동시험을 계획하였다.

2.3.3 제2차 풍동시험

제1차 풍동시험에서 문제점을 개선하여 풍동터널의 외부에서 진행하였던 기존 시험 대신에 풍동터널안에서 풍동시험을 진행함으로서, 방음판의 전체에 균등한 풍하중이 작용하도록 풍동시험을 진행하였다.

방음판 하부와 지그와의 접촉부에 발생하는 마찰력을 줄이고자, 원형봉을 접촉부에 넣어 면접촉인 기존의 상태를 선 접촉이 일어나도록 개선하였으며 원형봉에 윤활유를 도포하여 최대한 마찰이 일어나지 않도록 개선하였다.

풍동터널에서 진행하는 만큼 충분한 풍압이 발생하므로 LoadCell에 충분한 압력이 작용할 것으로 예상되어 제1차 풍동시험에서 사용한 LoadCell을 사용하여 시험을 진행하였다.

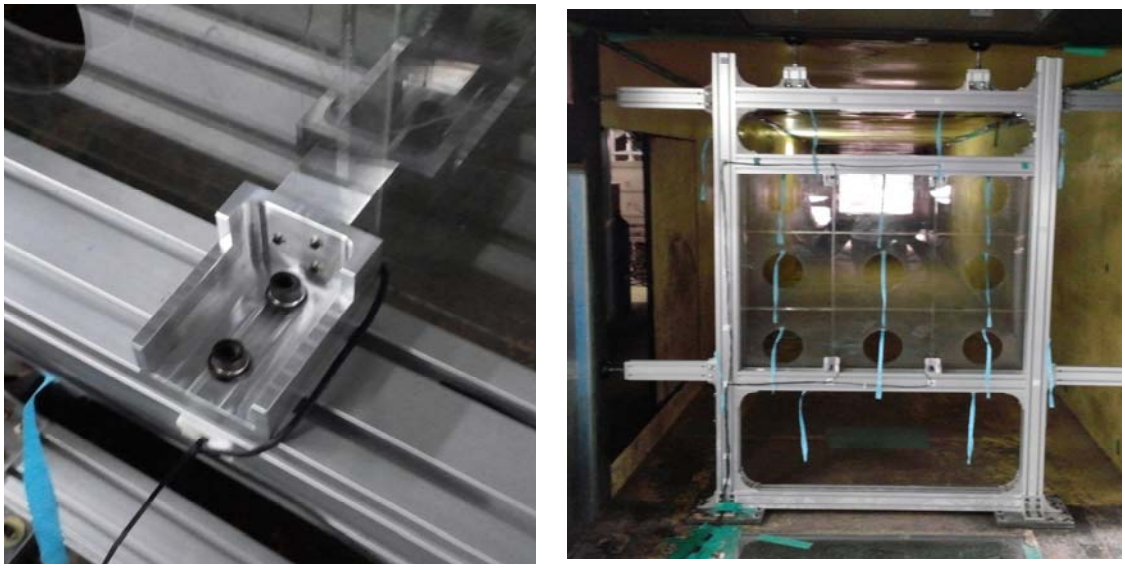


그림 2.4 풍동터널 풍동시험

2.3.3.1 측정 장비 및 위치

제1차 풍동시험의 조건과 동일.

2.3.3.2 풍동시험 시험체 및 시험 Case 선정

제1차 풍동시험의 조건과 동일.

2.3.2.3 소결 및 풍동시험 개선안

풍동터널에서 작용하는 풍압이 예상과는 달리 작게 발생하였으며, 원형봉을 사용하여 하부

에서의 마찰력을 줄이고자 하였으나, 무시할 수 없을 정도의 마찰력이 작용하는 것으로 판단되었다. 따라서, 하부에 작용하는 마찰을 제거하고, LoadCell의 최대 계측하중이 500kgf보다 작은 LoadCell을 사용하여 측정해야 함을 확인할 수 있었다.

2.3.4 제3차 풍동시험

제1,2차 풍동시험에서 발생한 하부 마찰력과 LoadCell 선정의 문제를 개선하여 Wire를 사용하여 방음판을 약 10mm정도 하부에서 띄우고 LoadCell를 기존의 500kgf에서 20kgf로 교체하여 시험을 진행하였다.



그림 2.5 풍동터널 풍동시험

2.3.4.1 측정 장비 및 위치

LoadCell의 측정 개수를 4곳에서 3곳으로 변경하였으며, 변경한 위치는 다음과 같다.



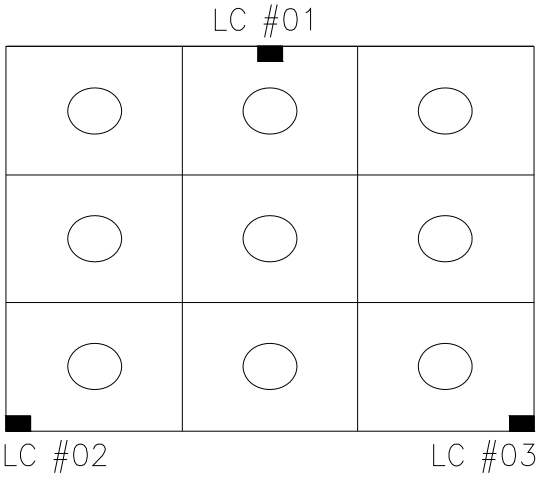


그림 2.6 LoadCell (Max.Capacity:20kgf)

2.3.4.2 풍동시험 시험체 및 시험 Case 선정

제1,2차 풍동시험은 한 개의 공명통에 한 개의 통기구로 구성하였으나, 한 개의 공명통에 다수의 통기구를 갖을 경우의 풍하중의 변화를 확인하기 위해 공명통 한 개에 다수의 통기구를 갖는 시험체를 추가하였다. 또한 통기구의 직경간의 간격을 좁혀 통기구의 직경에 따른 풍하중의 감소효과를 세세히 파악하고자 다음과 같이 시험체와 시험Case를 구성하였다.

표 2.3 부산대 풍동시험 Case

구분	직경(mm)	시험체 두께(mm)		통기구수 (ea)	개구율	비고
		앞	뒤			
1	100	80		9	6.0%	
2	120	80		9	8.6%	
3	130	80		9	10.1%	
4	140	80		9	11.8%	
5	D113[1)]	80		18	15.4%	
6	D80[2)]	80		36	15.4%	
7	160	40		9	15.4%	
8		60		9	15.4%	
9		80		9	15.4%	
10		40	60	9	15.4%	
11		40	80	9	15.4%	
12		60	80	9	15.4%	
13		40 + 60	80	9	15.4%	

1) 공명통 1EA 당 통기구 2EA

2) 공명통 1EA 당 통기구 4EA

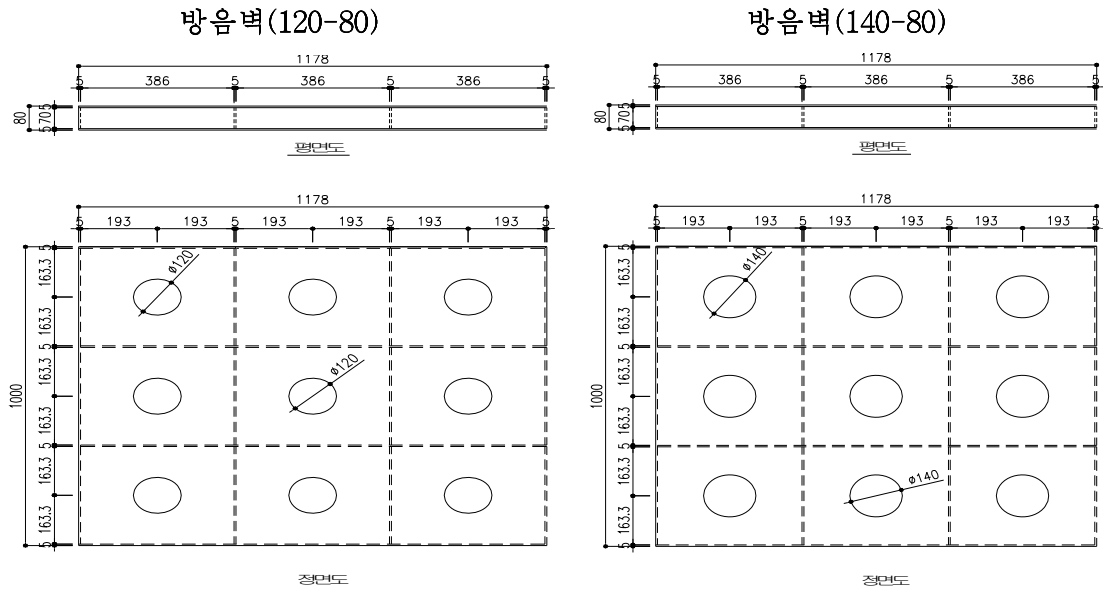


그림 2.7 제3차 풍동시험용 시험체(1)

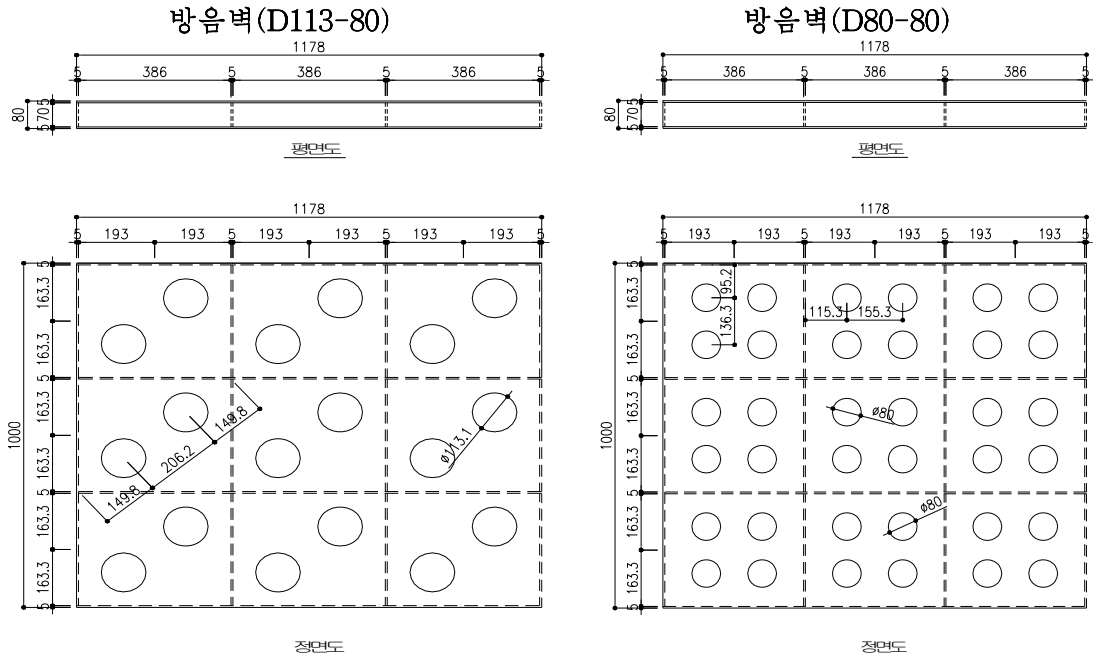


그림 2.8 제3차 풍동시험용 시험체(2)

2.3.4.3 소결 및 풍동시험 개선안

표 2.3에 제3차 부산대 풍동시험의 결과를 정리하였다. 풍동시험 결과 통기구의 직경이 증가할수록 풍하중이 저감되는 경향이 보였으며, 하나의 공명통에 다수의 통기구를 뚫는 것은 풍하중이 증가하는 경향을 보였다. 전면부와 후면부의 통기구 사이에 Filter를 사용하지 않을 경우 풍절음이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서, 공명통으로 부터의 이물질 및 풍절음에 대한 대책으로써, 음파는 통과하면서 이물질 및 풍절음을 줄일 수 있는 Filter개발이 필요하다.

부산대에서 실시한 풍동시험에서 풍저감 30%를 확인할 수 없었다. 이에 따라, 풍동시험 결과에 대한 자문을 얻은 결과 이는 풍동터널에 비하여 방음판의 크기가 매우 컸으며, 실제 방음판은 수평방향과 하부로는 바람이 통과하지 않는 구조인데 부산대 풍동시험에는 좌/우 방향과 하부로 바람이 통과하면서 Vortex에 의한 영향이 커져 방음판의 풍하중 저감을 본 시험으로 증명하는 것이 어렵다는 것을 자문을 통해 알게 되었다.

전문가의 자문을 얻어 풍하중 저감을 확인할 수 있는 시험에 대한 계획을 수립하여 진행할 예정이다.

표 2.4 부산대 풍동시험

구분	시험체	규격	평균(풍압)	비율[1)]	저감율	비고
1	반사형	-	30.061	-	-	기준
2	100-80	6%	29.013	96.51%	3.49%	
3	100-80-F	6%	29.589	98.43%	1.57%	
4	120-80	9%	27.881	92.75%	7.25%	
5	120-80-F	9%	28.900	96.14%	3.86%	
6	130-80	10%	26.214	87.20%	12.80%	
7	130-80-F	10%	27.255	90.66%	9.34%	
8	140-80	12%	25.670	85.39%	14.61%	
9	140-80-F	12%	26.031	86.59%	13.41%	
10	160-40	15%	23.675	78.75%	21.25%	
11	160-60	15%	22.594	75.16%	24.84%	
12	160-80	15%	23.868	79.40%	20.60%	
13	160-80-F	15%	24.260	80.70%	19.30%	
14	D113-80	15%	26.630	88.59%	11.41%	
15	D80-80	15%	25.845	85.98%	14.02%	

2.4 제2차 유동해석

2.4.1 유동해석 조건 및 검토방법

통풍공 풍저항 검토를 위한 방음판의 크기는 “W × H × L = 1960 × 1000 × 80”로 3D-Modeling을 구현하였으며, 이는 방음판 시험 규격을 참조로 하였다.

통풍공의 규격은 지름 100mm ~ 300mm까지 적용을 하였으며, 각 통풍공의 설치수량은 “”W × H = 5EA × 3EA“로서 총 15개의 통풍공을 적용하였으며, 검토 풍속은 “10m/s, 20m/s, 30m/s, 40m/s, 50m/s”를 기준으로 검토 및 분석을 진행하였다.

방음판이 도로 연장에 따라 연속적으로 설치되는 것을 고려하여 폭방향으로 좌우 연속되도록 모델링 수행하였으며, 풍하중은 단위 방음판에서만 평가를 진행하였다.

2.4.2 유동해석 결과 및 소결

방음판 시험체(1960mm x 1000mm)에 대하여 통기구의 직경별 유동해석을 진행한 결과 1차 유동해석과 부산대 풍동시험에서 찾아낸 문제점을 해결하고자 2차 유동해석을 수행하였으나, 풍속이 50m/s일 때, 통기구의 직경이 255mm인 방음판에서 풍하중 저감이 30%로 산출되었다. 추후 1차 유동해석과 부산대 풍동시험을 참고로 하여 해석의 타당성/적정성을 검토할 필요가 있다.

표 2.5 방음판 유동해석 정리

구분	풍속	풍상면 평균 압력 (Pa)	풍하면 평균 압력 (Pa)	풍저항 (N)	풍저항 감소율 (%)	통풍공 지름	개구율
V#01	10m/s	59.52	-49.38	203.17	6.01	130mm	10.2%
V#02	20m/s	235.11	-195.64	803.83	6.11		
V#03	30m/s	527.18	-436.74	1799.03	5.68		
V#04	40m/s	939.67	-752.22	3157.94	5.06		
V#05	50m/s	1474.8	-1138.33	4877.65	4.40		

2.5 소결 및 개선안 도출

제1차 유동해석에서 산출된 통기구 직경이 160mm인 방음판으로 차음성능을 만족시킬 수가 없어 실제 풍동시험으로 풍하중 저감을 증명하고자 하였으나, 부산대에서 진행된 풍동시험으로는 유동해석의 검증과 풍하중 저감을 증명할 수 없었다. 이에 따라 추가 유동해석을 진행하였으며, 제2차 유동해석으로 도출된 결과에 대한 검증이 필요하다.

지금까지의 해석과 풍동시험에서 발생한 문제점은 다음과 같다.

- 1차 유동해석은 방음판의 상부와 좌/우측으로 바람이 통과하도록 해석을 가정하였으나, 실제 방음판이 설치될 경우 바람은 방음판의 상부로만 지나가게 된다.
- 1차 유동해석은 1960mm x 1000mm 크기의 방음판을 대상으로 해석을 수행하였으나, 실제로는 상부와 좌/우측으로 다수의 방음판이 설치되어 실제의 유동흐름을 유동해석에 반영하지 못하였다.
- 풍동시험 시 시험체의 크기 선정 시 풍동터널 대비 5%이하로 선정하여야 했으나, 풍동터널의 50%이상을 차지하는 시험체로 인해 풍동시험 결과의 신뢰도가 낮음.
- 풍동시험 시 실제 방음판 설치 조건에 맞추어 방음판의 하부와 좌/우측으로의 공기의 유동을 차단 하여야 했으나, 부산대 풍동시험은 상/하부와 좌/우측으로 유동 흐름이 발생하여 실제 방음판과는 다른 양상을 보임.

- 2차 유동해석의 결과에 대한 신뢰도가 낮음.
- 차음성능 시험과 풍하중 저감을 병행하여 진행하였으나, 통기구의 직경은 차음성능과 풍하중 저감에 영향을 주는 인자인 만큼, 차음성능 시험체와 풍하중 저감 시험체를 일치시킬 필요성이 있음.

상기의 문제점의 개선안은 다음과 같다.
- 2차 유동해석의 결과에 대한 해석적 검토가 선행된 후 시험에 의해 검토할 필요성이 있음.
- 방음판이 실제 부설되었을 때의 환경 조건을 고려한 유동해석 수행하여 풍동시험체의 특성을 파악하여, 불필요한 시험을 사전에 제거
- 방음판의 풍동시험을 진행할 수 있는 규모를 갖고 있는 시험기관에 시험의뢰(방음판관련 풍동시험 유 경험 시험기관 시험의뢰)
- 자문을 통해 풍동시험 계획 및 진행함에 있어 발생할 수 있는 문제점 사전차단
- 그 밖에, 차음성능을 유지하는 동시에 풍하중을 줄일 수 있는 방안을 지속적으로 연구

3. 재료품질 시험

3.1 허용 변위량 시험

1차년도 성과점검기준인 변위량시험을 『고속도로건설재료품질기준』에 따라 방음판 시험체 'Multi-240'을 대상으로 진행하였으며, 허용변위량(탄성변위량) 4.7mm, 허용변위량(영구잔류변위량) 0.2mm로 이런한 시험결과는 『고속도로건설재료품질기준』에서 정하고 있는 50mm, 3.92mm이하로 방음판 품질기준을 만족하는 것으로 나타났다.(내하중등급 : 내하중 1호, 부록 3. 참조)

3.2 방음판의 두께

방음판 시험체 'Multi-240'의 방음판 두께는 240mm로 과제 성과기준인 250mm이하으로 본 과제의 성과점검기준을 만족하였다.

3.3 방음판의 무게

방음판 시험체 'Multi-240'의 방음판 무게는 약 50kg이며, 단위면적당 무게는 약 25kg/m2으로 과제 성과기준인 50kg/m2 이하으로 본 과제의 성과점검기준을 만족하였다.

3.4 방음판 충격시험

『고속도로건설재료품질기준』에서는 표 3.1과 같이 방음판의 충격 시험에 관하여 정하고 있다.

표 3.1 방음판 기본 성능

시험항목	단위	품질기준	비고
충격 시험	-	충격원이 방음판을 관통하거나 방음판 내부 흡음재를 손상시켜서는 안 됨. 구조 성능에 문제를 일으키지 않는 수준의 사소한 균열 발생은 허용.	KS F 4770

따라서, 2차년도에서는 KS F 4770 기준에 준하여 방음판의 충격 시험에 진행할 예정이다.

3.5 방음판 재질별 성능

방음판 제작에 사용한 재질은 표 3.2『고속도로건설재료품질기준』재료품질기준을 통과한 제품을 사용하였으며, 추후 자체적으로 재료품질기준에 준하여 시험을 진행할 예정이다.(부록 3. 참조)

시험기준 및 시험방법은 다음과 같다.

표 3.2 투명 방음판 품질기준

시험항목		품질기준	비고
재 질	투광 부재	PMMA, 폴리카보네이트(PC) 등의 투명 플라스틱 수지 또는 접합 유리를 사용	
	프레임 부재	녹이나 부식이 발생하지 않는 소재 또는 적절한 방법에 의해 방청 처리된 강재	
촉진 내후성 시험 (1,500시간, 자외선형광램프(UV-A), 폭로방식 1)		황변도(△YI) 3 이하, 흐림도 변화(△H) 10% 이하	KS M ISO 4892-3 KS M 3026 KS M ISO 14782
가시광선 투과율 (무색 투광부재 기준)		85% 이상	KS L 2514
테이버 마모 시험(2) (마모륜: CS-10F, 하중: 4.9N, 100회전)		흐림도 변화(△H) 15% 이하	KS M ISO 5470-1 KS M ISO 9352
충격 시험	낙구 충격 시험	시료 6매에 대하여 높이 120㎝에서 강구(1,040±10g, 호칭 2½)의 자유낙하 충격 후 5매 이상의 시료에 균열이나 손상이 발생하지 않을 것	KS L 2004
	진자 충격 시험	시료 4매에 대하여 높이 48㎝에서 진자식 시험기에 의한 강구(45kg)충격 후 4매 모두 파편의 결락에 따른 노출 부분이 없을 것	KS L 2004
내열성 시험	플라스틱 수지	하중변형온도 85℃ 이상	KS M ISO 75-2 PC : 방법 A PMMA : 방법 B
	접합 유리	내열성 시험 후 시료의 유리 부분에 균열이 생기는 것은 허용하나, 시료의 가장자리 또는 균열된 곳으로부터 13 ㎜를 초과하는 곳에 사용상 지장이 있는 기포 또는 그 밖의 결점이 없을 것	KS L 2004

4. 결론

풍하중 저감형 방음판 개발 과제의 1차년도의 주요성과지표를 3가지로 나누어 아래와 같이 정리하였다.

◎ 차음성능시험

- 목포해양대 김상훈교수의 논문에서 기본 개념을 차용해 방음판 시험체를 설계/제작/시험을 진행하였다.
- 풍하중 저감형 방음판은 통기구의 직경, 공명통의 부피 및 방음판의 두께에 따라 차음음역대 및 차음성능이 좌우되는 경향을 보였다.
- 방음판의 차음성능 및 방음판의 두께는 과제 성과점검기준을 만족하지만, 추후 방음판의 두께를 줄이는 등 최적화할 필요가 있음.
- 현재 개발한 방음판은 풍동시험 결과를 반영하지 못하였는데, 추후 과제를 진행하면서 이를 반영할 필요가 있음.
- 통기구 직경을 크게 할수록 풍하중저감 및 친환경적인 효과가 커지는 만큼, 추후 방음판의 차음성능을 저하시키지 않고, 통기구의 직경을 크게 할 수 있는 연구가 필요함.

◎ 풍동시험

- 유동해석과 풍동해석을 진행하였으나, 과제 목표인 풍하중 30% 저감을 달성하지 못하였음.
- 유동해석을 진행함에 있어, 해석 가정을 방음판의 설치 모습과 설치할 곳의 환경적인 요인들을 고려하여 해석을 진행할 필요가 있음.
- 풍동시험 진행 시 1차년도의 문제점에 대한 철저한 분석 및 사전 준비를 통해 불필요한 경제적 시간적인 낭비를 막을 필요가 있음.
- 과제 목표인 풍하중 저감 30%를 달성하기 위해 기존 통기형 공명 구조를 유지하면서 풍하중 저감에 유리한 구조를 병행 연구.

◎ 재료품질시험

- 『고속도로건설재료품질기준』에서 규정하고 있는 시험에 대하여 2 차년도에 진행.

▣ 2차년도

1.풍하중 저감형 방음판 차음성능시험

1.1 방음판 실험체 및 실험 Case 선정

본 실험은 1차년도에 진행되었던 차음성능실험의 실험체에 대한 개선을 위하여 진행하였으며, 기존의 공명통의 중앙부 원형형태의 통기구에서 공명통 바닥에 통기구를 위치하게 설계하여 유지관의 편이성을 높이는 형태로 진행되었다.

추후, 방음판의 풍하중 저감율을 높이기 위하여 세로Slit형태의 기존형태의 개선이 아닌 새로운 형태의 방음판에 대한 설계를 구상하여 차음성능실험을 진행하였다.

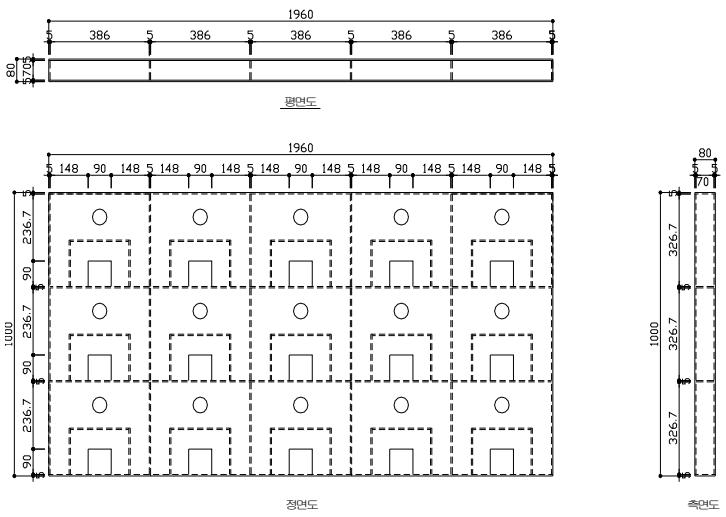
1.1.1 제4차 차음성능실험 실험체 및 실험 Case

제4차 차음성능실험은 1차년도에 진행된 방음판에서 유지보수의 편이성을 높이기 위하여 반원 및 사각형 형태의 통기구를 갖는 방음판에 대한 투과손실음압을 측정하기 위하여 진행되었다.

기존의 통기구는 공명통의 중앙부에 위치하여 빗물을 비롯한 이물질의 유입이 용이하여, 필터와 배수홀이 필요하였으나, 반원과 사각형 형태의 통기구를 갖는 방음판을 설계함으로서, 필터와 배수홀을 제거하여 방음판의 유지보수의 편이성을 향상시켰다.

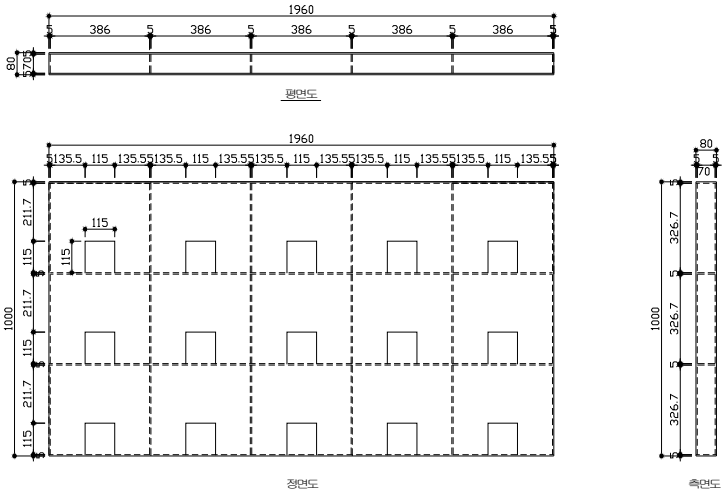
표 1.1 풍하중 저감형 방음판 실험체 4차 차음성능실험

실험체	통기구 형태	설계인자	비고
P-M-15R-90	사각형	통기구의 형태	전 주파수영역 차음설계
P-L-15R-115			저주파영역 차음설계
P-L-15R-90			저주파영역 차음설계
P-H-15R-90			고주파영역 차음설계
P-L-15R-90-W		인입구의 면적	저주파영역 차음설계
P-L-15C-50	반원형	통기구의 형태	저주파영역 차음설계
P-L-15C-86			저주파영역 차음설계
P-M1-25C-130		중첩	중첩



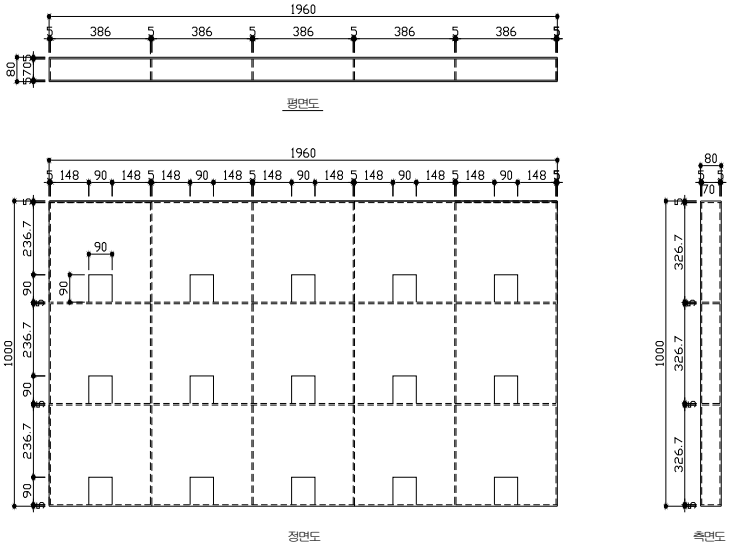
명칭	P-M-15R-90
규격	1,960x1,000x80
재질	아크릴(PMMA)
통기구	90x90
통기구 형태	사각형
공명통 규격	227x159x70

그림 1.1 P-M-15R-90



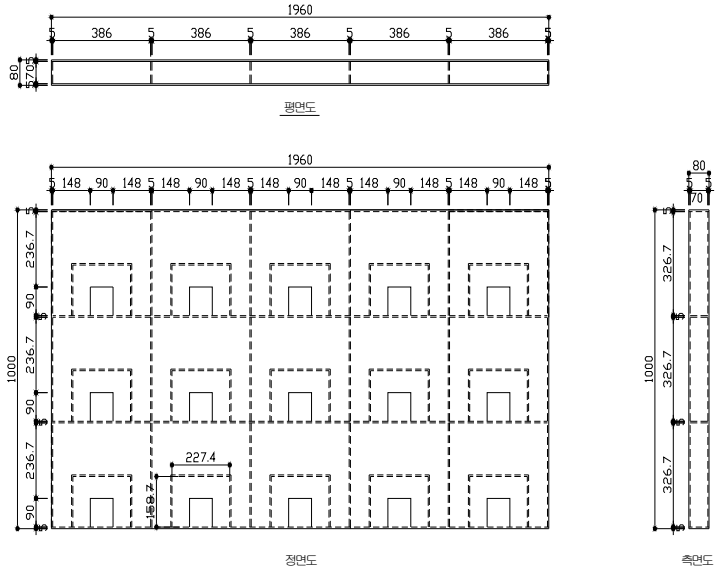
명칭	P-L-15R-115
규격	1,960x1,000x80
재질	아크릴(PMMA)
통기구	115x115
통기구 형태	사각형
공명통 규격	386x327x70

그림 1.2 P-L-15R-115



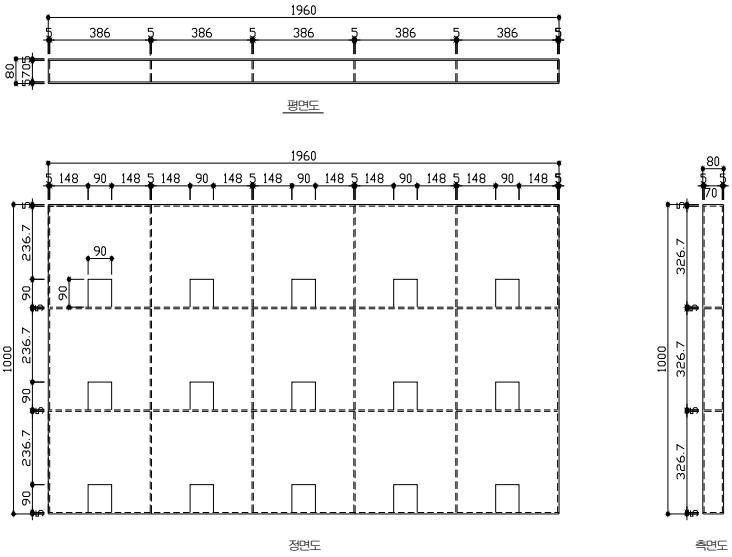
명칭	P-L-15R-90
규격	1,960x1,000x80
재질	아크릴(PMMA)
통기구	90x90
통기구 형태	사각형
공명통 규격	386x327x70

그림 1.3 P-L-15R-90



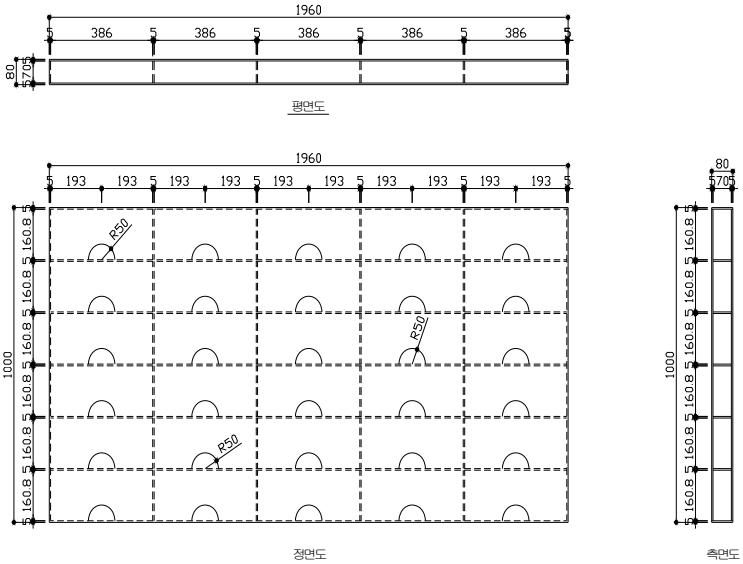
명칭	P-H-15R-90
규격	1,960x1,000x80
재질	아크릴(PMMA)
통기구	115x115
통기구 형태	사각형
공명통 규격	227x159x70

그림 1.4 P-H-15R-90



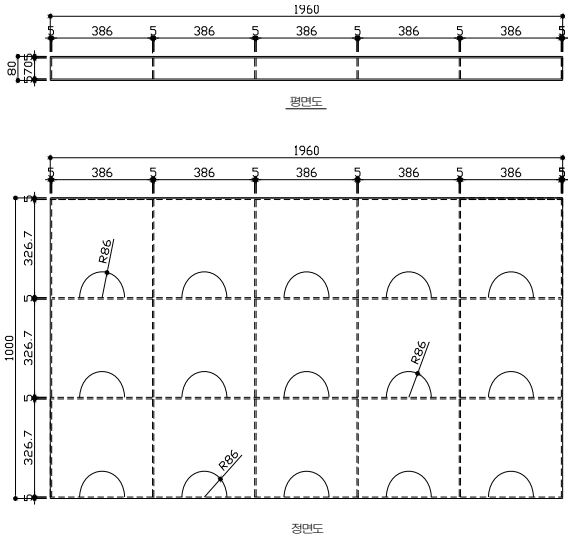
명칭	P-L-15R-90-W
규격	1,960x1,000x80
재질	아크릴(PMMA)
통기구	90x90
통기구 형태	사각형
공명통 규격	386x327x70

그림 1.5 P-L-15R-90-W



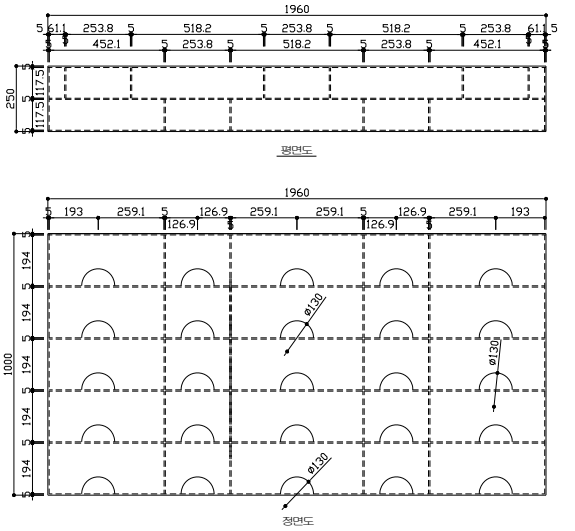
명칭	P-L-15C-50
규격	1,960x1,000x80
재질	아크릴(PMMA)
통기구	ϕ100
통기구 형태	반원형
공명통 규격	386x327x70

그림 1.6 P-L-15C-50



명칭	P-L-15C-86
규격	1,960x1,000x80
재질	아크릴(PMMA)
통기구	ϕ172
통기구 형태	반원형
공명통 규격	386x327x70

그림 1.7 P-L-15C-86



명칭	P-L-25C-130
규격	1,960x1,000x250
재질	아크릴(PMMA)
통기구	ϕ130
통기구 형태	반원형
공명통 규격	452x194x117 254x194x117

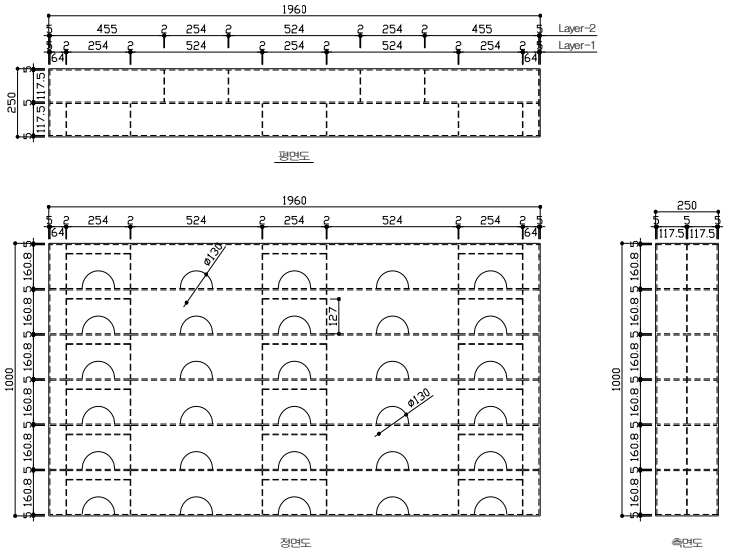
그림 1.8 P-L-25C-130

1.1.2 제5차 차음성능실험 실험체 및 실험 Case

제4차 차음성능실험은 반원의 통기구를 갖는 방음판과 원형의 통기구를 갖는 방음판의 차음성능이 일치함을 보였다. 따라서 제5차 차음성능실험은 이러한 방음판의 차음특성을 이용하여 저주파 음역대와 고주파음역대의 차음이 일어날 수 있도록 방음판을 중첩하여 진행하였다.

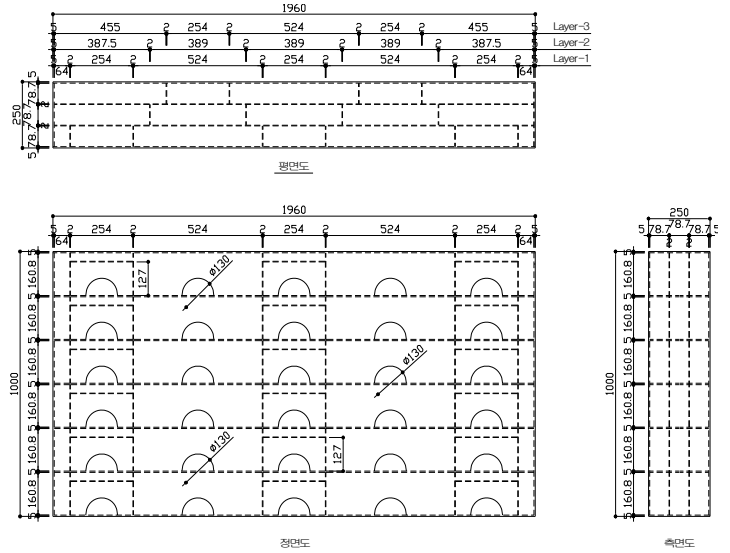
표 1.2 풍하중 저감형 방음판 실험체 5차 차음성능실험

실험체	통기구 형태	설계인자	비고
P-M2-30C-130	반원형	층수(2중첩)	전 주파수영역 차음설계
P-M3-30C-130	반원형	층수(3중첩)	전 주파수영역 차음설계



명칭	P-M2-30C-130
규격	1,960x1,000x250
재질	아크릴(PMMA)
통기구	ϕ130
통기구 형태	반원형
공명통 규격	452x194x117 254x194x117

그림 1.9 P-M2-30C-130



명칭	P-M3-30C-130
규격	1,960x1,000x250
재질	아크릴(PMMA)
통기구	ϕ130
통기구 형태	반원형
공명통 규격	452x194x79 387x161x79 254x194x79

그림 1.10 P-M2-30C-130

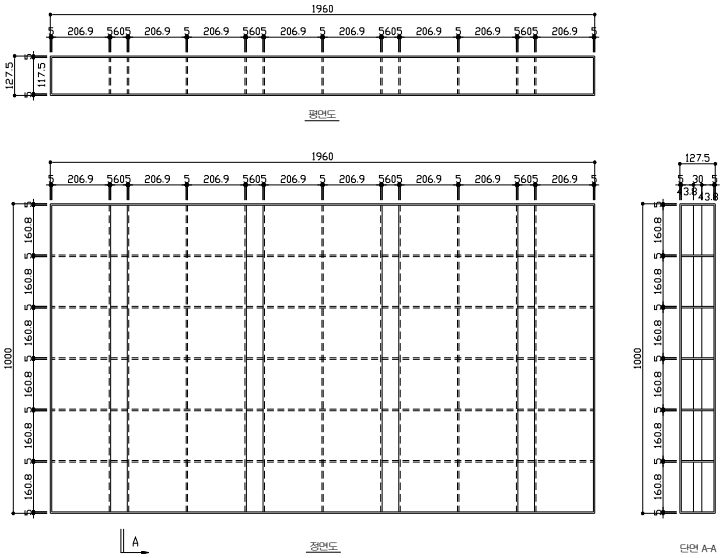
1.1.3 제6차 차음성능실험 실험체 및 실험 Case

기존의 반원형태의 통기구를 갖는 방음판의 풍하중 저감율이 기준치를 미달함으로써 새로운 형태의 방음판의 연구 필요성이 발생하였다.

세로Slit형태의 차음성능에 영향을 미치는 인자를 찾기 위하여 다음과 같이 전면부개방폭, 인입구 개방폭 및 공명통의 크기에 대하여 차음성능실험을 진행하였다.

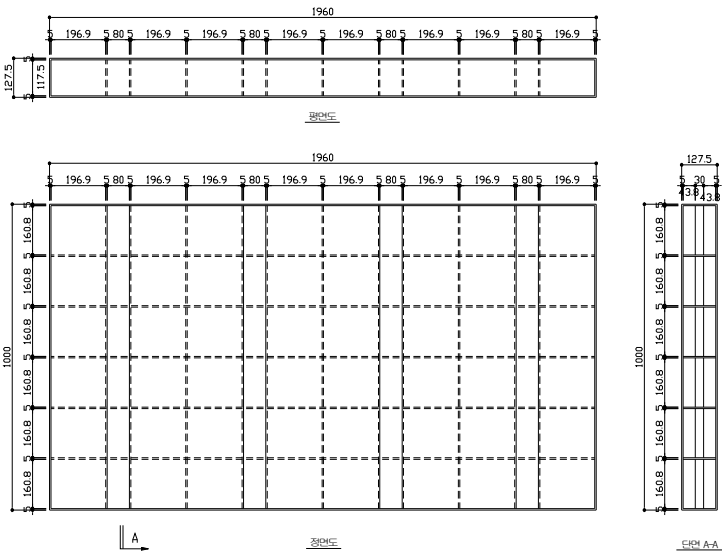
표 1.3 풍하중 저감형 방음판 실험체 6차 차음성능실험

실험체	통기구 형태	설계인자	비고
PVL-60-30	세로Slit	-	
PVL-80-30		전면부 개방폭	
PVL-80-40		인입구 개방폭	
PVL-100-30		전면부 개방폭	
PVH-80-30		공명통의 부피	



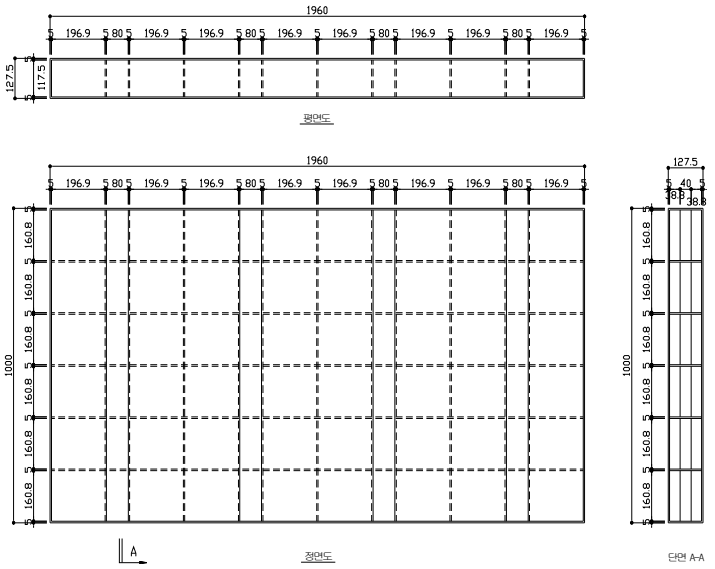
명칭	PVL-60-30
규격	1,960x1,000x128
재질	아크릴(PMMA)
전면부 개방폭	60
인입구 개방폭	30
Slit 수	4
공명통 규격	207x161x118

그림 1.11 PVL-60-30



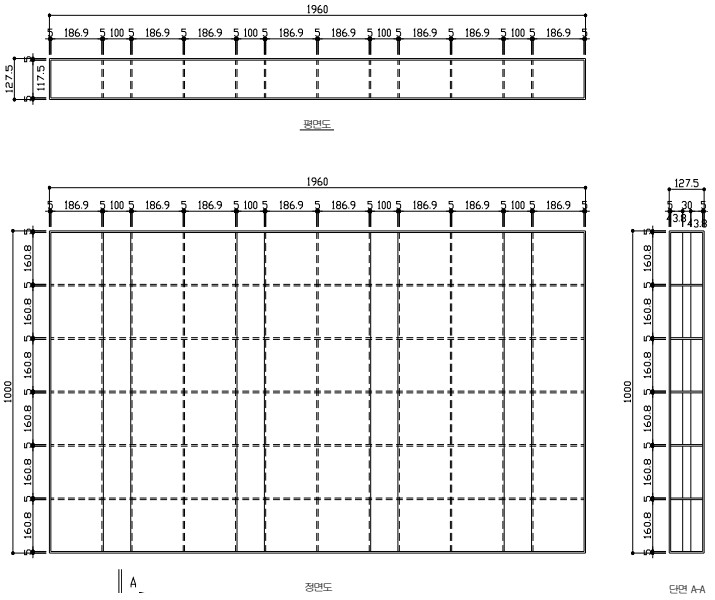
명칭	PVL-80-30
규격	1,960x1,000x128
재질	아크릴(PMMA)
전면부 개방폭	80
인입구 개방폭	30
Slit 수	4
공명통 규격	197x161x118

그림 1.12 PVL-80-30



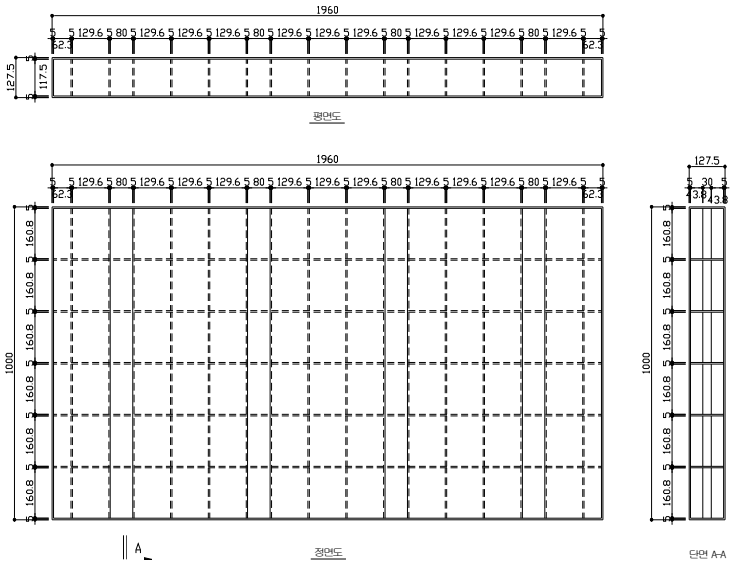
명칭	PVL-80-40
규격	1,960x1,000x128
재질	아크릴(PMMA)
전면부 개방폭	80
인입구 개방폭	40
Slit 수	4
공명통 규격	197x161x118

그림 1.13 PVL-80-40



명칭	PVL-100-30
규격	1,960x1,000x128
재질	아크릴(PMMA)
전면부 개방폭	100
인입구 개방폭	30
Slit 수	4
공명통 규격	187x161x118

그림 1.14 PVL-100-30



명칭	PVH-80-30
규격	1,960x1,000x128
재질	아크릴(PMMA)
전면부 개방폭	80
인입구 개방폭	30
Slit 수	4
공명통 규격	130x161x118

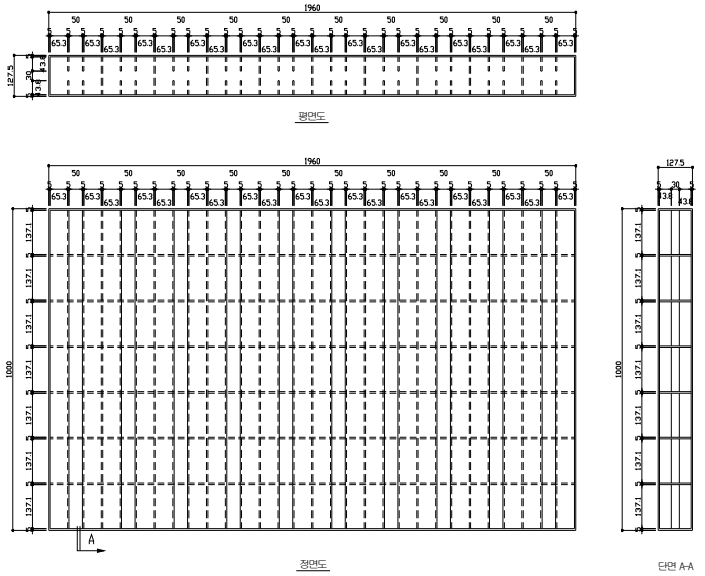
그림 1.15 PVH-80-30

1.1.4 제7차 차음성능실험 실험체 및 실험 Case

제6차 차음성능결과 고주파 음역대의 차음성능이 매우 낮게 나왔다. 따라서 제7차 차음성능실험에서는 고주파 음역대의 차단할 수 있는 방음판을 설계/제작하여 실험을 진행하였다.

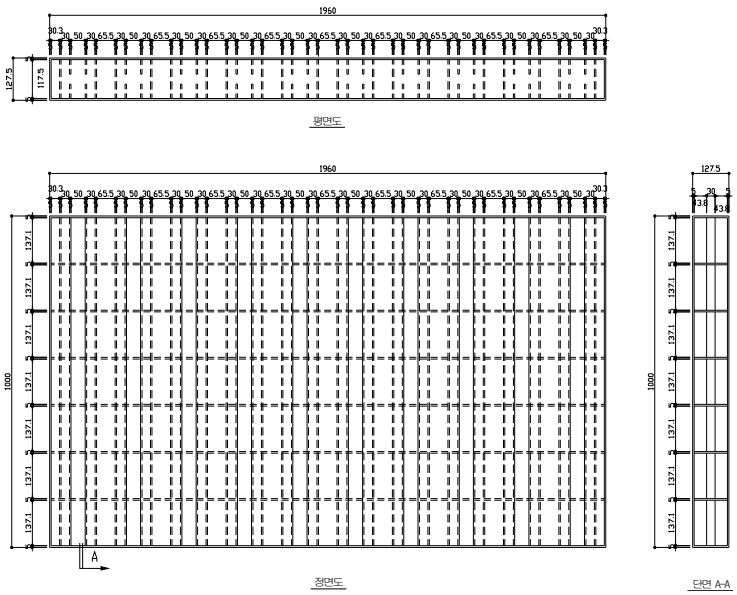
표 1.4 풍하중 저감형 방음판 실험체 7차 차음성능실험

실험체	통기구 형태	설계인자	비고
PVH-50-30L	세로Slit	공명통의 부피	Slit수 증가
PVH-50-30S			



명칭	PVL-100-30
규격	1,960x1,000x128
재질	아크릴(PMMA)
전면부 개방폭	50
인입구 개방폭	30
Slit 수	10
공명통 규격	65.3x137x118

그림 1.16 PVL-100-30



명칭	PVH-80-30
규격	1,960x1,000x128
재질	아크릴(PMMA)
전면부 개방폭	50
인입구 개방폭	30
Slit 수	10
공명통 규격	30x137x118

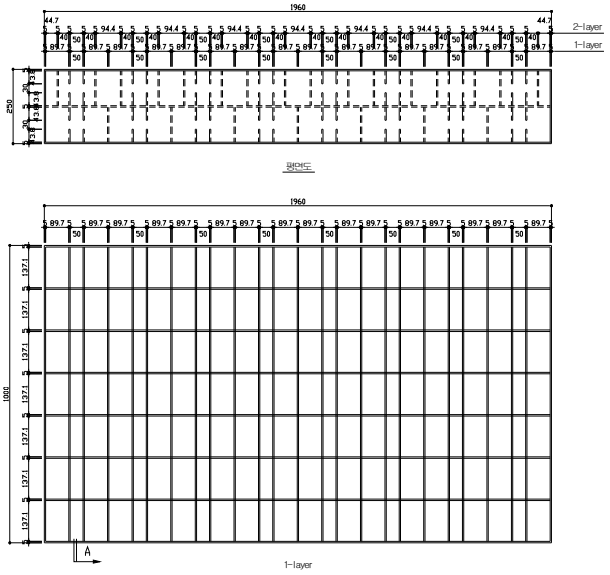
그림 1.17 PVH-80-30

1.1.5 제8차 차음성능실험 실험체 및 실험 Case

이전까지의 차음성능실험의 결과 저주파 음역대와 고주파 음역대의 차음효과를 확인할 수 있었다. 제8차 차음성능실험에서는 단일 방음판의 차음성능을 토대로 방음판을 중첩하여 그 성능을 확인하고자하였다.

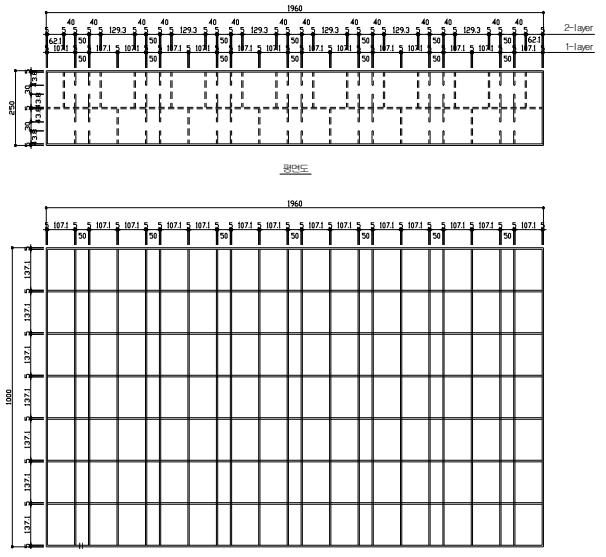
표 1.5 풍하중 저감형 방음판 실험체 8차 차음성능실험

실험체	통기구 형태	설계인자	비고
PML2-50-30S	세로Slit	공명통의 부피	Slit수 증가
PML2-50-30L			
PML3-50-30			



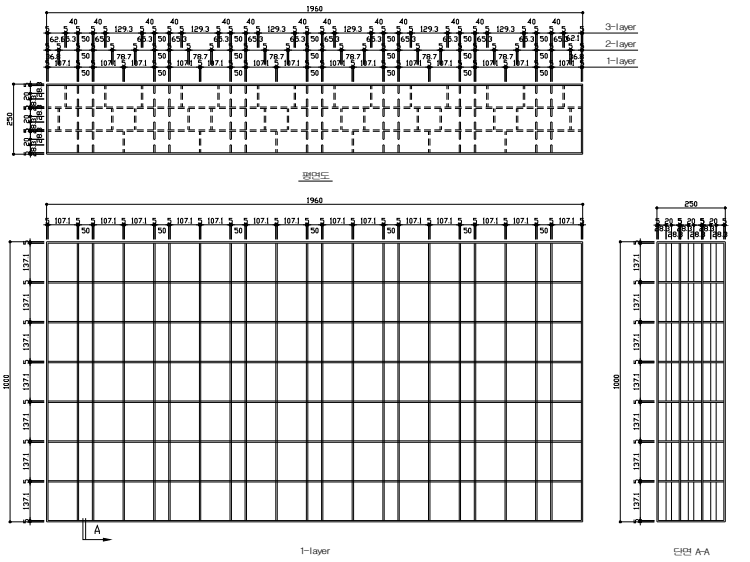
명칭	PML2-50-30S
규격	1,960x1,000x250
재질	아크릴(PMMA)
전면부 개방폭	50
인입구 개방폭	30
Slit 수	8
공명통 규격	90x137x118 40x137x118

그림 1.18 PML2-50-30S



명칭	PML2-50-30L
규격	1,960x1,000x250
재질	아크릴(PMMA)
전면부 개방폭	50
인입구 개방폭	30
Slit 수	7
공명통 규격	107x137x118 40x137x118

그림 1.19 PML2-50-30L



명칭	PML3-50-20
규격	1,960x1,000x250
재질	아크릴(PMMA)
전면부 개방폭	50
인입구 개방폭	20
Slit 수	7
공명통 규격	107x137x118 65x137x118 40x137x118

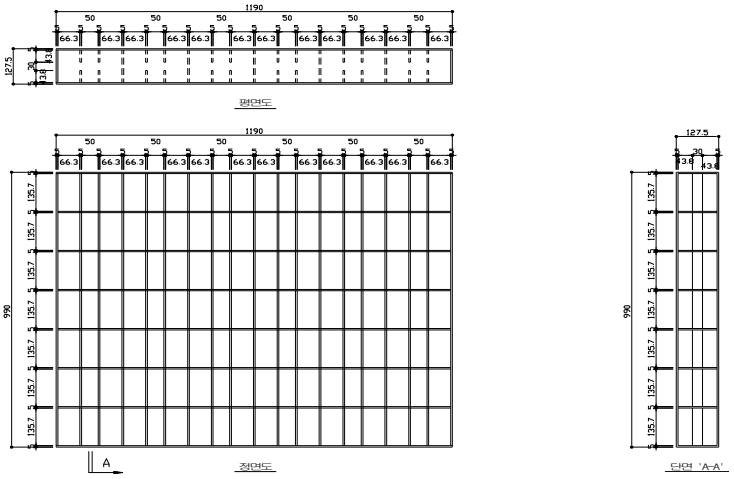
그림 1.20 PML3-50-20

1.1.6 제9차 차음성능실험 실험체 및 실험 Case

6차~8차 차음성능실험에서 세로Slit형태의 방음판에 대한 차음성능을 확인할 수 있었다. 이러한 결과를 토대로 설계인자와 차음성능간의 인과관계를 찾기 위하여 간이 차음성능실험을 진행하였다.

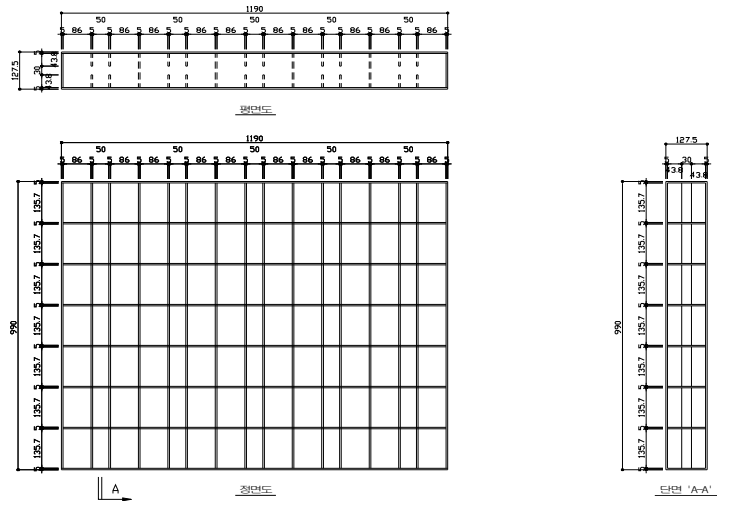
표 1.6 풍하중 저감형 방음판 실험체 9차 차음성능실험

실험체	통기구 형태	설계인자	비고
TS6-50-30	세로Slit	공명통의 부피	
TS5-50-30			
TS4-50-30			
TW-50-30	세로Slit	전면부 개방폭	
TW-75-30			
TW-100-30			
TD-100-20	세로Slit	인입구 폭	
TD-100-50			
TD-100-118			
TH-100-30	세로Slit	가로 Slit	



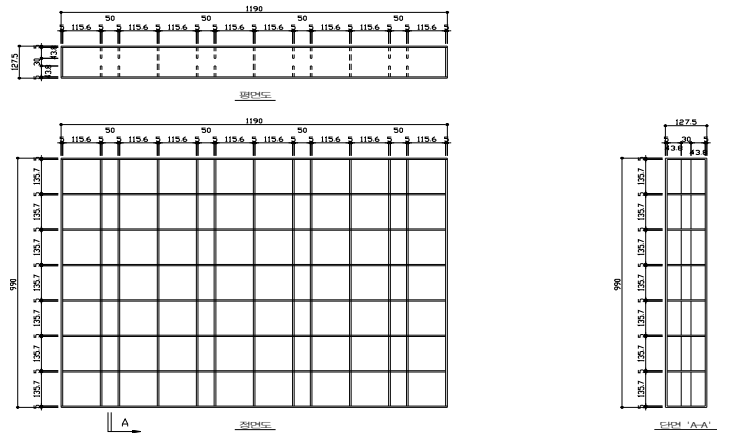
명칭	TS6-50-30
규격	1,190x990x127.5
재질	아크릴(PMMA)
전면부 개방폭	50
인입구 개방폭	30
Slit 수	6
공명통 규격	66x136x127

그림 1.21 TS6-50-30



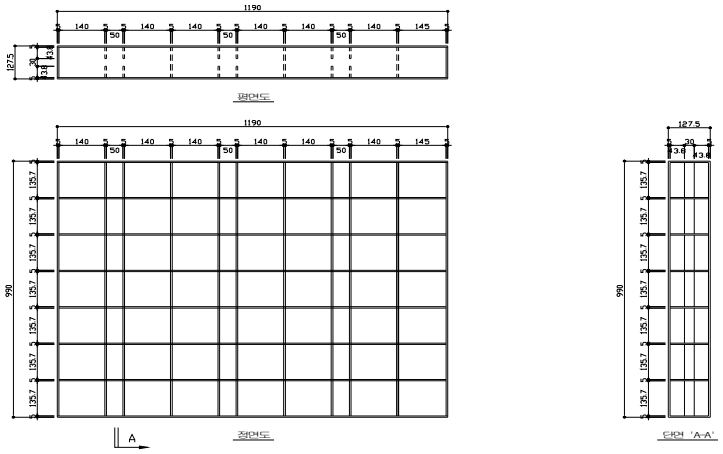
명칭	TS5-50-30
규격	1,190x990x127.5
재질	아크릴(PMMA)
전면부 개방폭	50
인입구 개방폭	30
Slit 수	5
공명통 규격	86x136x127

그림 1.22 TS5-50-30



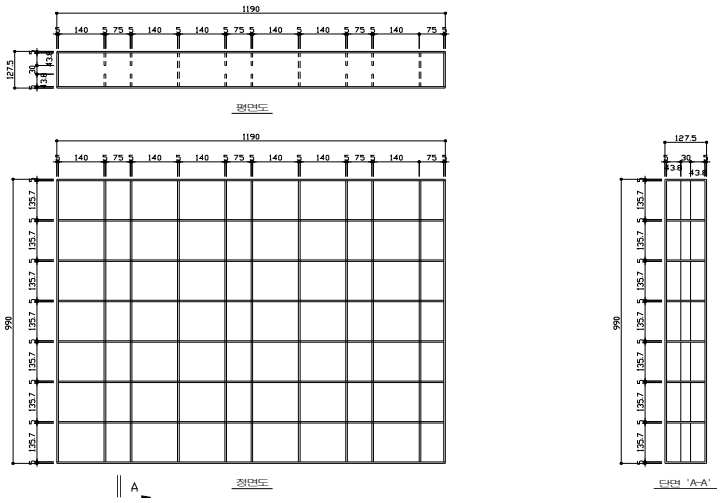
명칭	TS4-50-30
규격	1,190x990x127.5
재질	아크릴(PMMA)
전면부 개방폭	50
인입구 개방폭	30
Slit 수	4
공명통 규격	116x136x127

그림 1.23 TS4-50-30



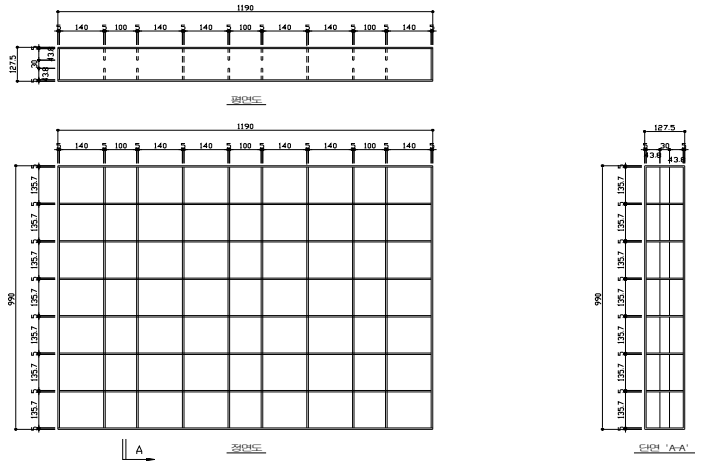
명칭	TW-50-30
규격	1,190x990x127.5
재질	아크릴(PMMA)
전면부 개방폭	50
인입구 개방폭	30
Slit 수	3
공명통 규격	140x136x127

그림 1.24 TW-50-30



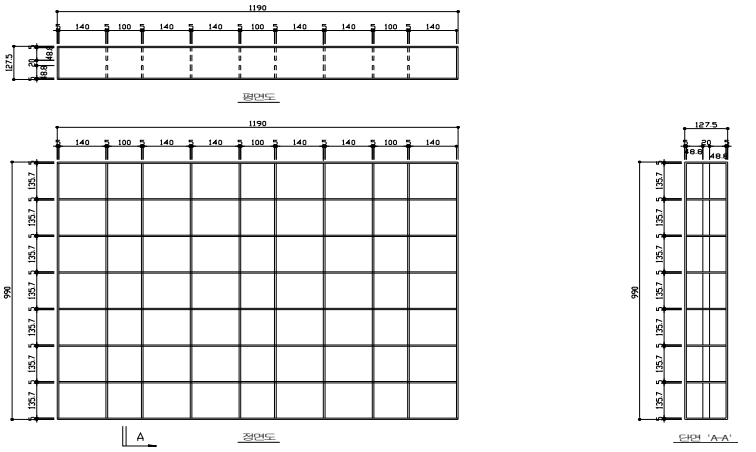
명칭	TW-75-30
규격	1,190x990x127.5
재질	아크릴(PMMA)
전면부 개방폭	75
인입구 개방폭	30
Slit 수	3
공명통 규격	140x136x127

그림 1.25 TW-75-30



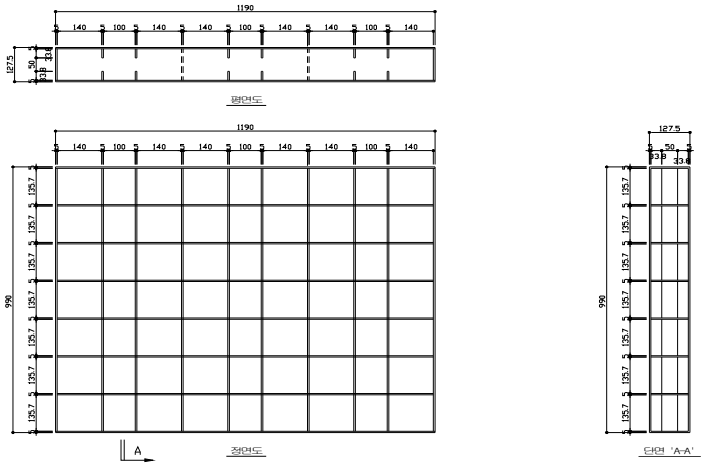
명칭	TW-100-30
규격	1,190x990x127.5
재질	아크릴(PMMA)
전면부 개방폭	100
인입구 개방폭	30
Slit 수	3
공명통 규격	140x136x127

그림 1.26 TW-50-30



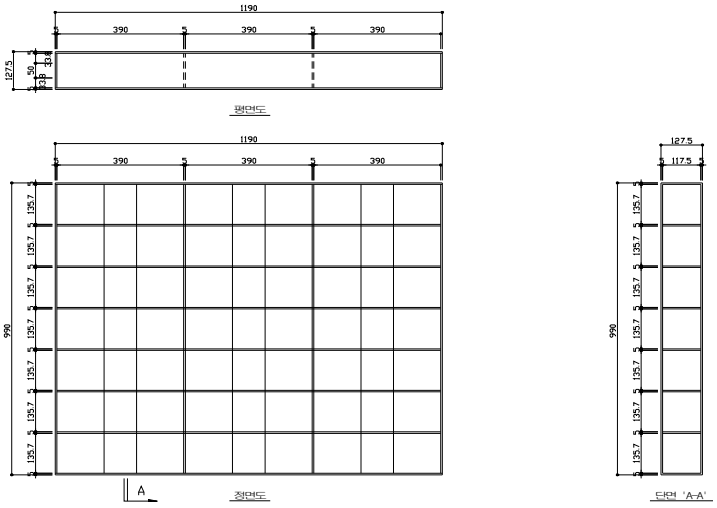
명칭	TD-100-20
규격	1,190x990x127.5
재질	아크릴(PMMA)
전면부 개방폭	100
인입구 개방폭	20
Slit 수	3
공명통 규격	140x136x127

그림 1.27 TD-100-20



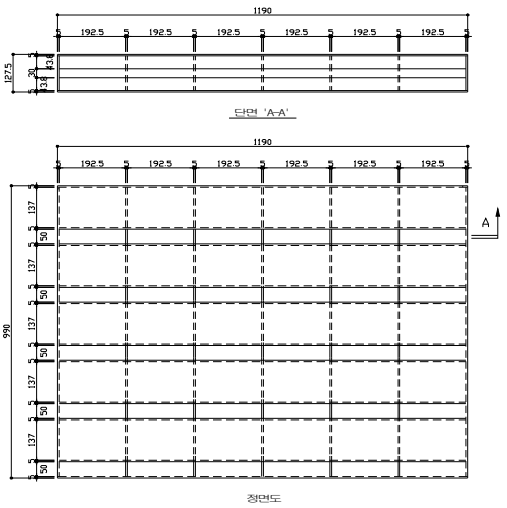
명칭	TD-100-50
규격	1,190x990x127.5
재질	아크릴(PMMA)
전면부 개방폭	100
인입구 개방폭	50
Slit 수	3
공명통 규격	140x136x127

그림 1.28 TD-100-50



명칭	TW-100-118
규격	1,190x990x127.5
재질	아크릴(PMMA)
전면부 개방폭	50
인입구 개방폭	118
Slit 수	3
공명통 규격	140x136x127

그림 1.29 TW-100-118



명칭	TH-100-30
규격	1,190x990x127.5
재질	아크릴(PMMA)
전면부 개방폭	50
인입구 개방폭	30
Slit 수	5
공명통 규격	193x137x127

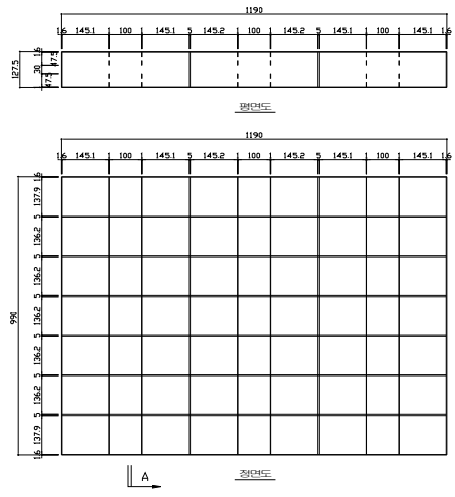
그림 1.30 TH-100-30

1.1.7 제10차 차음성능실험 실험체 및 실험 Case

9차 간이 차음성능실험의 결과를 토대로 각각의 설계인자가 차음성능에 미치는 영향을 확인하였으며, 추가적으로 설계인자와 차음성능간의 관계를 확인하고, 아크릴 방음판과 금속재 방음판과의 차음성능을 비교하고자 하였다.

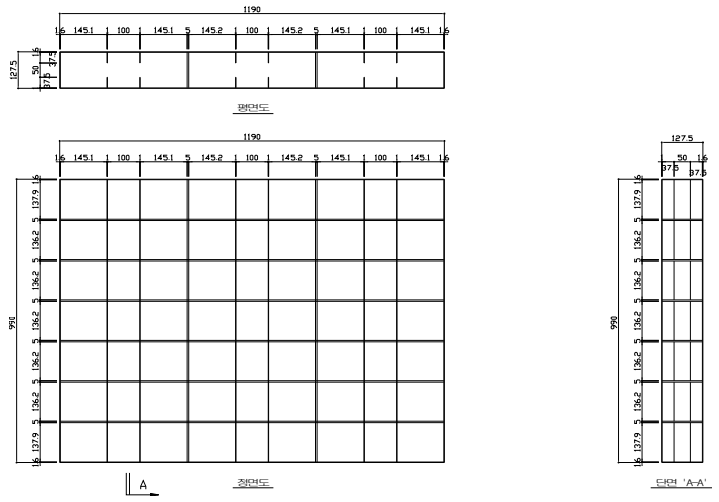
표 1.6 풍하중 저감형 방음판 실험체 10차 차음성능실험

실험체	통기구 형태	설계인자	비고
TC-100-30	세로Slit	금속재 방음판 (내부 아크릴)	
TC-100-50			
TC-F100-50			
TM1-30-40	세로Slit	관계식 도출	
TM2-30-40			
TM3-30-5			



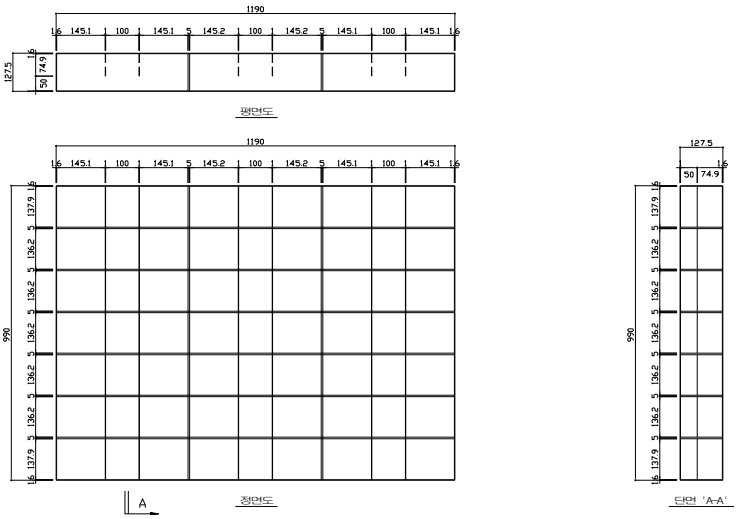
명칭	TC-100-30
규격	1,190x990x127.5
재질	아크릴(PMMA)
전면부 개방폭	100
인입구 개방폭	30
Slit 수	3
공명통 규격	145x138x127

그림 1.31 TC-100-30



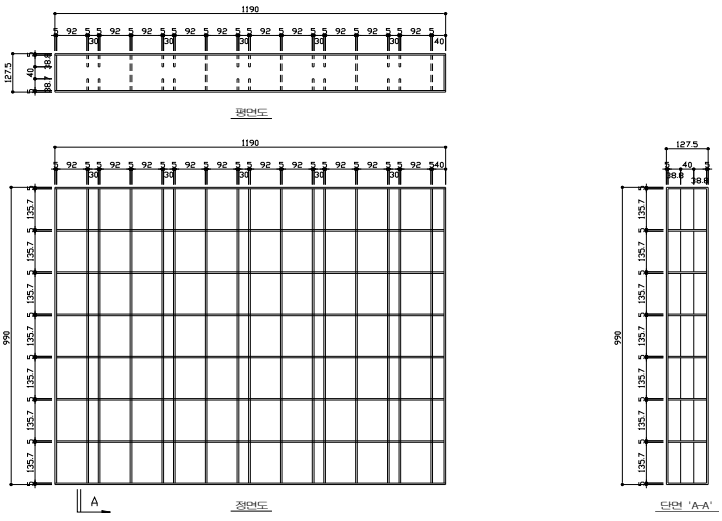
명칭	TC-100-50
규격	1,190x990x127.5
재질	아크릴(PMMA)
전면부 개방폭	100
인입구 개방폭	50
Slit 수	3
공명통 규격	145x138x127

그림 1.32 TC-100-50



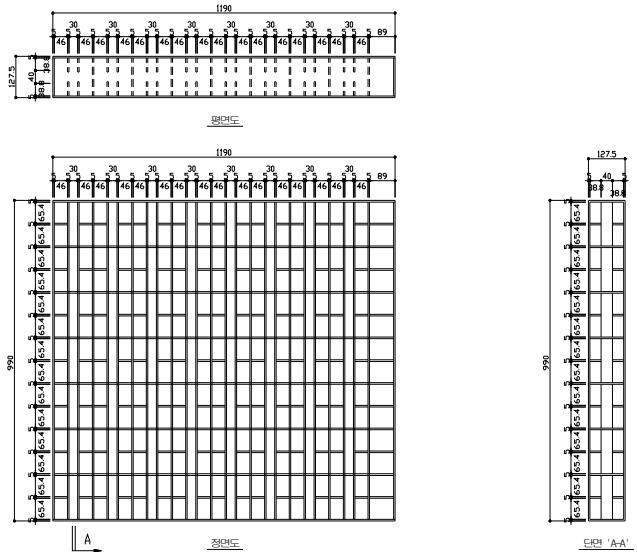
명칭	TC-F100-50
규격	1,190x990x127.5
재질	아크릴(PMMA)
전면부 개방폭	100
인입구 개방폭	50
Slit 수	3
공명통 규격	145x138x127

그림 1.33 TC-F100-50



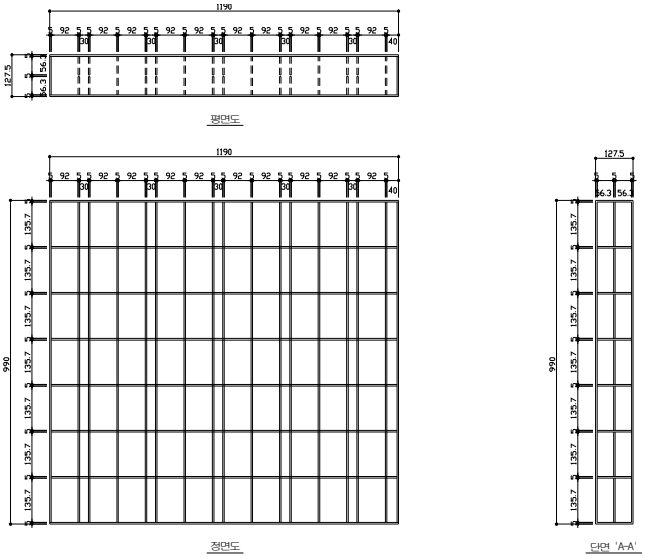
명칭	TM1-30-40
규격	1,190x990x127.5
재질	아크릴(PMMA)
전면부 개방폭	30
인입구 개방폭	40
Slit 수	4
공명통 규격	92x136x127

그림 1.34 TM1-30-40



명칭	TM2-30-40
규격	1,190x990x127.5
재질	아크릴(PMMA)
전면부 개방폭	30
인입구 개방폭	40
Slit 수	8
공명통 규격	46x65x127

그림 1.35 TM2-30-40



명칭	TM3-30-5
규격	1,190x990x127.5
재질	아크릴(PMMA)
전면부 개방폭	30
인입구 개방폭	5
Slit 수	5
공명통 규격	92x136x127

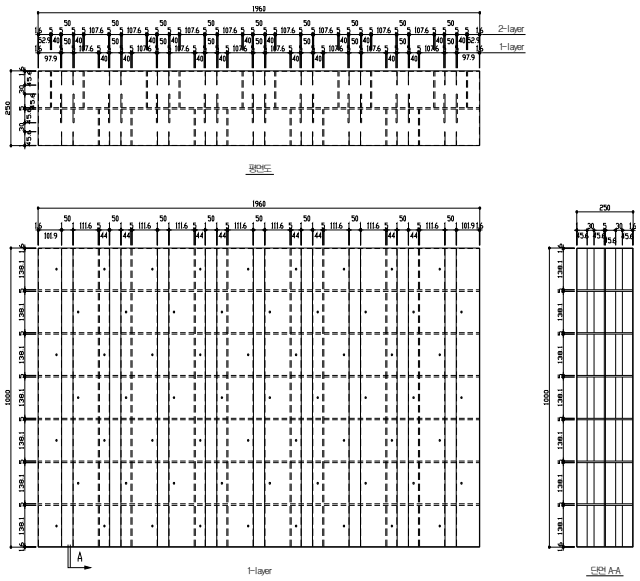
그림 1.36 TM3-30-5

1.1.8 제11차, 12차, 13차, 14차 차음성능실험 실험체 및 실험 Case

6차~10차 차음성능실험을 토대로 최종 고속도로 재료품질기준을 만족하는 방음판을 찾고자 표 1.7 및 그림 1.37, 그림 1.38과 같이 금속재 방음판을 설계/제작하여 차음성능 실험을 진행하였다.

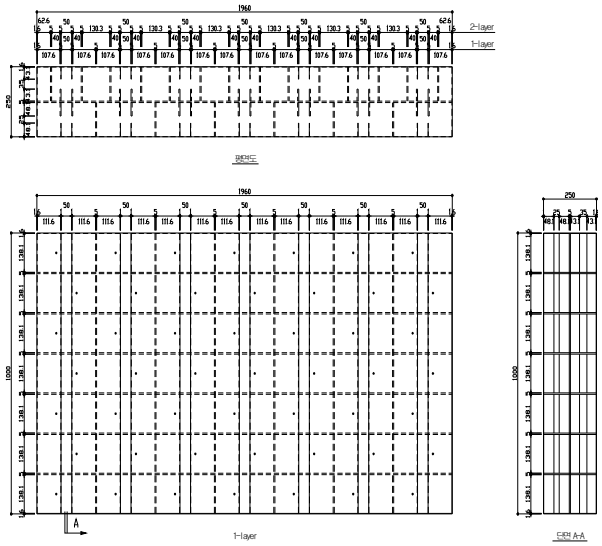
표 1.7 풍하중 저감형 방음판 실험체 11차 차음성능실험

실험체	통기구 형태	설계인자	비고
CML2-50-30 CML2-50-30M	세로Slit	금속재 방음판 (내부 아크릴)	11차
CML2-50-30-20/60 CML2-50-30-10/90	세로Slit	금속재 방음판 (내부 아크릴)	12차
CML2-50-30S CML2-50-30MS	세로Slit	금속재 방음판 (내부 아크릴)	13차
CML3-50-30/8	세로Slit	금속재 방음판 (내부 아크릴)	14차



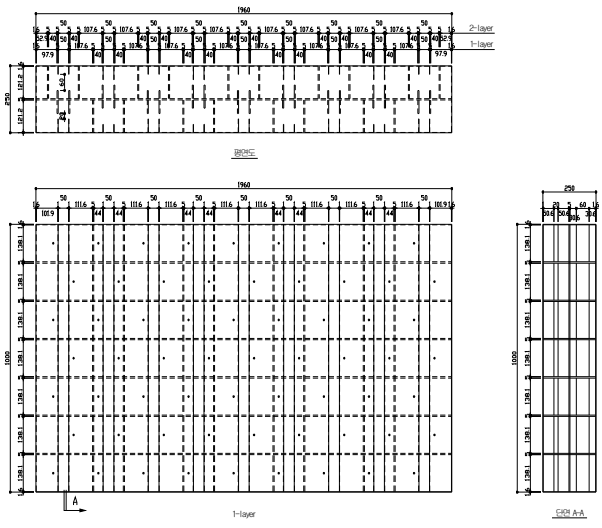
명칭	CML2-50-30
규격	1,190x990x250
재질	아크릴(PMMA)
전면부 개방폭	50
인입구 개방폭	30
Slit 수	7
공명통 규격	63x121x138 108x121x138

그림 1.37 CML2-50-30



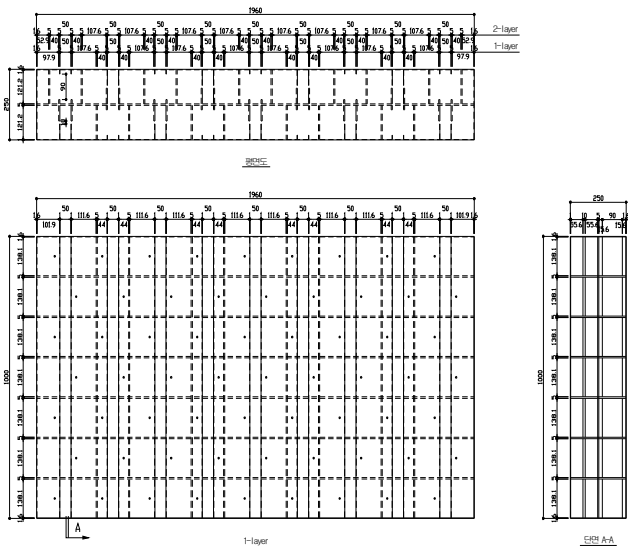
명칭	CML2-50-30M
규격	1,190x990x250
재질	아크릴(PMMA)
전면부 개방폭	50
인입구 개방폭	30
Slit 수	9
공명통 규격	53x121x138 98x121x138

그림 1.38 CML2-50-30M



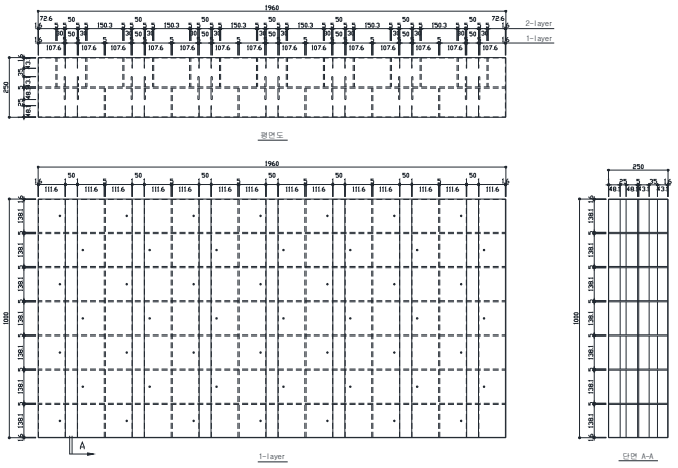
명칭	CML2-50-30-20/60
규격	1,190x990x127.5
재질	아크릴(PMMA)
전면부 개방폭	50
인입구 개방폭	20, 60
Slit 수	9
공명통 규격	53x121x138 98x121x138

그림 1.39 CML2-50-30-20/60



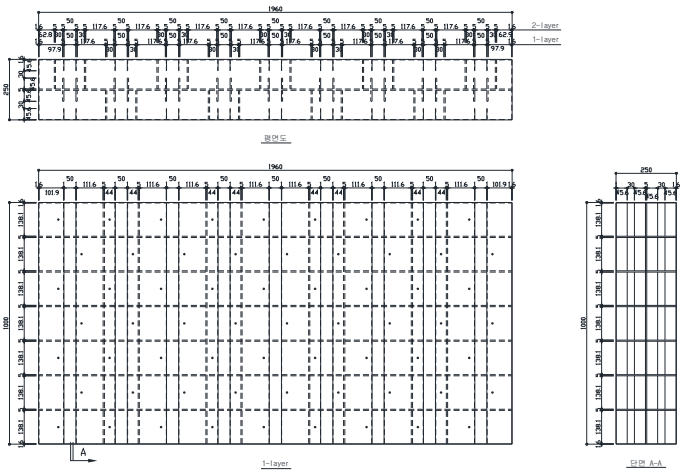
명칭	CML2-50-30-10/90
규격	1,190x990x127.5
재질	아크릴(PMMA)
전면부 개방폭	50
인입구 개방폭	10, 90
Slit 수	9
공명통 규격	53x121x138 98x121x138

그림 1.40 CML2-50-30-10/90



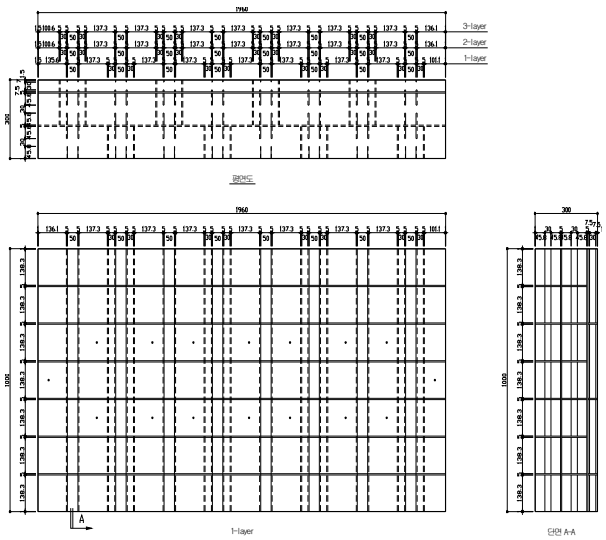
명칭	CML2-50-30S
규격	1,190x990x127.5
재질	아크릴(PMMA)
전면부 개방폭	30
인입구 개방폭	40
Slit 수	7
공명통 규격	63x121x138 98x121x138

그림 1.41 CML2-50-30S



명칭	CML2-50-30MS
규격	1,190x990x127.5
재질	아크릴(PMMA)
전면부 개방폭	30
인입구 개방폭	50
Slit 수	9
공명통 규격	73x121x138 108x121x138

그림 1.42 CML2-50-30MS



명칭	CML3-50-30/8
규격	1,190x990x127.5
재질	아크릴(PMMA)
전면부 개방폭	30
인입구 개방폭	40
Slit 수	9
공명통 규격	30x121x138 136x121x138

그림 1.43 CML3-50-30/8

1.1.9 실험체 사진대지

P-M-15R-90



P-L-15R-115



P-L-15R-90



P-H-15R-90



P-L-15R-90-W



P-L-15C-50



P-L-15C-86



P-M1-25C-130



P-M2-30C-130



P-M3-30C-130



PVL-60-30



PVL-80-30



PVL-80-40



PVL-100-30



PVH-80-30



PVH-50-30L



PVH-50-30S



PML2-50-30S



PML2-50-30L



PML3-50-20



TS6-50-30



TS5-50-30



TS4-50-30



TW-50-30



TW-75-30



TW-100-30



TD-100-20



TD-100-50



TD-100-118



TH-100-30



TM1-30-40



TM2-30-40



TM3-30-5



TC-100-30



TC－F100-50



TC-100-50



CML2-50-30



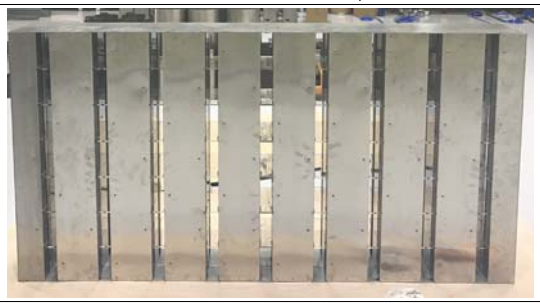
CML2-50-30M



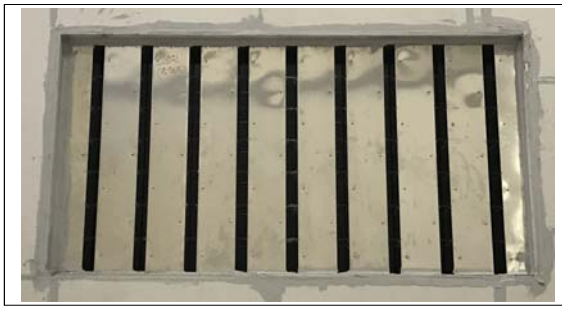
CML2-50-30-20/60



CML2-50-30-10/90



CML2-50-30S



CML2-50-30MS



CML3-50-30/8



그림 1.44 실험체 사진대지(2차년도)

1.2 실험 결과 및 분석

본 절에서는 통기구형태(반원, 사각형 및 세로Slit)에 따른 차음성능 결과를 정리하고 분석하고자 한다.

1.2.1 통기구 형태에 따른 차음성능

제4차 차음성능실험은 공명통 중앙부의 원통형 통기구를 갖는 방음판에서 공명통의 하단에 통기구를 위치시키고, 통기구의 형태를 사각형태와 반원형태에 대한 차음성능실험을 진행하였다.

아래의 그래프에서 보여지듯이 반원형태의 통기구를 갖는 방음판과 원형형태의 통기구를 갖는 방음판의 결과가 일치함을 알 수 있었다. 이러한 결과는 1차년도에 연구를 진행하면서 도출해낸 차음공식이 반원형태의 방음판 설계에 적용할 수 있음을 의미한다.

사각형 형태의 통기구를 갖는 방음판의 경우 원형형태의 통기구를 갖는 방음판과는 매우 상이한 결과를 보임에 따라 반원형태의 통기구를 갖는 방음판에 대한 연구를 진행하였다.

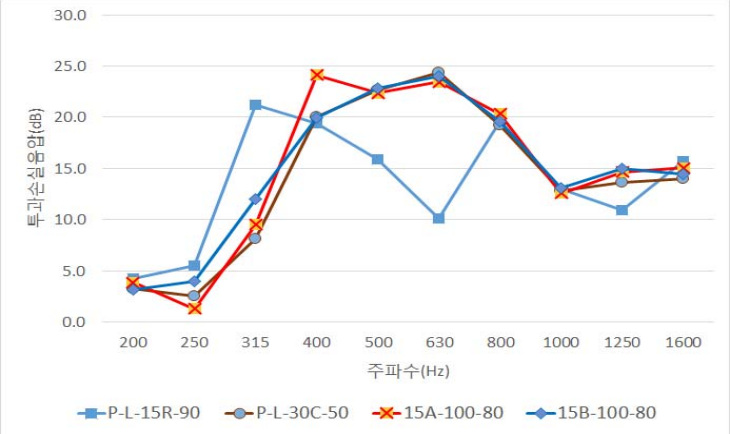


그림 1.45 통기구 형태에 따른 차음성능

표 1.8 풍하중 저감형 방음판 실험 - 통기구형태

주파수(Hz)	투과손실 음압(dB)			비고
	원형형태	사각형태	반원형태	
100	9.6	10.0	8.9	
125	5.1	5.3	4.9	
160	6.2	6.8	6.9	
200	3.2	4.2	3.2	
250	4.0	5.5	2.5	
315	12.0	21.2	8.1	
400	19.9	19.4	20.0	
500	22.8	15.9	22.7	**기준:25dB**
630	24.0	10.1	24.4	
800	19.5	19.6	19.2	
1 000	13.1	13.0	12.8	**기준:30dB**
1 250	15.0	10.9	13.6	
1 600	14.4	15.7	14.0	
2 000	16.4	13.7	16.2	
2 500	14.5	12.9	13.9	
3 150	15.2	13.9	14.8	
4 000	15.0	13.9	14.2	
5 000	14.8	13.4	14.1	

1.2.2 반원 중첩효과

2Layer과 3Layer의 차음성능은 500Hz와 1000Hz에서는 별다른 차이(약 1dB 차이)를 보이지 않았으나 630Hz와 800Hz에서 차음성능의 현격한 차이를 보이므로 2Layer대비 3Layer의 방음판의 차음성능이 우수하다고 판단되어 진다.

3Layer의 실험체의 경우 기준치 대비 500Hz에서 1.4dB 미달되었으며, 1,000Hz에서는 1.2dB 초과달성하였다.

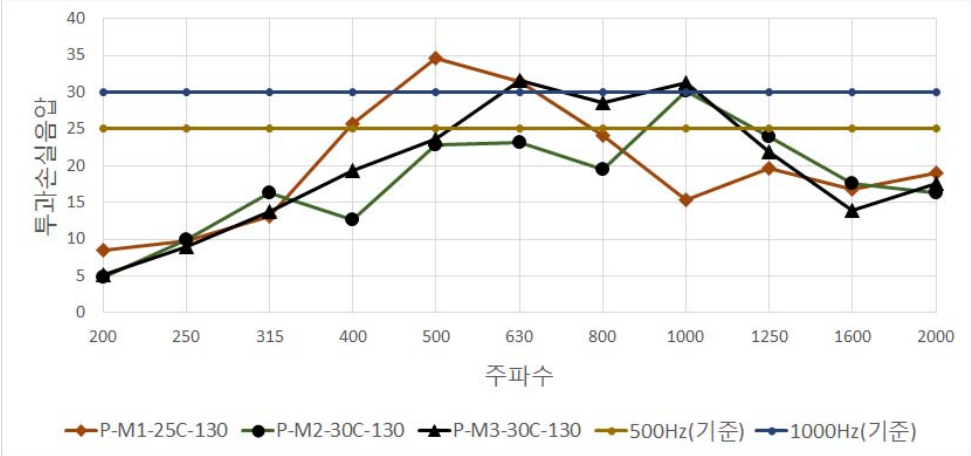


그림 1.46 중첩 차음성능

표 1.9 풍하중 저감형 방음판 실험 - 중첩

주파수(Hz)	투과손실 음압(dB)			비고
	P-M1-25C-130 (2Layer)	P-M2-30C-130 (2Layer)	P-M3-30C-130 (3Layer)	
100	7.5	8.1	8.7	
125	1.7	2.6	2.8	
160	3.3	3.2	3.7	
200	8.5	4.8	5.1	
250	9.7	10	9	
315	13.2	16.3	13.8	
400	25.7	12.7	19.3	
500	**34.6**	**22.9**	**23.6**	**기준:25dB**
630	31.5	23.2	31.6	
800	24.1	19.5	28.5	
1 000	**15.4**	**30.2**	**31.2**	**기준:30dB**
1 250	19.6	24	21.8	
1 600	16.8	17.6	13.9	
2 000	19	16.3	17.6	
2 500	15.2	15.6	14.5	
3 150	15.7	14.5	15.4	
4 000	15.5	14	14.9	
5 000	14.9	13.6	14.7	

1.2.3 세로Slit-전면부 개방 폭

315Hz부근에서 23.5dB로 최대 투과손실음압이 발생하였으며, 전면부 개방 폭이 좁은 실험체의 차음성능이 높게 나타났다.

315Hz에서 차이가 발생하는 것으로 보이나, 실험체 제작 시 발생하는 오차로 인한 결과로 보이며, 추후 전면부 개방 폭을 변화시키며 실험을 진행 예정임.

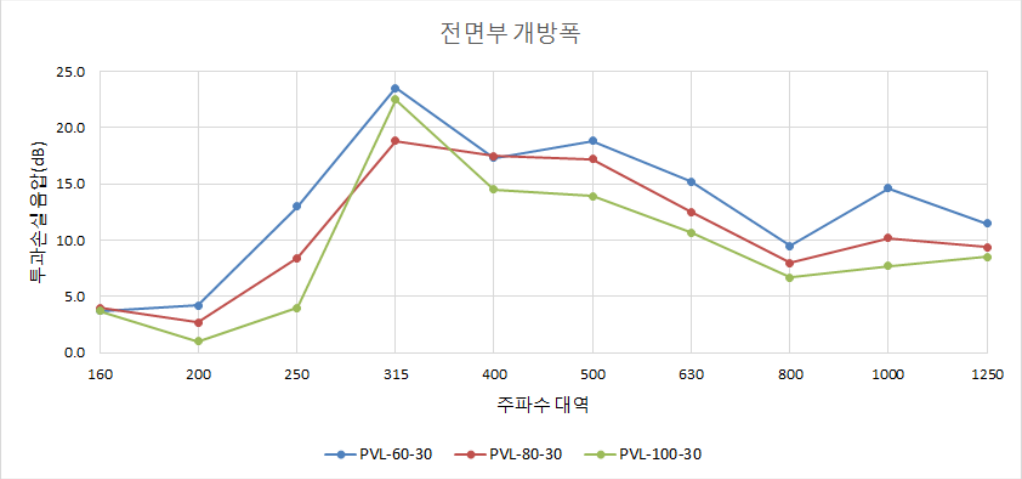


그림 1.47 중첩 차음성능

표 1.10 풍하중 저감형 방음판 실험 - 전면부 개방 폭

주파수(Hz)	투과손실 음압(dB)			비고
	PVL-60-30	PVL-80-30	PVL-100-30	
100	8.9	8.1	7.7	
125	4.5	3.9	3.7	
160	3.7	4.0	3.7	
200	4.2	2.7	1.0	
250	13.0	8.4	4.0	
315	23.5	18.8	22.5	
400	17.3	17.5	14.5	
500	**18.8**	**17.2**	**13.9**	**기준:25dB**
630	15.2	12.5	10.7	
800	9.5	8.0	6.7	
1 000	**14.6**	**10.2**	**7.7**	**기준:30dB**
1 250	11.5	9.4	8.5	
1 600	9.5	7.9	7.1	
2 000	8.3	7.9	7.1	
2 500	8.3	7.3	5.8	
3 150	9.8	7.8	6.9	
4 000	9.6	8.2	7.1	
5 000	8.9	7.8	6.3	

1.2.4 세로Slit-인입구 개방 폭

인입구의 개방 폭을 30mm와 40mm로 설계하여 차음성능실험을 진행하였으나, 인입구의 개방 폭이 차음성능결과 영향은 미미하다고 판단되어진다.

315Hz에서 차이가 발생하는 것으로 보이나, 실험체 제작 시 발생하는 오차로 인한 결과로 보여지며, 추후 인입구 개방 폭을 변화시키며 실험을 진행 예정임.

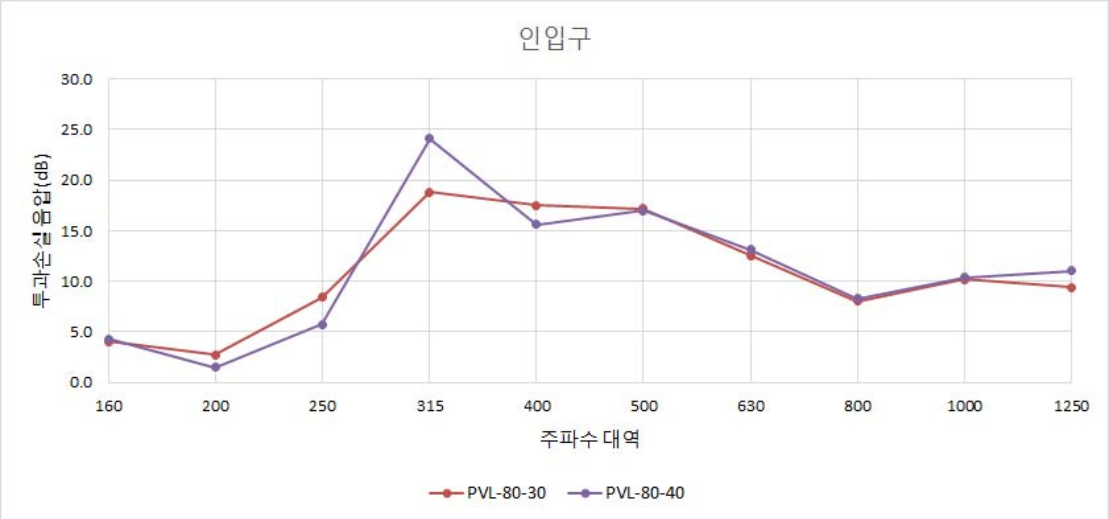


그림 1.48 중첩 차음성능

표 1.11 풍하중 저감형 방음판 실험 - 전면부 개방 폭

주파수(Hz)	투과손실 음압(dB)		비고
	PVL-80-30	PVL-80-40	
100	8.1	8.1	
125	3.9	4.2	
160	4.0	4.3	
200	2.7	1.5	
250	8.4	5.7	
315	18.8	24.1	
400	17.5	15.6	
500	**17.2**	**17.0**	**기준:25dB**
630	12.5	13.1	
800	8.0	8.3	
1 000	**10.2**	**10.4**	**기준:30dB**
1 250	9.4	11.0	
1 600	7.9	8.2	
2 000	7.9	8.4	
2 500	7.3	7.5	
3 150	7.8	8.0	
4 000	8.2	8.2	
5 000	7.8	8.1	

1.2.5 세로Slit-공명통의 부피

공명통의 부피는 PVL-80-30 대비 PVH-80-30의 약 2/3이며, 50-30(L) 대비 50-30(S) 약 1/2이다.

밑의 그래프와 표에서 보여 지듯이 공명통의 부피를 줄일수록 실험체의 차음음역대가 고주파영역으로 이동함을 확인할 수 있었다. 이러한 경향을 볼 때 차음 음역대 선정 시 가장 중요한 변수는 공명통의 부피임을 확인할 수 있었다.

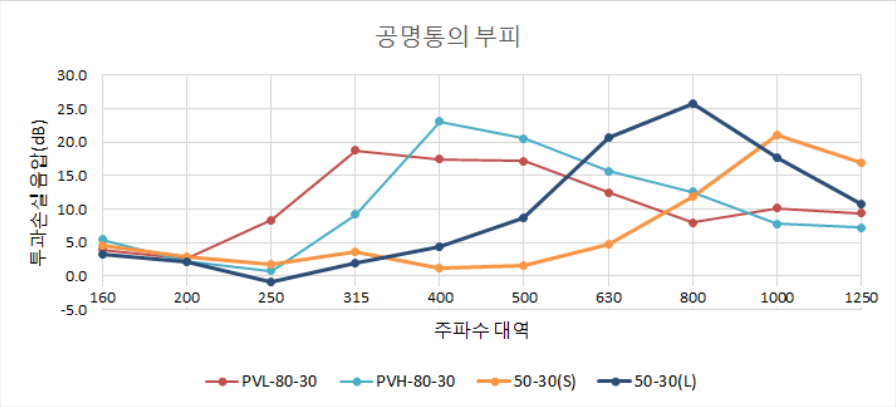


그림 1.49 중첩 차음성능

표 1.12 풍하중 저감형 방음판 실험 - 전면부 개방 폭

주파수(Hz)	투과손실 음압(dB)				비고
	PVL-80-30	PVH-80-30	50-30(L)	50-30(S)	
100	8.1	8.5	6.8	7.0	
125	3.9	5.3	2.4	3.3	
160	4.0	5.5	3.3	4.6	
200	2.7	2.3	2.1	2.9	
250	8.4	0.8	-0.8	1.8	
315	18.8	9.2	2.0	3.6	
400	17.5	23.1	4.3	1.2	
500	**17.2**	**20.6**	**8.6**	**1.6**	**기준:25dB**
630	12.5	15.7	20.8	4.8	
800	8.0	12.6	25.8	11.9	
1 000	**10.2**	**7.8**	**17.7**	**21.2**	**기준:30dB**
1 250	9.4	7.3	10.8	17.0	
1 600	7.9	8.6	5.1	8.1	
2 000	7.9	7.5	4.0	4.2	
2 500	7.3	7.3	4.4	4.4	
3 150	7.8	8.2	6.9	7.0	
4 000	8.2	8.2	6.7	6.9	
5 000	7.8	7.7	6.0	5.5	

1.2.6 세로Slit-중첩

앞 선 세로Slit형태의 방음판 차음성능실험 기반으로 방음판 중첩 차음성능실험을 진행하였다.

원/반원형태의 통기구를 갖는 방음판에서는 3Layer의 방음판이 2Layer보다 좋은 성능을 보였으나 세로Silt형태의 통기구를 갖는 방음판에서는 2Layer가 보다 좋은 성능을 보이는 것으로 판단된다.

실험체 PM2-50-30L에서 500Hz, 1000Hz 각각 2.8dB, 3.0dB기준치에 미달하는 것으로 나타났다. 하지만 추후 실험을 통해 기준치 달성할 것으로 예상된다.

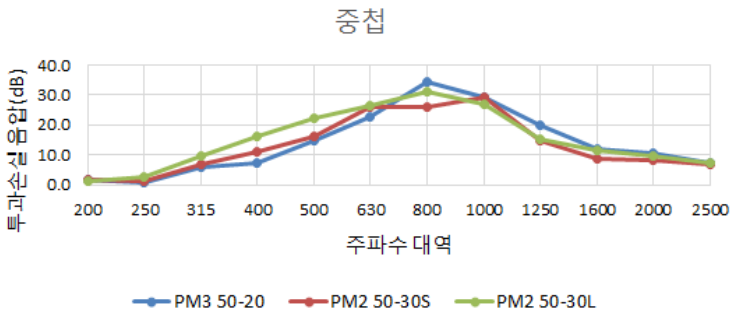


그림 1.50 중첩 차음성능

표 1.13 풍하중 저감형 방음판 실험 - 전면부 개방 폭

주파수(Hz)	투과손실 음압(dB)			비고
	PM3-50-20	PM2-50-30S	PM2-50-30L	
100	8.5	7.3	8.3	
125	4.2	2.9	3.7	
160	4.8	3.4	3.8	
200	1.7	1.7	1.3	
250	0.9	1.3	2.7	
315	6.0	6.9	9.9	
400	7.2	11.3	16.2	
500	**15.0**	**16.4**	**22.2**	**기준:25dB**
630	22.9	26.0	26.6	
800	34.3	26.1	31.3	
1 000	**29.3**	**29.2**	**27.0**	**기준:30dB**
1 250	19.7	14.7	15.4	
1 600	12.2	8.6	11.3	
2 000	10.7	8.2	9.8	
2 500	7.5	7.0	7.2	
3 150	9.6	8.9	9.9	
4 000	7.8	8.9	9.2	
5 000	10.5	9.0	9.6	

1.2.7 세로Slit - Slit 수 & 공명통의 부피 & 개구율

동일한 크기의 방음판을 전면 개방폭과 인입구 개방폭을 고정하고 Slit수를 변경하며 실험을 진하였다.

Slit의 수가 감소하면서 공명토의 부피가 감소하여 차음음역대가 고주파 영역으로 이동하였고, 투과손실음압의 차이는 개구율에 따른 것으로 판단됨.

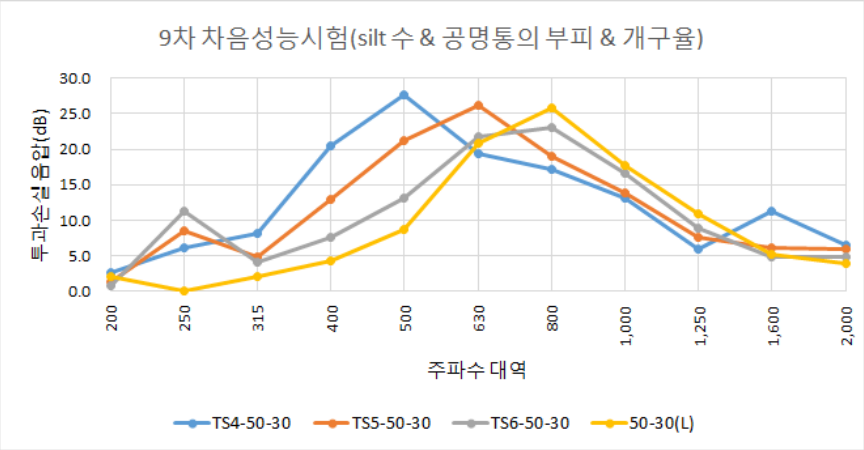


그림 1.51 중첩 차음성능

표 1.14 풍하중 저감형 방음판 실험 - 전면부 개방 폭

주파수(Hz)	투과손실 음압(dB)				비고
	TS4-50-30	TS5-50-30	TS6-50-30	50-30(L)	
100	11.3	9.9	9.0	6.8	
125	15.9	14.5	14.3	2.4	
160	10.4	9.4	8.0	3.3	
200	2.7	1.4	0.8	2.1	
250	6.1	8.6	11.2	0.0	
315	8.1	4.8	4.1	2.0	
400	20.4	12.9	7.6	4.3	
500	**27.7**	**21.2**	**13.1**	**8.6**	**기준:25dB**
630	19.4	26.2	21.8	20.8	
800	17.2	19.0	23.0	25.8	
1 000	**13.0**	**13.8**	**16.6**	**17.7**	**기준:30dB**
1 250	5.9	7.7	8.9	10.8	
1 600	11.3	6.0	4.8	5.1	
2 000	6.4	6.0	4.8	4.0	
2 500	6.7	6.6	6.0	4.4	
3 150	8.4	7.4	7.1	6.9	
4 000	8.4	8.5	6.5	6.7	
5 000	8.5	7.5	6.6	6.0	

1.2.8 세로Slit - 전면부 개방폭

동일한 인입구 폭, 공명통의 부피, 공명통의 개수를 고정하고 전면부의 개방폭을 변경하여 실험을 진행하였다.

최고 투과손실음압이 발생하는 주파수는 동일하며, 개구율의 차이로 이하여 투과손실음압이 다소 감소하는 경향을 보였다.

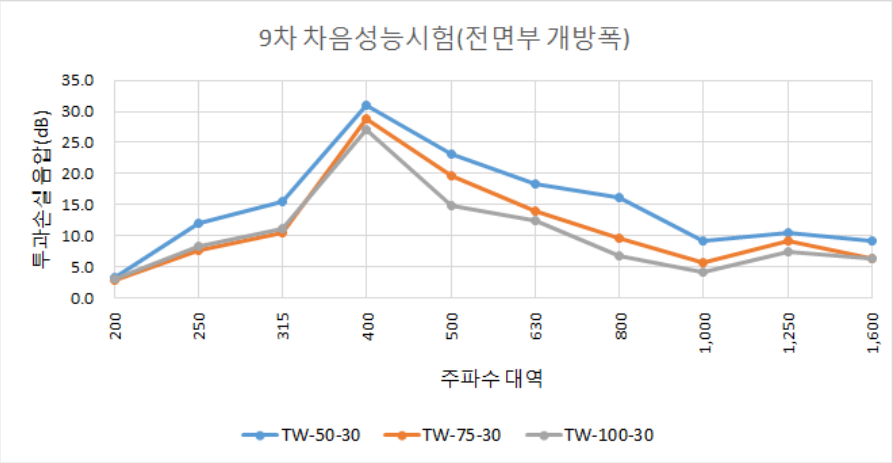


그림 1.52 중첩 차음성능

표 1.15 풍하중 저감형 방음판 실험 - 전면부 개방 폭

주파수(Hz)	투과손실 음압(dB)			비고
	TW-50-30	TW-75-30	TW-100-30	
100	12.6	12.4	6.9	
125	17.6	16.6	14.1	
160	12.3	8.8	10.1	
200	3.3	2.8	3.1	
250	12.0	7.6	8.3	
315	15.4	10.5	11.1	
400	30.9	28.8	27.0	
500	**23.1**	**19.5**	**14.9**	**기준:25dB**
630	18.4	14.0	12.5	
800	16.2	9.7	6.8	
1 000	**9.2**	**5.7**	**4.1**	**기준:30dB**
1 250	10.5	9.2	7.3	
1 600	9.2	6.5	6.3	
2 000	7.0	6.8	6.1	
2 500	7.4	6.9	6.4	
3 150	9.4	7.9	6.4	
4 000	10.6	8.4	7.0	
5 000	9.7	7.7	6.6	

1.2.9 세로Slit - 형태

세로 형태의 Slit을 가로 형태로 변경하여 실험을 진행하였다.

유사한 설계 실험체인 TW-100-30(개구율이 25%로 동일)과 비교할 경우 매우 유사한 형태의 차음성능을 보였으나, 세로형태의 Slit구조보다 가로형태의 Slit구조형태가 투과손실음압이 다소 감소하는 경향을 보였다.

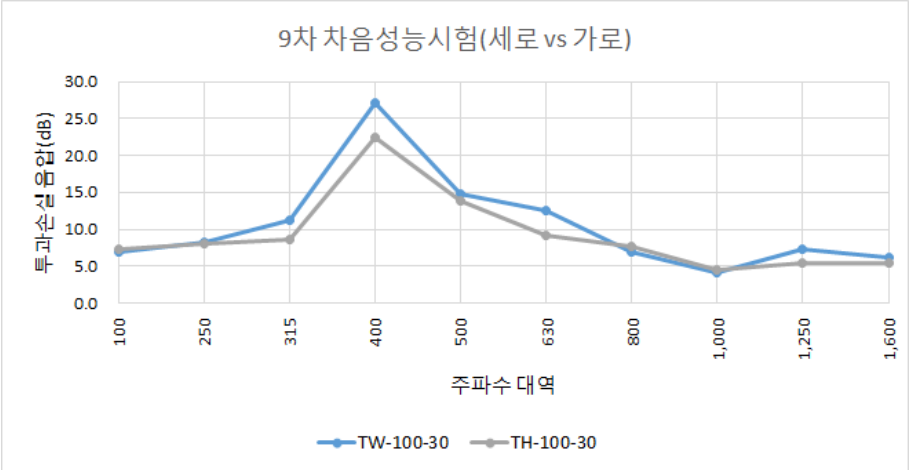


그림 1.53 중첩 차음성능

표 1.16 풍하중 저감형 방음판 실험 - 전면부 개방 폭

주파수(Hz)	투과손실 음압(dB)		비고
	TW-100-30	TH-100-30	
100	6.9	7.2	
125	14.1	13.8	
160	10.1	10.7	
200	3.1	2.4	
250	8.3	8.1	
315	11.1	8.7	
400	27.0	22.5	
500	**14.9**	**13.8**	**기준:25dB**
630	12.5	9.1	
800	6.8	7.7	
1 000	**4.1**	**4.6**	**기준:30dB**
1 250	7.3	5.4	
1 600	6.3	5.5	
2 000	6.1	4.3	
2 500	6.4	4.9	
3 150	6.4	6.2	
4 000	7.0	6.3	
5 000	6.6	5.8	

1.2.10 세로Slit - 전면부 개방폭

전면부의 개구율이 낮아짐에 따라 투과손실이 증가하였으며, 인입구의 개방폭이 감소함에 따라 차음음역대가 저주파로 이동함을 확인하였다.

공명통의 수평분할에 따라 차음음역대가 고주파로 이동하는 결과를 볼 때, 방음판 제작 시, 공명통 분할을 수평/수직 분할에 따른 제조방법 중 편리한 방법으로 제작이 가능할 것으로 판단됨.

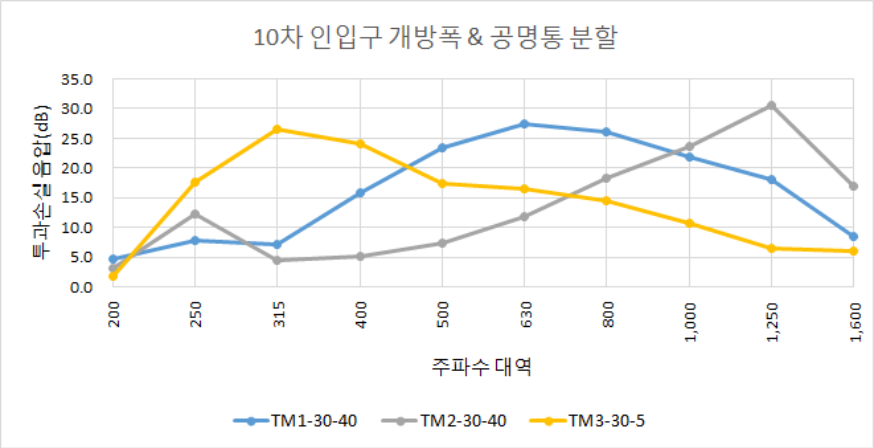


그림 1.54 중첩 차음성능

표 1.17 풍하중 저감형 방음판 실험 - 전면부 개방 폭

주파수(Hz)	투과손실 음압(dB)			비고
	TM1-30-40	TM2-30-40	TM3-30-5	
100	10.4	7.3	10.0	
125	16.4	13.6	16.2	
160	10.2	9.6	8.8	
200	4.7	3.2	1.8	
250	7.9	12.3	17.7	
315	7.2	4.4	26.5	
400	15.8	5.1	24.2	
500	**23.4**	**7.5**	**17.3**	**기준:25dB**
630	27.4	11.9	16.5	
800	26.2	18.2	14.5	
1 000	**21.8**	**23.6**	**10.7**	**기준:30dB**
1 250	18.1	30.6	6.6	
1 600	8.5	16.9	6.0	
2 000	11.8	7.4	6.3	
2 500	8.4	4.7	6.5	
3 150	8.4	7.1	8.6	
4 000	11.1	7.9	8.6	
5 000	9.9	8.8	8.2	

1.2.11 세로Slit - 재질

금속재(내부 아크릴 프레임) 방음판과 아크릴 방음판의 차음성능실험을 진행하였으며, 투과손실음압이 아크릴을 사용하여 제작한 방음판보다 금속재 방음판의 투과손실음압이 약 2.3dB~3.4dB 금속재 방음판이 우수한 것으로 나타났다.

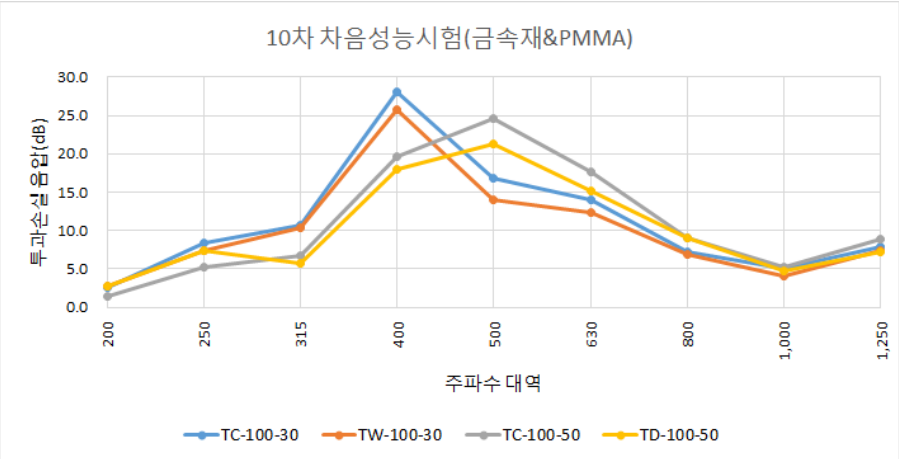


그림 1.55 중첩 차음성능

표 1.18 풍하중 저감형 방음판 실험 - 전면부 개방 폭

주파수 (Hz)	투과손실 음압(dB)						비고
	TC-100-30 (A)	TW-100-30 (B)	차이 (A-B)	TC-100-50 (C)	TD-100-50 (D)	차이 (C-D)	
100	7.8	6.6	1.2	9.2	7.1	2.1	
125	14.3	13.2	1.2	14.9	12.9	2.0	
160	7.9	9.0	-1.1	9.9	8.4	1.5	
200	2.6	2.7	-0.1	1.5	2.7	-1.2	
250	8.4	7.5	0.9	5.2	7.5	-2.2	
315	10.7	10.4	0.4	6.7	5.7	1.0	
400	**28.2**	**25.8**	**2.3**	19.6	18.0	1.6	
500	16.8	14.0	2.8	**24.7**	**21.3**	**3.4**	
630	14.0	12.4	1.6	17.6	15.1	2.5	
800	7.2	6.8	0.4	9.0	9.0	0.0	
1 000	5.0	4.1	0.9	5.3	4.7	0.6	
1 250	7.9	7.3	0.6	8.9	7.1	1.8	
1 600	6.7	5.3	1.4	7.5	7.0	0.5	
2 000	6.1	5.8	0.3	6.3	6.0	0.3	
2 500	6.6	6.2	0.3	6.8	6.6	0.2	
3 150	6.5	6.0	0.5	6.9	6.6	0.3	
4 000	7.0	7.0	0.0	6.8	6.5	0.3	
5 000	5.9	6.4	-0.4	6.5	6.9	-0.3	

※ A, C : 금속재(내부아크릴)방음판. B, D : 아크릴 방음판(투명방음판)

1.2.12 금속재 방음판 차음성능실험

설계된 방음판 중 과제(고속도로 재료품질기준) 목표인 500Hz:25dB, 1,000Hz:30dB를 만족하는 실험체는 CML2-50-30S이며, 상세한 투과손실음압은 아래의 그림 1.56과 표 1.19와 같다.

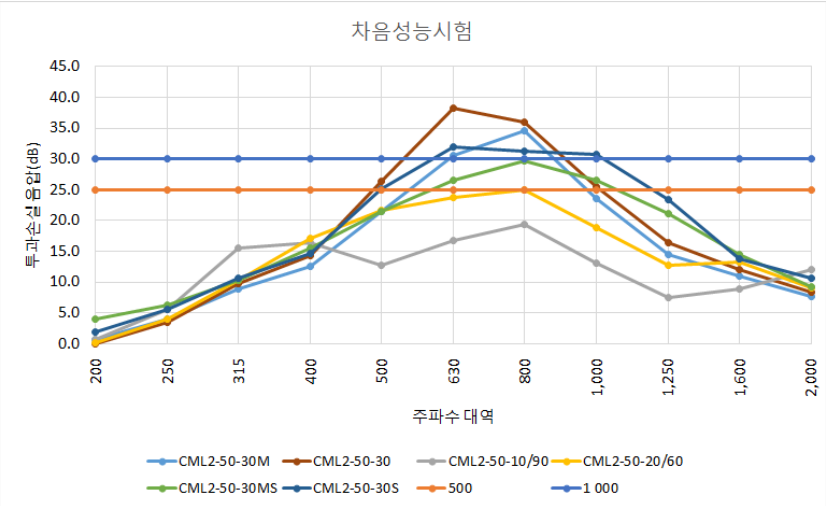


그림 1.56 중첩 차음성능

표 1.19 풍하중 저감형 방음판 투과손실실험

주파수 (Hz)	투과손실 음압(dB)						비고
	CML2-50-30M	CML2-50-30	CML2-50-10/90	CML2-50-20/60	CML2-50-30MS	CML2-50-30S	
100	4.5	6.9	4.3	4.6	7.2	10.6	
125	1.0	3.5	1.6	1.4	2.3	9.2	
160	1.3	2.9	1.5	1.7	2.4	5.8	
200	0.6	0.0	0.6	0.2	3.9	1.8	
250	4.0	3.4	5.6	4.0	6.2	5.6	
315	8.8	9.8	15.5	10.3	10.3	10.6	
400	12.5	14.3	16.4	17.0	15.5	14.7	
500	**21.5**	**26.4**	**12.7**	**21.6**	**21.5**	**25.2**	**기준:25dB**
630	30.5	38.2	16.8	23.7	26.5	31.9	
800	34.5	36.0	19.4	25.0	29.7	31.2	
1 000	**23.6**	**25.4**	**13.1**	**18.8**	**26.5**	**30.7**	**기준:30dB**
1 250	14.4	16.3	7.4	12.7	21.1	23.3	
1 600	11.0	12.0	8.9	13.3	14.4	13.8	
2 000	7.6	8.4	12.0	9.1	9.2	10.6	
2 500	5.0	6.2	9.1	5.7	7.2	7.6	
3 150	8.9	10.0	9.4	8.1	11.0	11.5	
4 000	8.5	9.0	7.0	7.4	10.5	10.9	
5 000	7.9	9.3	7.9	8.0	10.5	11.0	

2.방음판 풍하중 저감

2.1 개요

1차년도 풍동실험의 경우 풍동실험에 대한 방법에 대한 이해와 바람에 대한 연구가 원활히 진행되지 못하였다.

이러한 점을 보완하고자 전문적인 기관에 의뢰 및 자문을 통해 보다 체계적인 풍동실험을 진행할 수 있도록 하였다.

2.2 2차년도 1차 풍동실험

2차년도 1차 풍동실험은 대우건설연구원의 대형풍동에서 축소모델을 대상으로 하여 실험이 진행되었다.

측정 장비는 대우건설기술연구원 자체 보유 중인 6축 센서를 이용하였으며, 축소모형은 실제 방음판 규격 대비 1/10으로 제작하였다.

축소된 모델에 대한 검증은 전산해석(CFD)을 통하여 이루어졌다.

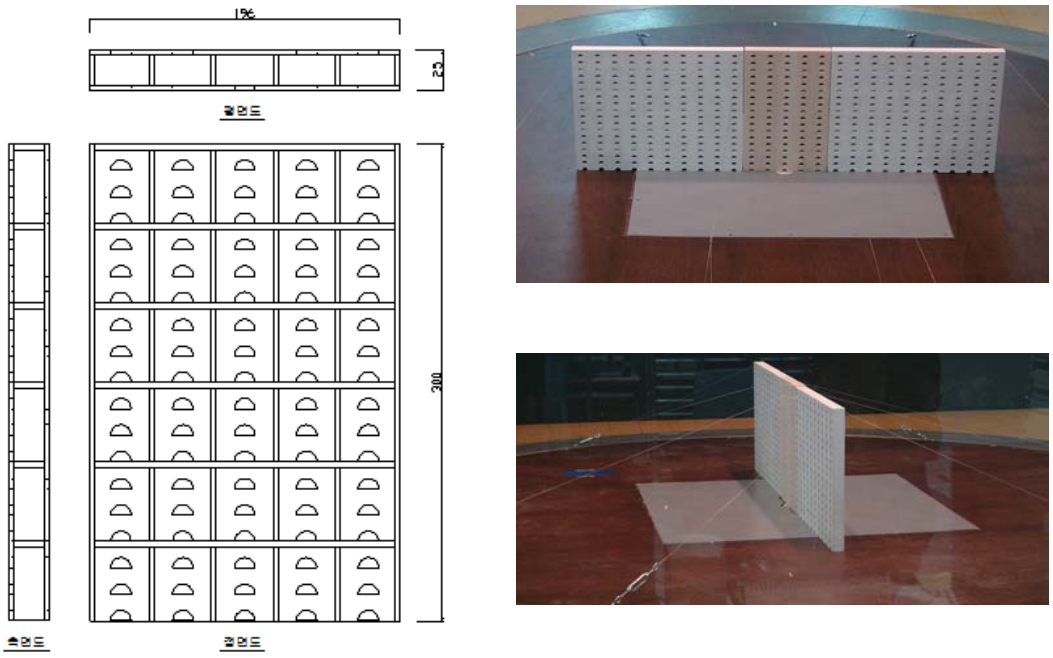


그림 2.1 축소모형 풍동실험

2.2.1 풍동실험 실험체 및 실험 Case 선정

풍동실험은 반사형 방음판과 통기형 방음판 축소모델에 대하여 풍하중 저감율을 측정하였다. 이 때 사용된 바람의 특성은 난류와 등류 두 종류의 바람에 대하여 실험을 진행하였으며, 풍속은 5m/s, 7.5m/s, 10m/s, 12.5m/s 와 15m/s를 대상으로 풍동실험을 진행하였다.

2.2.2 풍동실험 결과

축소모형 실험의 결과는 다음과 같다.

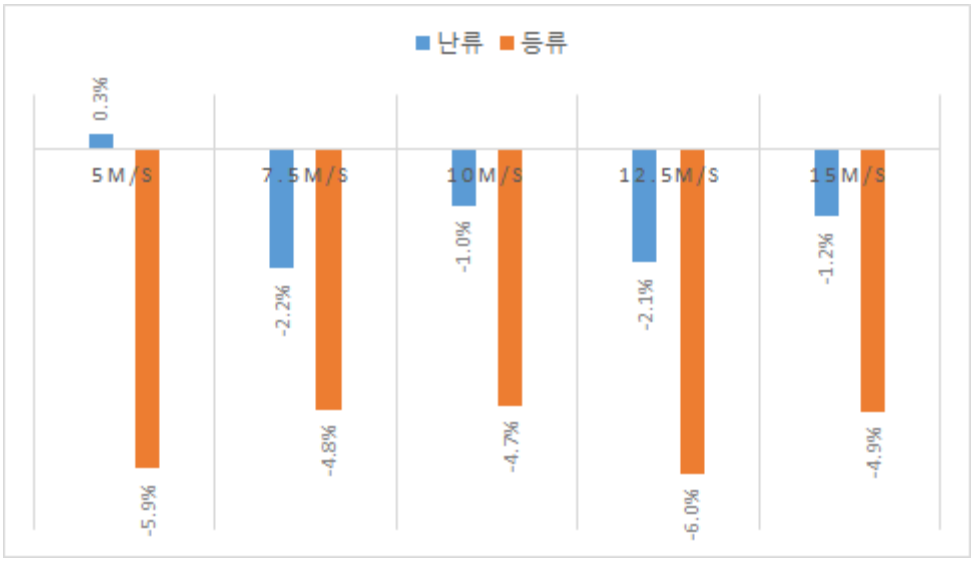


그림 2.2 축소모형실험 결과 그래프

표 2.1 축소모형실험 결과(N)

구분	풍질	풍속					비고
		5m/s	7.5m/s	10m/s	12.5m/s	15m/s	
반사형	난류	0.17	0.37	0.68	1.05	1.50	
	등류	0.26	0.55	1.01	1.59	2.32	
통기형	난류	0.17	0.38	0.69	1.07	1.52	
	등류	0.28	0.58	1.06	1.68	2.43	
Ratio	난류	0.27%	-2.21%	-1.04%	-2.10%	-1.25%	
	등류	-5.90%	-4.82%	-4.75%	-5.99%	-4.86%	

2.2.3 소결 및 풍동실험 개선안

대우건설기술연구원에 진행된 축소실험의 결과는 통기형 방음판이 반사형 대비하여 풍하중이 오히려 증가하는 양상을 보였다. 하지만, 이는 전산해석 상으로는 축소모형에 대한 고려가 되지 않아 일어나는 현상인 것으로 판단되어진다.

따라서, 축소모형에 대하여 실험을 진행하는 것은 지양하고 실제 크기의 방음판 혹은 일부 부분모형실험을 진행하는 것이 타당하다고 보여진다.

2.3 2차년도 2차 풍동실험

2차년 2차 풍 동실험은 축소모형실험의 결과를 검증하고, 풍하중을 저감할 수 있는 방법에 대하여 다 방면으로 실험을 진행하는 방향으로 진행하였다.

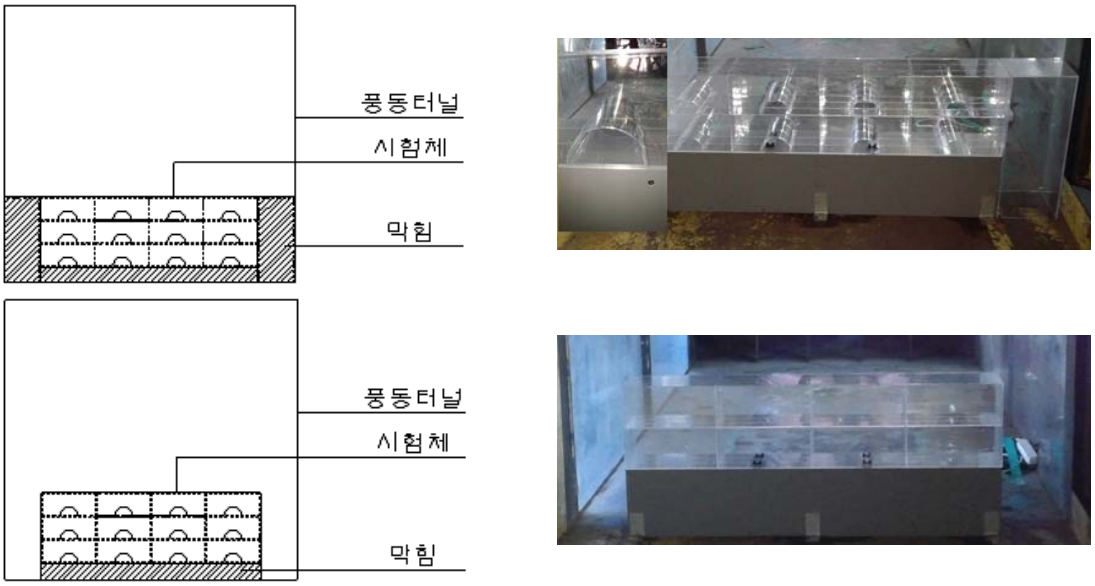


그림 2.3 부분 모형실험

위의 그림에서 보여 지듯이 양옆과 아랫부분을 Dummy를 이용하여 측방과 하단부로부터 유입되는 바람을 막고 실험체에 작용하는 풍하중을 측정하고자 하였다.

2.3.1 풍동실험 실험체 및 실험 Case 선정

부산대 풍동실험은 통기형 방음판과 반사형 방음판에 대하여 부분 모형 풍동실험으로 진행되었으며, 풍속은 5m/s, 7.5m/s, 10m/s 와 11m/s를 대상으로 풍동실험을 진행하였다.

2.3.2 풍동실험 결과

Block은 방음판의 양옆에서 유입되는 바람을 막은 경우이며, Non.Block는 방음판의 양옆으로 바람이 유입되도록 한 것이다.

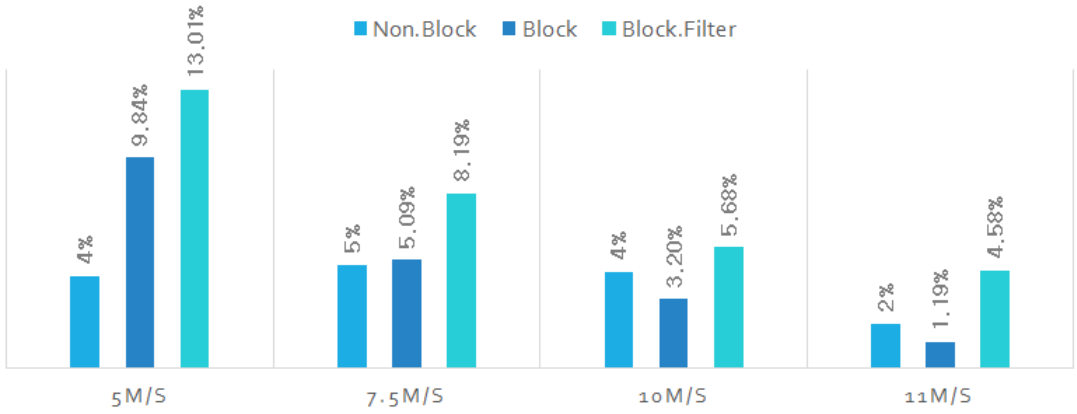


그림 2.4 축소모형실험 결과 그래프

표 2.2 축소모형실험 결과

구분	풍질	풍속(kg)				비고
		5m/s	7.5m/s	10m/s	11m/s	
반사형	Block	0.985	2.235	3.872	4.458	
	Non.Block	0.812	1.805	3.179	3.749	
통기형	Block	0.888	2.122	3.748	4.405	
	Non.Block	0.777	1.718	3.037	3.671	
Filter 사용 시	Block	0.985	2.235	3.872	4.458	
	Non.Block	0.857	2.052	3.652	4.254	
저감율 (AVERAGE)	Block	9.84%	5.09%	3.20%	1.19%	
	Non.Block	4%	5%	4%	2%	
	Filter	9.52%	5.90%	-2.13%	3.15%	

2.3.3 소결 및 풍동실험 개선안

부분 모형실험을 진행한 결과 축소 모형 풍동실험에 비해 통기형 방음판의 풍하중 저감율이 높게 나타났다. 하지만 과제의 풍하중 저감율 30%미만에는 많이 부족한 것으로 나타났다. 따라서, 이러한 점을 개선하고자 Diffuser와 상단Slit형태의 구조물을 추가 설치하여 실험을 진행하였으며, 이를 토대로 실제 크기의 통기형 방음판에 대한 실험을 진행하였다.

2.4 2차년도 3차 풍동실험

2차년 3차 풍동실험은 축소모형과 부분모형 풍동실험이 실제 크기에서도 같은 양상을 보이는지에 대한 검증으로서 진행하였다.

방음판은 3단으로 구성하였으며, 실제 방음판 설치 시와 유사하도록 H-beam을 사용하여 방음판을 지지하도록 하였다.



그림 2.5 야외 풍동 실험

2.4.1 풍동실험 실험체 및 실험 Case 선정

경상대 풍동시험의 경우 통기구 직경 D130mm를 갖는 방음판과 D200mm를 통기구를 갖는 방음판에 대하여 실험을 진행하였으며, D130mm의 통기구를 갖는 방음판에 한하여 Diffuser를 추가 설치하여 풍하중 저감율을 측정하였다.

2.3.2 풍동실험 결과

경상대학교서 진행된 실제 크기의 방음판에 대한 풍하중 측정 및 저감율은 다음과 같다.

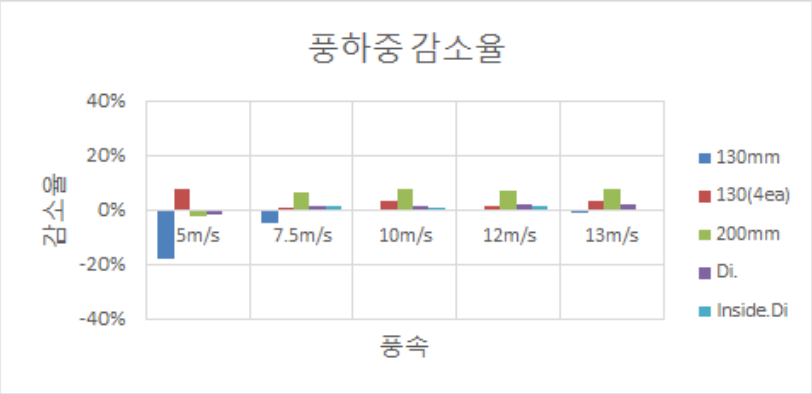


그림 2.6 야외 풍동실험 결과 그래프

표 2.3 야외 풍동실험 결과

구분		풍속(kg)					비고
		5m/s	7.5m/s	10m/s	12m/s	13m/s	
반사형		26.06	63.33	111.86	174.96	237.95	
D130mm		30.74	66.58	112.27	175.06	240.15	
D130mm-Diffuser		26.56	62.44	110.60	171.91	233.11	
D200mm		26.62	59.44	103.40	163.20	220.34	
Ratio	D130mm	-18%	-5%	0%	0%	-1%	
	D130mm-Diffuser	-2%	1%	1%	2%	2%	
	D200	-2%	6%	8%	7%	7%	

2.4.3 소결 및 풍동실험 개선안

실제 크기의 풍동실험을 경상대 풍동에서 진행하였으나, 9개의 디젤엔진을 사용하는 팬이 각각 바람을 일으키는 구조이고, 풍동의 유로가 일정하지 않아 일정한 풍속의 바람을 보내주지 못하였다.

대형 구조물인 관계로 풍동터널 안쪽에 설치하지 못하고 풍동터널이 끝나는 지점에 실험체를 설치하였으나, 측방으로 빠져나가는 바람이 상당하였다. 방음판 실험체의 측면에서 바람의 속도를 측정하였으나 이는 방음판에 의해 막혀 빠져나가는 바람의 풍속을 의미하며 실제 방음판에 작용하는 풍속은 매우 작을 것으로 판단된다.

따라서, 부분 모형으로 실험을 하는 것이 합리적이라 할 수 있겠다.

부분 모형실험을 진행하되 그 크기가 최대한 크게할 필요성이 있다. 이러한 점을 감안하여 전북대 대형 풍동실험센터에서 차후 시험을 진행할 예정이다.

2.5 2차년도 4차 풍동실험

1차년도와 2차년도 중반까지 연구를 진행해오던 반원형태의 통기구를 갖는 방음판에서 세로Slit형태의 통기구를 갖는 방음판으로 설계가 바뀌었다. 이러한 세로Slit이 풍하중에 반원형태의 방음판 대비 유리한지를 사전 검토하기 위하여 전북대 소형풍동에서 다음과 같이 간이 시험을 진행하였다.

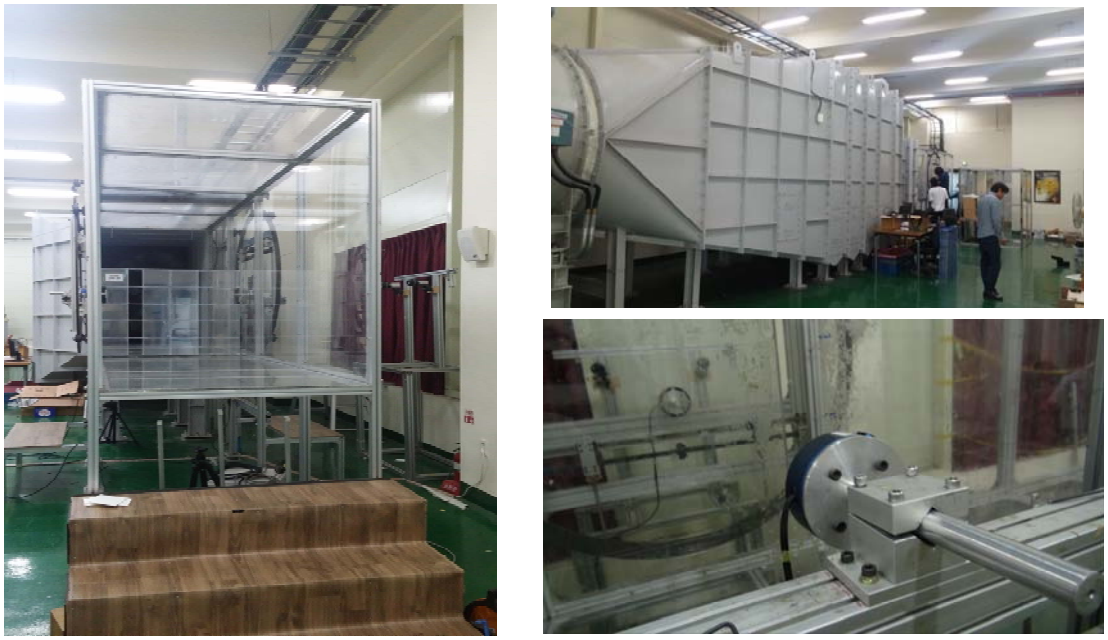
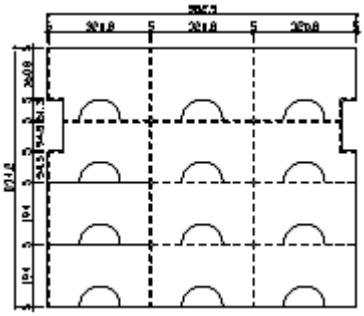


그림 2.7 간이 풍동실험

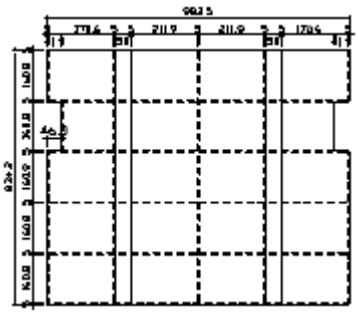
2.5.1 풍동실험 실험체 및 실험 Case 선정

기존 반원형태의 방음판과 세로Slit형태의 방음판에 대하여 실험을 진행하였으며, 풍속은 3m/s, 4.5m/s에 대하여 실험을 진행하였다.

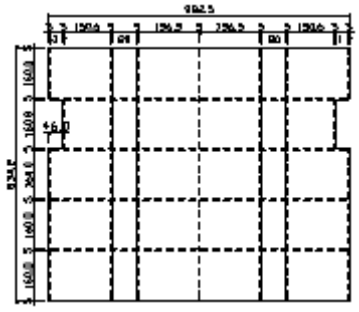
D130(개구율 10%)



50-30(개구율 10%)



80-30(개구율 16%)



100-30(개구율 20%)

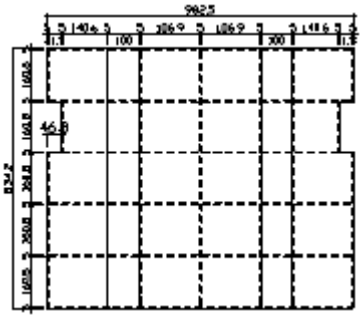


그림 2.8 간이 풍동실험 실험체

2.5.2 풍동실험 결과

다음은 간이 풍동실험의 결과를 요약한 것이다.

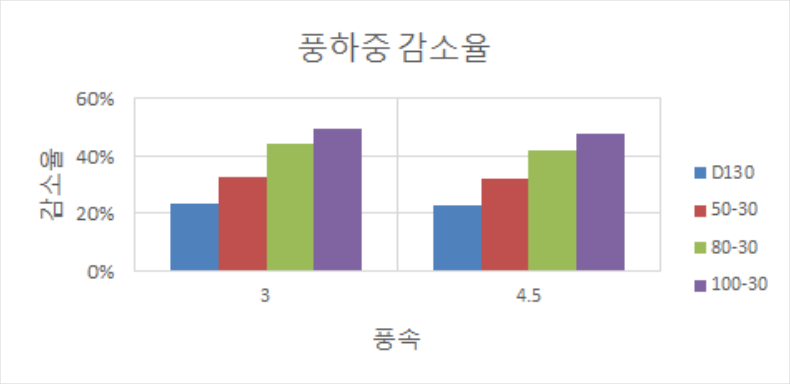


그림 2.9 축소모형실험 결과 그래프

표 2.4 간이 풍동실험 결과

구분		실험체(N)					비고
		Basic	D130	50-30	80-30	100-30	
3m/s		38.21	29.34	25.75	21.17	19.22	
4.5m/s		78.20	0.00	53.22	45.53	40.65	
Ratio	3m/s	-	23.19%	32.61%	44.58%	49.70%	
	4.5m/s	-	22.68%	31.95%	41.78%	48.02%	

2.5.3 소결 및 풍동실험 개선안

간이 풍동실험의 결과에서 보여 지듯이 반원형태의 방음판 대비 세로Slit형태의 방음판의 풍하중 저감율이 약 10%정도 높게 발생하였다.

향후 차음성능실험과 더불어 간이 풍동실험이 아닌 대형풍동터널에서 부분 모형실험을 진행 할 예정이다.

현재 개발 중인 세로Slit형태의 개구율이 20%전후인 점을 고려할 때 풍하중 저감율 30%를 만족할 수 있을 것으로 판단된다.

2.6 2차년도 5차 풍동실험

2차년도 4차 소형풍동실험은 세로slit 형태의 통기구를 갖는 방음판이 기존 연구했던 반원형 형태의 방음판에 비해 풍하중에 대해 유/불리를 확인하고자 하였다면, 2차년도 5차 풍동실험은 목표 성능에 근접에 방음판의 부분모형실험을 진행하여 실제 개발될 방음판의 풍하중 저감율을 확인하는데 그 목적이 있다.



그림 2.10 부분모형 풍동실험

2.6.1 풍동실험 실험체 및 실험 Case 선정

기존 반원형태의 방음판과 세로Slit형태의 방음판에 대하여 실험을 진행하였으며, 풍속은 13m/s, 18m/s에 대하여 실험을 진행하였다.

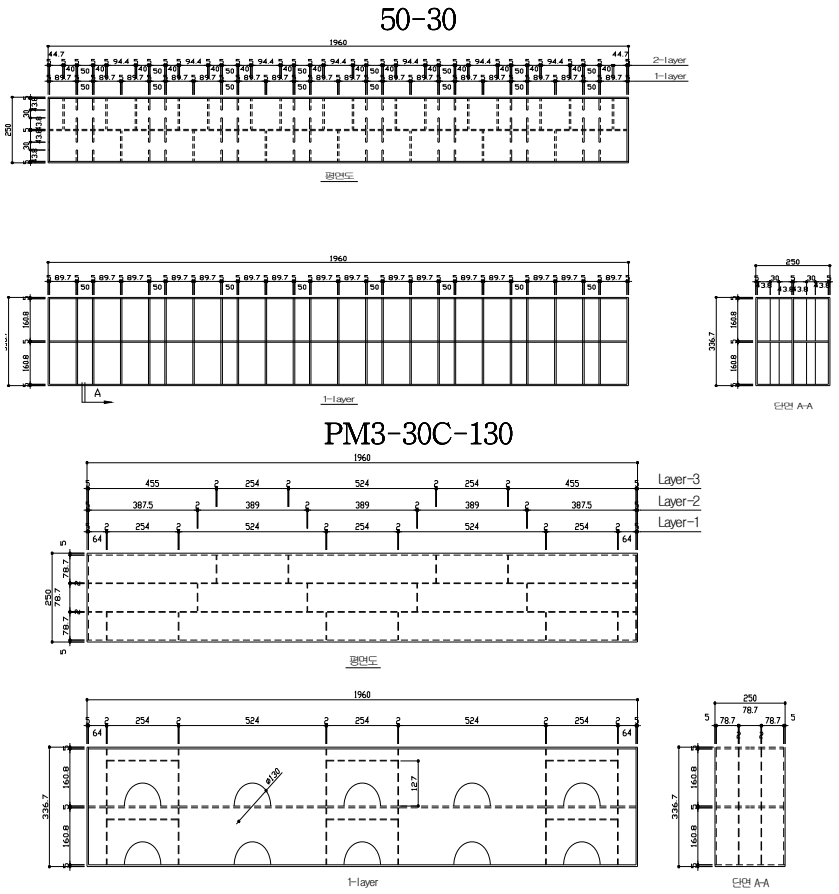


그림 2.11 부분모형 풍동실험 실험체

2.6.2 풍동실험 결과

다음은 간이 풍동실험의 결과를 요약한 것이다.

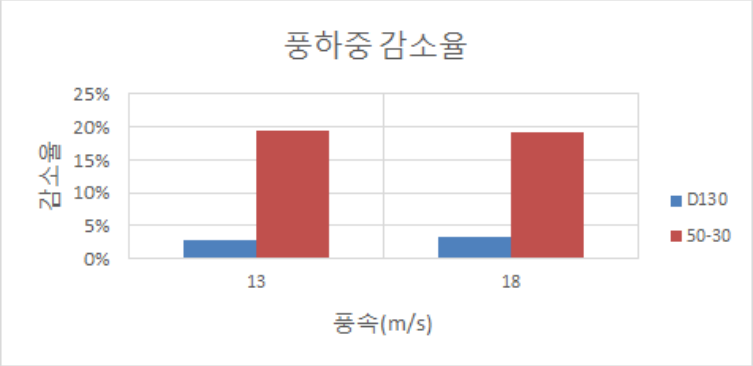


그림 2.12 부분모형실험 결과 그래프

표 2.5 부분모형실험 결과

구분		실험체			비고
		Basic	D130	50-30	
13m/s		77.12	75.01	62.15	
18m/s		150.09	145.19	121.25	
Ratio	13m/s	-	3%	19%	
	18m/s	-	3%	19%	

2.6.3 소결 및 풍동실험 개선안

간이 풍동실험과는 달리 부분 모형의 경우 풍하중 저감율이 낮아짐을 확인할 수 있었다. 이는 풍로에 차지하는 실험체의 단면적의 비율 즉, 폐쇄률의 차이로 인해 발생하는 것으로 보여진다.

반원형의 통기구를 갖는 방음판의 경우 풍하중의 저감율이 매우 낮아 통기의 목적으로는 사용이 가능하나 풍하중을 줄이기 위한 방음판으로는 부적합함을 확인할 수 있었다.

세로 Slit형태의 통기구를 갖는 방음판의 경우 19%로 간이 풍동실험에서 측정된 값과 상당한 차이를 보임을 확인하였으며, 풍하중 저감율 30%를 만족하는 방음판을 찾기 위해 차음성능실험과 병행하여 수정/보완할 필요성이 있음.

2.7 2차년도 6차 풍동실험

본 풍동실험은 실제 크기의 방음판에 대한 풍하중을 확인하고자 진행하였다.

축소 모형과 부분 모형 풍동실험에서 발생한 풍하중 저감율과 실제 크기의 방음판(1,960 x1,000)에서 풍하중 저감율 양상을 비교해 보기 위하여 다음과 같이 설계, 제작 및 풍동실험을 진행하였다.



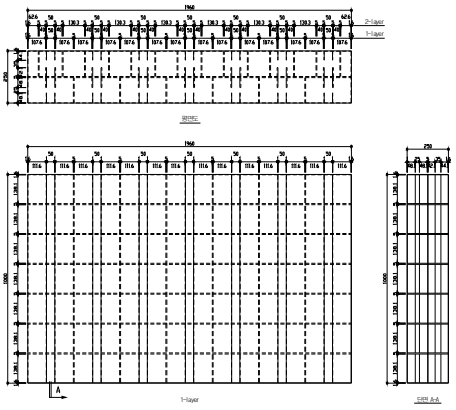
그림 2.13 실 모형 풍동실험

2.7.1 풍동실험 실험체 및 실험 Case 선정

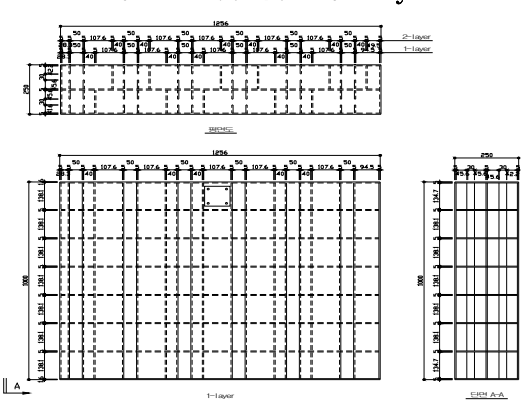
Slit형태의 통기구를 갖는 방음판에 대하여 실험을 진행하였으며, 풍속은 3m/s, 7.5m/s에 대하여 실험을 진행하였다.

실험체 양옆에 Dummy 실험체를 설치하여 양 측면으로 유입되는 바람을 막아 실험의 정확성을 높이고자 하였다.

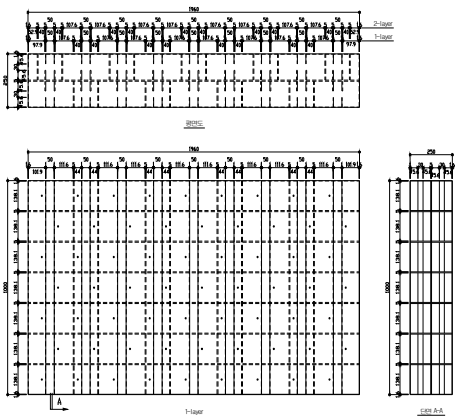
CML2-50-30



CML2-50-30-Dummy



CML2-50-30M



CML2-50-30M-Dummy

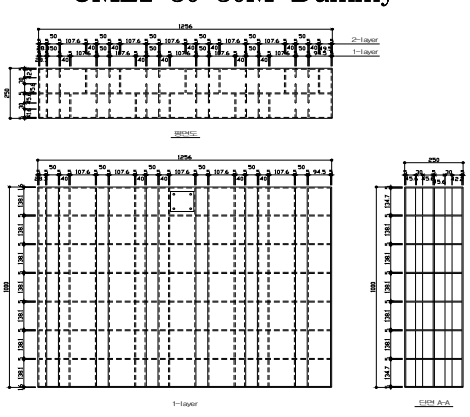


그림 2.14 실모형 풍동실험 실험체

2.7.2 풍동실험 결과

다음은 실 크기 방음판에 대한 풍동실험의 결과를 요약한 것이다.

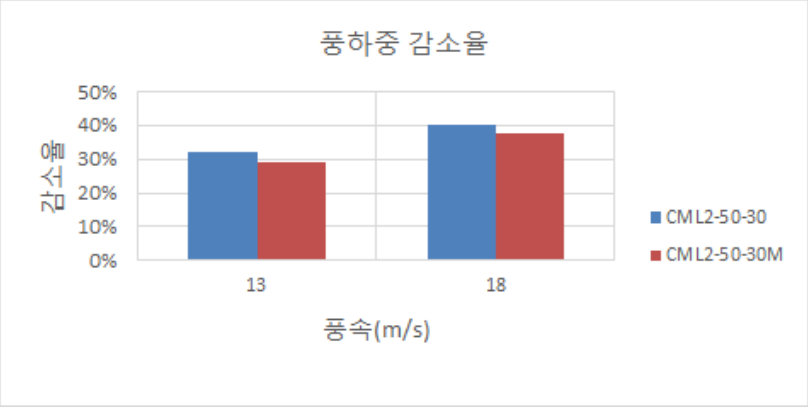


그림 2.15 풍동실험 결과 그래프

표 2.6 풍동실험 결과

구분		실험체			비고
		Basic	CML2-50-30	CML2-50-30M	
3m/s		33.85	23.01	20.25	
7.5m/s		212.81	151.33	133.19	
Ratio	3m/s	-	32%	40%	
	7.5m/s	-	29%	37%	

2.7.3 소결 및 풍동실험 개선안

폐쇄율(실험체의 단면적/풍동의 단면적)이 약 36%로 실험 값의 신뢰성은 낮지만, 세로Slit형태의 방음판의 풍하중 저감율은 3m/s, 7.5m/s에서 각각 40%, 37%로 풍하중 저감율이 높게 나왔다.

대형풍동실험센터에서 높은 폐쇄율 때문에 자료의 신뢰성이 낮다는 의견을 보여 부분 풍동실험으로 풍동실험을 진행해야 한다는 판단을 내렸으며, 차음성능을 만족하는 통기형 방음판에 대한 풍동실험은 부분풍동실험(폐쇄율 10%미만)으로 진행할 예정이다.

2.8 2차년도 7차 풍동실험

본 실험은 차음성능시험 기준을 만족한 실험체(CML2-50-30S)에 대한 부분모형 풍동실험으로서 이전 풍동실험의 문제점으로 지적되었던 폐쇄률(36%)를 10%이하로 보완하여 진행하였다.



그림 2.16 부분모형 풍동실험

2.8.1 풍동실험 실험체 및 실험 Case 선정

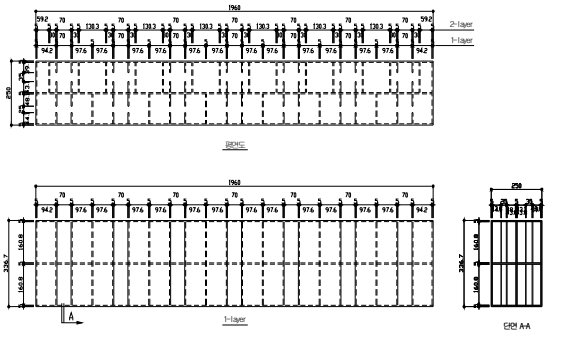
Slit(7ea)형태의 통기구를 갖는 방음판에 대하여 실험을 진행하였으며, 풍속은 8m/s, 10m/s에 대하여 실험을 진행하였다.

상기의 그림과 같이 하중을 측정하는 위치가 하단부 한 곳에서 6축에 대한 하중을 측정하는 방법을 사용하여 풍속이 높을수록 방음판의 진동이 심해지는 문제가 발생하였다.

이러한 이유로 반사형에 대한 진동이 일어나지 않는 최대풍속을 실험으로 확인하여 통기형 방음판에 대한 풍동실험을 진행하였다.

또한, 이전 실험과 같이 실험체 양옆에 Dummy 실험체를 설치하여 양 측면으로 유입되는 바람을 막아 실험의 정확성을 높이고자 하였다.

CML2-50-30M



CML2-50-30M-Dummy

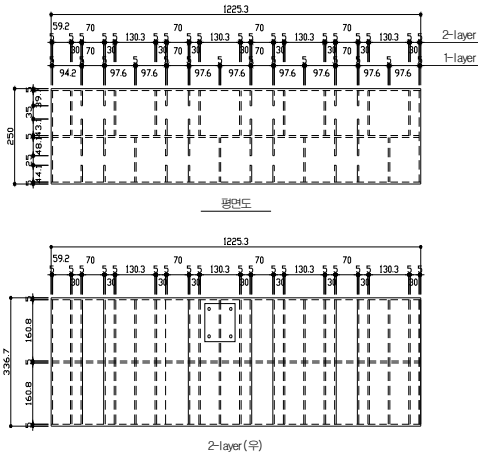


그림 2.17 부분모형 풍동실험 실험체

2.8.2 풍동실험 결과

다음은 CML2-50-30S 실험체의 부분모형 풍동실험의 결과를 요약한 것이다.

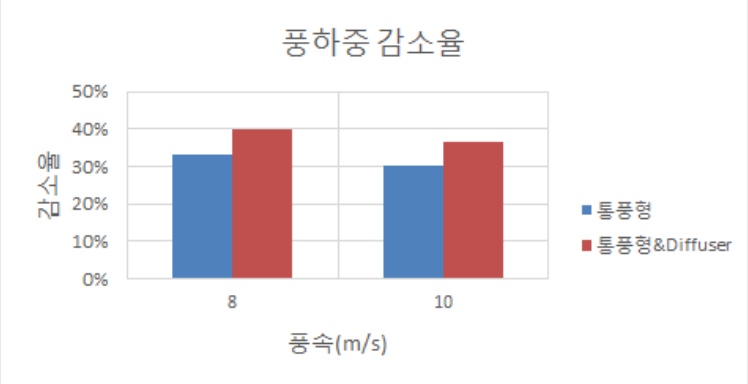


그림 2.18 부분모형실험 결과 그래프

표 2.7 실크기 모형실험 결과

구분		실험체			비고
		Basic	통기형	통기형 & Diffuser	
8m/s		25.78	17.27	15.54	
10m/s		39.74	27.8	25.21	
Ratio	8m/s	-	33%	40%	
	10m/s	-	30%	37%	

2.8.3 소결

차음성능기준(500Hz : 25dB, 1,000Hz : 30dB) 기준을 통과한 CML2-50-30S에 대한 풍동실험을 진행한 결과 8m/s에서 33%, 10m/s일 때 30%의 결과를 확인하였으며, 풍하중 저감률을 높이기 위해 Diffuser를 추가설치한 실험체에서는 각각의 풍속에 대하여 40%, 37%의 풍하중 저감률을 확인하였다.

2.9 결론

차음성능기준(500Hz : 25dB, 1,000Hz : 30dB) 기준을 통과한 CML2-50-30S의 풍하중 저감률은 8m/s에서 33%, 10m/s일 때 30%의 결과를 확인할 수 있었다.

앞선 2.7.2에서 보여 지듯이 풍속이 증가할수록 실험체의 진동이 심해지는 현상이 발생하였으며, 높은 풍속으로 인해 시험체의 파손이 일어날 경우 실험센터의 기기파손 우려로 인해 풍속을 제한할 수 밖에 없었다.

경상대에서 진행된 풍동실험에서 보여 지듯이 야외에서 진행하는 실험의 경우 실내풍동실험과는 달리 일정한 풍속을 유지하기 어렵고, 실험체의 크기가 커짐에 따라 낮은 풍속에서도 진동이 심해 유효한 실험결과를 얻기 힘들다는 결점이 있었다.

따라서, 8m/s에서 진행된 33%의 풍하중 저감률이 유효한 실험 결과로 판단된다.

3. 재료품질 시험

3.1 개요

1차년도는 차음성능실험 및 풍동실험을 진행함에 있어 제작이 용이하고 내부의 구조를 손쉽게 확인 할 수 있는 투명아크릴 소재를 사용하여 연구를 진행하였으며, 2차년도 역시 차음실험과 풍동실험을 진행 시 투명아크릴 소재를 사용하여 연구를 진행하였다.

하지만, 풍하중 저감형 방음판 개발 과제는 구매조건부 과제로써 한국도로공사 납품기준인 금속재 방음판으로 제작할 필요성이 있다.

따라서, 최종 개발된 통풍형 방음판은 금속재로 개발되었고 고속도로 재료품질기준 역시 금속재 방음판의 기준에 따라 적용하였다.

3.2 재료품질기준

고속도로 재료품질기준은 제14차 개정본에 준하여 적용하였으며, 내용은 아래와 같다.

시험항목	단위	품 질 기 준		비 고
투과 손실	dB	500Hz	25 이상	
		1000Hz	30 이상	
허용 변위량 시험(1) (하중 변위 시험)	㎜	탄성 변위량	50 이하	
		영구 잔류 변위량	$L/500$ 이하 *L: 시험용방음판 최대길이	
충격 시험(3)	-	충격원이 방음판을 관통하거나 방음판 내부 흡음재를 손상시켜서는 안 됨. 구조 성능에 문제를 일으키지 않는 수준의 사소한 균열 발생은 허용.		

3.3 결과

투과 손실 실험은 KOLAS 인증기관인 KCL(한국건설생활환경 시험연구원), KICT(한국건설기술연구원) 및 대우건설기술연구원에서 진행하였으며, 허용 변위량 시험과 충격 시험은 KTR(한국화학융합시험연구원)에서 진행하였으며, 실험을 진행한 결과는 아래의 표와 같다.

시험항목	단위	품 질 기 준		비 고
투과 손실	dB	500Hz	25.2	O.K
		1000Hz	30.7	O.K
허용 변위량 시험(1) (하중 변위 시험)	㎜	탄성 변위량	19.1	O.K
		영구 잔류 변위량	0.3	O.K
충격 시험(3)	-	이상없음		O.K
무게	kg	99.9		O.K
두께	mm	250		O.K

1. 목표 달성도

■ 질적 성과

연구 목표	연구내용	달성도(%)
풍하중 저감형 방음판 시제품 성능 기준	√ 초도품 및 시험 평가용 시작품 제작	100
	√ 풍하중	
	√ 소음	
	√ 변위량	
	√ 두께	
	√ 무게	
시작품 제작	√ 현장시험용	100
	√ 모니터링 시스템 구축	
제품화	√ 인증시험용 시제품 제작	100
	√ 국내.외 인증	
	√ 매뉴얼 및 유지보수 지침	

■ 양적 성과

연구 목표	연구내용		달성도(%)
풍하중 저감형 방음판 시제품 성능 기준	특허	출원 : 3건	100
		등록 : 1건	
	논문 : 3건		
	시제품 : 5건		
시작품 제작	시제품 : 1건		100
제품화	시제품 : 1건		100
	인증서 : 1건		

2. 관련 분야 기여도

2.1 기술적 측면

○ 본 연구로 개발된 기술은 매질(바람)이 상시적으로 통과 가능한 통기구가 구성되어 있어 상시적으로 풍하중 저감 효과가 있으며, 방음판이 회전하는 등의 기구적 구성이 불필요하기 때문에 내구성 및 제작이 간결하고, 소음은 공명부를 통해 상시적으로 차단되어 풍하중 저감과 우수한 소음 차단 성능 두 가지 모두 만족함.

○ 통기형 방음벽 연구는 머플러 중 공명식 머플러의 개념을 확장한 것으로 최근 국외와 국내에서 매질과 소리를 분리하는 기술로 주로 음향메타물질의 시각에서 다루고 있으며, 최근 바람과 같은 매질과 소음을 따로 분리하여 바람은 통과시키고 소음은 공명부에서 상쇄하여 차단하는 것이 가능한 기술로 현재 방음벽에 응용한 경우를 연구한 사례는 전무한 상태임

○ 통기형 방음판은 통기부와 공명부로 나누어져 통기부를 통해 바람이 통과하여 풍하중은 효과적으로 저감하고, 통기부와 공명부의 형태를 차단하고자 하는 소음의 특성에 맞춰 설계해 소음을 차단하는 방법으로 바람은 통과하고 소음은 상쇄되어 제거하는 기술로 이와 같은 개념의 기술 특허는 우리 연구단의 기술 외에는 전무한 상태이기 때문에 특허 분쟁의 여지가 없고 기술 경쟁력이 매우 높음

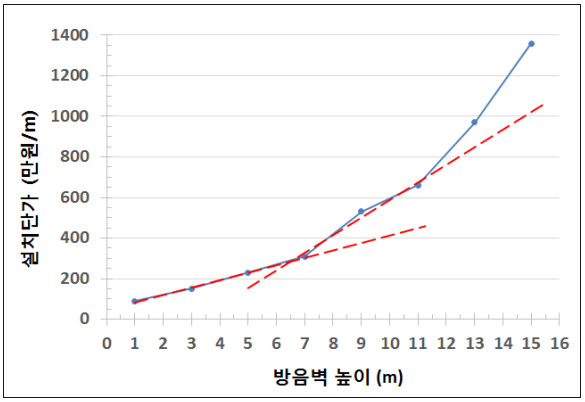
○ 도로교통에 따른 소음 저감을 위한 방음벽으로서 면풍 방음 시스템에 대한 특허가 일부 있으며 그 종류가 다양하지만, 재료적인 차이와 제조법에 관한 특허가 대부분으로 구조적으로 새로운 방향을 제시하거나 새로운 개념을 적용한 기술 특허는 찾아보기 어려운 실정임

2.2 경제적 측면

○ 본 과제를 통해 개발된 기술은 고속도로 뿐 아니라 도시고속화 등 지자체가 관리하는 도로 등의 방음시설물에서도 요구되는 기술로서 기술개발 시 향후 민·관에서의 활용성 및 수요가 높을 것으로 판단됨

○ 또한, 지주규모 및 풍하중 저감 기술개발이 수립되었을 경우, 구조적 한계로 인해 방음벽의 증설이 매우 제한적이며, 설치 시 내력확보가 매우 어려웠던 교량시설에 적용이 용이해지게 되어 70dB(기준 55dB)이상의 소음에 노출된 다수의 민원 해소에도 크게 도움이 될 것으로 판단됨.

○ 소음 피해에 따른 민원 해소를 위해 보다 높은 방음벽을 설치하고 있으나, 방음벽은 필연적으로 수직벽체에 작용하는 풍하중의 영향이 지배적인 구조로 구성될 수밖에 없어 높이가 높아질수록 기초, 지주, 앵커 등의 기반설치비용이 기하급수적으로 증가함으로 인해 전체적인 설치비용이 폭등하기 때문에 풍하중 저감을 통해 방음벽 높이에 따른 설치비용 절감시킬 수 있음.



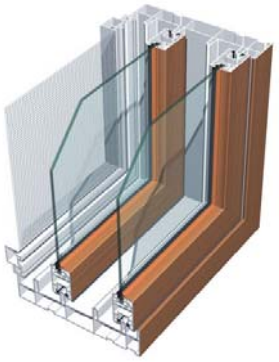
높 이	설치비/m	증가액/m
5m	230만원	-
7m	310만원	80만원
9m	530만원	220만원
11m	660만원	130만원
13m	970만원	310만원
15m	1360만원	390만원

○ 풍하중 저감형 방음벽을 적용하면 높은 방음벽 설치에 소요되는 예산이 큰 폭으로 절감되며, 기초, 지주 등의 규모가 제한적인 교량, 옹벽, 협소 공간 등에 설치되는 방음벽의 높이를 보다 높게 구성할 수 있기 때문에 소음 피해로 인한 민원 해소에 큰 효과가 있을 것으로 판단됨

○ 방음 원천 및 핵심기술결과는 도로 뿐 아니라, 철도에서도 향후 활용 가능하고, 본 과제는 소재, 구조, 시공, 모니터링 공법 등이 포함된 종합기술개발 및 실용화를 그 내용으로 하여 타산업과의 연계 가능성이 높음

○ 방음창으로의 응용

- 고속도로나 공장, 번화가, 공항 등 소음이 큰 지역에 위치한 주택, 사무실, 상가, 빌딩 등에 있어서 해당 기술을 응용하여 창문에 적용하는 경우, 문을 열어 환기를 시키는 동시에 소음 차단이 가능함



<이중창 형태의 일반 유리창>



<통기형 방음판을 적용한 방음창 형태>

○ 해양 분야로의 응용

- 물속의 경우, 대기 소음 보다 4~5배 빠르고 멀리 소음이 전달되기 때문에 양식장 주변을 운행하는 선박 소음에 의한 양식장 소음 피해가 발생되나 현재는 이를 해소할 방법이 없어 양식장 주변의 선박 항해 허가를 최대한 자제하는 것으로 대처하고 있음
- 양식업의 경우 강한 비바람 등에 의해 바닷물 흐름이 강해지는 경우에 대비하여 바닷물 흐름에 대한 저항(해수저항)은 낮아야 하고 통수형으로 바닷물의 흐름이 가능하면서 어류의 출입을 막아내기 위한 소재로 그물망을 사용하고 있으나, 그물망은 소음 차단이 불가능함

- 이에 본 연구에서의 기술 원리를 응용하여 양식장 주변에 통수형 방음막을 형성하는 경우 해수저항은 낮으며 선박에 의한 소음 차단이 가능해져 양식업 생산량 증대 효과로 인한 수산업 경제의 증진이 있을 것으로 판단되며, 선박의 항로 설정이 보다 자유로워지는 효과를 기대할 수 있음

- 아울러, TIME에서 선정한 최고의 발명품으로 큰 이슈가 되고 있는 떠다니는 양식장(아쿠아 파드)의 경우에도 해수저항이 낮으면서 이동매체인 모터, 엔진 등의 소음과 주변을 지나가게 되는 선박의 소음을 차단할 수 있는 본 연구의 기술을 연계한다면 보다 사업화가 수월할 것으로 판단됨



<부유식 일반 그물 양식장>



<아쿠아 파드>

○ 매질과 소리를 분리하는 연구는 국제적으로도 많은 관심을 받고 있으며 본 연구의 예비논문이 미국 MIT의 첨단기술소개사이트인 테크놀로지 리뷰에 의해 2013년 응용기술 분야 최고의 논문으로 선정된 이력이 있을 정도로 이 기술은 도시화로 인한 주택의 소음문제를 효과적으로 해결할 유력한 기술로 기대되고 있음

○ 해외의 경우, 자연 소리(숲의 나무 소리, 새소리 등)가 들려오는 것을 매우 선호하는 경향을 가지고 있고 생태계 보호에 민감하기 때문에 기존의 방음벽과 같은 구조에 비호감적인 성향을 가지고 있으나, 본 기술에서는 특정적 소음(자동차 소음, 기계 소음 등)만을 차단하고 통기형의 넓은 통로가 다수 형성되어 있어 작은 생물체의 이동에 방해가 없기 때문에 생태계 보호 차원에서도 매우 유익함

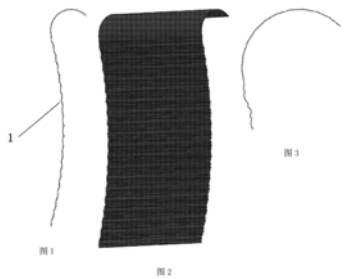
○ 특히 패시브 방법으로서 전원을 사용하지 않기 때문에 전력이 부족한 제3세계 더운 지역에 상당히 도움이 될 것으로 보이며, 더욱이 원하는 주파수의 소리만 선택적으로 차단할 수 있기 때문에 소음 문제해결에 유력한 수단으로 판단됨. 예를 들어 바닷가 휴양지나 산간지역에서 개발이나 도로유지보수 등 공사가 진행될 때에 중장비 기계소음이나 차량 이동음 등의 스트레스성 소음은 차단하고 파도소리, 바람소리와 같은 자연의 소리만 듣는 것이 가능함

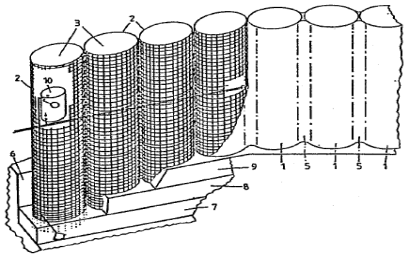
■ 국외 관련 특허

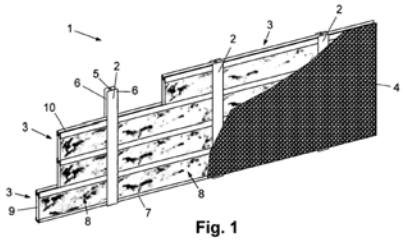
○ 관련 특허 목록

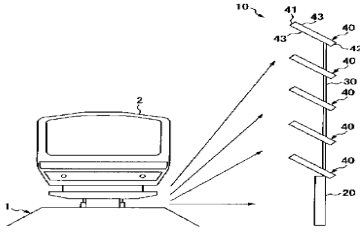
No.	공개번호	세부분류	기술내용
1	103541313	풍하중 저감 방음벽	빠른 속도로 달리는 열차에 의해 발생하는 풍하중을 저감시키기 위한 방음 패널 장치
2	00130178	소음 및 풍하중 저감 벽체	풍하중 저감 벽체 및 주요 시설 보호 구조물에 관한 연구
3	01770216	소음 저감 벽체	휘어지는 소음 저감 코어 재료로 구성된 풍하중 저감 벽체
4	24207509	소음 저감 벽체	열차운행소음에 대하여 경사 벽체면을 이용하여 소음 저감
5	18328940	소음 저감 벽체	작은 지름의 박막 소재를 사용하여 소음저감을 하는 단일 및 다중 벽면 연구
6	05156611	소음 저감 벽체	루버의 개방각도 조정을 통해 소음 및 진동 저감
7	10102431	방음벽 및 패널 설치	높은 위치에 있는 방음 패널의 상부에 쉐이딩 역할을 하는 패널 설치

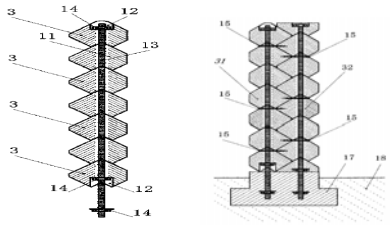
○ 특허별 요약 분석

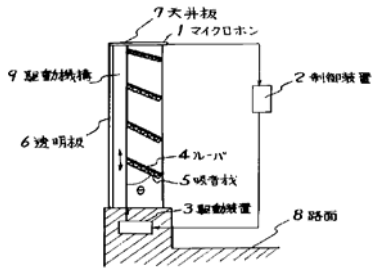
명 칭	고속전철운행에 따른 풍하중 저감 방음벽 (중국)		
출원번호	201210247860	출원일	2012년 07월 18일
공개번호	103541313	공개일	2014년 01월 29일
출원인	Wang Li 외	발명자	Wang Li 외
활용분야	풍하중 저감 방음벽	실현가능성	높음
특허 요약	 빠른 속도로 달리는 열차에 의해 발생하는 풍하중을 저감시키기 위한 방음 패널 장치에 관한 것으로 전체의 구조는 원호 형상에 철근 시트를 배치하고 무질서한 작은 원호 형상에 있는 시트 강철 및 가이드 원호 형상의 시트 강철로 형성됨		
개발 기술과의 차별성	곡선형의 수직벽체를 통해 바람이 수직으로 맞닿지 않고 곡면을 따라 흐르게 만들 풍하중을 저감하는 기술. 곡면 형태의 지주가 강성이 약해 높은 형태로 구성이 어렵고 풍하중 저감 효과가 낮음		

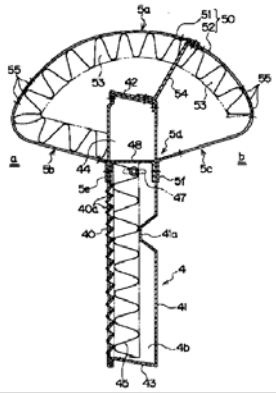
명 칭	소음,바람,가시 관련 벽체 및 강가 제방 보호 구조물 (유럽)		
출원번호	84890118.7	출원일	1984년 06월 22일
공개번호	00130178	공개일	1985년 01월 02일
출원인	Bokan, Sigisbert	발명자	Bokan, Sigisbert
활용분야	소음 및 풍하중 저감 벽체	실현가능성	높음
특허 요약	 원형의 다공망이 형성된 벽체를 연속적으로 설치하여 구성하는 소음 및 풍하중 저감벽체로 원형 수직벽체 기술		
개발 기술과의 차별성	원형의 수직벽첼 구성되어 풍하중 저감 효과가 있으나그 효과가 매우 미약하여 풍하중 저감 보다는 잦은 진로 변경이 필요한 지역에 시공할 때 유리하도록 고안된 기술임		

명 칭	소음 저감 요소와 요소를 활용한 방음벽 (미국)		
출원번호	05388081.1	출원일	2005년 09월 29일
공개번호	01770216	공개일	2007년 04월 04일
출원인	Rockwool International A/S	발명자	Andersen, Claus Paaske Voigt 외
활용분야	소음 저감 벽체	실현가능성	낮음
특허 요약	 Fig. 1 잘 휘어지는 소음 저감 코어 재료로 구성되어 주면에 작용하는 풍하중을 견딜 수 있는 내구력을 가지도록 구성된 소음저감 방음벽 기술		
개발 기술과의 차별성	소음저감 수직 벽체에 강한 풍하중이 작용하면 휘어지면서 풍압을 분산하여 보다 강한 내구성을 가지도록 고안한 기술		

명 칭	철도에 대한 방음벽 (일본)		
출원번호	23076066	출원일	2011년 03월 30일
공개번호	24207509	공개일	2012년 10월 25일
출원인	EAST JAPAN RAILWAY CO	발명자	ISHIKAWA SATOSHI 외
활용분야	소음 저감 벽체	실현가능성	낮음
특허 요약	 단순한 구조의 큰 높이를 갖는 방음벽으로 풍하중의 영향을 저감할 수 있도록 경사를 이루며 일정한 간격으로 차음플레이트가 설치되는 풍하중 저감형 소음 저감 벽체 기술		
개발 기술과의 차별성	아주 높은 높이로 방음벽 구성이 가능하며, 풍하중의 효과를 크게 저감할 수 있으나, 처음플레이트의 간격 사이로 소음이 유입되기 때문에 소음 저감 성능이 매우 낮음		

명 칭	단층 패널과 다층 패널 벽체 (일본)		
출원번호	18118571	출원일	2006년 04월 21일
공개번호	18328940	공개일	2006년 12월 07일
출원인	ENDO HIROSHI	발명자	ENDO HIROSHI
활용분야	소음 저감 벽체	실현가능성	낮음
특허 요약	 작은 지름의 박막 소재를 연직 방향으로 똑같은 형상의 횡단면을 안에 들여놓아 연속하여 다수를 연결하는 방식으로 사용함으로써 환경적 요소를 고려하고 강도와 내구성에서 우수한 벽면 구조의 방음벽을 구현하는 기술		
개발 기술과의 차별성	박막 소재를 여러 차례 연속하여 연결하여 기왓장과 같은 원리로 높은 구조적 안정성을 가지도록 고안된 방음벽 기술		

명 칭	루버의 개방각도 조정을 통해 소음 및 진동 저감		
출원번호	03326275	출원일	1991년 12월 11일
공개번호	05156611	공개일	1993년 06월 22일
출원인	MITSUBISHI HEAVY IND LTD	발명자	MATSUBAYASHI HIROSHI 외
활용분야	소음 저감 벽체	실현가능성	낮음
특허 요약	 외부의 흡수재가 소음을 저감시키며 루버의 개방 각도를 조절하기 위해 투명판을 가진 벽 위의 마이크로폰이 개방 각도를 제어하여 특정 음량을 저감시키는 기술		
개발 기술과의 차별성	루버를 개방하여 풍하중을 저감과 함께 특정 음량을 저감할 수 있으나, 개방 각도에 따라 방음 성능의 하락이 발생하며 개방 각도 조절을 위해 사용되는 마이크로폰과 제어장치		

명 칭	쉐이드 파트를 활용한 소음 방지 벽체 및 패널 설치방법 (일본)		
출원번호	08260453	출원일	1996년 10월 01일
공개번호	10102431	공개일	1998년 04월 21일
출원인	FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD 외	발명자	SHIBATA YASUO 외
활용분야	소음 방지 벽체 설치 방법	실현가능성	높음
특허 요약	 쉐이드 방음벽에 대해서 후방 측면 위에 설치되는 비계의 필요성에 따라 낮은 비용으로 설치하는 방법. 높은 위치에 있는 방음 패널 상부에 쉐이딩 역할을 하는 패널을 설치하여 이에 따른 설치 방법과 비용을 최적화		
개발 기술과의 차별성	방음벽 상단부에 쉐이딩과 동일한 효과가 있는 패너을 설치하여 낮은 비용으로 동일한 효과를 구현하기 위한 방법		

제7장. 연구개발성과의 보안등급

1. 보안등급의 분류

보안	일반
	○

2. 결정사유

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설 · 장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호
(주)에스코알티에스	소음측정기	NA-28	1	2014.12.01	18,000,000	02-6111-0888	안양연구소	NFEC-2017-04-237258

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

※ 해당사항 없음

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/특허/기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/특허 등록국가	영향력 지수	논문 게재일/특허 등록일	사사 여부 (단독사사 또는 중복사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	특허	통기통로 또는 통수통로 둘레에 중첩된 차음용 공진챔버를 갖는 통기형 또는 통수형 방음벽			미국		2013.11		
2	특허	풍하중 저감형 방음패널 및 이를 이용한 방음벽			한국		2016.10.05		
3	특허	풍하중 저감형 방음패널 제조방법			한국		2016.11.04		
4	특허	통풍형 방음패널 및 이를 이용한 방음벽			한국		2017.03.28		
5	논문	표면에 다수의 구멍을 뚫고 차단 주파수 영역의 선택이 가능한 풍압저감형 방음벽			대한토목학회 논문집 Vol36No.2		2016.04		
6	논문	통풍형 방음벽 내풍성능의 전산 해석			한국풍공학회 학회집		2016.09		
7	논문	통기형 방음벽의 음향감쇠 특성에 대한 실험적 분석			한국음향학회지		2016.11		

제11장. 참고 문헌

1. 김재수,「소음진동학」, 세진사, 2008.
2. 이동훈,「공학도를 위한 소음공학」, 아진, 2006
3.「소음진동편람」, 한국소음진동공학회
4. 정일록,「소음진동학」, 신광출판사, 1997
5. Beranek, L. L. (1986). Acoustics, AIP, New York, pp. 128-143.
6. Comnex CO., (2012). "Soundproofing With Miracle Holes." Available at: https://www.youtube.com/watch?v=n7DqvNCr4d8 (Accessed: March 2, 2015).
7. Fang, N., Xi, D., Xu, J., Ambati, M., Srituravanich, W., Sun, C., and Zhang, X. (2006). "Ultrasonic metamaterials with negative modulus." Nature Mater., Vol 5, No. 6, pp. 452-456.
8. Hyun, T. J., Hong, S. J., Kim, H. B., and Lee, S. (2013). "Estimation of Tire-Pavement Noise for Asphalt Pavement by mean Profile Deph," J. of the Korean Soc. of Civil Eng., Vol. 33, No. 4, pp. 1631-1638 (in Korean).
9. Jo, S. H., Jang, J. S., Kim, W. S., and Kim, N. (2013). "A Study on Noise Reduction of Quiet Pavement through the Noise Level Prediction and the Economic Analysis," J. of the Korean Soc. of Civil Eng., Vol. 33, No. 3, pp. 1143-1151 (in Korean).
10. Kim, S.-H. (2014). "Air Transparent Soundproof Window 4." Available at: http://www.youtube.com/watch?v=VZ36PqHT9iw (Accessed: March 2, 2015).
11. Kim, S.-H., and M. P. Das, (2013). "Artificial Seismic Shadow Zone Made of Acoustic Metamaterials," Modern Physics Letters B, Vol. 27, No. 20, p. 1350140 (9 pages).
12. Kim, S.-H., and Das, M. P., (2012). "Seismic Waveguide of Metamaterials," Modern Physics Letters B, Vol. 26, No. 17, p. 1350140 (8 pages).
13. Kim, S.-H. and Lee, S.-H. (2013). "Redesigned Window Stops Sound But Not Air, Say Materials Scientists." Available at: http://www.technologyreview.com/view/522881/bestof-2013-redesigned-window-stops-sound-but-notair/ (Accessed: Jun 30, 2014).
14. Kim, S.-H., and Lee, S.-H., (2014) "Air transparent soundproof window," AIP Advances, Vol. 4, p. 117123 (8 pages).
15. Kinsler, L. E., Frey, A. R., Coppens, A. B. and Sanders, J. V. (1999). Fundamentals of Acoustics, 4th ed., Wiley, New York. pp. 284-288.
16. Lee, Y.-M., Kim, S.-H., and Lee, S.-H. (2014). "A Soundproof Window that is Transparent to Air Flow by Acoustic Metamaterials," New Physics: Sae Mulli, Vol 64, No. 9, pp. 940-945 (in Korean).
17. Nguyen, H., Sohei, N., Tsuyoshi, N., and Takashi, Y. (2009). "Sound propagation in soundproofing casement windows." Applied Acoustics, Vol 70, pp. 1160-1167.
18. Nguyen, H., Yusuke, T., Yuya, N., Sohei, N., Tsuyoshi, N., and Takashi, Y. (2012). "Prediction and Experimental Study of the Acoustic Soundproofing Windows Using a Parallelepiped SVU." The Open Acoustics J., Vol 5, pp. 8-15.
19. Wang, X. (2010). "Acoustical mechanism for the extraordinary sound transmission through subwavelength apertures." Appl. Phys. Lett., Vol. 96, No. 13, 134104.
20. Yuya, N., Quang, N. H., Sohei, N., Tsuyoshi, N., and Takashi, Y. (2010). "The Acoustic Design of Soundproofing Doors and Windows." The Open Acoustics J., Vol. 3, pp. 30-37.

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술사업화지원사업의 연구보고서입니다.

2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.