고속도로 3D 소음해석을 위한 적용모델 및 인자 분석

http://www.ex.co.kr/research/

연구원-2017-46-534.9607호

2017년도 연구보고서 고속도로 3D 소음해석을 위한 적용모델 및 인자 분석

한국도로공사 도로교통연구원

연구원-2017-46-534.9607호

2017년도 연구보고서

고속도로 3D 소음해석을 위한 적용모델 및 인자 분석

Model and Parameter Analysis for Highway Noise 3D Calculations

김철환 · 강혜진 · 장태순 · 천병희

한국도로공사 도로교통연구원

연구원-2017-46-534.9607호

2017년도 연구보고서

고속도로 3D 소음해석을 위한 적용모델 및 인자 분석

Model and parameter analysis for highway noise 3D calculations

김철환 · 강혜진 · 장태순 · 천병희

한 국 도 로 공 사

도로교통연구원

연 구 진

▣ 한국도로공사 도로교통연구원

연구책임자 : 김철환(환경연구실 책임연구원)

참여연구원 : 강혜진(환경연구실 선임연구원)

장태순(환경연구실 책임연구원)

매칭파트너 : 천병희(품질환경처 차장)

목　　차

표 목 차

그 림 목 차

요 약 문

2000년대 이후 고속도로 주변 택지개발이 활발해지고 2007년 주택법 개정에 따라 고속도로와 일정 이격거리 이내에 공동주택 건설을 제한하는 조항이 없어지면서 고속도로 주변에 대규모의 고층 공동주택 단지가 건설되게 되었다. 최근 건설되는 공동주택은 도시경관 개선을 위한 디자인이 중요시 되면서 예전의 일률적인 모양이 아닌 동마다 건물 높이가 다르고 같은 단지에 있어서도 고속도로와의 이격거리가 다른 경우가 흔히 있다. 이러한 공동주택의 소음대책을 위해서는 기존의 2차원(2-dimensional) 해석 방법으로는 정확한 소음해석이 어려워지면서 3차원(3-dimensional) 방식의 소음해석이 일반적이 되고 있다. 하지만, 3차원 소음해석 방법은 2차원 소음해석에 비해 한차원 많은 설계변수가 요구되고 특히, 최근 3차원 소음해석에 사용되고 있는 상용 소프트웨어들은 다양한 해석모델과 함께 많은 설계변수가 적용되고 있다. 소음해석에 적용되는 변수들이 다양할수록 보다 정교한 소음해석이 가능하지만 이에 대한 적용 가이드라인이 없는 경우 사용자에 따라 다른 해석결과를 가져오게 된다.

본 연구에서는, 국내 도로소음 해석에 많이 사용되는 해석모델(CRTN, RLS-90, NMPB, KHTN)과 이 해석모델을 탑재하고 있는 상용 소프트웨어(CadnaA, SoundPLAN)의 인자들을 분석하고 고속도로 주변 현장측정을 통한 측정값과 비교하여 그 특징을 분석하였다. 해석모델별 음원모델과 전파모델을 분리하여 각 각에 대한 특징을 분석하고 고속도로 포장종류 및 구조, 방음벽배후 등 다양한 조건에서 현장 소음을 측정하고 그 결과를 해석결과와 비교하여 해석모델의 특징을 검토하였다.

ABSTRACT

After 2000s land development for constructing large-scaled apartment houses in Korea and some revisions of house constructing acts are relieved for house-construction friendly. Because of this, high-rise and large-scales apartment houses are constructed nearby highways. And recently, apartment house are constructed very variously in it's shapes, heights and building distance between highways. For designing the noise mitigation plan of these types of apartment house, 3-dimensional noise analysis should be general because 2-dimensional noise analysis can not consider design factors analysis along the highway. But 3-dimensional noise analysis has more design factors in the model, especially commercial software packages used in Korea have various types of noise models and design parameters. The more design parameters in the model the more detail design would be considered but, there would be deviation in the result without guidelines for users.

In this study, road traffic analysis models such as CRTN(uk), RLS-90(de), NMPB(fr), KHTN(kr) and it's package commercial software such as CadnaA, SoundPLAN are considered. For considering it's parameters such as the effect of speed, traffic volume, road gradient, type of road pavement, ground absorption, noise measurements have been performed for various highway sites such as asphalt pavement road, concrete pavement road, road side, far-field area and behind noise barriers in different heights. Compared with measured values and calculated values, noise analysis model and it's parameters have featured for making a user's guideline.

제 1 장 서 론

1.1 배경 및 목적

고속도로 주변 택지개발이 활발해지고 2007년 주택법 개정에 따라 고속도로와 일정 이격거리 이내에 공동주택 건설을 제한하는 조항이 없어지면서 고속도로 가까이에 대규모의 고층 공동주택 단지가 건설되게 되었다. 또한, 도시경관 개선을 위한 공동주택 디자인이 중요시 되면서 예전의 일률적인 모양이 아닌 동마다 건물 높이가 다르고 같은 단지에 있어서도 동별로 고속도로와의 이격거리가 다른 디자인 사례가 흔해지고 있다. 이러한 공동주택의 소음대책을 위해서는 기존의 2차원(2-dimensional) 해석 방법으로는 정확한 소음해석이 어려워 3차원(3-dimensional) 소음해석에 의한 대책이 일반적화 되고 있다. 하지만, 3차원 소음해석 방법은 2차원 소음해석에 비해 한차원 많은 설계변수가 요구되고 특히, 최근 3차원 소음해석에 사용되고 있는 상용 소프트웨어들은 다양한 해석모델과 함께 많은 설계변수가 적용되고 있어 사용자에 따라 다른 결과를 가져오는 경우가 발생하고 있다.

본 연구에서는, 국내 도로소음 해석에 많이 사용되는 해석모델(CRTN, RLS-90, NMPB, KHTN)과 이 해석모델을 탑재하고 있는 상용 소프트웨어(CadnaA, SoundPLAN)의 인자들을 분석하고 고속도로 주변 현장측정을 통한 측정값과 비교하여 그 특징을 분석하였다. 해석모델별 음원모델과 전파모델을 분리하여 각 각에 대한 특징을 분석하고 고속도로 포장종류 및 구조, 방음벽배후 등 다양한 조건에서 현장 소음을 측정하고 그 결과를 해석결과와 비교하여 해석모델의 특징을 검토하고 해석모델 적용인자에 대한 사용자 가이드라인을 제시하고자 한다.

1.2 연구내용

본 연구는 2017년 1월부터 동년 12월까지 1년간 수행되었다. 고속도로변 공동주택의 소음대책에 많이 사용되고 있는 상용 프로그램과 이에 탑재된 해석모델(CRTN, RLS-90, NMPB) 및 우리공사가 개발한 KHTN에 대해 적용 인자를 검토하고 해석결과를 측정값과 비교하였다.

본 연구의 전체 연구내용은 다음과 같다.

○ 도로소음 3D 해석모델별 특징 조사 및 분석

○ 고속도로 주변 현장소음 측정 및 분석

○ 고속도로 주변 소음측정 현장 3D 모델 해석

○ 해석 및 측정 결과 비교 및 분석

○ 3D 도로소음 해석을 위한 사용자 가이드라인 검토

1.3 연구범위 및 수행방법

(1) 고속도로 3D 소음해석 모델 및 프로그램 분석

○ 국내 고속도로 소음해석에 많이 사용되는 3D 모델 분석

- RLS-90(독일), NMPB(프랑스), CRTN(영국), KHTN(한국) 모델 분석

○ 국내 고속도로 소음해석에 많이 사용되는 상용 프로그램 분석

- SoundPLAN(독일/미국), CadnaA(독일)

(2) 고속도로변 소음측정 및 측정지역 소음해석

○ 고속도로 구조별 다양한 환경에서의 소음측정 및 해석

- 포장 종류(아스팔트 포장, 콘크리트) 소음측정 및 해석
- 차로수(왕복 4차로, 6차로, 8차로)별 소음측정 및 해석
- 도로구조(평탄, 성토, 교량, 방음벽)별 소음측정 및 해석
- 다양한 이격거리(10m, 20m, 40m, 50m, 100m, 125m, 230m 등) 및 높이별 소음측정

○ 측정현장에 대한 3D 모델 및 프로그램별 소음해석

- RLS-90, NMPB, CRTN, KHTN 모델을 이용한 소음해석
- SoundPLAN, CadnaA, KHTN을 이용한 소음해석

(3) 현장소음 측정 및 해석결과 비교 분석

○ 다양한 조건의 현장에 대한 소음측정 및 해석결과 비교

- 소음측정 시간대 해당구간의 교통량, 평균 주행속도 및 차종분류 데이터 확보
- 다양한 이격거리, 도로구조, 측정높이 등에 대한 측정 및 해석 결과 비교

○ 소음해석 모델 및 프로그램별 해석결과 비교 분석

- 측정결과 및 RLS-90, NMPB, CRTN, KHTN 모델에 의한 해석결과 비교 분석

(4) 3D 도로소음 해석모델 및 프로그램 오차 분석

○ 현장소음 측정 및 해석결과 비교 분석에 따른 해석모델 오차 분석

- 해석모델(RLS-90, NMPB, CRTN, KHTN)간 오차 비교
- 상용 프로그램(SoundPLAN, CadnaA)간 오차 비교

제 2 장 국내·외 도로소음 관련 기준

2.1 주요 연구내용

○ 3D 도로소음 해석관련 KHTN 모델 분석

○ 3D 도로소음 해석관련 상용 프로그램 및 모델 분석

2.2 3D 소음해석의 개요

도로소음 해석에 있어서 3D 해석이 2D 해석과 가장 큰 차이는 도로의 평면 및 종단면 방향의 소음 예측이 가능하다는 점이다. 즉, 도로의 연장 방향으로 직선이 아닌 곡선인 도로나 종단면 구배가 일정하지 않은 도로에서 발생하는 소음도 도로주변 임의의 지점에서 해석(예측)이 가능하다. 기존의 2D 소음해석은 도로가 직선으로 무한히 길다고 가정하고 횡단면에서의 소음을 해석하는 방법이다. 따라서 2D 소음해석에 의해서는 방음벽의 높이는 산정할 수 있지만 연장은 산정할 수 없고 도로 평면이 곡선이거나 종단 구배가 있는 경우에는 더욱 해석이 불가능하다. 그림 2.1에 도로소음 해석에 대한 2D 해석과 3D 해석의 개요를 나타내었다.

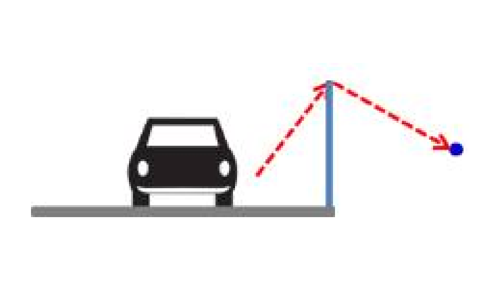
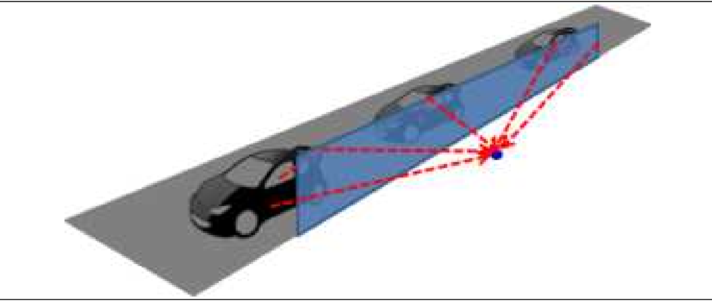
	
2D 소음해석	3D 소음해석

그림 2.1 2D 및 3D 해석의 개요

소음해석 모델은 크게 음원모델과 전파모델로 나눌 수 있다. 도로소음 모델에서 음원모델은 일반적으로 (1)차종, (2) 주행속도, (3) 포장종류의 3가지 인자로 구성되며 모델별로 이들 인자가 동일하지 않기 때문에 음원의 파워도 동일하지 않다. 그리고, 전파모델은 일반적으로 (1)공기 흡음 (2) 지면 흡음 (3) 차폐물(방음벽, 건물 등)에 의한 회절 감쇠의 3가지 인자로 구성되며 이 또한 모델

별로 동일하지 않다. 표 2.1에 현재 국내에서 고속도로 3D 소음해석에 많이 적용되고 있는 4가지 모델에 대한 차종분류 사례를 나타내었다.

표 2.1 3D 해석모델별 차종분류

<table>
<tr><th rowspan="2">구 분</th><th rowspan="2">국내 차량구분</th><th colspan="5">예측 모델</th></tr>
<tr><th colspan="2">KHTN
(5차종)</th><th>CRTN
(2차종)</th><th>RLS
(2차종)</th><th>NMPB
(2차종)</th></tr>
<tr><td>승 용</td><td>승용, 15인 미만 승합</td><td>승용</td><td rowspan="2">소형</td><td>소형</td><td rowspan="2">소형</td><td rowspan="4">소형</td></tr>
<tr><td>소형트럭</td><td>2.5톤 미만</td><td>소형
화물</td><td rowspan="5">대형</td></tr>
<tr><td>중형트럭</td><td>2.5톤이상~3.5톤 미만</td><td>중형
화물</td><td rowspan="4">대형</td><td rowspan="4">대형</td></tr>
<tr><td>중형버스</td><td>15인승 이상~25인승 미만</td><td rowspan="2">버스</td></tr>
<tr><td>대형버스</td><td>25인승 이상</td><td rowspan="2">대형</td></tr>
<tr><td>대형트럭</td><td>3.5톤 이상</td><td>대형
화물</td></tr>
</table>

2.3 해석모델 인자분석

2.3.1 KHTN(한국)

KHTN(Korea Highway Traffic Noise)은 한국도로공사가 개발한 고속도로 소음해석 모델로 국내에서 생산되는 차량 및 포장에서 발생하는 소음의 음원과 ISO 9613의 옥외 전파소음 전파를 계산하는 모델이다.

(1) 음원모델

음원모델의 기본식은 (식 2.1)과 같으며, 40~130km/h 의 속도범위에서 해석할 수 있다. 이 식은 일본의 ASJ-RTN, EU의 HARMONOISE 등에서 채택하고 있은 도로소음 음원모델의 기본형식으로 KHTN에서는 63~8,000Hz 범위에서 1/1옥타브밴드 중심주파수 별로 계수를 산정하여 적용하고 있다.

$$L_{Wi} = A_i + B_i \log V \qquad \text{(식 2.1)}$$

국내 생산차량인 승용차, SUV, 소형화물차, 버스, 트레일러, 덤프트럭을 대상으로 승용차, SUV,

버스는 60~120km/h, 소형화물차는 50~110km/h, 트레일러, 덤프트럭은 50~100km/h 주행속도 범위에서 10km/h 간격으로 주행시켜 pass-by noise 및 CPX noise를 측정하고 분석하여 계수 A_i 및 B_i를 산정하였다[(1),(2)]. 산정된 계수를 표 2.2 및 표 2.3에 나타내었으며, 그림 2.2에 국토교통부 차종분류 방법과 이와 비교한 KHTN의 차종분류 방법을 표 2.4에 나타내었다.

표 2.2 KHTN 아스팔트 포장 음원모델 계수

포장구분		Hz / 계수	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
아스팔트 포장	대형화물차	A_i	25.6	41.4	84.3	36.2	57.9	58.2	56.6	52.3
		B_i	30.6	27.3	11.2	38.8	27.1	25.3	22.9	21.0
	중형화물차	A_i	25.4	33.4	41.4	46.6	49.7	46.8	39.6	33.0
		B_i	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
	소형화물차	A_i	19.3	24.8	30.9	31.0	29.6	29.9	28.8	29.0
		B_i	31.3	33.6	34.6	37.0	38.2	38.0	35.4	31.2
	버스	A_i	4.2	17.4	23.7	51.5	45.0	36.8	41.7	23.4
		B_i	38.3	35.5	36.4	25.3	30.4	33.0	27.6	33.3
	승용차	A_i	-16.7	1.5	14.6	46.2	39.0	31.0	11.7	-24.0
		B_i	46.8	41.2	38.1	24.5	32.5	34.6	40.5	53.6

표 2.3 KHTN 콘크리트 포장 음원모델 계수

포장구분		Hz / 계수	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
콘크리트 포장	대형화물차	A_i	28.1	48.2	77.2	44.4	48.3	53.0	57.8	53.3
		B_i	29.8	24.4	15.6	35.0	33.3	28.6	22.3	20.4
	중형화물차	A_i	26.0	34.1	43.4	48.2	52.8	49.8	42.2	34.4
		B_i	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
	소형화물차	A_i	21.3	47.6	42.9	57.4	22.8	30.1	32.5	37.1
		B_i	29.7	22.0	29.1	24.4	43.7	40.2	34.3	27.6
	버스	A_i	10.8	31.6	31.4	66.9	26.7	28.4	29.3	14.8
		B_i	35.0	29.2	33.7	19.1	42.3	39.1	34.6	37.8
	승용차	A_i	-4.4	34.6	35.5	49.3	25.8	26.7	10.2	-22.1
		B_i	40.8	25.9	29.8	25.1	42.3	39.0	42.4	52.9

그림 2.2 국토교통부 12차종 분류 방법(한국건설기술연구원)

표 2.4 KHTN 차종분류 및 국토교통부 차종분류 비교

국토교통부	1종	2종	3종	4종	5종	6종	7종	8종	9종	10종	11종	12종
KHTN	승용차	버스	소형 화물차	중형 화물차	대형화물차							

(2) 전파모델

KHTN의 전파모델은 ISO 9613-1[3] 및 9613-2[4]를 참고하고 있다. 공기에 의한 흡음효과는 ISO 9613-1, 지면에 의한 흡음효과 및 방음벽에 의한 차폐효과(회절감쇠)는 ISO 9613-2를 준용하고 있다.

2.3.2 RLS(독일)

RLS(Richtlinien für den Lärmschutz an Strassen / Guidelines for noise protection on roads)은 독일에서 제안된 도로소음 해석모델이다.

(1) 음원모델

음원모델은 도로에서 25미터 이격된 지점 4미터 높이에서의 기준 소음도를 이용하며 이 소음도를 LME(Level Mean Emission) 혹은 L_{25}라고 한다. 다양한 차종, 주행속도 및 포장종류에서 확보한 L_{25}를 통해 (식 2.2)의 음원모델을 제시하고 있다[2].

$$L_{m.E} = L_m(25, basic) + C_{Speed} + C_{Roadsurface} + C_{Gradient} \quad \text{(식 2.2)}$$

○ $L_m(25, basic) = 37.3 + 10\log(M \times (1 + 0.082 \times P))$
■ 소형차 100km/h, 대형차 80km/h, Non-grooved asphalt에서의 L_{25}
■ M : 시간당 교통량[대/시], P: 대형차 비율
○ $C_{Speed} = L_{car} - 37.3 + 10\log[(100 + (10^{0.1 \times C}) \times P)/(100 + 8.23 \times P)]$
■ $L_{car} = 27.8 + 10\log[1 + (0.02 \times V_{car})^3]$
■ C = L_{truck} - L_{car}
■ $L_{truck} = 23.1 + 12.5\log(V_{truck})$
■ V_{car} : 소형차 주행속도(30～130km/h), V_{truck} : 대형차 주행속도(30～80km/h)
○ $C_{Roadsurface}$: 포장종류 보정항
○ $C_{Gradient}$: 종단구배 보정항(종단구배가 5%를 초과하는 경우 적용)

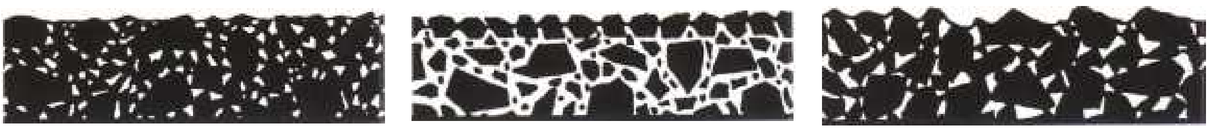
RLS-90에서 사용하는 도로포장 종류에 따른 보정값은 아래의 표 2.5와 같다[8]. 국내에서 알려진 SMA(Stone Mastic Asphalt) 포장은 ‘종류 1’에 해당하며, 배수성 포장은 ‘종류 8’과 ‘종류 9’에 해당하는 것으로 판단된다.

표 2.5 RLS 에서의 도로 포장 종류별 보정값

종류	도로 포장	D_{Stro} [dB(A)]			
		< 40 km/h	< 50 km/h	≦ 60 km/h	> 60 km/h
1	smooth mastic asphalt, asphalt concrete or blinded mastic asphalt(독일어 : Asphaltbenton, Guβasphalt, Splittmastixsaphalt)	0	0	0	0
2	concrete or corrugated mastic asphalt	1	1.5	2	2
3	pavement with a smooth surface	2	2.5	3	3
4	other pavements	3	4.5	6	6
5	concrete according to ZTV Beton 78 with steel broom stroke	-	-	-	1
6	concrete according to ZTV Beton 78 with steel broom stroke and with smoothing tool	-	-	-	-2
7	asphalt concrete ≦0/11 and blinded mastic asphalt 0/8 and 0/11 without grit	-	-	-	-2
8	open-pore asphalt covering layers containing at least 15% of voids, when new, with 0/11 grain size	-	-	-	-4
9	open-pore asphalt covering layers containing at least 15% of voids, when new, with 0/8 grain size	-	-	-	-5

표 2.6 RLS 포장종류 영문 표기

독일어	영어
Asphaltbeton	Asphalt Concrete
Splittmastixasphalt	Stone Mastic Asphalt Concrete
Gussasphaltdeckschicht	Mastic Asphalt Concrete
Offenporiger Asphalt	Porous Asphalt Concrete



(a) Asphaltbenton (b) Guβasphalt (c) Splittmastixsaphalt

그림 2.3 아스팔트 포장 종류별 모식도

(2) 전파모델

RLS는 ISO 9613의 전파모델을 준용하지 않고 독자적인 모델을 제시하고 있다. 대기흡음과 지면흡음은 전파거리에 따른 단순한 모델을 적용하고 있으며, 특히 지면흡음은 지면의 종류에 따른 흡음률을 달리하지 않아 지면의 종류에 의한 흡음효과를 검토할 수 없다.

○ 대기흡음 : $C_{spreading} = 11.2 - 20\log(d) - d/200$ 여기서, d : 전파거리
○ 지면흡음 : $C_{groundabsorption} = \frac{h}{d} \times (34 + \frac{600}{d}) - 4.8 < 0$ 여기서, d: 전파거리, h: 수음점 높이

2.3.3 CRTN(영국)

CRTN(Calculation of Road Traffic Noise)은 영국의 Department of Transport Welsh Office HMSO에서 1975년도에 처음 제안하고 1988년도에 개정한 도로소음 해석모델로, 경험적인 데이터를 바탕으로 계산을 크게 단순화한 특징이 있다. 하지만 L_{10}값으로 해석되기 때문에 L_{eq}로의 환산을 위해서는 TRL(Transport Research Laboratory) 별도로 제안된 (식 2.3)을 이용한다.

$$L_{eq} = 0.94 \times L_{10} + 0.77 \qquad \text{(식 2.3)}$$

(1) 음원모델

CRTN의 음원모델은 속도제한이 없으며 다음 식으로 제시되어 있다.

$$L_{10}(1h)_S = 42.2 + 10Log(q) + \triangle_{pV} + \triangle_G + \triangle_{TD} \qquad \text{(식 2.4)}$$

○ q : 시간당 교통량
○ $\triangle_{pV} = 33 \times \log\left(V + 40 + \frac{500}{V}\right) + 10 \times \log\left(1 + \frac{5p}{V}\right) - 68.8$ 여기서, p : 대형차 혼입률(%)
○ $\triangle_G = 0.3G$ 여기서, G : 도로 구배율
○ $\triangle_{TD}$: 도로포장 보정값(표 2.5 및 2.6 참조)

표 2.7 CRTN 도로포장 보정값

도로 포장	Δ_{TD} [dB(A)]	
	< 40 km/h	> 75 km/h
Impervious, concrete	-1	$\triangle_{TD} = 10Log(90*TD+30)-20$
Impervious, bituminous	-1	$\triangle_{TD} = 10Log(20*TD+60)-20$
Pervious	-3.5	-3.5

표 2.8 CRTN 도로포장 TD 참조값

Surfacing Type	TD [mm]	Comments
Spray seals, 10mm or larger	>1.5	Surface textures of 4 to 5mm are common for some new sprayed seals using large aggregates
Spray seals, 7mm	0.6～1.0	-
Dense graded asphalt, 10 mm or larger	0.4～0.8	Texture depth can be influenced by grading and mix design more than the nominal mix size
Dense graded asphalt, 7 mm	0.3～0.5	-
Open graded asphalt (including thin open graded asphalt)	> 1.2	Texture depth measurement can be unreliable due to underlying voids but measurement would only be critical if surface texture had reduced to a level where it was no longer functioning and a porous asphalt.
Stone mastic asphalt	> 0.7	These values are interim only and may be subject to review.
Fine gap graded asphalt	0.2～0.4	-
Slurry surfacing	0.4～0.8	-
Tyned concrete	0.4～0.7	-
Exposed aggregate concrete	> 0.9	-
Hessian dragged concrete	0.3～0.5	-
Broomed concrete	0.2～0.4	-

(2) 전파모델

CRTN의 전파모델은 다음의 보정항으로 제시되어 있으며, ISO 9613에 따른 보정식을 준용하지 않는다.

$$L_{10}(1h)_P = \triangle_r + \triangle_{GA} + \triangle_{Screen} \qquad \text{(식 2.5)}$$

○ $\triangle_r = 10 \times \log\left(\frac{d'}{13.5}\right)$

여기서,

$d' = \sqrt{(d+3.5)^2 + h^2}$ 단, $d \geq$ 4m

d : 도로단에서 수음점까지의 수평거리

h : 도로단에서 수음점까지의 수직거리

○ $\triangle_{GA} = \begin{pmatrix} 5.21 \times \log\left(\frac{6H-1.5}{d+3.5}\right) & \text{for } 0.75 \leq H < \frac{d+5}{6} \\ 5.21 \times \log\left(\frac{3}{d+3.5}\right) & \text{for } H < 0.75 \\ 0 & \text{for } H \geq \frac{d+5}{6} \end{pmatrix}$

d : 도로단에서 수음점까지의 수평거리

○ $\triangle_{Screen}$: 차폐물(방음벽)에 의한 회절감쇠

2.3.4 NMPB(프랑스)

NMPB(Nouvelle Méthode de Prévision du Bruit des Routes / New method of prediction of road noise)는 프랑스에서 제안된 도로소음 해석모델이다.

(1) 음원모델

NMPB의 음원모델은 소형차 20~130km, 대형차 20~100km 의 속도범위로 제한되며, 100~5,000Hz 범위에서의 1/3 옥타브밴드 중심주파수별 음향파워레벨이 다음식으로 제안되어 있다.

$$L'_{WA(j)} = 10Log\sum_{j=1}^{18} 10^{0.1L_{W/m}(j)} \qquad \text{(식 2.6)}$$

○ $L_{W/m}(j) = 10Log\left(10^{(L_{W/m/VL}+10LogQ_{VL})/10} + 10^{(L_{W/m/PL}+10LogQ_{PL})/10}\right) + R(j)$

여기서,

$L_{W/m/VL}$: 소형차 단위길이당 음향파워레벨

$L_{W/m/PL}$: 대형차 단위길이당 음향파워레벨

Q_{VL} : 소형차 시간당 교통량

Q_{PL} : 대형차 시간당 교통량

$R(j)$: 포장종류에 따른 보정값(표 2.7 참조)

표 2.9 NMPB 포장종류에 따른 보정값

1/3옥타브밴드 주파수 [Hz]	100	125	160	200	250	315	400	500	630
다공성 포장	-22	-22	-20	-17	-15	-12	-10	-8	-9
일반 포장	-27	-26	-24	-21	-19	-16	-14	-11	-11
1/3옥타브밴드 주파수 [Hz]	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
다공성 포장	-9	-10	-11	-12	-13	-16	-18	-20	-23
일반 포장	-8	-7	-8	-10	-13	-16	-18	-21	-23

(2) 전파모델

NMPB 의 전파모델은 대기흡음(A_{atm}), 지면흡음(A_{ground}), 대기굴절(L_{AiLT}), 차폐물에 의한 회절감쇠(A_{dif})에 대한 보정식을 제시하고 있으며, 대기흡음에 대해서만 ISO 9613-1의 (15℃, 70%) 보정식을 준용하고 있다.

[대기흡음]

대기흡음은 ISO 9613-1의 공기흡음계수(15℃, 70%)를 준용하여 다음식에 의해 보정한다. 여기서 d 는 이격거리, α 는 표 2.10에 나타낸 흡음계수를 의미한다.

$$A_{atm} = \alpha d / 1000 \qquad \text{(식 2.8)}$$

표 2.10 NMPB 대기흡음에 적용된 흡음계수

1/3옥타브밴드 주파수 [Hz]	100	125	160	200	250	315	400	500	630
α [dB/km]	0.25	0.38	0.57	0.82	1.13	1.51	1.92	2.36	2.84
1/3옥타브밴드 주파수 [Hz]	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
α [dB/km]	3.38	4.08	5.05	6.51	8.75	12.2	17.7	26.4	39.9

[지면흡음]

지면 흡음에 의한 감음은 아래의 식으로 계산한다. 식에서 $A_{ground,H}$는 하향 굴절 전파 조건에서의 지면흡음에 의한 감쇠량, k는 음의 파수(wave number), G는 지면 흡음(0≤G≤1), w(f)는 주파수에 따라 달라지는 지면 흡음과 관련한 경험적인 값을 의미한다.

$$A_{ground,H} = -10Log[4\frac{k^2}{d_p^2}(z_s^2 - \sqrt{\frac{2C_f}{k}}z_s + \frac{C_f}{k})(z_r^2 - \sqrt{\frac{2C_f}{k}}z_r + \frac{C_f}{k})] \quad (식\ 2.9)$$

여기서,

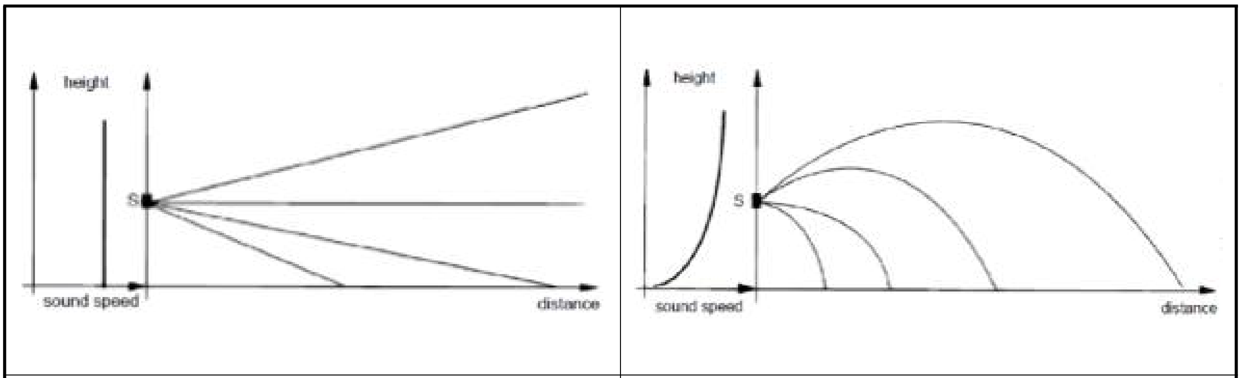
$$C_f = d_p\frac{1+3w(f)d_p e^{\sqrt{w(f)d_p}}}{1+w(f)d_p}$$

$$w(f) = 0.0185\frac{f^{2.5}G_{path}^{2.6}}{f^{1.5}G_{path}^{2.6} + 1.3\times10^3 f^{0.75}G_{path}^{1.3} + 1.16\times10^6}$$

[대기굴절]

NMPB에서는 장기간 소음도($L_{Ai,LT}$, Lterm sound level)를 기상조건을 고려하여 다음의 식과 같이 계산하는데, 이 식에서는 하향굴절($L_{Ai,F}$, downward-refraction,) 및 균질굴절($L_{Ai,H}$, homogeneous-refraction)에 의한 소음전파를 고려하도록 되어 있다.

$$L_{Ai,LT} = 10Log[p_i 10^{0.1L_{Ai,F}} + (1-p_i)10^{0.1L_{Ai,H}}] \quad (식\ 2.10)$$



(a) 균질굴절 (homogeneous-refraction condition)	(b) 하향굴절 (downward-refraction condition)

그림 2.4 NMPB 대기굴절의 균질굴절 및 하향굴절

[회절감쇠]

NMPB의 회절감쇠는 지면 반사를 고려한 4개의 경로(S-R, S-R’, S’-R, S’-R’)에 대한 회절감쇠를 고려하고 있다.

$$A_{dif} = -20\log_{10}\left[10^{\frac{-\Delta dif(S,R)}{20}}\left(1+\left(10^{\frac{-A_{gound}(S,O)}{20}}-1\right)10^{-\frac{\Delta_{dif}(S',R)-\Delta_{dif}(S,R)}{20}}\right)\left(1+\left(10^{\frac{-A_{gound}(O,R)}{20}}-1\right)10^{-\frac{\Delta_{dif}(S',R)-\Delta_{dif}(S,R)}{20}}\right)\right] \quad (식\ 2.11)$$

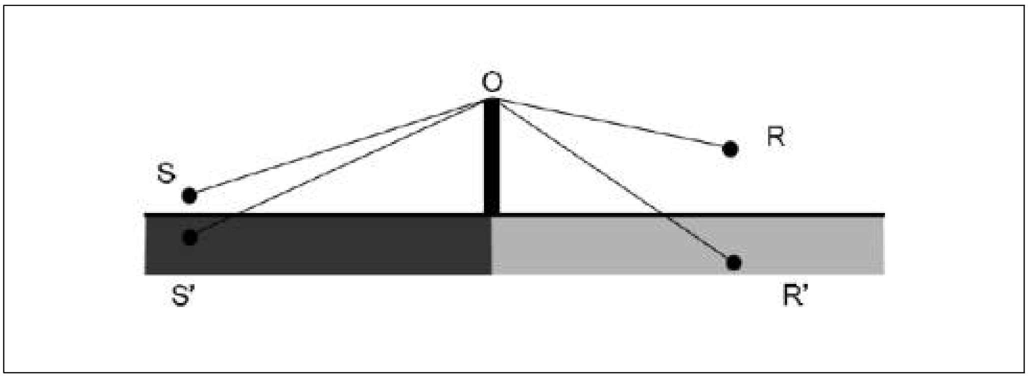


그림 2.5 NMPB 회절감쇠 계산 경로

2.3.5 3D 해석모델 비교 및 분석

국내에서 도로소음 3D 해석에 많이 사용되는 모델의 특징을 표 2.11에 나타내었다. 해석가능한 주행속도의 범위가 RLS 는 80km/h까지인 것과 CRTN의 해석결과를 Leq로 변환하기 위해서는 별도의 변환식(식 2.3)을 이용해야 한다는 것이 특징적이다.

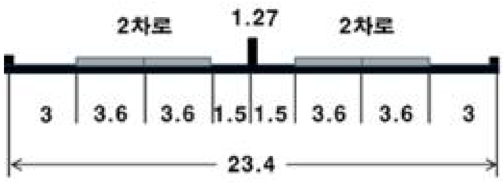
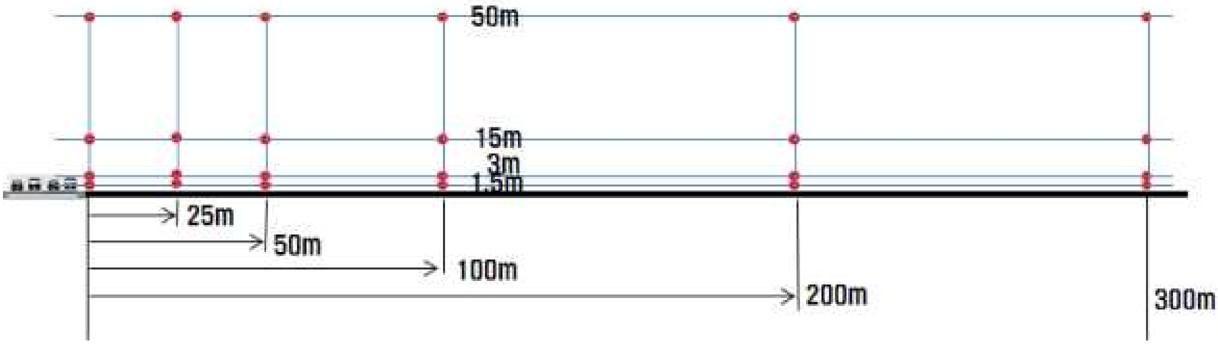
표 2.11 해석모델별 특징 비교

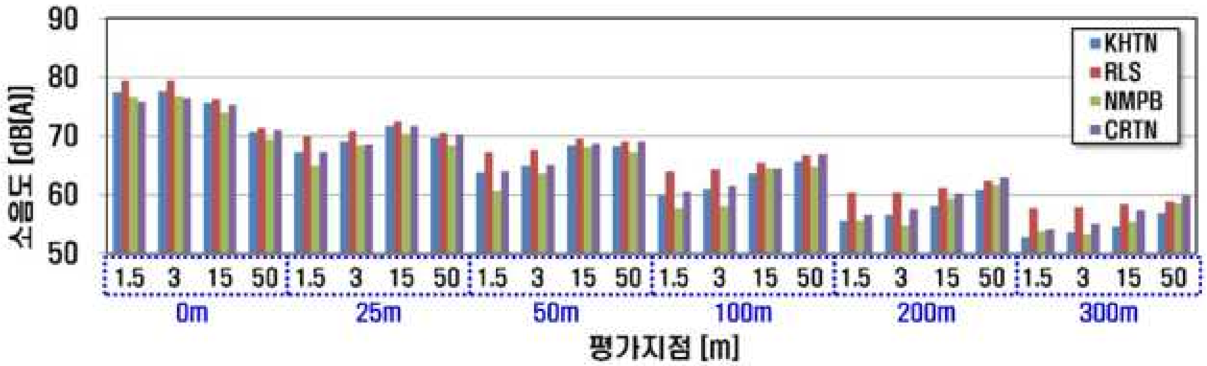
해석모델	KHTN	RLS	NMPB	CRTN
제안 국가	대한민국	독일	프랑스	영국
제안/개정 연도	2001/2007	1990/-	1996/2008	1975/1988
해석결과	L_{eq}	L_{eq}	L_{eq}	L_{10}
대기흡음	고려	미고려	미고려	0~100% 값 입력
지면흡음	G=0～1	미고려	G=0～1	G=0～1
주행속도 범위 [km/h]	•소형: 40～130 •대형: 40～130	•소형: 30～130 •대형: 30～80	•소형: 20～130 •대형: 20～100	•소형: 20～무제한 •대형: 40～무제한

(1) 음원모델

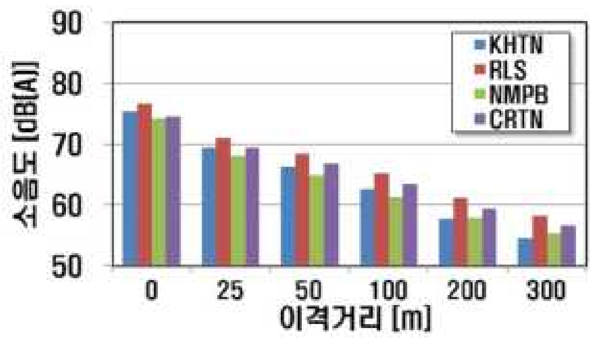
고속도로 3D 소음해석에 사용되는 모델의 음원모델 비교 및 분석을 위해 표 2.12와 같이 해석조건을 설정하고 결과를 비교하였다. 표 2.12에 나타낸 24개 수음점의 소음도를 비교하여 음원모델의 특징을 분석하였다. KHTN은 5차종 분류이나 다른 해석모델과 조건을 같이하기 위해 표 2.1의 조건으로 2차종으로 분류하여 계산하였다. 그림 2.6~2.8 및 표 2.13~2.15에 해석모델별 음원모델의 특징을 분석하기 위해 비교한 결과를 나타내었다.

표 2.12 음원모델 비교를 위한 해석조건

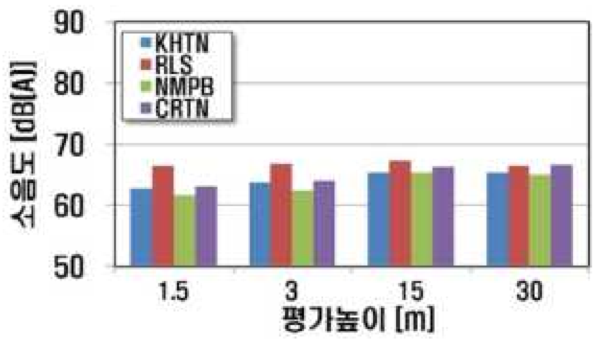
해석조건	도로모델 단면
• 도로 : 왕복 4차로 • 교통량 : 왕복 4,000대/hr (차로당 1,000대/시) • 지면계수 : 1	[단위 : m] 
	



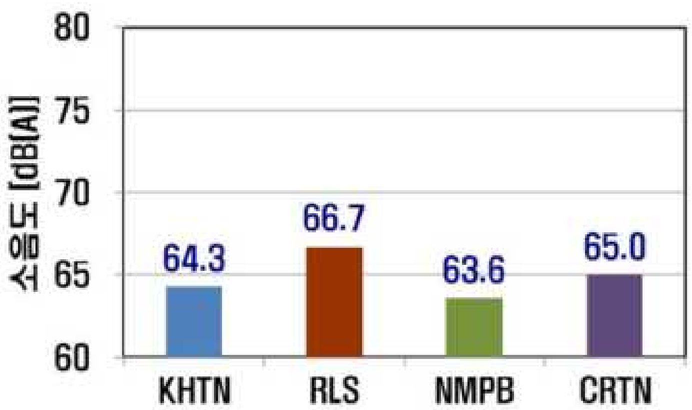
전체 평가지점에 대한 소음도 비교



높이 평균소음도의 이격거리별 비교

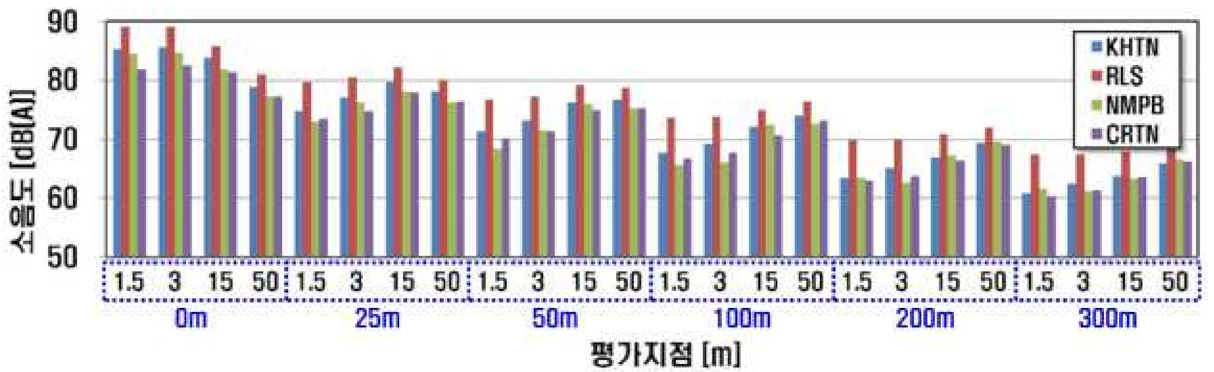


이격거리 평균소음도의 높이별 비교

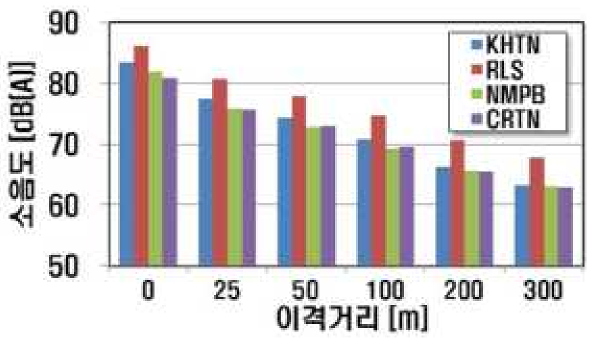


전체 평균소음도 비교

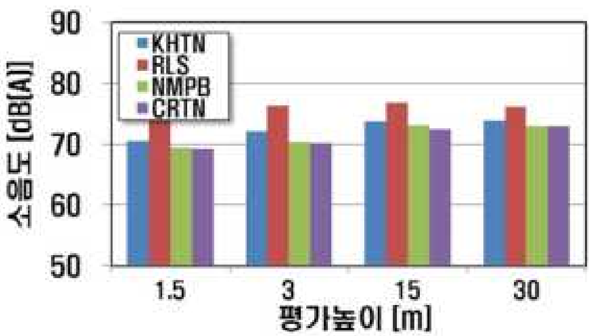
그림 2.6 소형차 주행속도 100km/h 소음도 비교



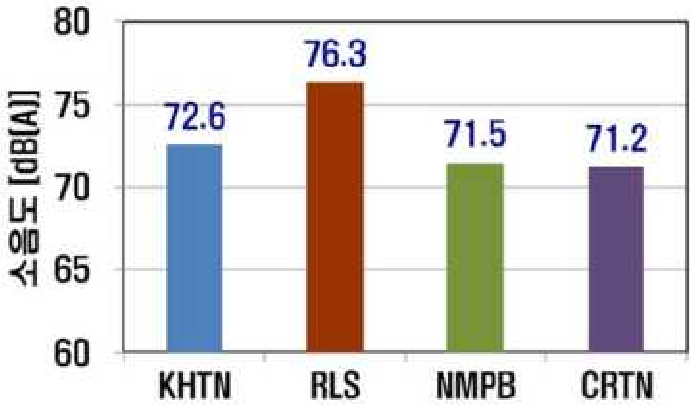
전체 평가지점에 대한 소음도 비교



높이 평균소음도의 이격거리별 비교

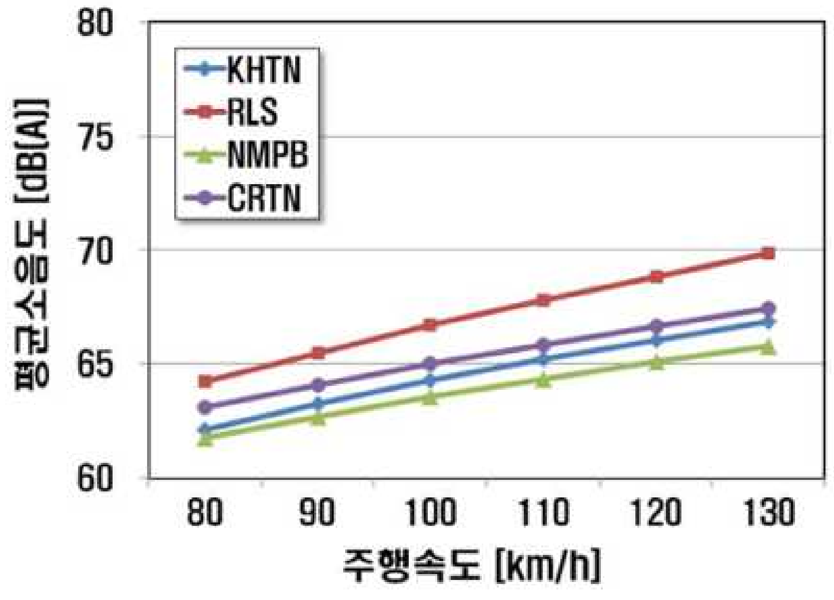


이격거리 평균소음도의 높이별 비교

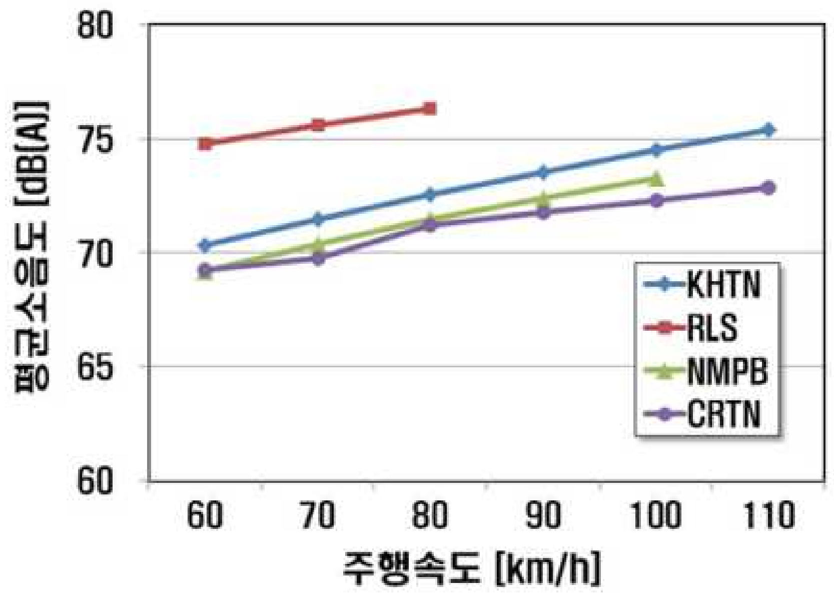


전체 평균소음도 비교

그림 2.7 대형차 주행속도 80km/h 소음도 비교



소형차 주행속도별 소음도 비교



대형차 주행속도별 소음도 비교

그림 2.8 해석모델 주행속도별 소음도 비교

표 2.13 소형차 주행속도 10km/h 증가에 따른 소음도 차이

주행속도 [km/h]			80▶90	90▶100	100▶110	110▶120	120▶130	130▶140
대형차 혼입률이 0%인 경우	KHTN-2007		1.1	1.0	0.9	0.9	0.8	-
	CadnaA	RLS-90	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	-
		NMPB-08	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	-
		CRTN	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7
	SoundPLAN	RLS-90	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	-
		NMPB-08	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7	-
		CRTN	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7

표 2.14 대형차 주행속도 10km/h 증가에 따른 소음도 차이

주행속도 [km/h]			60▶70	70▶80	80▶90	90▶100	100▶110
대형차 혼입률이 100%인 경우	KHTN-2007		1.1	1.1	1.0	0.9	0.9
	CadnaA	RLS-90	0.8	0.7	-	-	-
		NMPB-08	1.2	1.1	1.0	0.9	-
		CRTN	0.5	1.5	0.6	0.6	0.6
	SoundPLAN	RLS-90	0.8	0.7	-	-	-
		NMPB-08	1.2	1.1	0.9	0.9	-
		CRTN	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5

표 2.15 대형차 혼입율 증가에 따른 소음도 증가량

해석모델		KHTN-2007			RLS-90			NMPB-08			CRTN		
대형차 혼입률 [%]		0▶10	0▶20	0▶30	0▶10	0▶20	0▶30	0▶10	0▶20	0▶30	0▶10	0▶20	0▶30
소음 증가량 [dB]	CadnaA	2.1	3.5	4.5	2.6	4.2	5.4	1.8	3.1	4.1	1.7	2.8	3.8
	SoundLAN				2.6	4.2	5.4	1.8	3.1	4.1	1.7	2.8	3.7

[해석조건]

- 운행속도 : 소형차 100km/h, 대형차 80km/h
- 도로 포장 : NMPB(R2, 기상조건 default), CRTN(Bituminous, TD=2)

(2) 전파모델

고속도로 3D 소음해석에 사용되는 모델의 전파모델 비교 및 분석을 위해 그림 2.4와 같이 해석조건을 설정하고 결과를 비교하였다. 이 때, 음원의 설정조건은 표 2.16과 같이 하였다.

[지면흡음]

해석모델별 지면흡음에 따른 소음도 차이를 분석하여 표 2.16~2.21 및 그림 2.9에 나타내었다. NMPB의 경우 지면흡음에 의한 소음감쇠가 크게 분석되었고, RLS-90은 지면흡음의 영향이 없는 것으로 분석되었다.

표 2.16 지면흡음모델 비교를 위한 해석조건

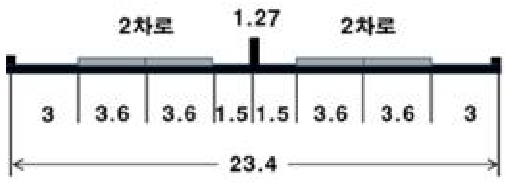
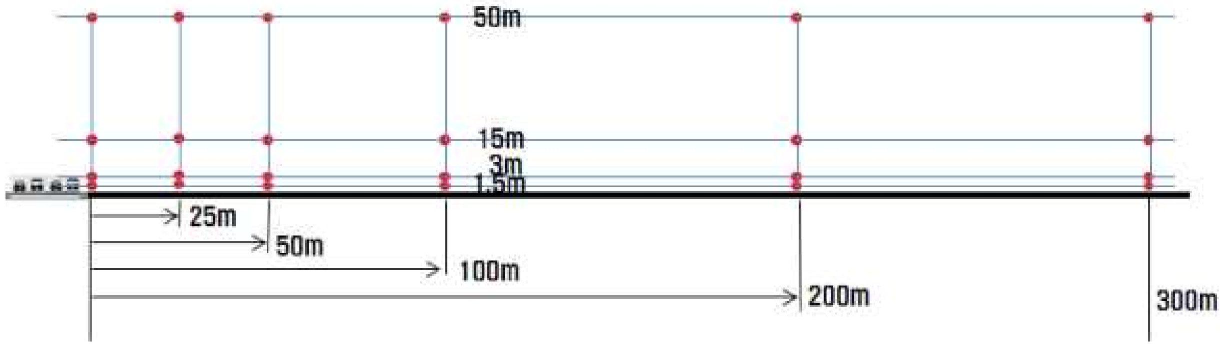
<table>
<tr><th>해석조건</th><th>도로모델 단면</th></tr>
<tr><td>• 도로 : 왕복 4차로
• 교통량 : 왕복 4,000대/hr (차로당 1,000대/시)
• 지면계수 : 0, 0.5, 1</td><td>[단위 : m]

</td></tr>
<tr><td colspan="2">
</td></tr>
</table>

표 2.17 지면흡음에 따른 소음도 차이 비교(CadnaA)

수음점		'G=1' 대비 소음도 증가량[dB]											
높이	이격거리	KHTN-2007		RLS-90		NMPB-08 (homogeneous)		NMPB-08 (default)		NMPB-08 (favorable)		CRTN	
		G=0.5	G=0.0	G=0.5	G=0.0	G=0.5	G=0.0	G=0.5	G=0.0	G=0.5	G=0.0	G=0.5	G=0.0
25m	1.5m	1.1	2.0	0.0	0.0	3.2	7.1	3.6	7.7	3.9	8.2	1.8	3.5
	3.0m	0.7	1.4	0.0	0.0	1.5	2.9	1.7	3.8	1.9	4.6	1.1	2.3
	15.0m	0.7	1.5	0.0	0.0	0.3	0.6	0.3	0.7	0.3	0.8	0.0	0.0
50m	1.5m	1.3	2.4	0.0	0.0	5.3	11.2	5.5	10.4	5.6	10.0	2.3	4.3
	3.0m	0.8	1.5	0.0	0.0	2.5	5.7	2.7	6.4	2.8	6.9	1.7	3.2
	15.0m	0.7	1.4	0.0	0.0	0.5	1.0	0.5	1.1	0.5	1.3	0.2	0.3
100m	1.5m	1.8	3.3	0.0	0.0	7.1	13.7	6.5	11.0	6.4	10.3	2.8	5.1
	3.0m	1.0	1.9	0.0	0.0	5.2	11.3	4.4	9.5	4.0	8.8	2.3	4.1
	15.0m	0.6	1.3	0.0	0.0	0.7	1.6	0.7	1.8	0.7	2.2	0.8	1.4
200m	1.5m	2.0	3.7	0.0	0.0	8.7	15.9	6.0	10.0	5.4	9.0	3.3	5.8
	3.0m	1.4	2.6	0.0	0.0	8.1	14.6	5.4	10.0	4.7	9.0	2.7	5.0
	15.0m	0.6	1.2	0.0	0.0	1.3	2.9	1.3	3.2	1.2	3.6	1.3	2.5
300m	1.5m	2.1	3.8	0.0	0.0	9.5	17.0	5.3	9.5	4.5	8.5	3.7	6.5
	3.0m	1.5	2.8	0.0	0.0	9.4	16.3	5.3	9.5	4.5	8.4	3.1	5.5
	15.0m	0.6	1.2	0.0	0.0	1.9	5.3	1.7	4.7	1.6	4.2	1.7	3.2
전체평균		1.1	2.1	0.0	0.0	4.3	8.5	3.4	6.6	3.2	6.4	1.9	3.5

표 2.18 지면흡음에 따른 소음도 차이 비교(SoundPLAN)

수음점		'G=1' 대비 소음도 증가량[dB]											
		KHTN-2007		RLS-90		NMPB-08 (homogeneous)		NMPB-08 (default)		NMPB-08 (favorable)		CRTN	
높이	이격거리	G=0.5	G=0.0	G=0.5	G=0.0	G=0.5	G=0.0	G=0.5	G=0.0	G=0.5	G=0.0	G=0.5	G=0.0
25m	1.5m	1.1	2.0	0.0	0.0	1.9	3.9	1.7	3.8	1.5	3.8	1.3	2.2
	3.0m	0.7	1.4	0.0	0.0	1.1	2.0	0.9	2.0	0.6	1.8	0.8	1.4
	15.0m	0.7	1.5	0.0	0.0	0.5	0.9	0.3	0.6	0.2	0.4	0.0	0.0
50m	1.5m	1.3	2.4	0.0	0.0	3.4	7.2	2.7	5.9	2.0	5.0	1.8	3.3
	3.0m	0.8	1.5	0.0	0.0	1.9	3.7	1.3	3.4	0.9	3.2	1.3	2.5
	15.0m	0.7	1.4	0.0	0.0	1.1	1.9	0.8	1.4	0.5	0.8	0.1	0.2
100m	1.5m	1.8	3.3	0.0	0.0	4.7	9.9	3.1	6.9	2.0	5.3	2.2	4.3
	3.0m	1.0	1.9	0.0	0.0	3.9	7.9	2.2	5.7	1.1	4.3	1.8	3.4
	15.0m	0.6	1.3	0.0	0.0	1.2	2.3	0.9	1.8	0.7	1.3	0.6	1.1
200m	1.5m	2.0	3.7	0.0	0.0	5.8	12.3	2.9	6.8	1.3	4.5	2.7	5.6
	3.0m	1.4	2.6	0.0	0.0	5.8	11.2	2.2	6.3	0.4	4.1	2.3	4.5
	15.0m	0.6	1.2	0.0	0.0	1.2	2.4	1.0	2.1	0.9	1.9	1.1	2.1
300m	1.5m	2.1	3.8	0.0	0.0	6.5	13.4	2.3	6.2	0.3	3.7	2.9	6.4
	3.0m	1.5	2.8	0.0	0.0	6.7	12.8	1.9	6.0	0.3	3.6	2.5	5.3
	15.0m	0.6	1.2	0.0	0.0	1.6	3.9	1.3	3.0	1.1	2.4	1.4	2.6
전체평균		1.1	2.1	0.0	0.0	3.2	6.4	1.7	4.1	0.9	3.1	1.5	3.0

표 2.19 높이평균 이격거리별 지면흡음에 따른 소음도 차이 비교(CadnaA)

수음점 / 이격거리	'G=1' 대비 소음도 증가량[dB]											
	KHTN-2007		RLS-90		NMPB-08 (homogeneous)		NMPB-08 (default)		NMPB-08 (favorable)		CRTN	
	G=0.5	G=0.0	G=0.5	G=0.0	G=0.5	G=0.0	G=0.5	G=0.0	G=0.5	G=0.0	G=0.5	G=0.0
25m	0.8	1.6	0.0	0.0	1.7	3.5	1.9	4.1	2.0	4.5	1.0	1.9
50m	0.9	1.8	0.0	0.0	2.8	6.0	2.9	5.9	3.0	6.1	1.4	2.6
100m	1.1	2.2	0.0	0.0	4.3	8.8	3.9	7.4	3.7	7.1	2.0	3.5
200m	1.3	2.5	0.0	0.0	6.0	11.1	4.2	7.7	3.8	7.2	2.4	4.4
300m	1.4	2.6	0.0	0.0	6.9	12.9	4.1	7.9	3.5	7.0	2.8	5.1

표 2.20 높이평균 이격거리별 지면흡음에 따른 소음도 차이 비교(SoundPLAN)

수음점 / 이격거리	'G=1' 대비 소음도 증가량[dB]											
	KHTN-2007		RLS-90		NMPB-08 (homogeneous)		NMPB-08 (default)		NMPB-08 (favorable)		CRTN	
	G=0.5	G=0.0	G=0.5	G=0.0	G=0.5	G=0.0	G=0.5	G=0.0	G=0.5	G=0.0	G=0.5	G=0.0
25m	0.8	1.6	0.0	0.0	1.2	2.3	1.0	2.1	0.8	2.0	0.7	1.2
50m	0.9	1.8	0.0	0.0	2.1	4.3	1.6	3.6	1.1	3.0	1.1	2.0
100m	1.1	2.2	0.0	0.0	3.3	6.7	2.1	4.8	1.3	3.6	1.5	2.9
200m	1.3	2.5	0.0	0.0	4.3	8.6	2.0	5.1	0.9	3.5	2.0	4.1
300m	1.4	2.6	0.0	0.0	4.9	10.0	1.8	5.1	0.6	3.2	2.3	4.8

표 2.21 거리평균 높이별 지면흡음에 따른 소음도 차이 비교(CadnaA)

수음점	‘G=1.0’ 대비 소음도 증가량[dB]											
	KHTN-2007		RLS-90		NMPB-08 (homogeneous)		NMPB-08 (default)		NMPB-08 (favorable)		CRTN	
높이	G=0.5	G=0.0	G=0.5	G=0.0	G=0.5	G=0.0	G=0.5	G=0.0	G=0.5	G=0.0	G=0.5	G=0.0
1.5m	1.7	3.0	0.0	0.0	6.7	13.0	5.4	9.7	5.2	9.2	2.8	5.0
3m	1.1	2.0	0.0	0.0	5.3	10.2	3.9	7.8	3.6	7.5	2.2	4.0
15m	0.6	1.3	0.0	0.0	0.9	2.3	0.9	2.3	0.8	2.4	0.8	1.5
50m												

표 2.22 거리평균 높이별 지면흡음에 따른 소음도 차이 비교(SoundPLAN)

수음점	‘G=1.0’ 대비 소음도 증가량[dB]											
	KHTN-2007		RLS-90		NMPB-08 (homogeneous)		NMPB-08 (default)		NMPB-08 (favorable)		CRTN	
높이	G=0.5	G=0.0	G=0.5	G=0.0	G=0.5	G=0.0	G=0.5	G=0.0	G=0.5	G=0.0	G=0.5	G=0.0
1.5m	1.7	3.0	0.0	0.0	4.5	9.3	2.5	5.9	1.4	4.5	2.2	4.4
3m	1.1	2.0	0.0	0.0	3.9	7.5	1.7	4.7	0.7	3.4	1.7	3.4
15m	0.6	1.3	0.0	0.0	1.1	2.3	0.9	1.8	0.7	1.4	0.6	1.2
50m												

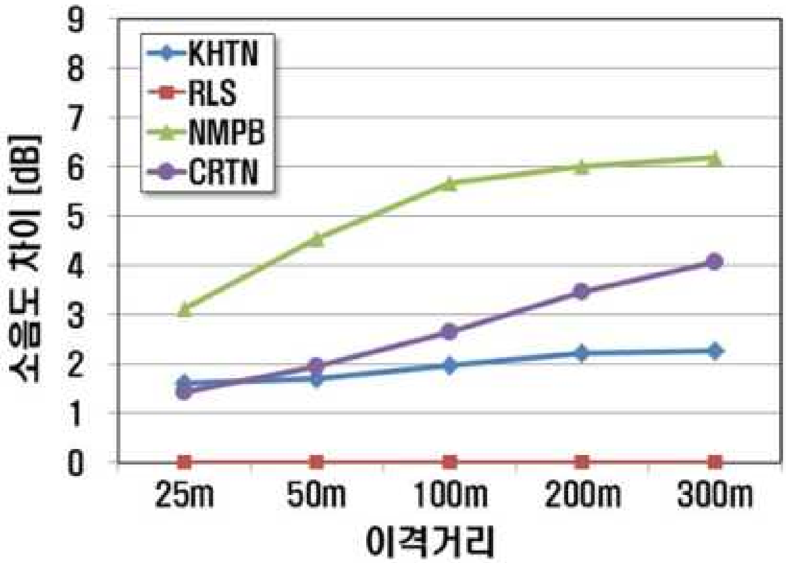
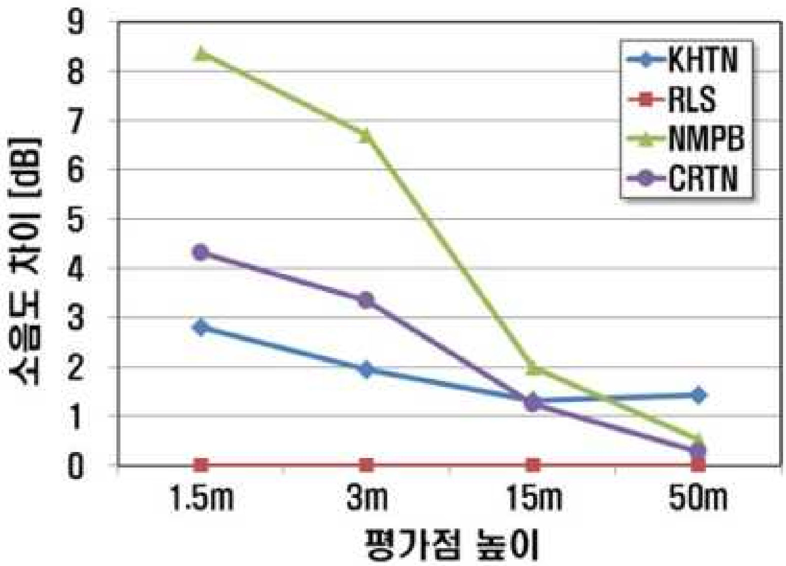
<table>
<tr><td>높이평균</td><td>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">이격거리에 따른 지면흡음 영향</td></tr>
<tr><td>이격거리
평균</td><td>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">높이에 따른 지면흡음 영향</td></tr>
</table>

그림 2.9 해석모델별 지면흡음 영향 비교

[회절감쇠]

해석모델별 회절감쇠 특성을 분석하기 위해 표 2.12에 나타낸 모델에서 도로 갓길에 높이 2m, 3m, 4m, 5m의 방음벽을 설치하여 표 2.23과 같은 조건에서 해석결과를 비교하였다. 표 2.24～2.25 및 그림 2.10～2.15에 방음벽에 의한 회절감쇠를 분석한 결과를 나타내었다. 4개 해석모델 중 CRTN의 회절감쇠가 가장 작았고, NMPB가 상대적으로 큰 회절감쇠 특성을 갖는 것으로 분석되었다.

표 2.23 해석모델 비교를 위한 해석조건

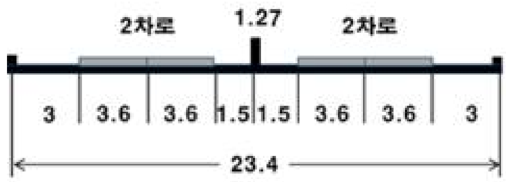
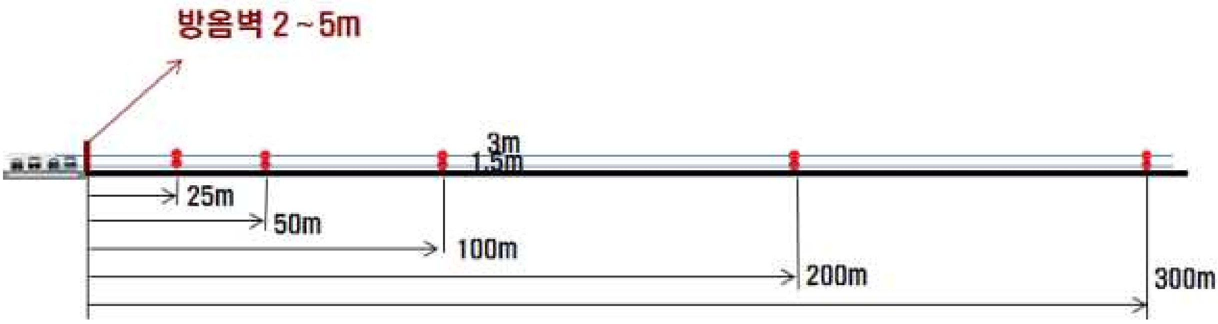
<table>
<tr><th>해석조건</th><th>도로모델 단면</th></tr>
<tr><td>• 도로 : 왕복 4차로
• 교통량 : 왕복 4,000대/hr (차로당 1,000대/시)
• 소형차 100%, 지면계수 1</td><td>[단위 : m]

</td></tr>
<tr><td colspan="2">
</td></tr>
</table>

표 2.24 방음벽 높이에 따른 회절감쇠 영향 비교(CadnaA)

수음점		KHTN-2007				CadnaA											
이격 거리	높이					RLS-9				NMPB-08(default)				CRTN			
		2m	3m	4m	5m	2m	3m	4m	5m	2m	3m	4m	5m	2m	3m	4m	5m
25m	1.5m	5.0	7.2	8.9	10.2	3.6	6.8	9.6	11.3	3.2	6.6	8.4	10.7	3.8	6.1	8.1	9.8
	3m	5.3	7.8	10.0	11.4	2.9	6.1	9.3	11.2	4.9	8.6	10.9	13.4	3.9	6.3	8.5	10.2
50m	1.5m	4.2	6.1	7.7	8.9	2.9	5.9	8.6	10.3	1.0	4.6	6.6	9.0	2.7	4.8	6.7	8.3
	3m	4.5	6.6	8.4	9.6	2.5	5.5	8.4	10.2	2.9	6.8	8.8	11.4	3.3	5.5	7.3	9.0
100m	1.5m	3.5	5.3	6.8	8.0	2.4	5.2	8.1	9.8	1.2	5.7	7.5	10.3	1.9	3.9	5.6	7.1
	3m	3.9	5.7	7.3	8.6	2.2	5.0	8.0	9.7	0.4	4.9	6.9	10.0	2.6	4.6	6.4	7.9
200m	1.5m	2.8	4.4	5.9	7.1	1.8	4.6	7.7	9.7	2.9	8.7	11.4	13.3	1.0	2.9	4.6	6.1
	3m	3.3	5.0	6.4	7.7	1.7	4.4	7.6	9.6	1.2	6.8	9.5	11.6	1.8	3.7	5.4	6.9
300m	1.5m	2.3	3.9	5.2	6.4	1.4	4.2	7.4	9.6	3.7	10.5	12.5	14.5	0.5	2.4	3.9	5.5
	3m	2.8	4.5	5.9	7.1	1.4	4.1	7.4	9.5	2.5	9.1	11.1	13.1	1.3	3.2	4.9	6.4
	15.0m	2.8	4.5	6.0	7.3	1.2	3.3	6.6	8.8	1.5	7.5	10.7	13.3	2.7	4.6	6.4	8.0
전체 평균		3.3	5.1	6.8	8.0	1.8	4.3	7.1	9.1	2.2	6.5	8.7	11.3	2.3	4.1	5.9	7.6

그림 2.25 방음벽 높이에 따른 회절감쇠 영향 비교(SoundPLAN)

수음점		KHTN-2007				SoundPLAN											
이격 거리	높이					RLS-9				NMPB-08(default)				CRTN			
		2m	3m	4m	5m	2m	3m	4m	5m	2m	3m	4m	5m	2m	3m	4m	5m
25m	1.5m	5.0	7.2	8.9	10.2	3.4	7.5	9.9	11.7	5.4	7.2	8.7	10.3	4.3	6.8	8.9	10.7
	3m	5.3	7.8	10.0	11.4	2.4	6.4	9.1	11.2	5.2	7.6	9.4	11.3	3.6	6.6	8.9	10.9
50m	1.5m	4.2	6.1	7.7	8.9	2.7	6.5	8.8	10.6	3.5	5.2	6.6	8.2	2.9	5.2	7.2	8.9
	3m	4.5	6.6	8.4	9.6	2.2	6.0	8.5	10.4	4.3	6.5	8.2	10.0	3.0	5.5	7.6	9.3
100m	1.5m	3.5	5.3	6.8	8.0	2.2	5.8	8.2	10.0	2.7	4.9	6.4	8.0	1.8	4.0	5.9	7.5
	3m	3.9	5.7	7.3	8.6	1.9	5.5	7.9	9.8	2.6	5.0	6.7	8.6	2.4	4.7	6.6	8.3
200m	1.5m	2.8	4.4	5.9	7.1	1.6	4.5	6.9	8.9	3.2	6.1	8.0	9.7	0.5	2.5	4.4	5.9
	3m	3.3	5.0	6.4	7.7	1.5	4.3	6.7	8.8	2.8	5.6	7.6	9.4	1.3	3.5	5.4	7.0
300m	1.5m	2.3	3.9	5.2	6.4	1.3	3.9	6.3	8.6	4.1	7.4	9.1	10.7	0.2	1.7	3.6	5.1
	3m	2.8	4.5	5.9	7.1	1.3	3.9	6.3	8.5	3.6	7.0	8.7	10.3	0.6	2.7	4.6	6.1

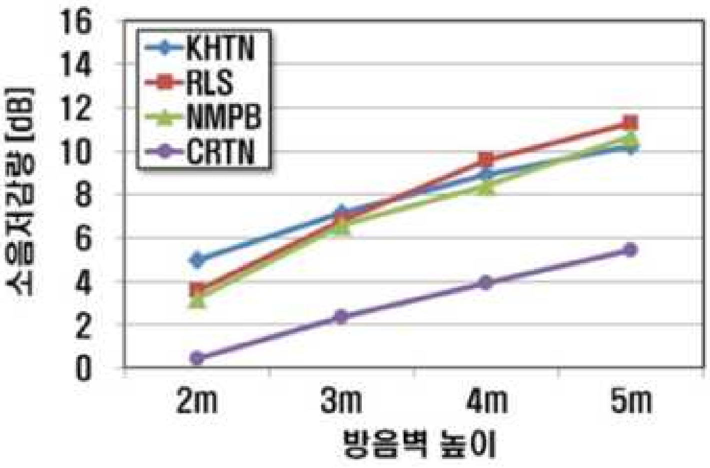
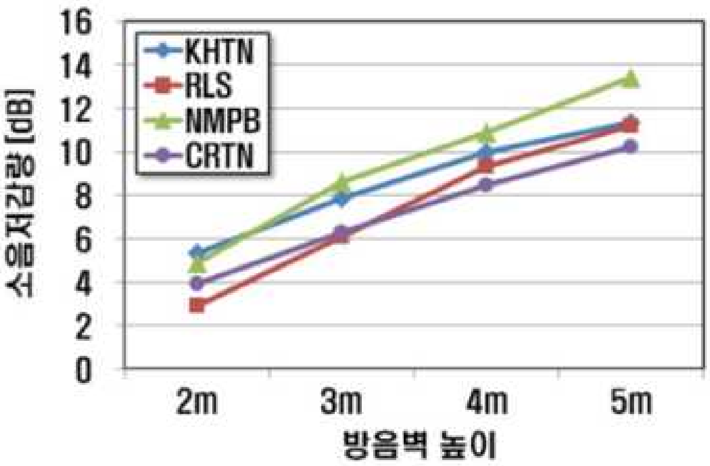
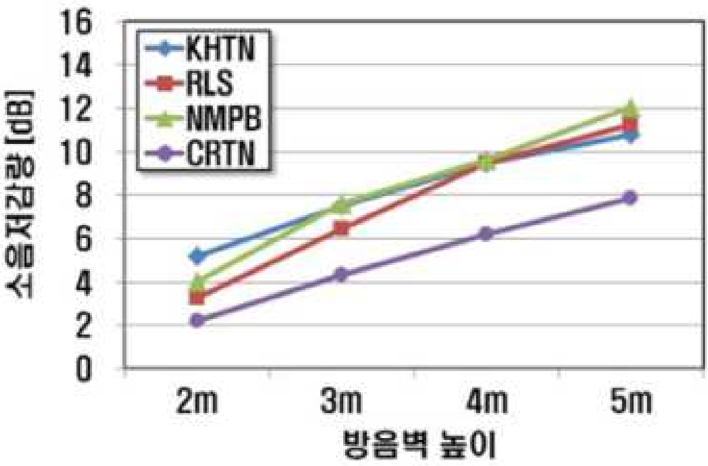
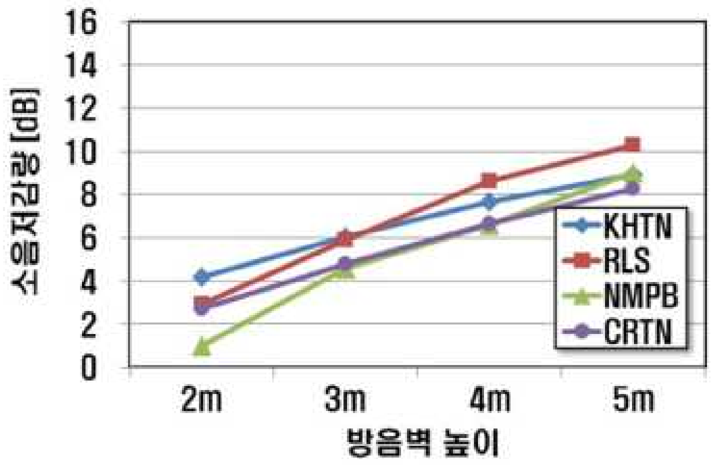
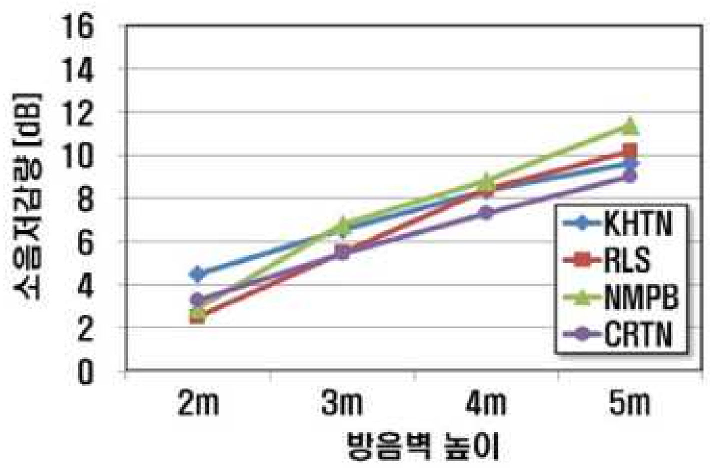
수음점 높이 1.5m	
수음점 높이 3m	
높이평균	

그림 2.10 이격거리 25m에서의 회절감쇠 영향 비교

수음점
높이
1.5m



수음점
높이
3m



높이평균

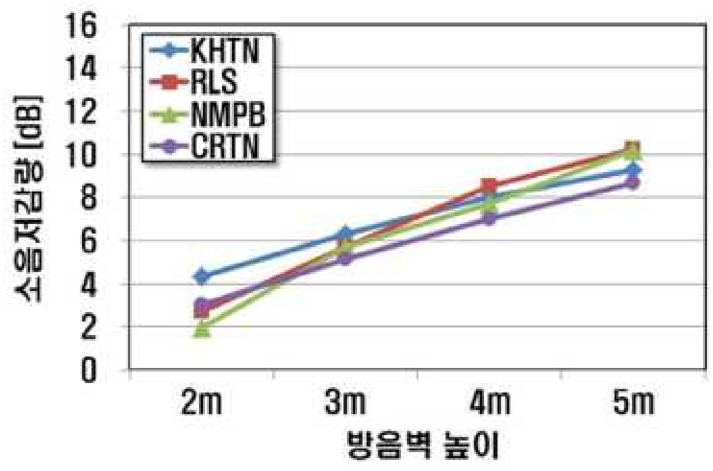
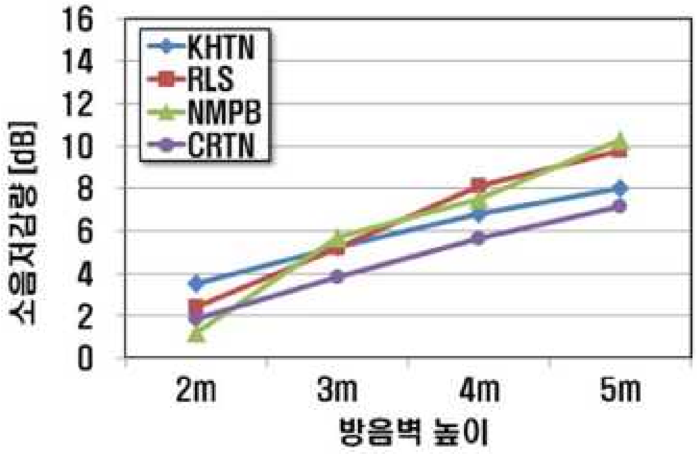


그림 2.11 이격거리 50m에서의 회절감쇠 영향 비교

<table>
<tr><td>수음점
높이

1.5m</td><td>
</td></tr>
<tr><td>수음점
높이

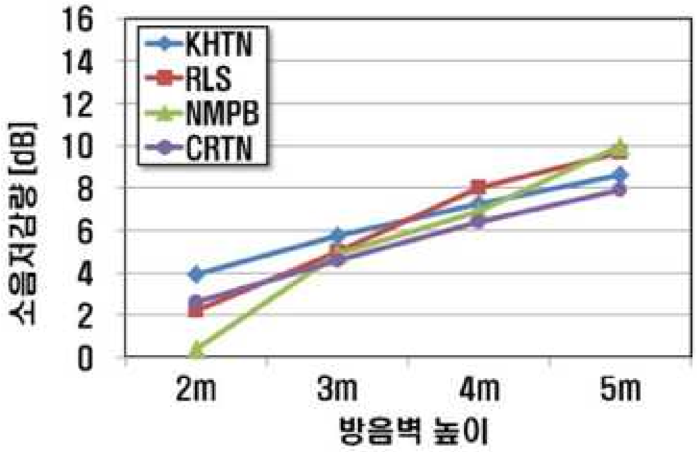
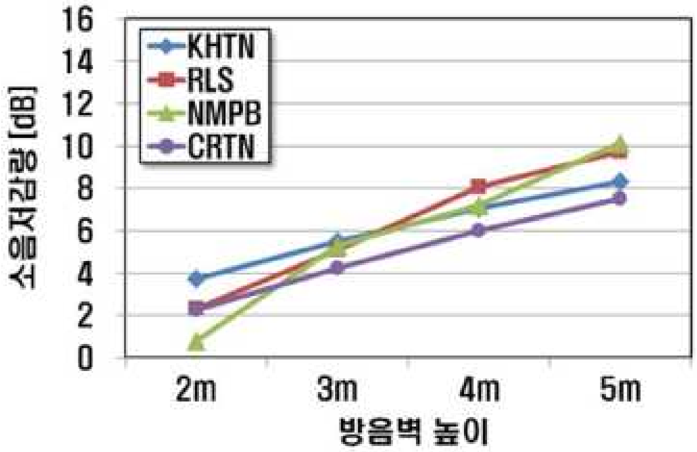
3m</td><td>
</td></tr>
<tr><td>높이평균</td><td>
</td></tr>
</table>

그림 2.12 이격거리 100m에서의 회절감쇠 영향 비교

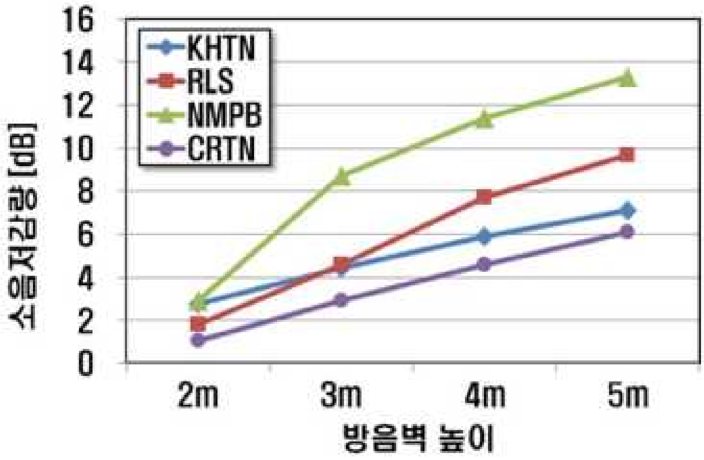
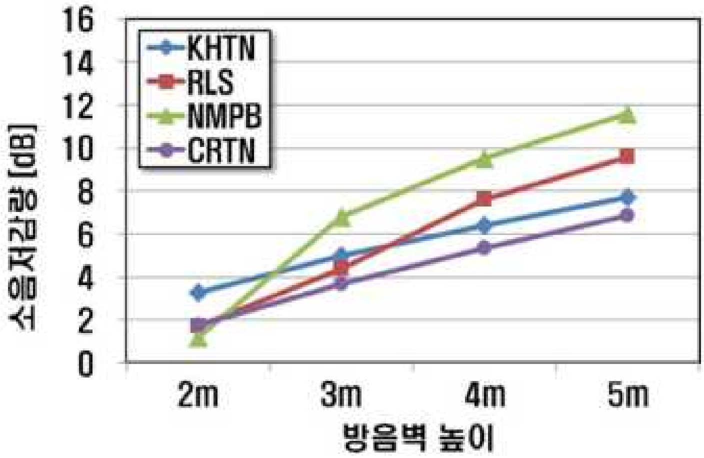
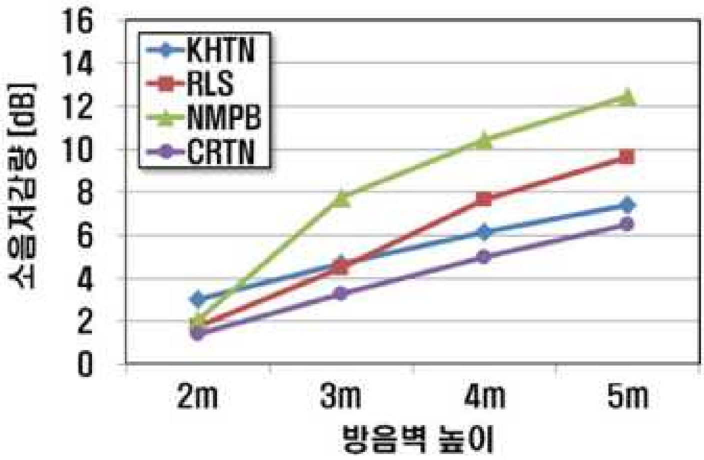
수음점 높이 1.5m	
수음점 높이 3m	
높이평균	

그림 2.13 이격거리 200m에서의 회절감쇠 영향 비교

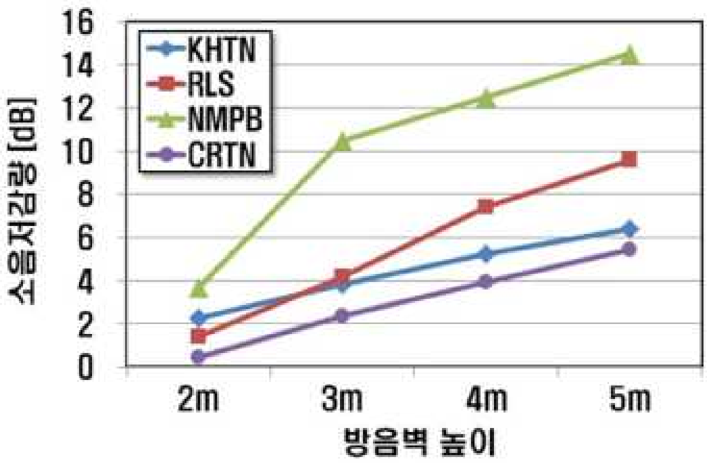
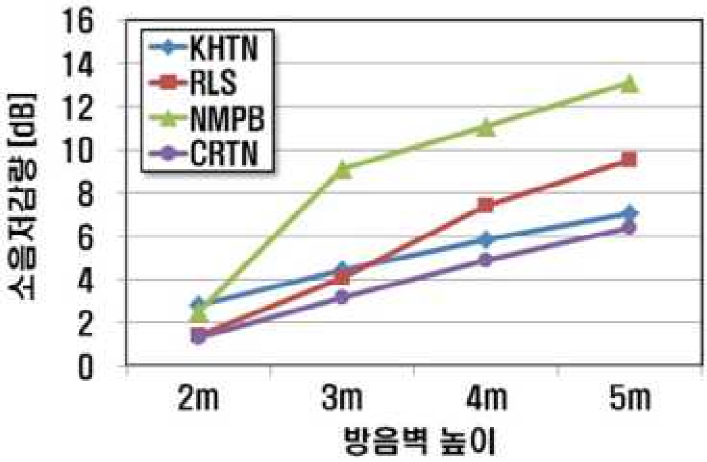
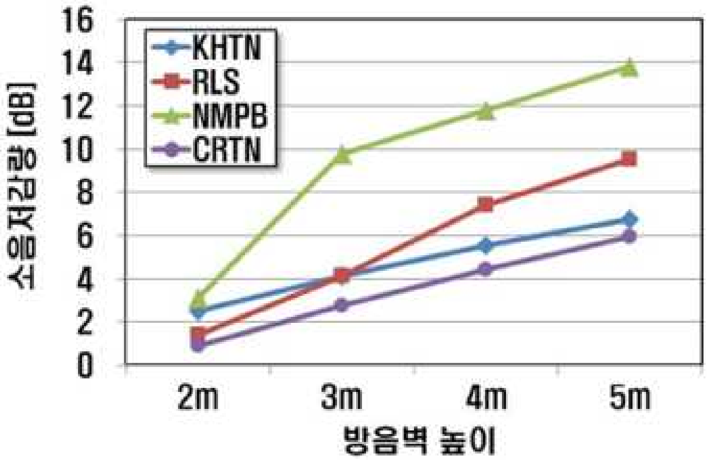
수음점 높이 1.5m	
수음점 높이 3m	
높이평균	

그림 2.14 이격거리 300m에서의 회절감쇠 영향 비교

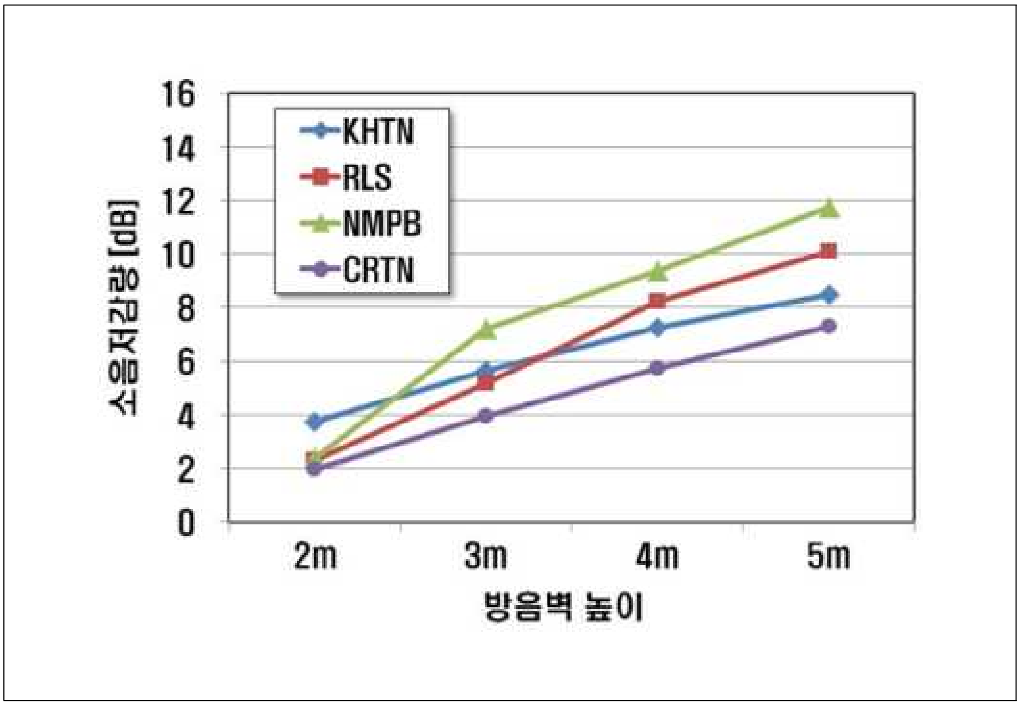


그림 2.15 방음벽 높이에 따른 평균 회절감쇠 영향

제 3 장 고속도로 현장측정 및 소음해석

3.1 주요 연구내용

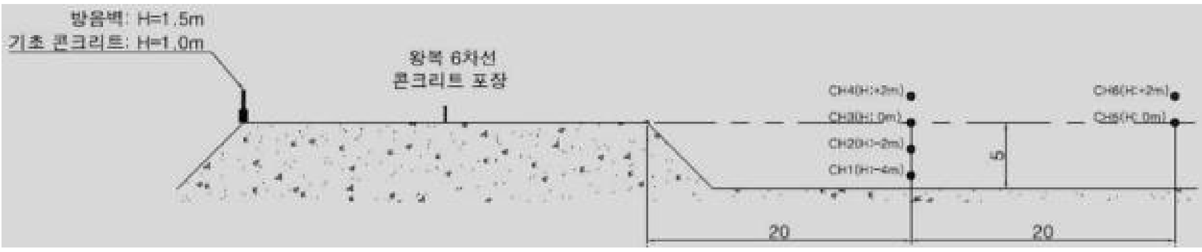
○ 고속도로 주변지역 소음측정
○ 측정지역 소음해석을 위한 교통량 산정 및 분석
○ KHTN에 의한 측정지역 소음해석
○ 측정지역 소음해석을 위한 교통량 산정 및 분석
○ 측정값/해석값 비교 분석
○ 상용 프로그램 CadnaA, SoundPLAN (CRTN, RLS, NMPB)에 의한 측정지역 소음해석

3.2 고속도로 현장 소음측정

3D 소음해석 모델의 타당성 검증을 위해 고속도로 주변지역의 다양한 조건에 대한 현장소음을 측정하고 분석하였다. 포장종류(아스팔트, 콘크리트) 및 도로구조(성토, 평지, 교량, 방음벽)를 달리하는 20개 현장에서 소음과 교통량을 동시에 측정하고 분석하였다. 1개 현장에 대해서는 4시간 이상의 시간 간격을 두고 2회씩 측정하여 그 결과를 비교하였다. 1개 현장당 6개 지점에서 동시에 30분 동안 연속으로 측정하여 L_{Aeq}를 산정하였다. 측정시간대와 동일한 시간에 교통량을 측정하고 소음해석을 위해 이를 2배하여 시간당 교통량으로 산정하였다. 또한, 해석모델별로 교통량 분류방법이 다르기 때문에 소형, 대형의 2차종(KHTN은 5차종)으로 따로 분류하였다. 그림 3.1~3.20에 본 연구에서 수행한 소음측정 현장의 개요 및 측정결과를 나타내었다.

[현장-1] 콘크리트 포장-성토

[현장-1]은 콘크리트 포장 성토 도로에서 20m, 40m 이격된 지점이다. 그림 3.1에 현장의 개요를 나타내었다. 측정지점은 도로면 기준 이격거리 20m에서 -4m, -2m, 0m, 이격거리 40m에서 4m, 0m 위치이다.



측정시기	교통량 [대/시]	측정결과[dB(A)]					
		이격거리 20m				이격거리 40m	
		-4m	-2m	0m	2m	0m	2m
1차	2,872	70.9	72.4	73.3	75.9	72.6	73.4
2차	2,618	70.3	71.7	72.6	75.4	71.7	72.6

그림 3.1 [현장-1] 지점개요 및 측정결과

[현장-2] 콘크리트 포장-성토&방음벽

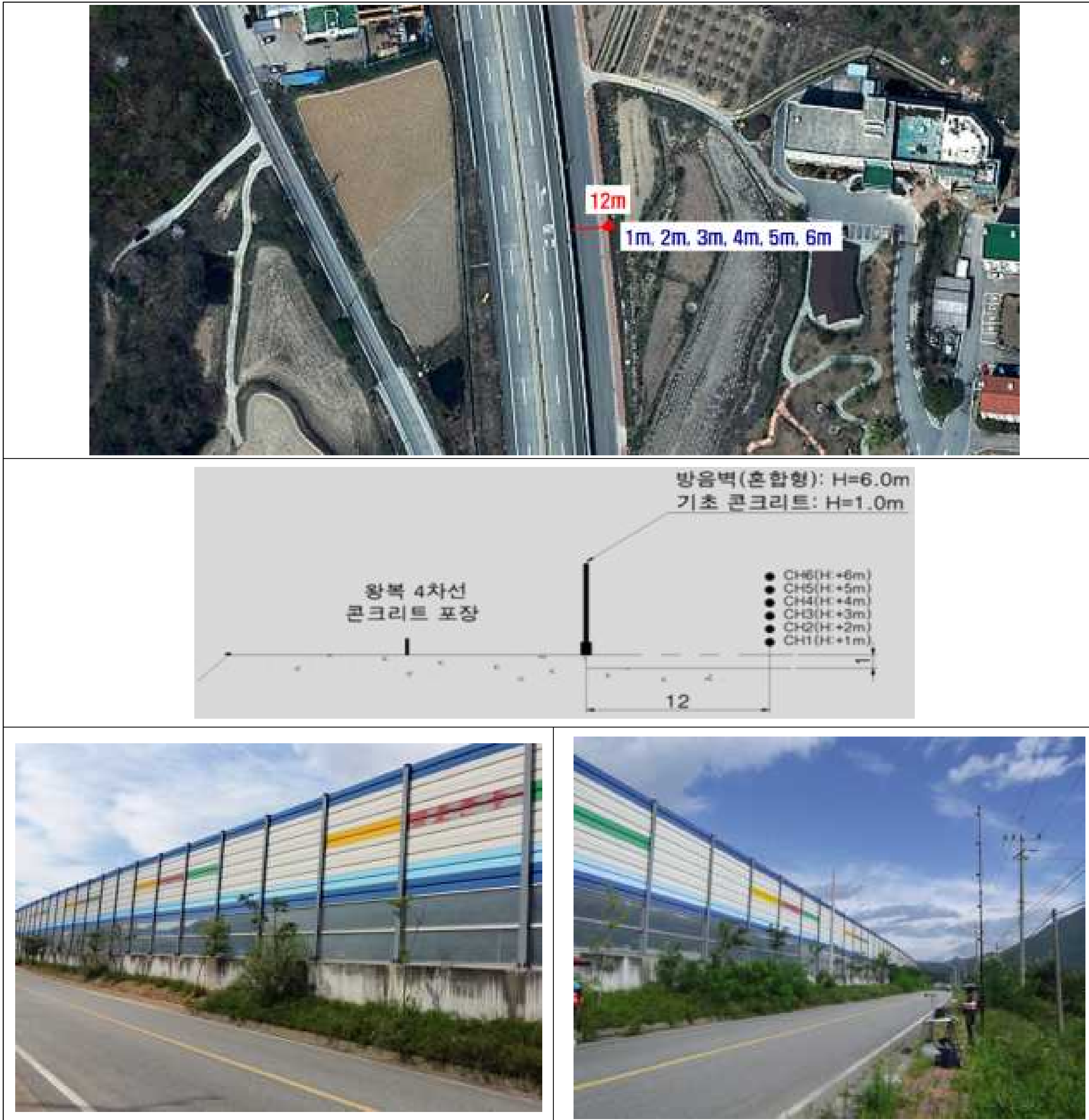
[현장-2]는 콘크리트 포장 성토구조 도로에서 20m 이격된 지점이다. 그림 3.2에 현장의 개요를 나타내었다. 측정지점은 도로면 기준 -4m, -3m, -2m, -2m, 0m, 1m 위치이다.

측정시기	교통량 [대/시]	측정결과[dB(A)]					
		-4m	-3m	-2m	-1m	-0m	1m
1차	2,790	63.4	63.6	64.1	64.5	65.4	66.2
2차	2,520	62.2	62.6	63.2	63.5	64.5	65.2

그림 3.2 [현장-2] 지점개요 및 측정결과

[현장-3] 콘크리트 포장-방음벽

[현장-3]은 콘크리트 포장 방음벽 설치 도로에서 12m 이격된 지점이다. 그림 3.3에 현장의 개요를 나타내었다. 측정지점은 도로면 기준 1m, 2m, 3m, 4m, 5m, 6m 위치이다.

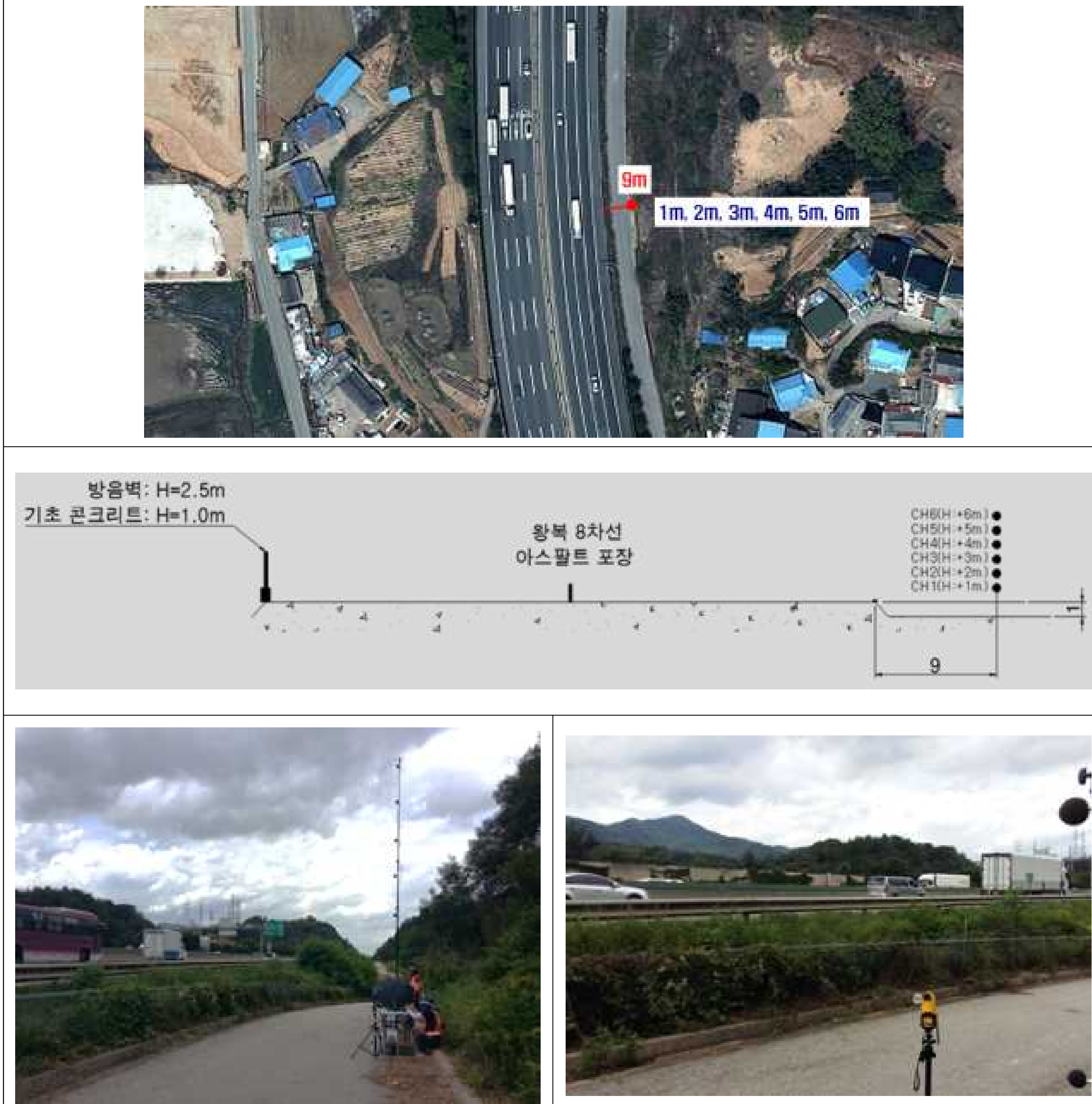


측정시기	교통량 [대/시]	측정결과[dB(A)]					
		1m	2m	3m	4m	5m	6m
1차	1,422	60.9	61.3	61.5	61.8	61.9	62.4
2차	1,464	60.3	60.5	60.8	61.2	61.4	62.0

그림 3.3 [현장-3] 지점개요 및 측정결과

[현장-4] 아스팔트 포장-도로변

[현장-4]는 콘크리트 포장 도로에서 9m 이격된 지점이다. 그림 3.4에 현장의 개요를 나타내었다. 측정지점은 도로면 기준 1m, 2m, 3m, 4m, 5m, 6m 위치이다.

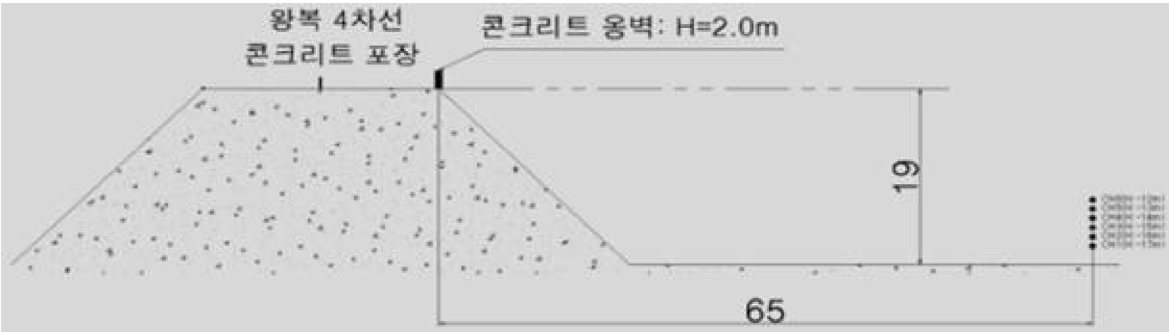


측정시기	교통량 [대/시]	측정결과[dB(A)]					
		1m	2m	3m	4m	5m	6m
1차	4,328	75.6	77.1	78.6	79.0	79.3	79.2
2차	4,356	75.3	76.5	78.0	78.5	79.2	78.8

그림 3.4 [현장-4] 지점개요 및 측정결과

[현장-5] 콘크리트 포장-성토&방음벽

[현장-5]는 콘크리트 포장 성토구조 도로에서 65m 이격된 지점이다. 그림 3.5에 현장의 개요를 나타내었다. 측정지점은 도로면 기준 -17m, -16m, -15m, -14m, -13m, -12m 위치이다.

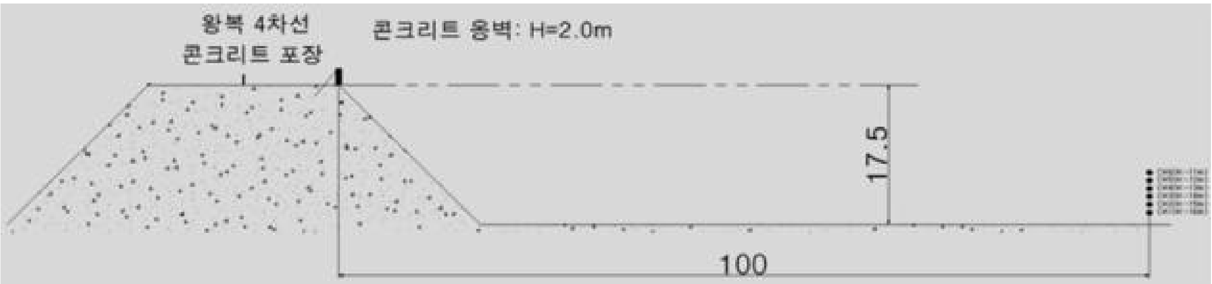


측정시기	교통량 [대/시]	측정결과[dB(A)]					
		-17m	-16m	-15m	-14m	-13m	-12m
1차	2,098	60.0	60.2	60.5	60.7	61.0	61.1
2차	2,358	60.8	61.0	61.3	61.5	61.8	62.1

그림 3.5 [현장-5] 지점개요 및 측정결과

[현장-6] 콘크리트 포장-성토&방음벽(일부 교량)

[현장-6]은 콘크리트 포장 성토구조 도로에서 100m 이격된 지점이다. 그림 3.6에 현장의 개요를 나타내었다. 측정지점은 도로면 기준 -16m, -15m, -14m, -13m, -12m, -11m 위치이다.

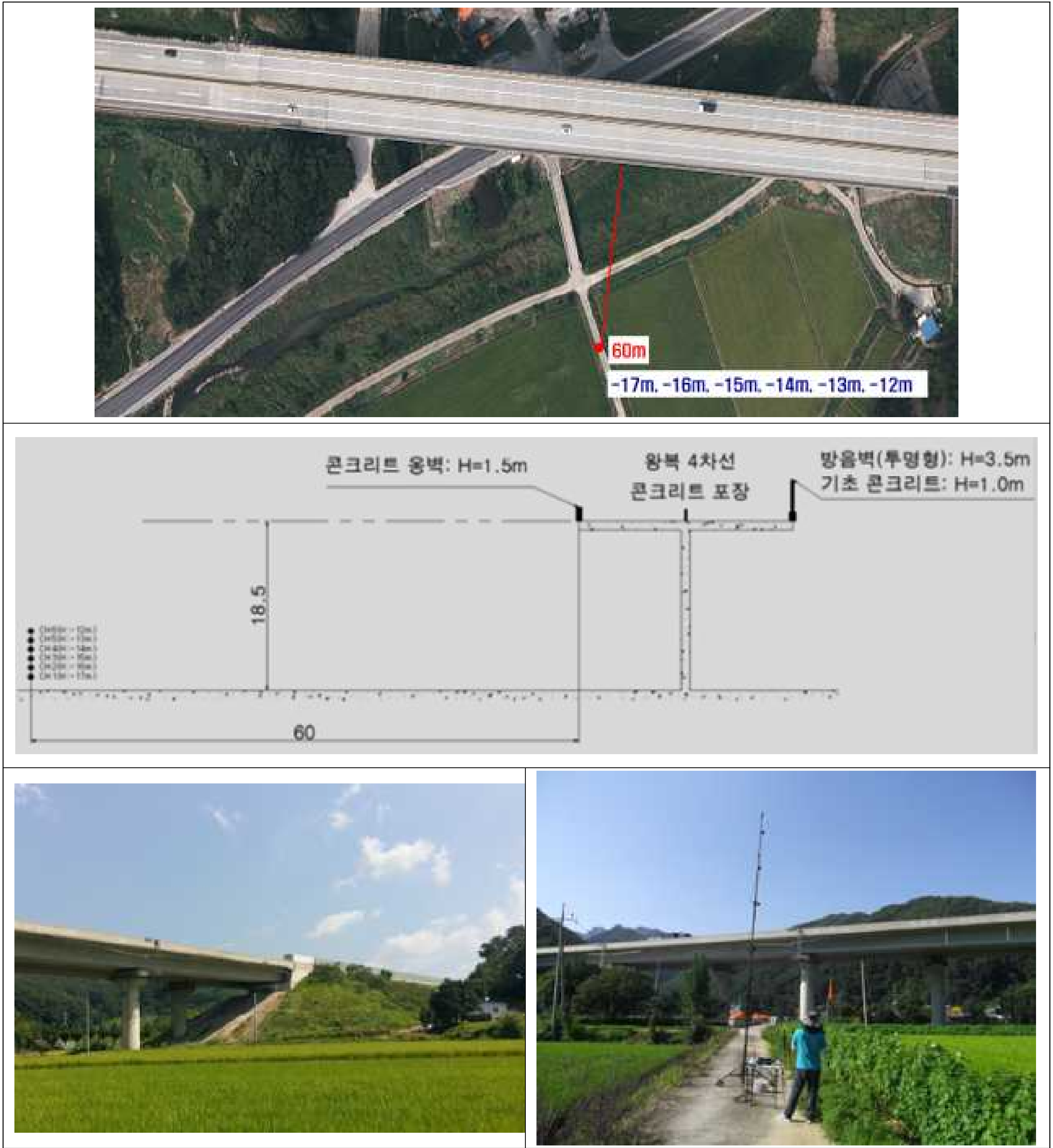


측정시기	교통량 [대/시]	측정결과[dB(A)]					
		-16m	-15m	-14m	-13m	-12m	-11m
1차	2,502	60.3	60.3	60.0	59.8	59.9	59.7
2차	2,350	59.4	59.0	59.0	59.8	59.1	59.1

그림 3.6 [현장-6] 지점개요 및 측정결과

[현장-7] 콘크리트 포장-교량

[현장-7]은 콘크리트 포장 교량구조 도로에서 60m 이격된 지점이다. 그림 3.7에 현장의 개요를 나타내었다. 측정지점은 도로면 기준 -17m, -16m, -15m, -14m, -13m, -12m 위치이다.

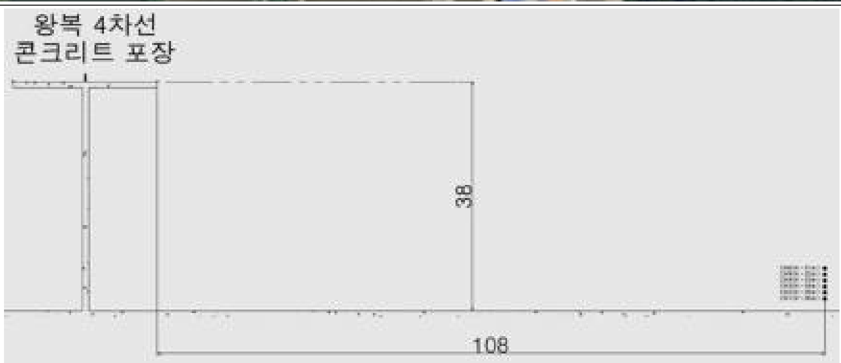


측정시기	교통량 [대/시]	측정결과[dB(A)]					
		-17m	-16m	-15m	-14m	-13m	-12m
1차	2,328	59.2	59.7	59.7	59.7	59.7	59.7
2차	2,132	58.6	59.1	59.5	59.2	59.3	59.3

그림 3.7 [현장-7] 지점개요 및 측정결과

[현장-8] 콘크리트 포장-교량

[현장-8]은 콘크리트 포장 교량구조 도로에서 108m 이격된 지점이다. 그림 3.8에 현장의 개요를 나타내었다. 측정지점은 도로면 기준 -36m, -35m, -34m, -33m, -32m, -31m 위치이다.

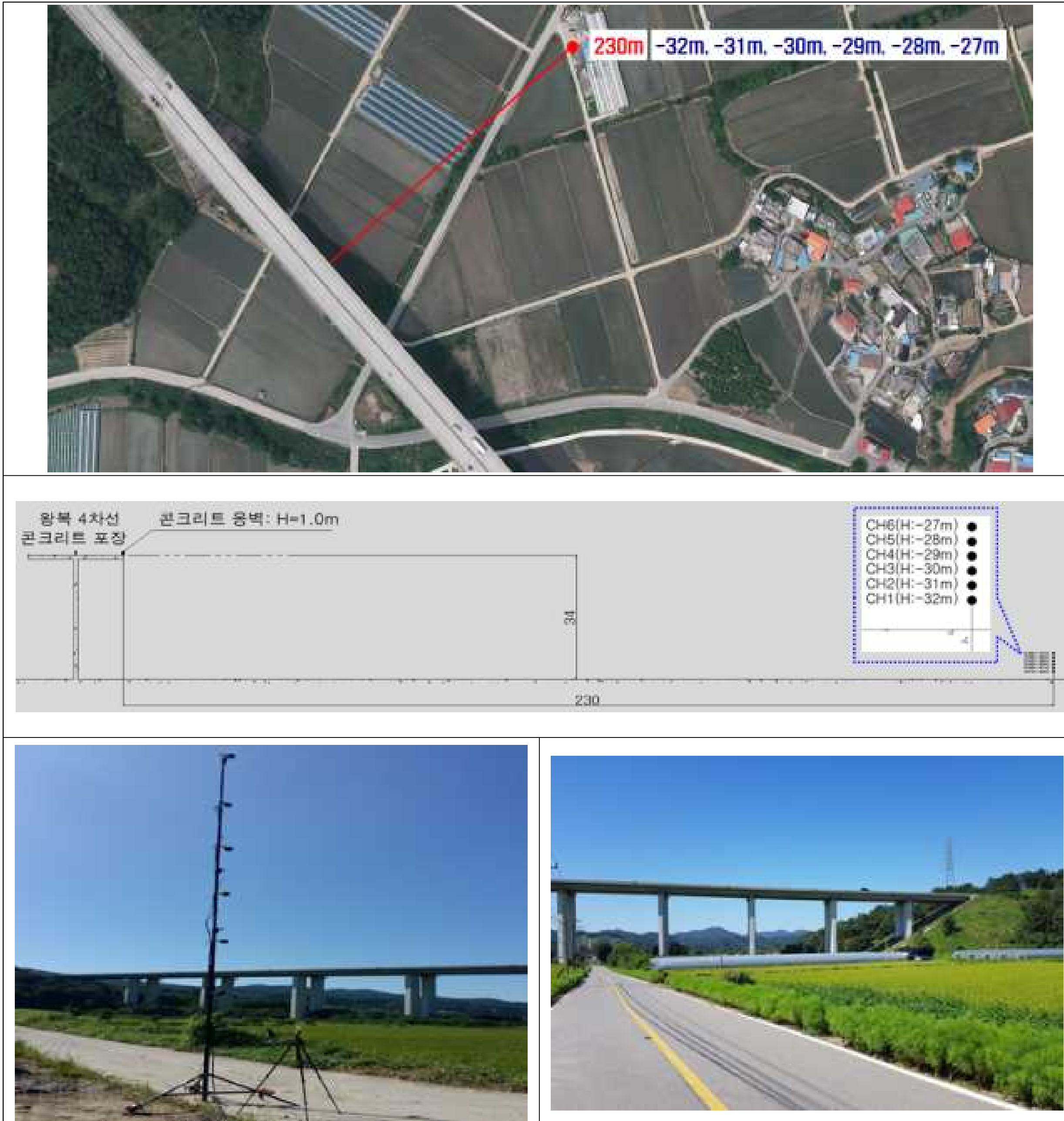


측정시기	교통량 [대/시]	측정결과[dB(A)]					
		-36m	-35m	-34m	-33m	-32m	-31m
1차	3,426	56.1	56.8	56.8	56.9	56.9	56.9
2차	2,116	55.8	56.0	56.3	56.4	56.5	56.3

그림 3.8 [현장-8] 지점개요 및 측정결과

[현장-9] 콘크리트 포장-교량

[현장-9]는 콘크리트 포장 교량구조 도로에서 230m 이격된 지점이다. 그림 3.9에 현장의 개요를 나타내었다. 측정지점은 도로면 기준 -32m, -31m, -30m, -29m, -28m, -27m 위치이다.

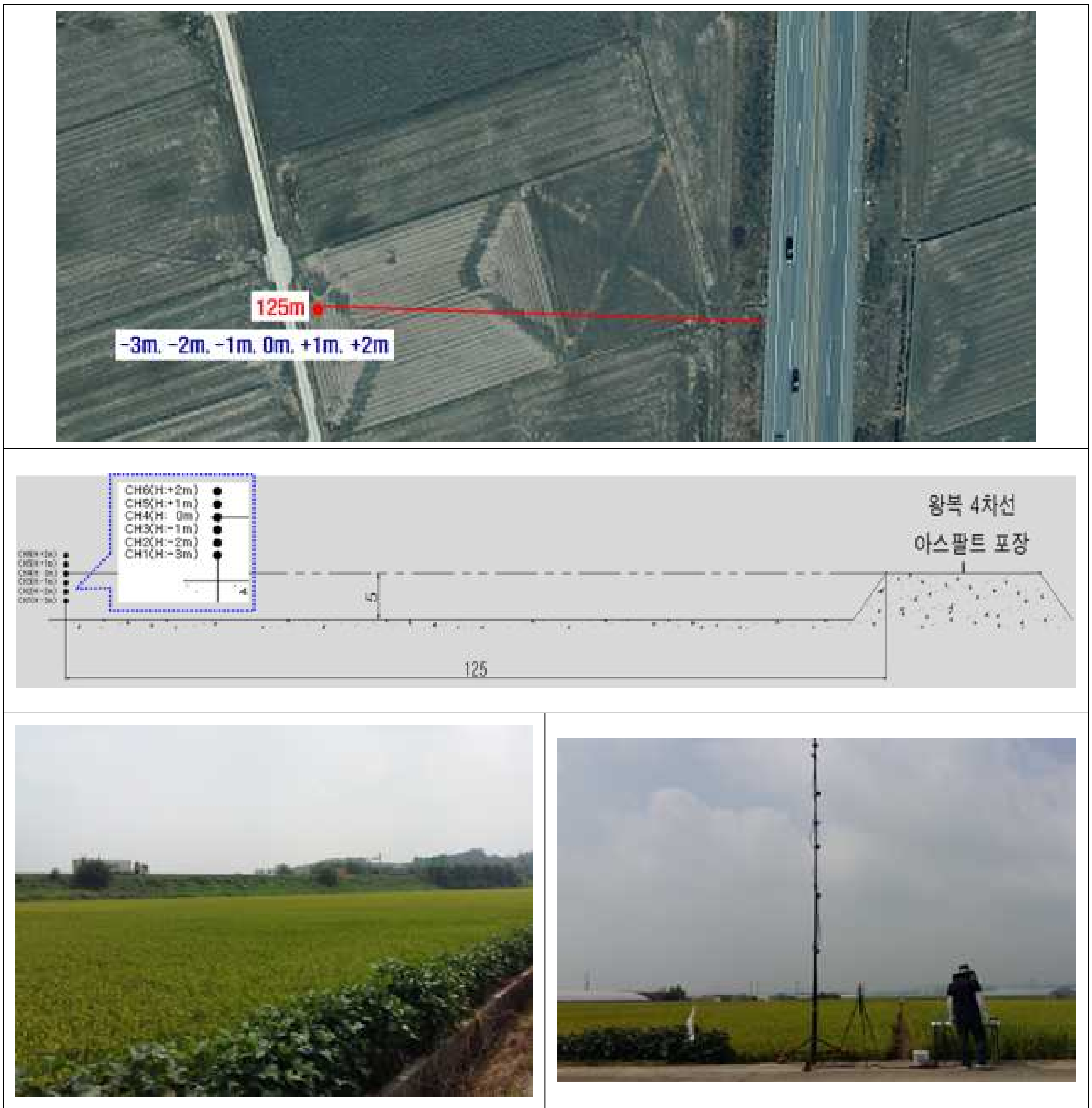


측정시기	교통량 [대/시]	측정결과[dB(A)]					
		-32m	-31m	-30m	-29m	-28m	-27m
1차	2,236	55.0	55.5	55.5	55.6	55.8	56.1
2차	3,408	56.3	56.4	56.3	56.4	56.5	56.5

그림 3.9 [현장-9] 지점개요 및 측정결과

[현장-10] 아스팔트 포장-성토

[현장-10]은 콘크리트 포장 성토구조 도로에서 125m 이격된 지점이다. 그림 3.10에 현장의 개요를 나타내었다. 측정지점은 도로면 기준 -3m, -2m, -1m, 0m, 1m, 2m 위치이다.

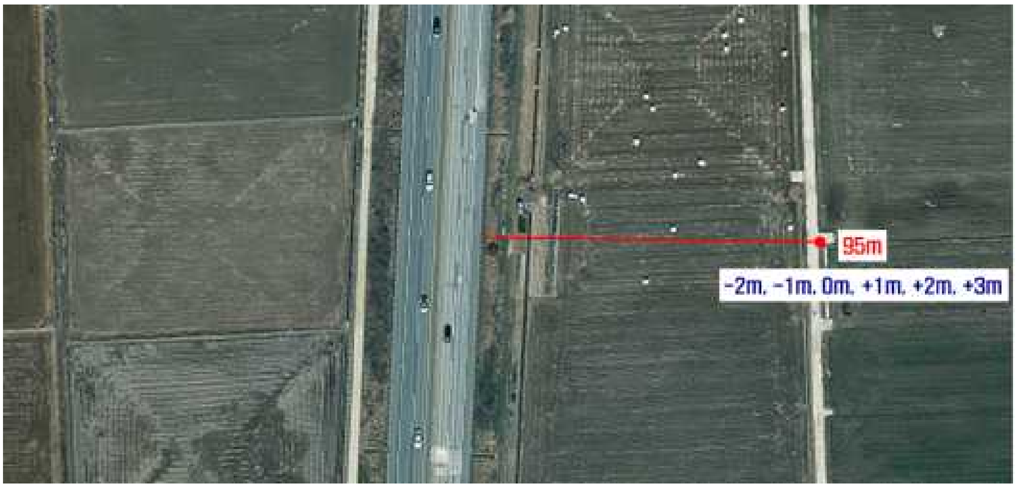


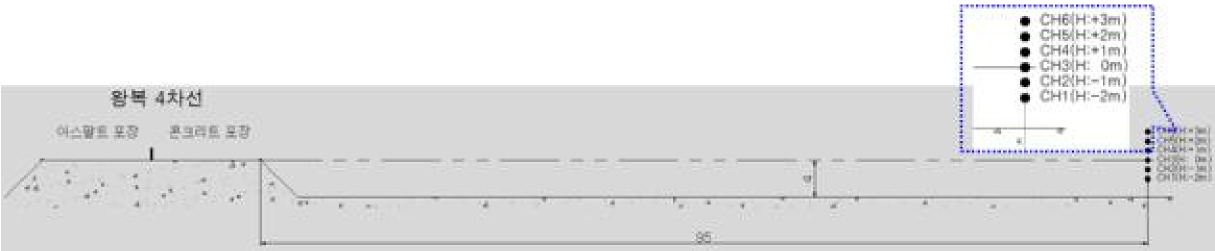
측정시기	교통량 [대/시]	측정결과[dB(A)]					
		-32m	-31m	-30m	-29m	-28m	-27m
1차	3,924	61.8	62.6	62.7	62.7	62.8	62.7
2차	4,354	59.7	60.6	61.0	61.1	61.3	61.4

그림 3.10 [현장-10] 지점개요 및 측정결과

[현장-11] 아스팔트/콘크리트 포장-성토

[현장-11]은 콘크리트 포장 성토구조 도로에서 95m 이격된 지점이다. 그림 3.11에 현장의 개요를 나타내었다. 측정지점은 도로면 기준 -2m, -1m, 0m, 1m, 2m, 3m 위치이다.



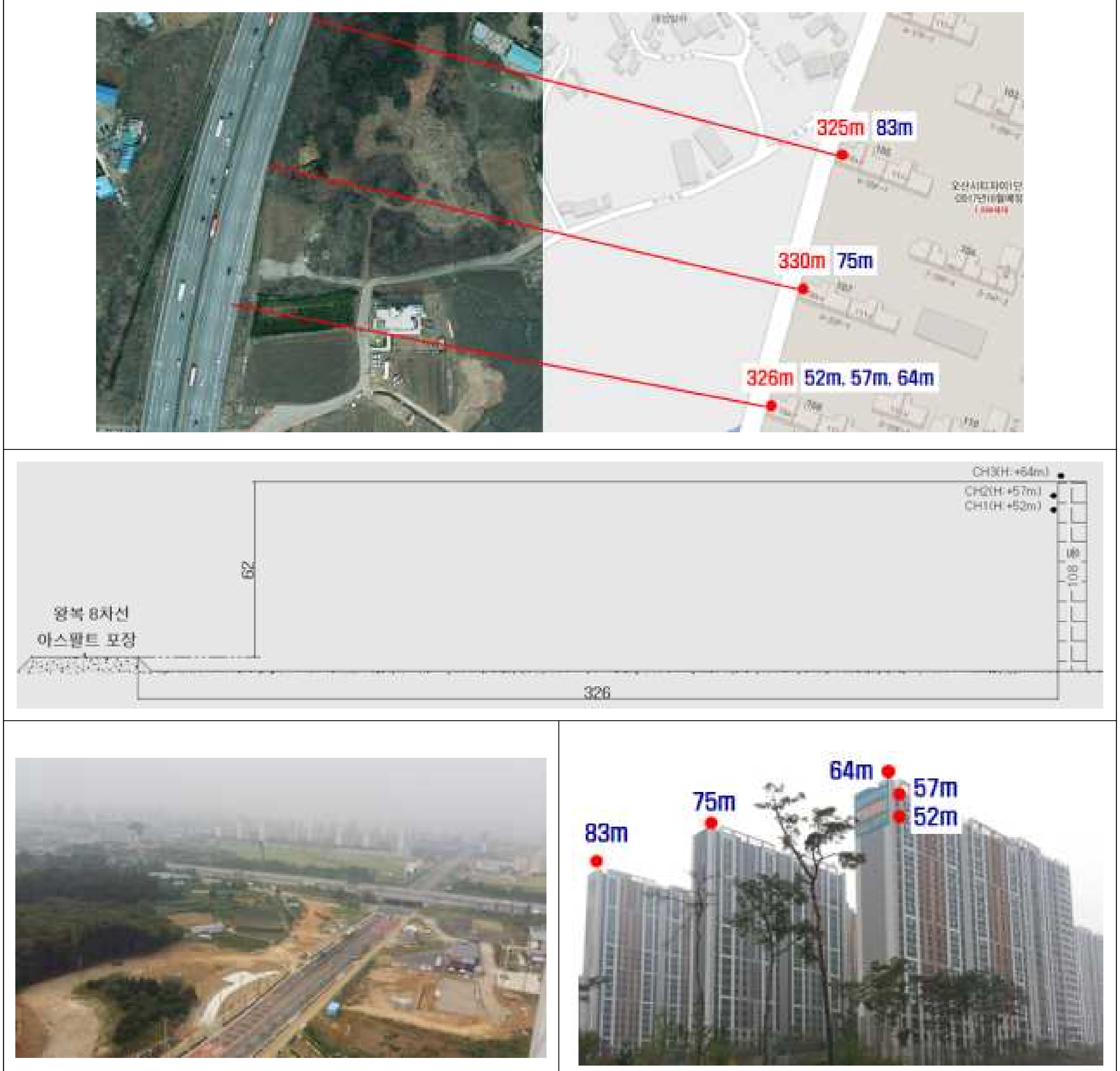


측정시기	교통량 [대/시]	측정결과[dB(A)]					
		-2m	-1m	0m	1m	2m	3m
1차	3,662	65.3	65.7	65.7	65.8	65.9	66.0
2차	4,570	65.9	66.1	66.3	66.4	66.5	66.6

그림 3.11 [현장-11] 지점개요 및 측정결과

[현장-12] 아스팔트 포장-공동주택

[현장-12]는 콘크리트 포장 도로에서 326m, 330m, 325m 이격된 지점의 공동주택이다. 그림 3.12에 현장의 개요를 나타내었다. 측정지점은 도로면 기준 52m, 57m, 64m, 75m, 83m 위치이다.

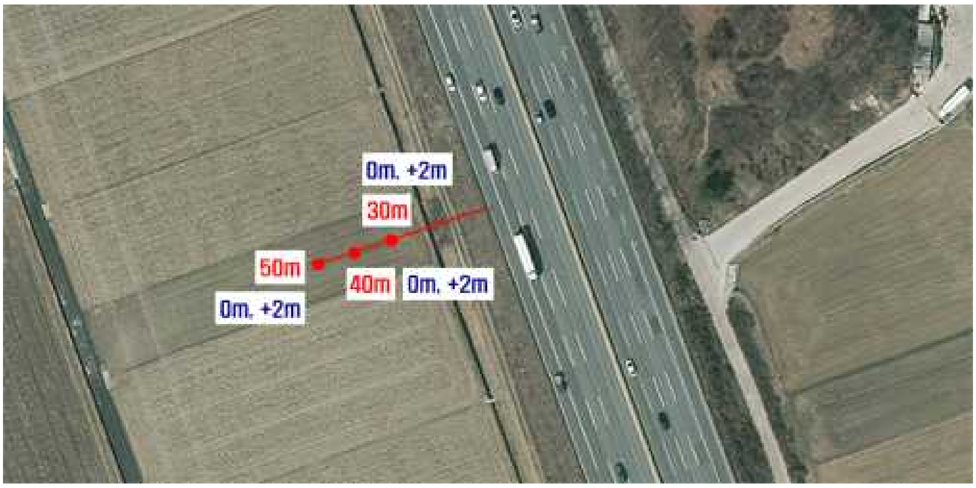


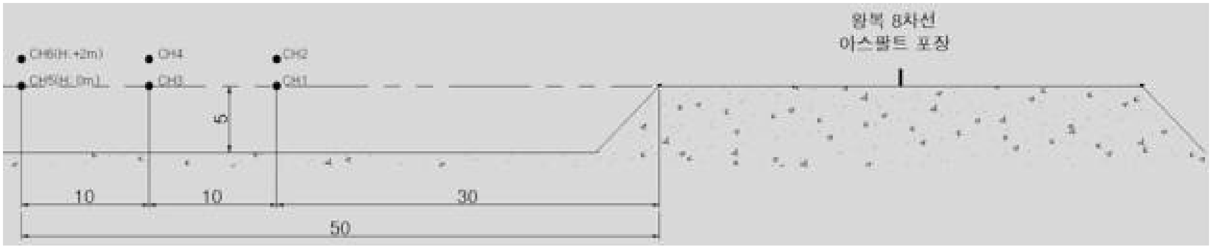
측정시기	교통량 [대/시]	측정결과[dB(A)]					
		52m	57m	64m	75m	83m	
1차	10,334	64.7	65.0	62.4	62.8	62.8	
2차	11,146	63.8	63.9	62.8	63.0	63.5	

그림 3.12 [현장-12] 지점개요 및 측정결과

[현장-13] 아스팔트 포장-성토

[현장-13]는 콘크리트 포장 성토구조 도로에서 30m, 40m, 50m 이격된 지점이다. 그림 3.13에 현장의 개요를 나타내었다. 측정지점은 각 이격거리에서 도로면 기준 0m, 2m 위치이다.



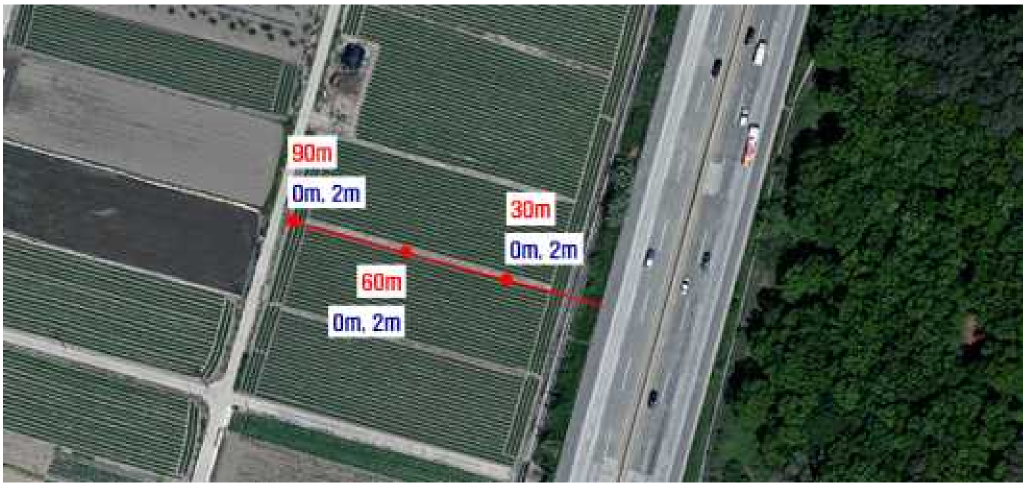


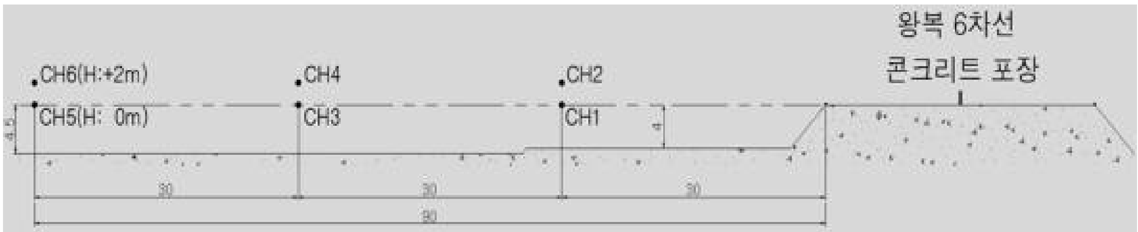
측정시기	교통량 [대/시]	측정결과[dB(A)]					
		이격거리 30m		이격거리 40m		이격거리 50m	
		0m	2m	0m	2m	0m	2m
1차	9,490	68.7	70.6	68.1	69.2	67.3	68.3
2차	8,922	68.8	71.3	68.6	70.2	67.6	68.9

그림 3.13 [현장-13] 지점개요 및 측정결과

[현장-14] 콘크리트 포장-성토

[현장-14]는 콘크리트 포장 성토구조 도로에서 30m, 60m, 90m 이격된 지점이다. 그림 3.14에 현장의 개요를 나타내었다. 측정지점은 각 이격거리에서 도로면 기준 0m, 2m 위치이다.



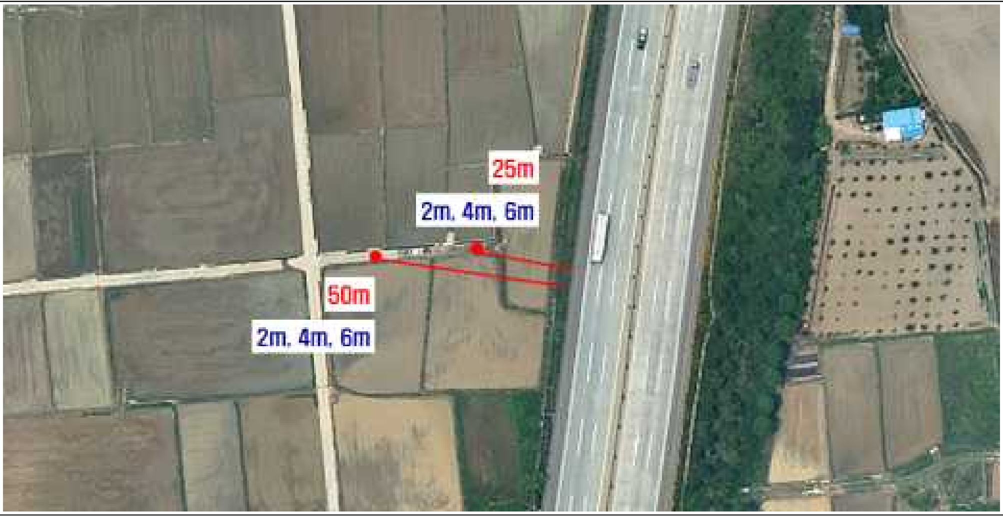


측정시기	교통량 [대/시]	측정결과[dB(A)]					
		이격거리 30m		이격거리 60m		이격거리 90m	
		0m	2m	0m	2m	0m	2m
1차	4,542	71.3	73.5	70.1	70.3	67.9	68.7
2차	5,100	73.1	74.8	71.9	71.7	69.5	69.8

그림 3.14 [현장-14] 지점개요 및 측정결과

[현장-15] 콘크리트 포장-평지

[현장-15]는 콘크리트 포장 평지구조 도로에서 25m, 50m 이격된 지점이다. 그림 3.15에 현장의 개요를 나타내었다. 측정지점은 각 이격거리에서 도로면 기준 2m, 4m, 6m 위치이다.

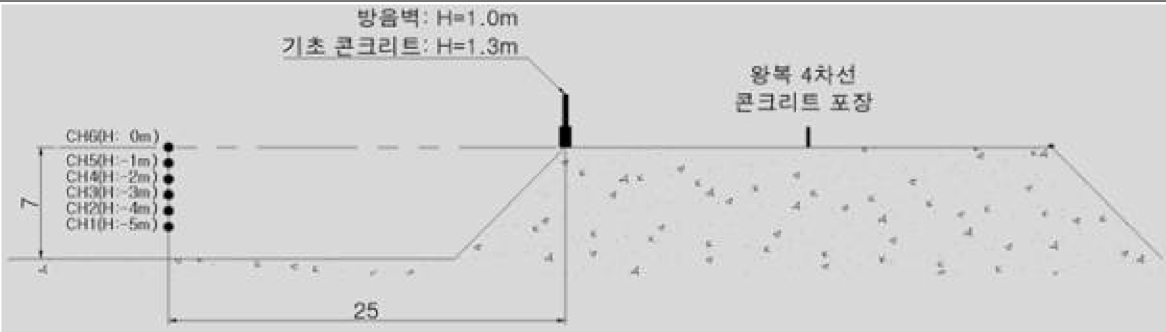


측정시기	교통량 [대/시]	측정결과[dB(A)]					
		이격거리 25m			이격거리 50m		
		2m	4m	6m	2m	4m	6m
1차	4,848	74.4	76.4	77.7	71.0	72.5	73.6
2차	4,834	73.5	75.7	77.1	70.0	71.7	73.2

그림 3.15 [현장-15] 지점개요 및 측정결과

[현장-16] 콘크리트 포장-성토

[현장-16]는 콘크리트 포장 성토구조 도로에서 25m 이격된 지점이다. 그림 3.16에 현장의 개요를 나타내었다. 측정지점은 도로면 기준 -5m, -4m, -3m, -2m, -1m, 0m 위치이다.

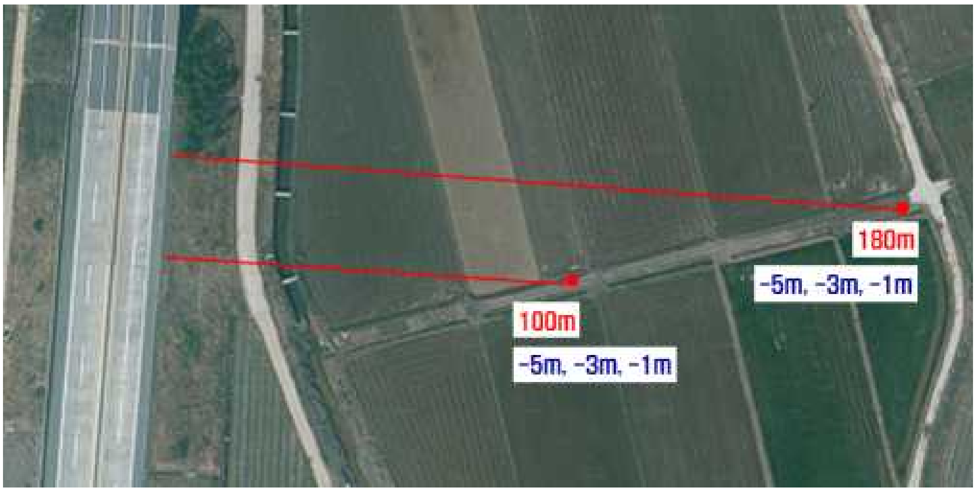


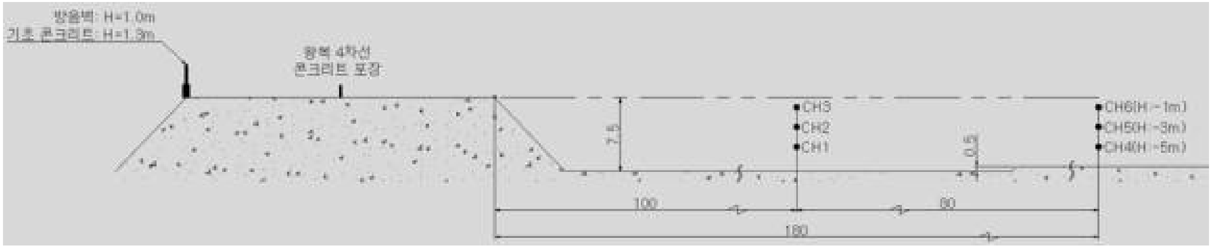
측정시기	교통량 [대/시]	측정결과[dB(A)]					
		-5m	-4m	-3m	-2m	-1m	0m
1차	594	54.3	55.0	55.3	55.7	56.4	57.1
2차	738	55.6	56.4	56.5	56.8	57.3	58.0

그림 3.16 [현장-16] 지점개요 및 측정결과

[현장-17] 콘크리트 포장-성토

[현장-17]는 콘크리트 포장 평지구조 도로에서 100m, 180m 이격된 지점이다. 그림 3.17에 현장의 개요를 나타내었다. 측정지점은 각 이격거리에서 도로면 기준 -5m, -3m, -1m 위치이다.



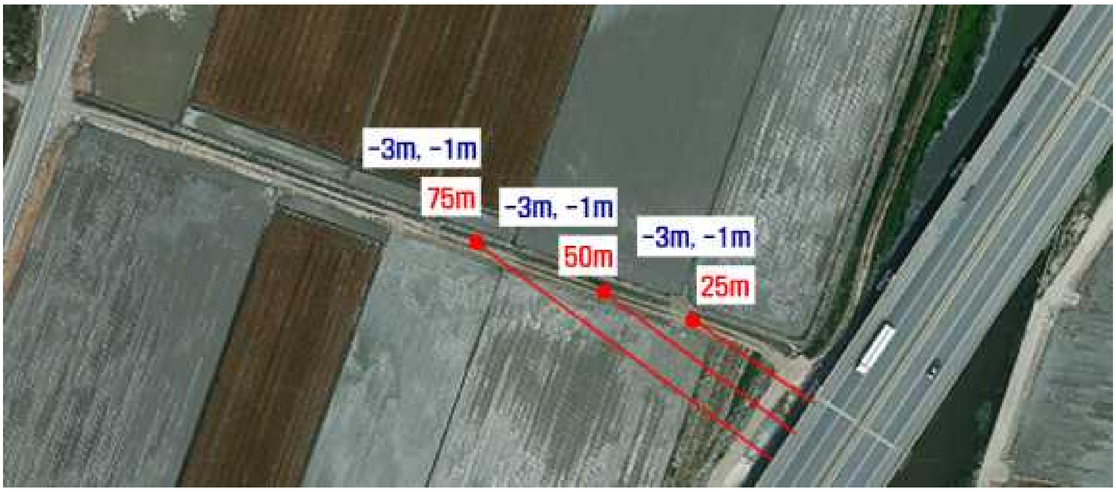


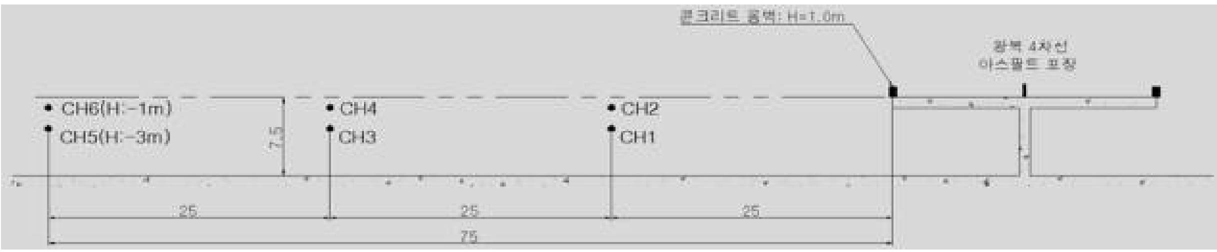
측정시기	교통량 [대/시]	측정결과[dB(A)]					
		이격거리 100m			이격거리 180m		
		-5m	-3m	-1m	-5m	-3m	-1m
1차	766	59.9	60.4	60.7	57.6	58.1	58.2
2차	750	59.2	59.9	60.6	56.8	57.3	58.0

그림 3.17 [현장-17] 지점개요 및 측정결과

[현장-18] 아스팔트 포장-교량

[현장-18]는 콘크리트 포장 교량구조 도로에서 25m, 50m, 750m 이격된 지점이다. 그림 3.18에 현장의 개요를 나타내었다. 측정지점은 각 이격거리에서 도로면 기준 -3m, -1m 위치이다.



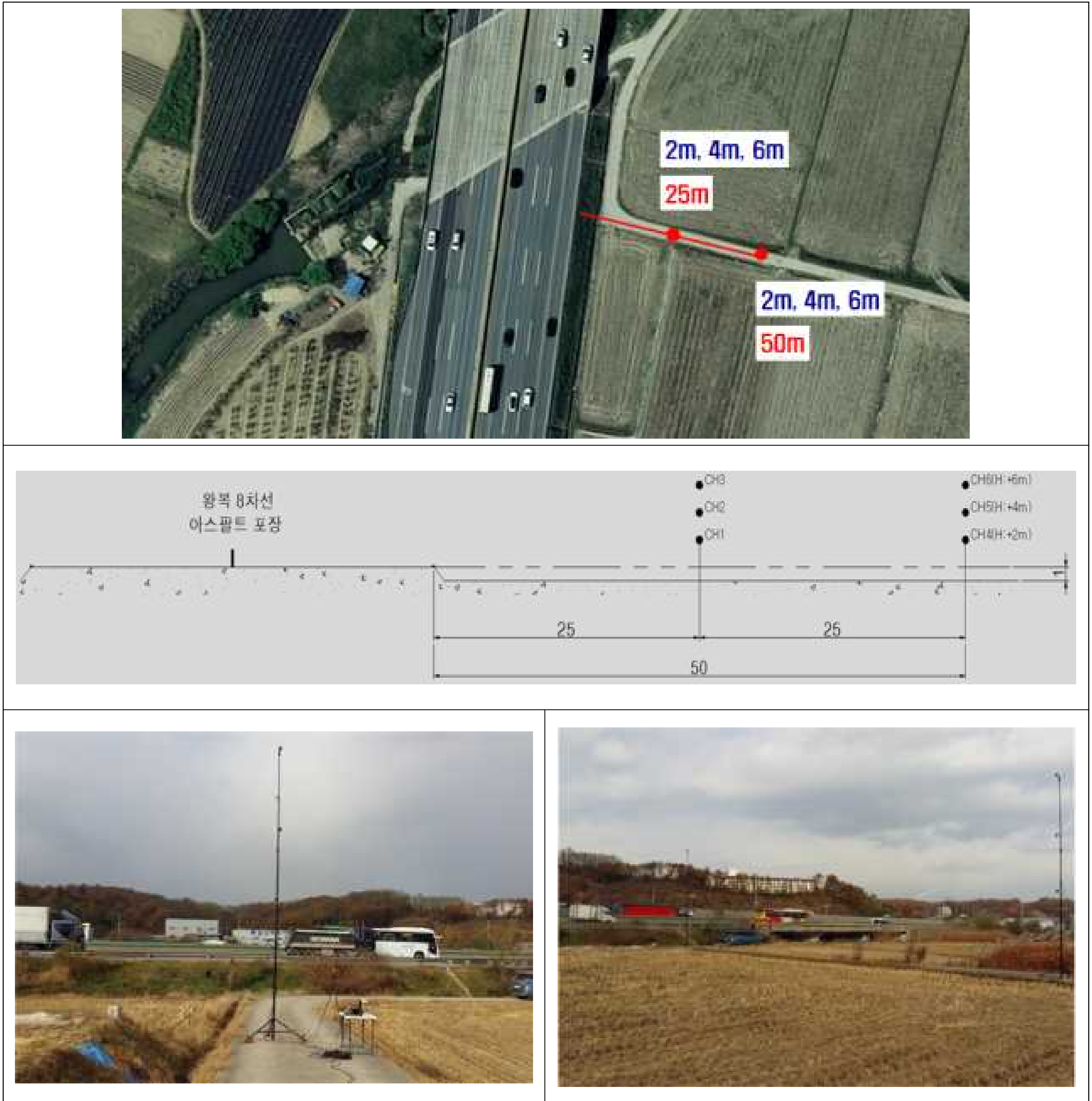


측정시기	교통량 [대/시]	측정결과[dB(A)]					
		이격거리 25m		이격거리 50m		이격거리 75m	
		-3m	-1m	-3m	-1m	-3m	-1m
1차	1,124	62.7	64.1	61.6	61.8	59.5	60.3
2차	1,800	62.5	63.6	61.1	61.3	58.9	59.6

그림 3.18 [현장-18] 지점개요 및 측정결과

[현장-19] 아스팔트 포장-성토

[현장-19]는 아스팔트 포장 성토구조 도로에서 25m, 50m 이격된 지점이다. 그림 3.19에 현장의 개요를 나타내었다. 측정지점은 각 이격거리에서 도로면 기준 2m, 4m, 6m 위치이다.



측정시기	교통량 [대/시]	측정결과[dB(A)]					
		이격거리 25m			이격거리 50m		
		2m	4m	6m	2m	4m	6m
1차	8.896	76.1	77.6	78.4	73.9	74.0	74.9
2차	8.278	75.4	77.0	78.1	72.5	72.3	74.0

그림 3.19 [현장-19] 지점개요 및 측정결과

[현장-20] 아스팔트 포장-성토&방음벽

[현장-20]는 아스팔트 포장 성토구조 도로에서 20m, 40m 이격된 지점이다. 그림 3.20에 현장의 개요를 나타내었다. 측정지점은 각 이격거리에서 도로면 기준 -1m, 0m, 1m 위치이다.

측정시기	교통량 [대/시]	측정결과[dB(A)]					
		이격거리 20m			이격거리 40m		
		-1m	0m	1m	-1m	0m	1m
1차	5,530	67.9	67.7	68.2	68.7	67.4	66.9
2차	6,232	67.1	67.2	67.8	67.0	66.0	66.9

그림 3.20 [현장-20] 지점개요 및 측정결과

3.3 3D 소음해석 및 결과비교

고속도로 현장 소음측정지점에 대해 3D 모델링을 통해 소음해석을 하고 해석값을 측정값과 비교하였다. 3D 소음해석은 사용 프로그램 CadnaA 및 SoundPLAN에 탑재된 RLS-90, CRTN, NMPB 과 한국도로공사가 개발한 KHTN을 이용하였다. 또한, 본 연구에서의 소음해석은 소음진동 전문사업자(민간업체, 소음진동기술사 사무소)에 일체를 위임하였고, 모델링에 대한 제 3기관의 검증 없이 진행하였기 때문에 해석결과에 있어서의 객관성은 확보되었지만 상용해석 프로그램에 있어서는 모델링의 복잡성으로 인해 사용자에 따라 결과가 달라질 수 있음을 미리 밝혀둔다. 표 3.1~3.40에 각 모델별로 해석한 결과와 측정결과를 비교하여 나타내었다.

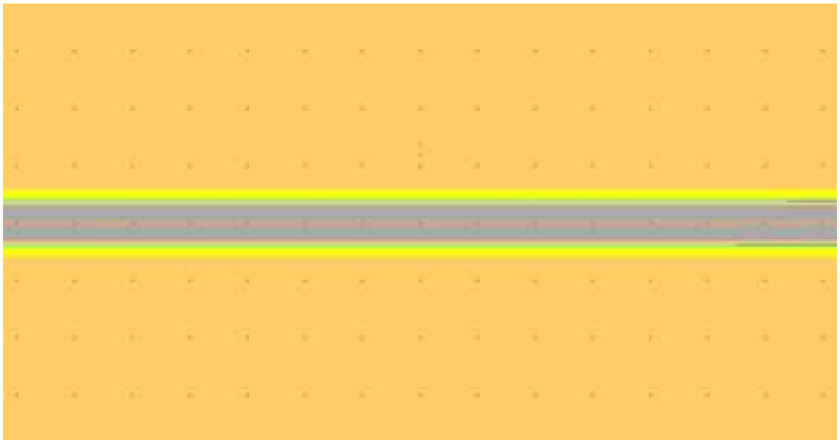
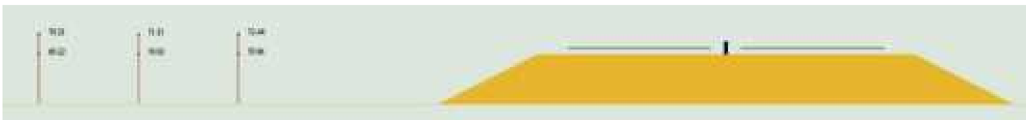
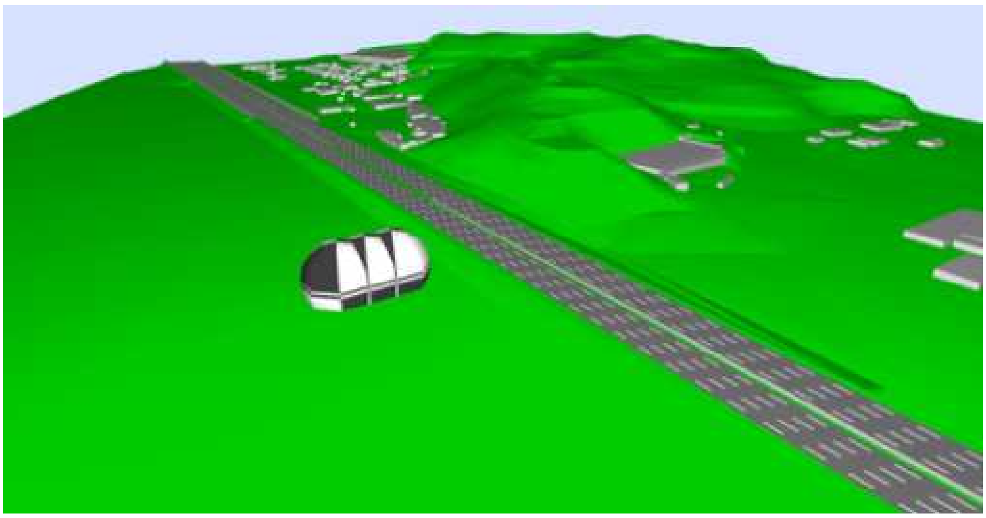
KHTN	
	
상용 프로그램 (CadnaA)	

그림 3.21 3D 소음해석 모델링 사례

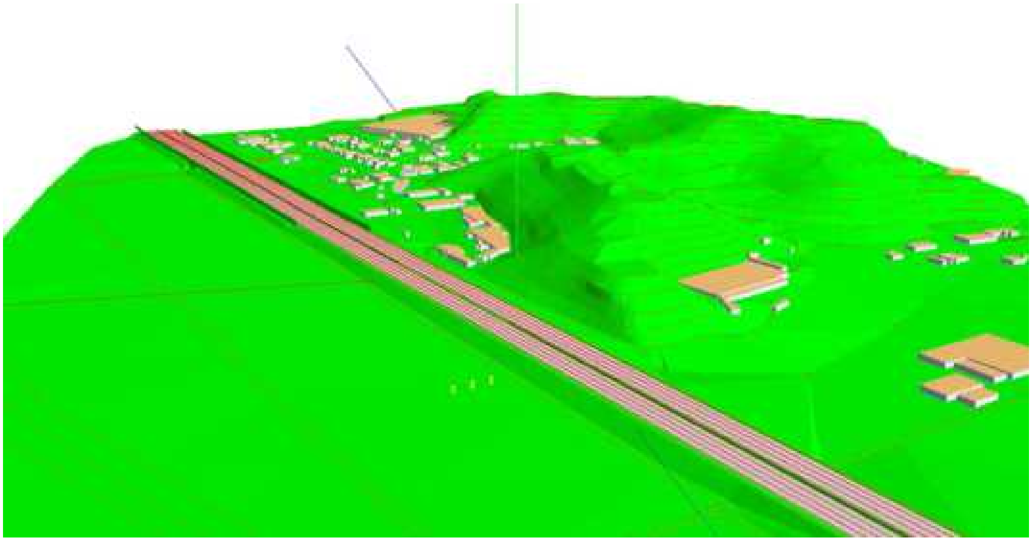
<table>
<tr><td>상용
프로그램
(SoundPLAN)</td><td></td></tr>
</table>

그림 3.21 3D 소음해석 모델링 사례(계속)

표 3.1 [현장-1] 소음해석 결과 비교(CadnaA)

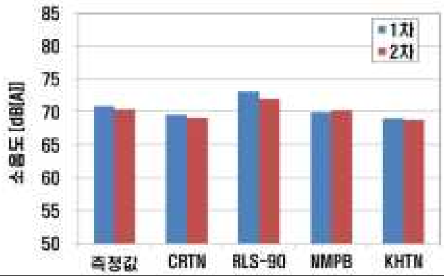
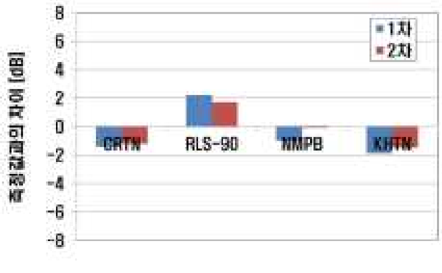
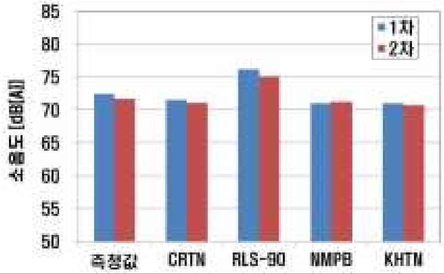
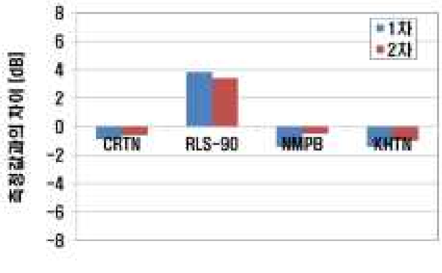
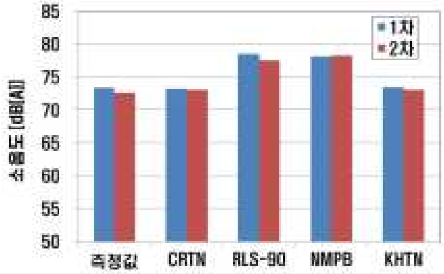
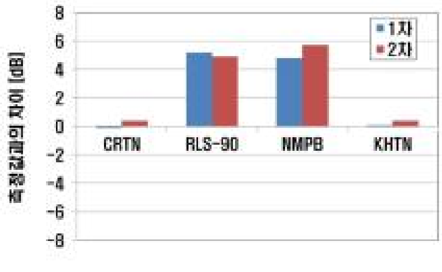
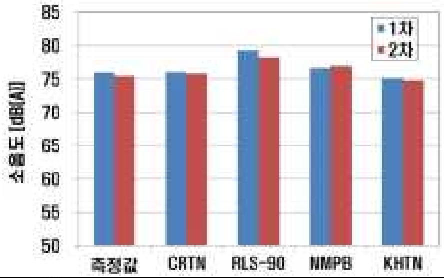
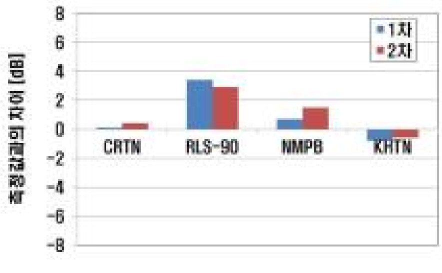
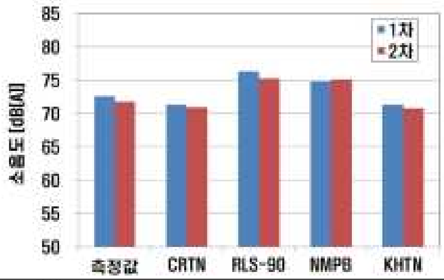
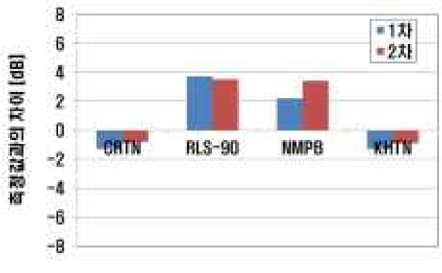
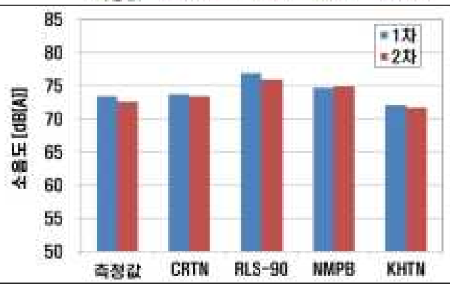
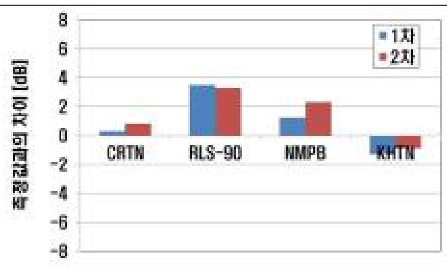
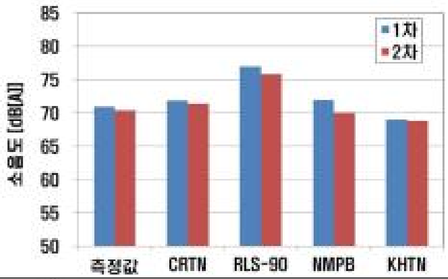
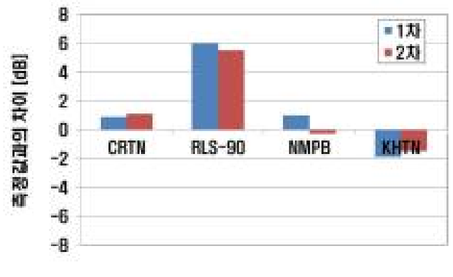
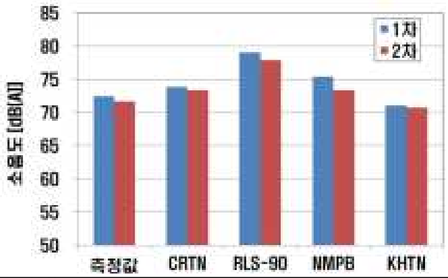
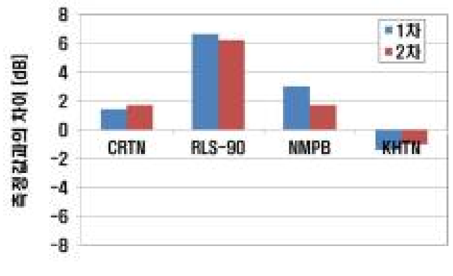
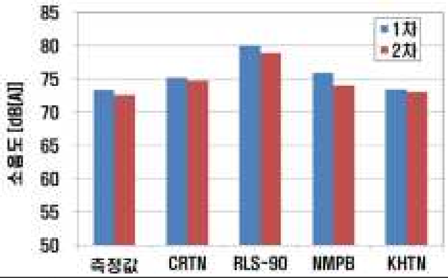
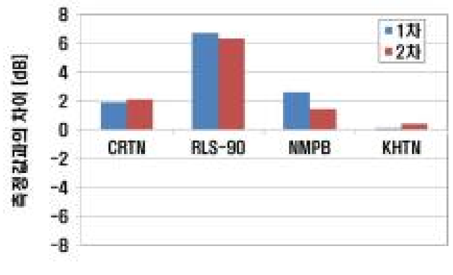
지 점	해석결과 비교	측정값에 대한 해석값 차이
이격거리 20m [도로단 기준] 지점높이 -4m [도로면 기준]		
이격거리 20m [도로단 기준] 지점높이 -2m [도로면 기준]		
이격거리 20m [도로단 기준] 지점높이 0m [도로면 기준]		
이격거리 20m [도로단 기준] 지점높이 2m [도로면 기준]		
이격거리 40m [도로단 기준] 지점높이 0m [도로면 기준]		
이격거리 40m [도로단 기준] 지점높이 2m [도로면 기준]		

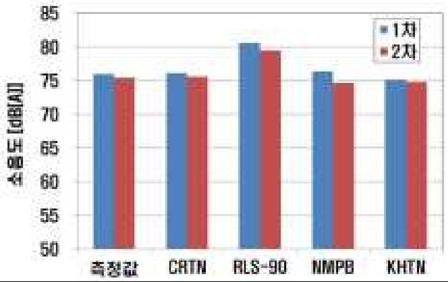
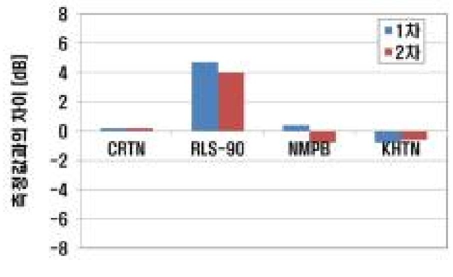
표 3.2 [현장-1] 소음해석 결과 비교(SoundPLAN)

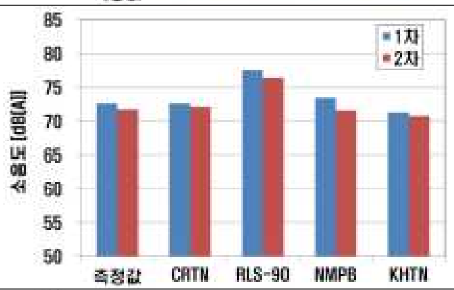
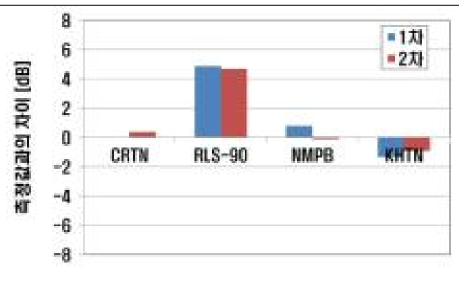
<table>
<tr><th>지 점</th><th>해석결과 비교</th><th>측정값에 대한 해석값 차이</th></tr>
<tr><td>이격거리
20m
[도로단 기준]

지점높이
-4m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>이격거리
20m
[도로단 기준]

지점높이
-2m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>이격거리
20m
[도로단 기준]

지점높이
0m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>이격거리
20m
[도로단 기준]

지점높이
2m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>이격거리
40m
[도로단 기준]

지점높이
0m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>이격거리
40m
[도로단 기준]

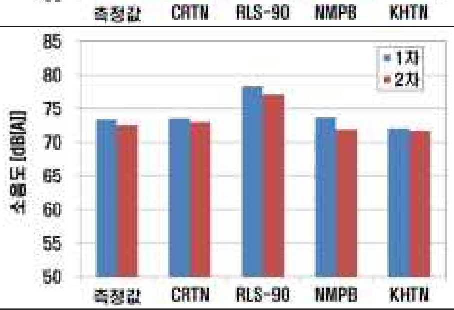
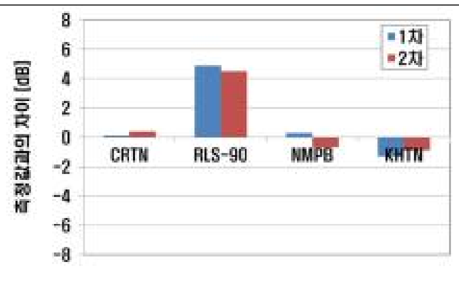
지점높이
2m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
</table>

표 3.3 [현장-2] 소음해석 결과 비교(CadnaA)

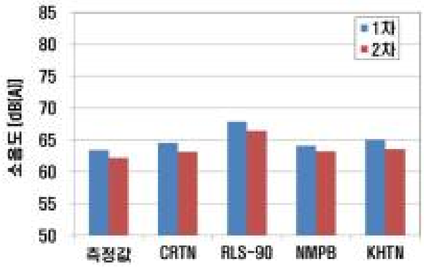
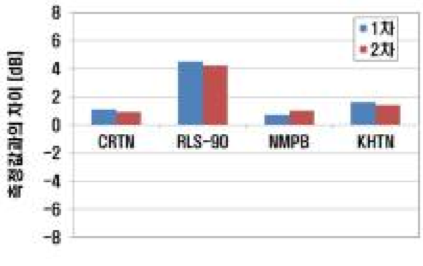
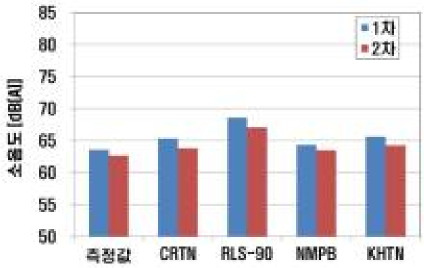
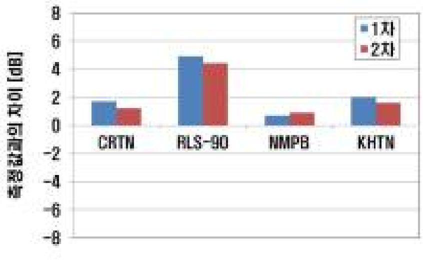
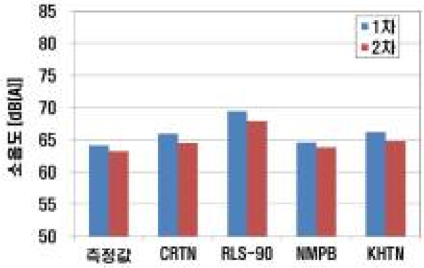
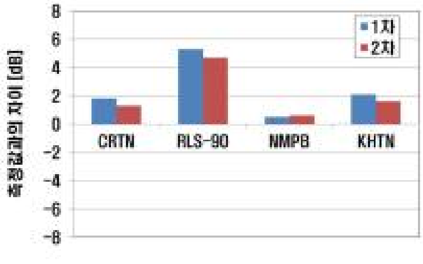
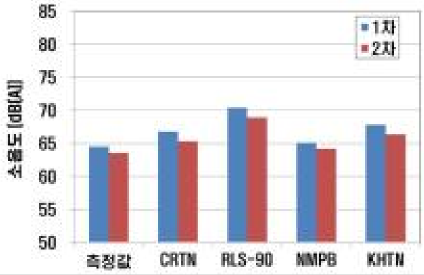
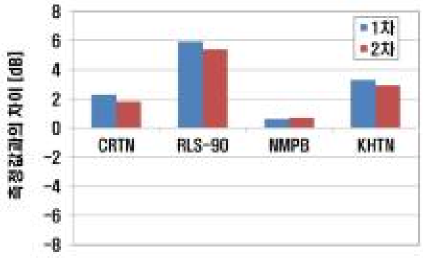
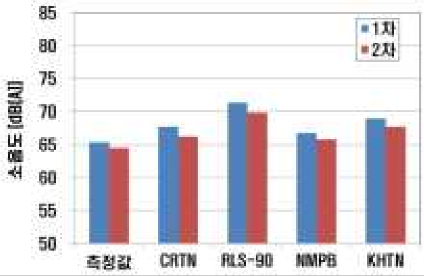
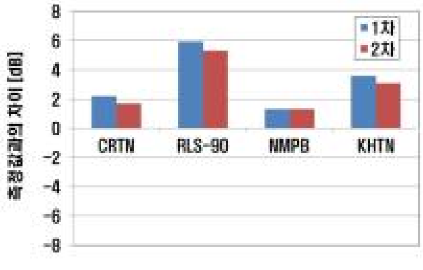
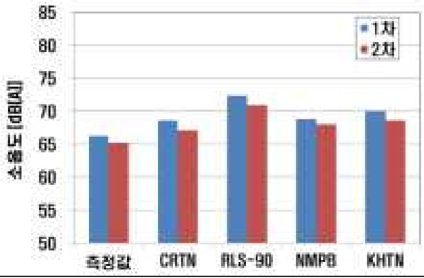
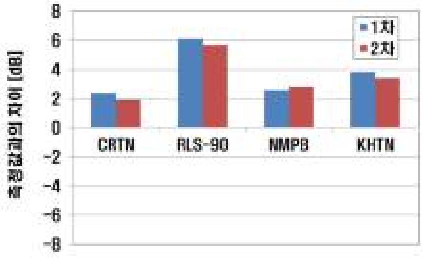
지 점	해석결과 비교	측정값에 대한 해석값 차이
이격거리 20m [도로단 기준] 지점높이 -4m [도로면 기준]		
이격거리 20m [도로단 기준] 지점높이 -3m [도로면 기준]		
이격거리 20m [도로단 기준] 지점높이 -2m [도로면 기준]		
이격거리 20m [도로단 기준] 지점높이 -1m [도로면 기준]		
이격거리 20m [도로단 기준] 지점높이 0m [도로면 기준]		
이격거리 20m [도로단 기준] 지점높이 1m [도로면 기준]		

표 3.4 [현장-2] 소음해석 결과 비교(SoundPLAN)

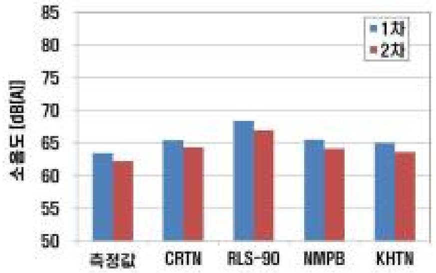
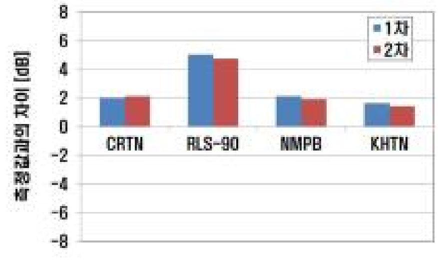
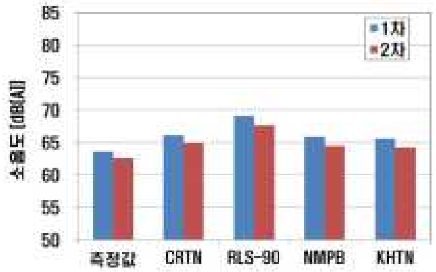
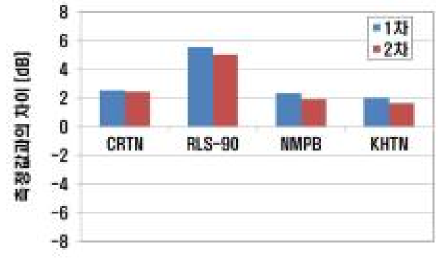
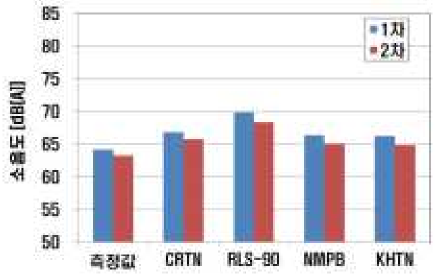
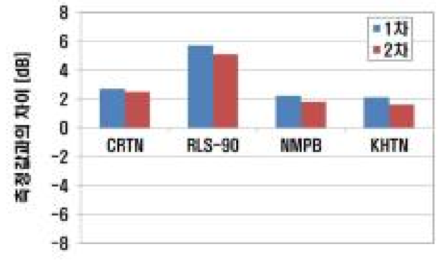
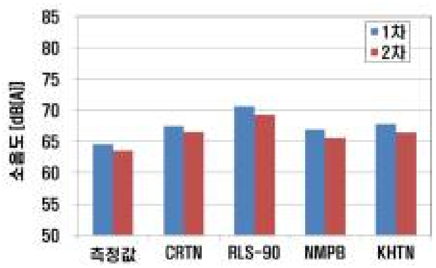
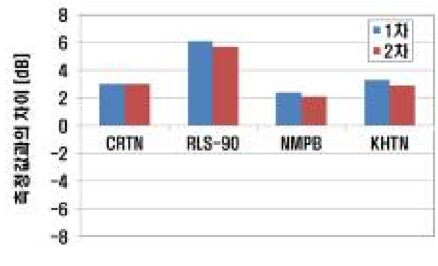
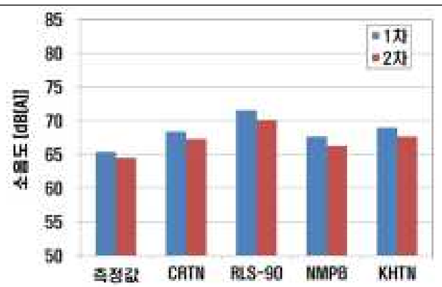
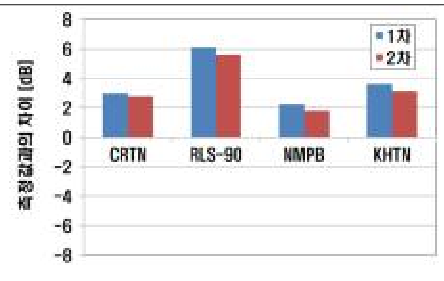
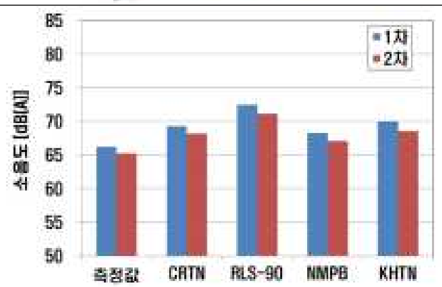
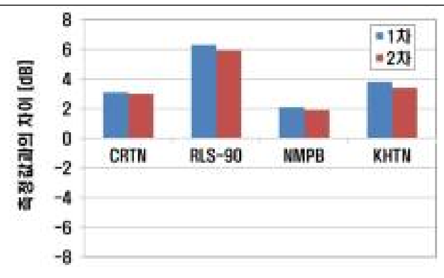
지 점	해석결과 비교	측정값에 대한 해석값 차이
이격거리 20m [도로단 기준] 지점높이 -4m [도로면 기준]		
이격거리 20m [도로단 기준] 지점높이 -3m [도로면 기준]		
이격거리 20m [도로단 기준] 지점높이 -2m [도로면 기준]		
이격거리 20m [도로단 기준] 지점높이 -1m [도로면 기준]		
이격거리 20m [도로단 기준] 지점높이 0m [도로면 기준]		
이격거리 20m [도로단 기준] 지점높이 1m [도로면 기준]		

표 3.5 [현장-3] 소음해석 결과 비교(CadnaA)

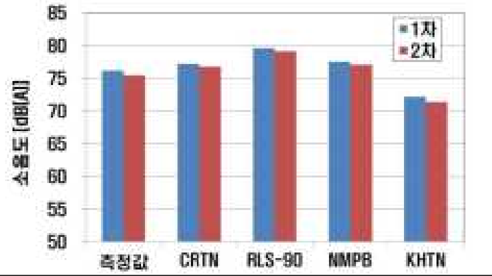
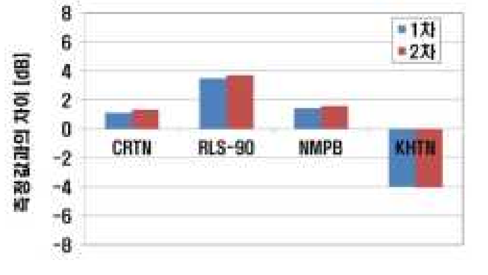
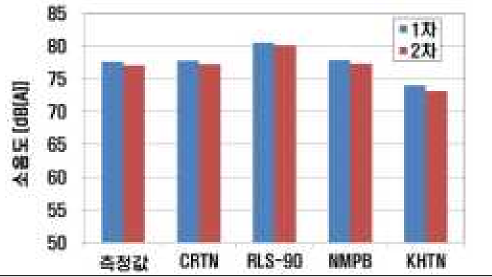
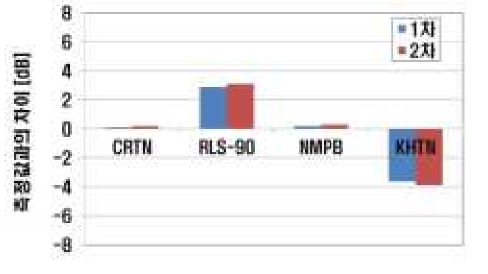
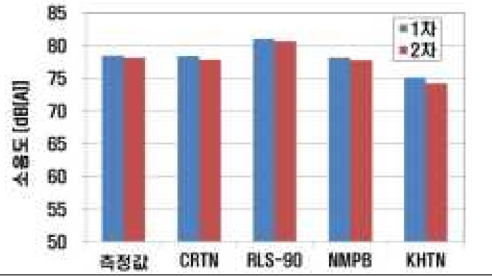
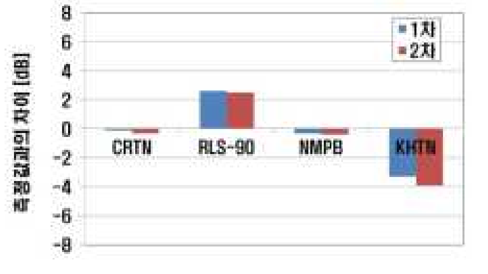
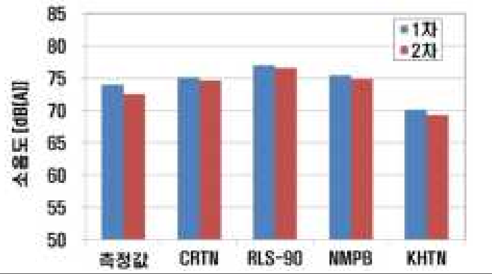
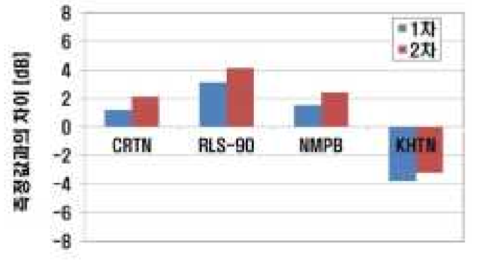
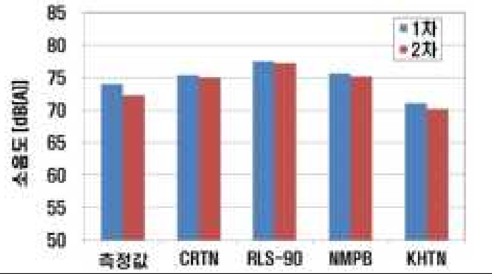
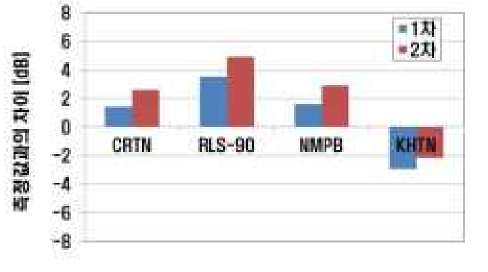
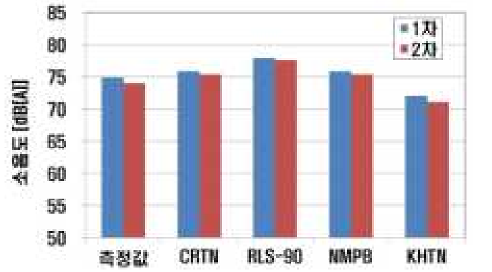
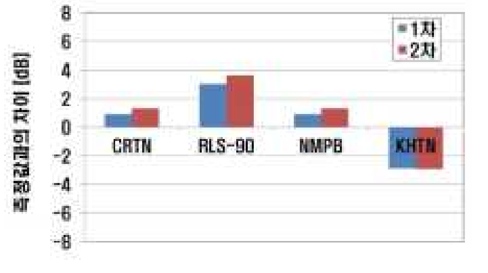
지 점	해석결과 비교	측정값에 대한 해석값 차이
이격거리 12m [도로단 기준] 지점높이 1m [도로면 기준]		
이격거리 12m [도로단 기준] 지점높이 2m [도로면 기준]		
이격거리 12m [도로단 기준] 지점높이 3m [도로면 기준]		
이격거리 12m [도로단 기준] 지점높이 4m [도로면 기준]		
이격거리 12m [도로단 기준] 지점높이 5m [도로면 기준]		
이격거리 12m [도로단 기준] 지점높이 6m [도로면 기준]		

표 3.6 [현장-3] 소음해석 결과 비교(SoundPLAN)

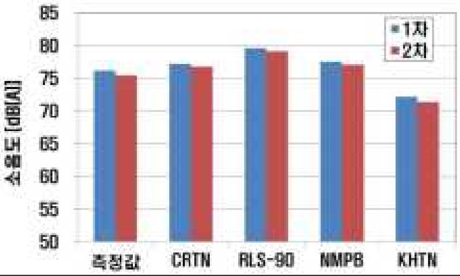
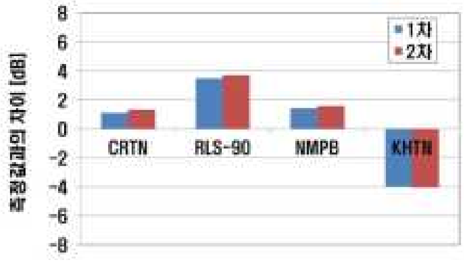
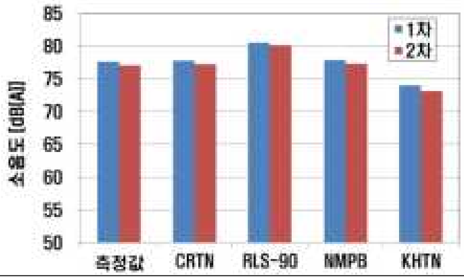
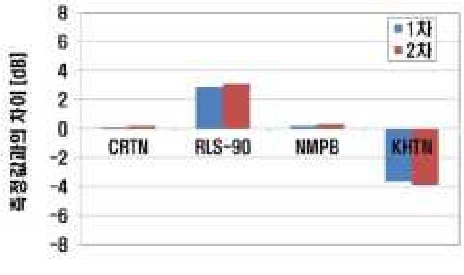
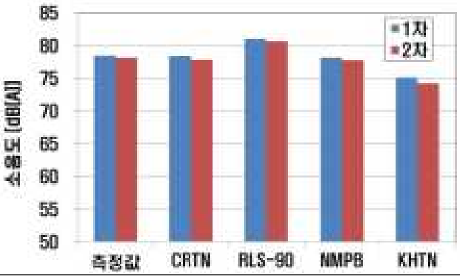
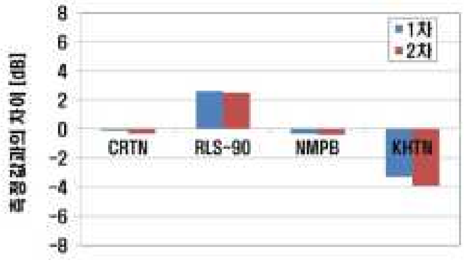
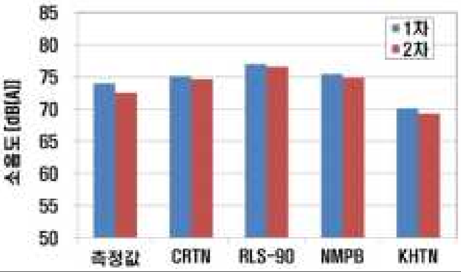
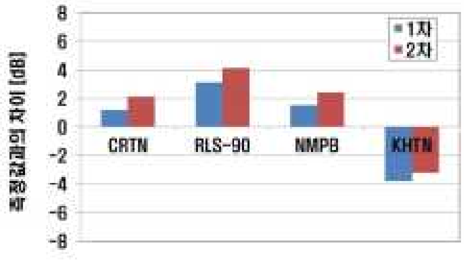
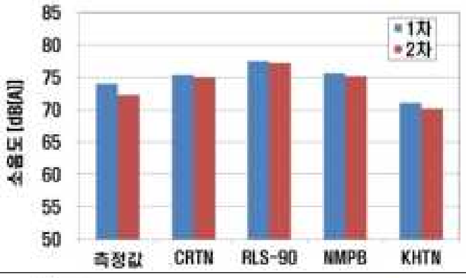
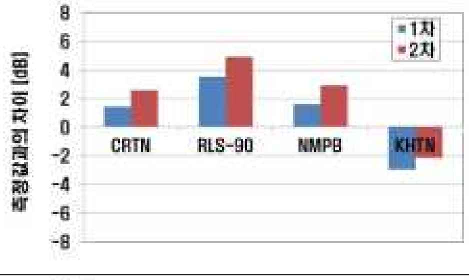
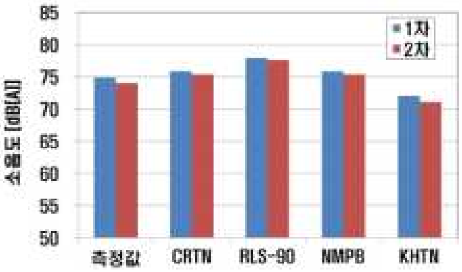
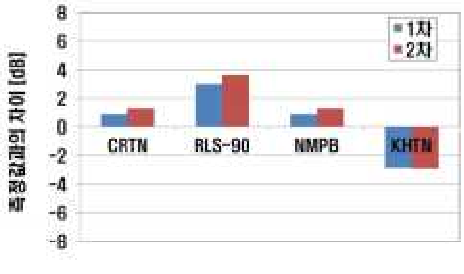
지 점	해석결과 비교	측정값에 대한 해석값 차이
이격거리 12m [도로단 기준] 지점높이 1m [도로면 기준]		
이격거리 12m [도로단 기준] 지점높이 2m [도로면 기준]		
이격거리 12m [도로단 기준] 지점높이 3m [도로면 기준]		
이격거리 12m [도로단 기준] 지점높이 4m [도로면 기준]		
이격거리 12m [도로단 기준] 지점높이 5m [도로면 기준]		
이격거리 12m [도로단 기준] 지점높이 6m [도로면 기준]		

표 3.7 [현장-4] 소음해석 결과 비교(CadnaA)

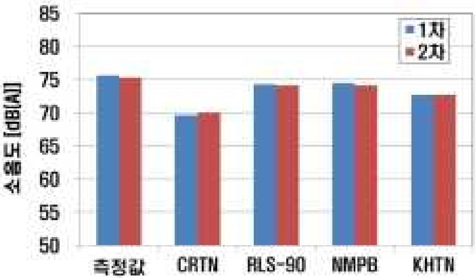
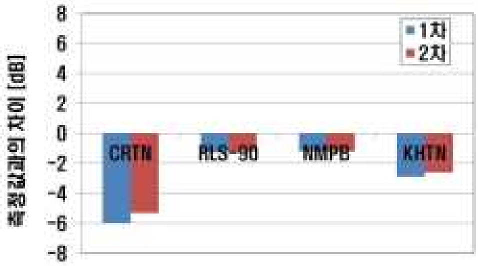
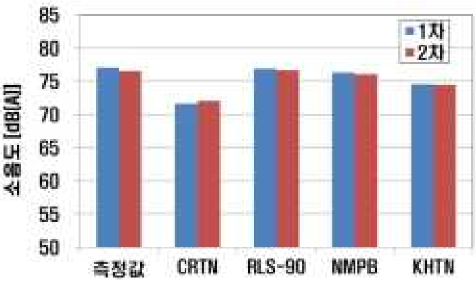
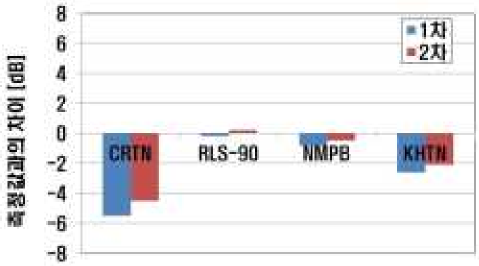
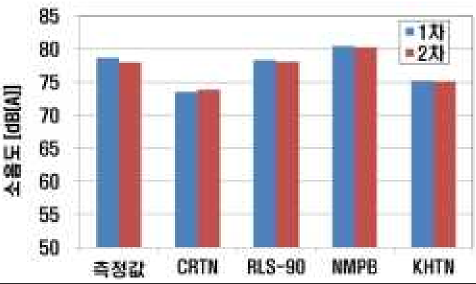
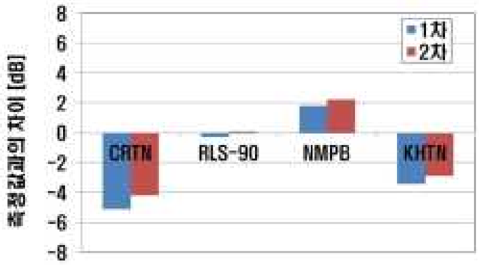
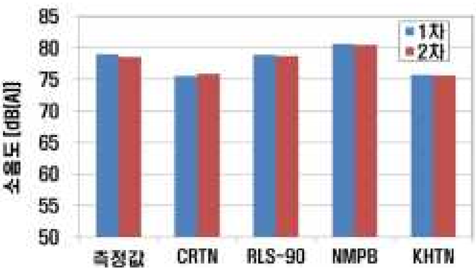
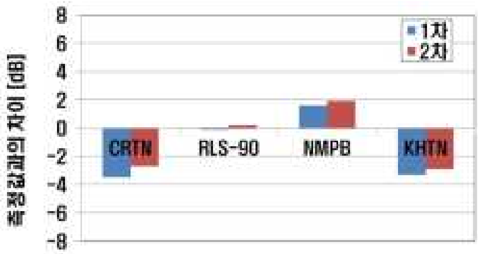
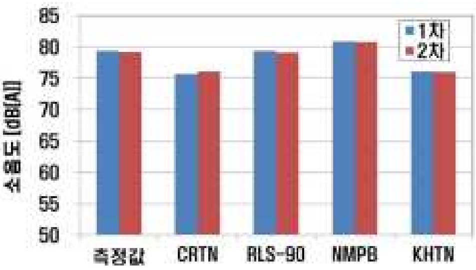
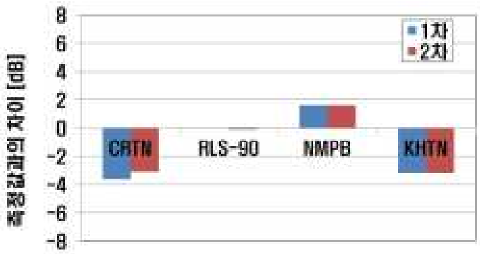
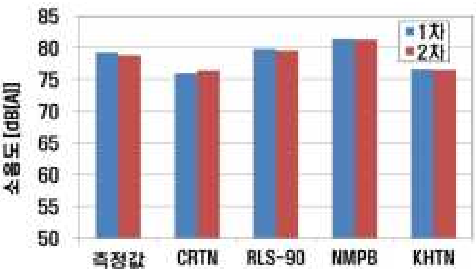
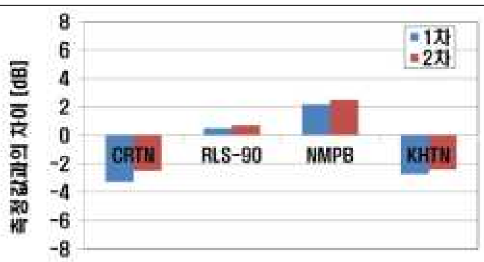
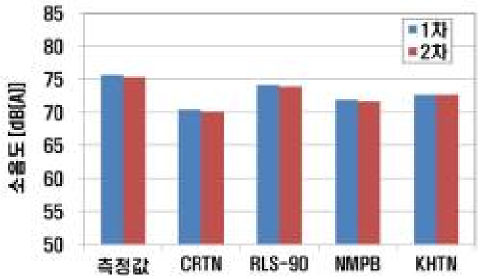
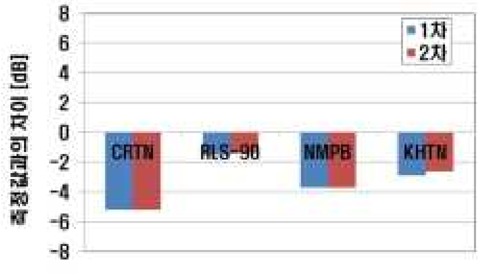
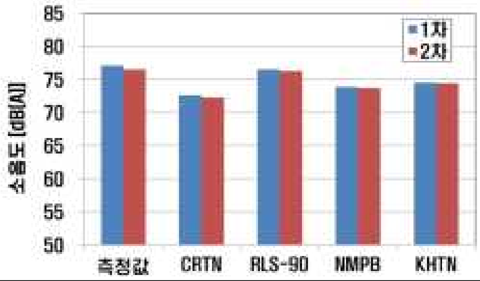
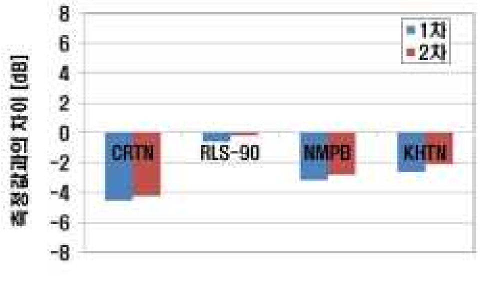
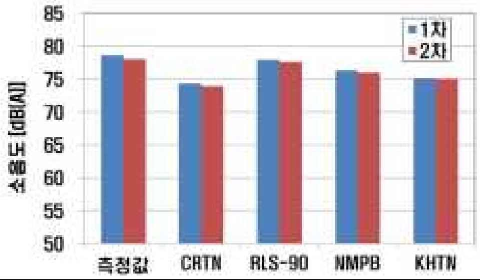
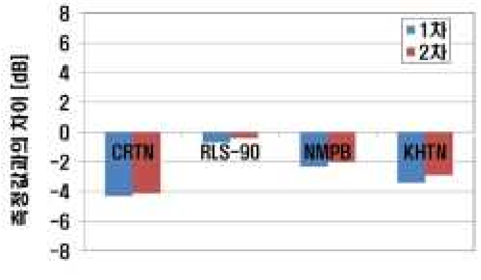
지 점	해석결과 비교	측정값에 대한 해석값 차이
이격거리 9m [도로단 기준] 지점높이 1m [도로면 기준]		
이격거리 9m [도로단 기준] 지점높이 2m [도로면 기준]		
이격거리 9m [도로단 기준] 지점높이 3m [도로면 기준]		
이격거리 9m [도로단 기준] 지점높이 4m [도로면 기준]		
이격거리 9m [도로단 기준] 지점높이 5m [도로면 기준]		
이격거리 9m [도로단 기준] 지점높이 6m [도로면 기준]		

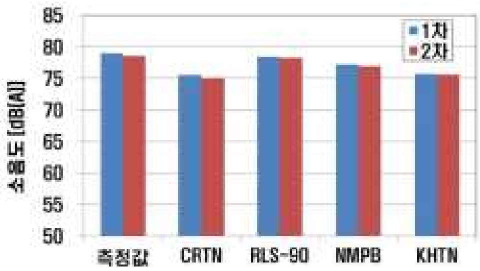
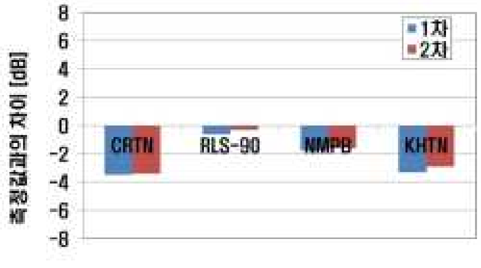
표 3.8 [현장-4] 소음해석 결과 비교(SoundPLAN)

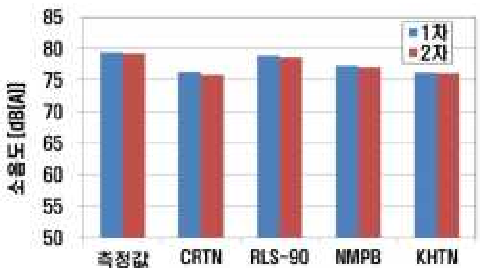
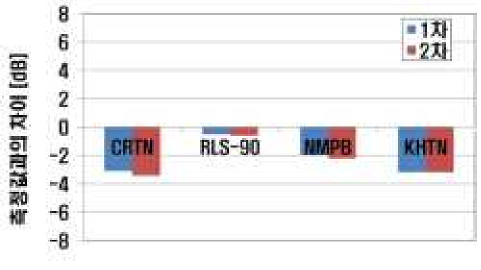
<table>
<tr><th>지 점</th><th>해석결과 비교</th><th>측정값에 대한 해석값 차이</th></tr>
<tr><td>이격거리
9m
[도로단 기준]

지점높이
1m
[도로면 기준]</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>이격거리
9m
[도로단 기준]

지점높이
2m
[도로면 기준]</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>이격거리
9m
[도로단 기준]

지점높이
3m
[도로면 기준]</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>이격거리
9m
[도로단 기준]

지점높이
4m
[도로면 기준]</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>이격거리
9m
[도로단 기준]

지점높이
5m
[도로면 기준]</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>이격거리
9m
[도로단 기준]

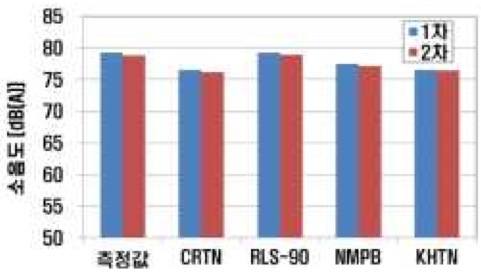
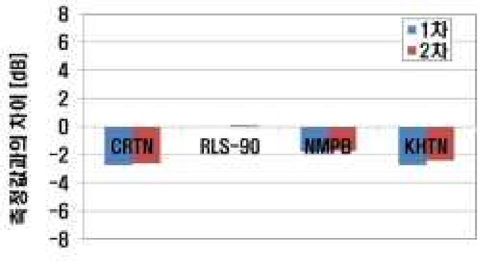
지점높이
6m
[도로면 기준]</td><td></td><td></td></tr>
</table>

표 3.9 [현장-5] 소음해석 결과 비교(CadnaA)

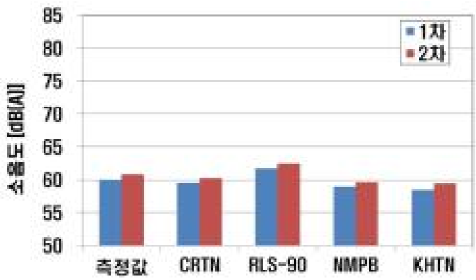
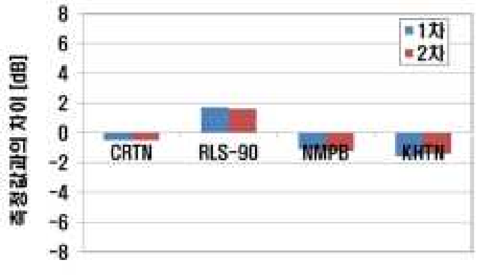
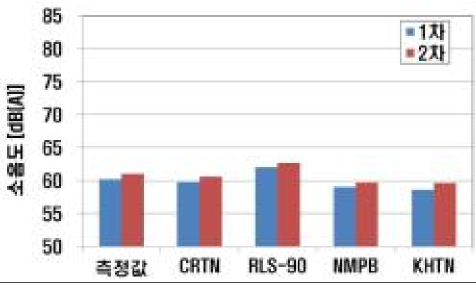
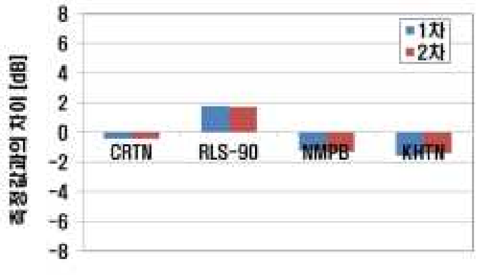
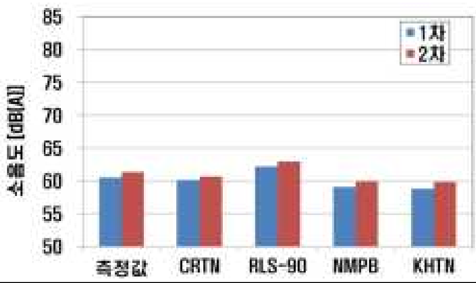
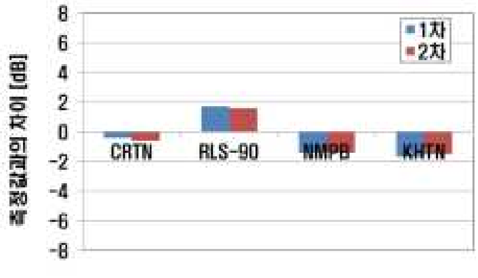
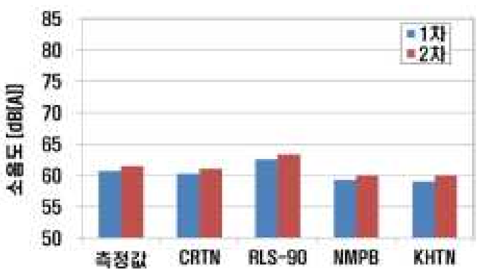
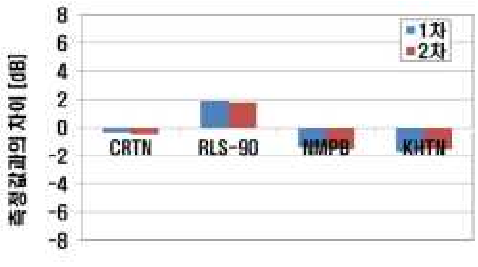
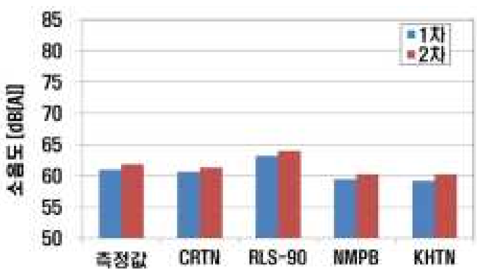
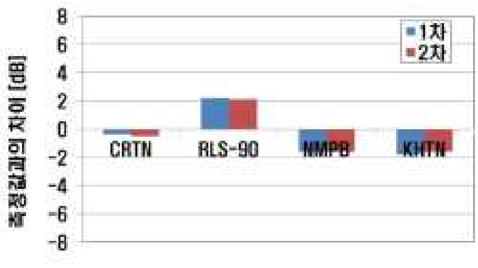
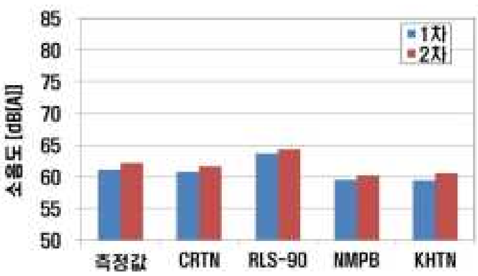
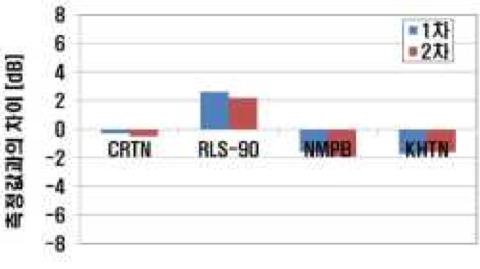
지 점	해석결과 비교	측정값에 대한 해석값 차이
이격거리 65m [도로단 기준] 지점높이 -17m [도로면 기준]		
이격거리 65m [도로단 기준] 지점높이 -16m [도로면 기준]		
이격거리 65m [도로단 기준] 지점높이 -15m [도로면 기준]		
이격거리 65m [도로단 기준] 지점높이 -14m [도로면 기준]		
이격거리 65m [도로단 기준] 지점높이 -13m [도로면 기준]		
이격거리 65m [도로단 기준] 지점높이 -12m [도로면 기준]		

표 3.10 [현장-5] 소음해석 결과 비교(SoundPLAN)

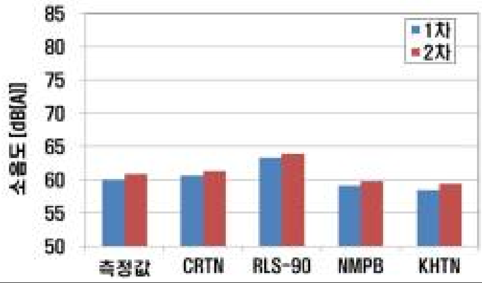
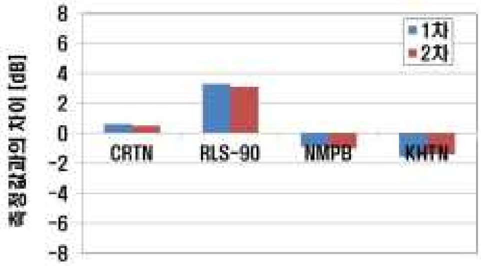
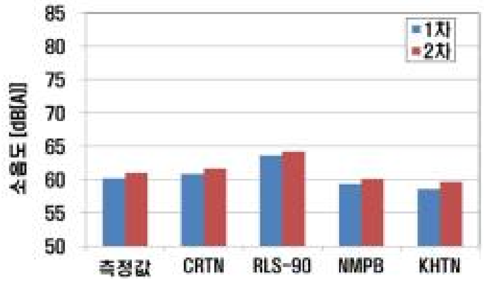
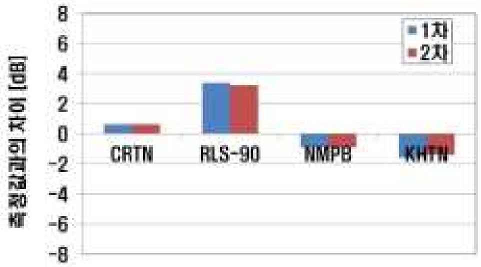
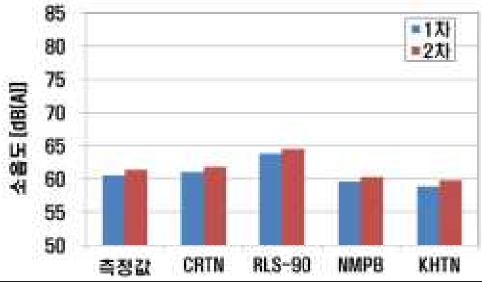
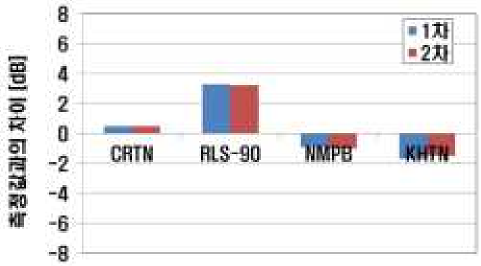
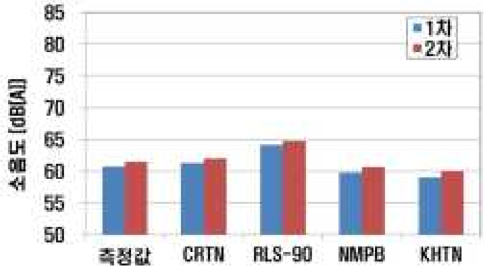
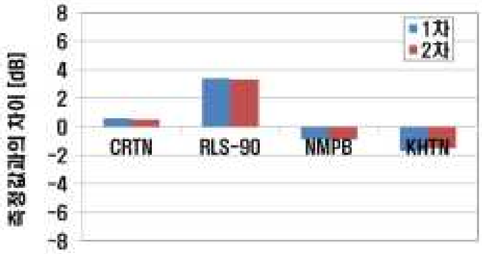
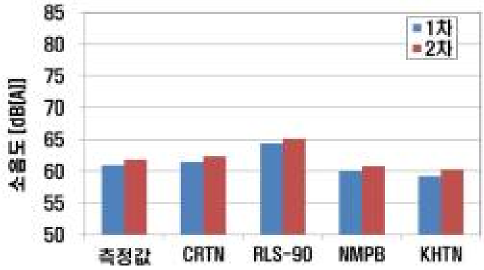
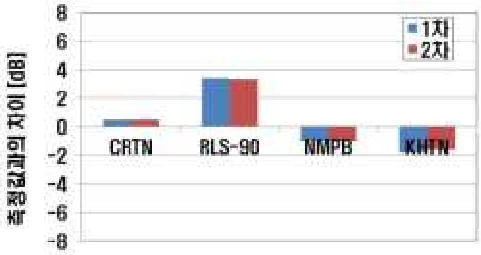
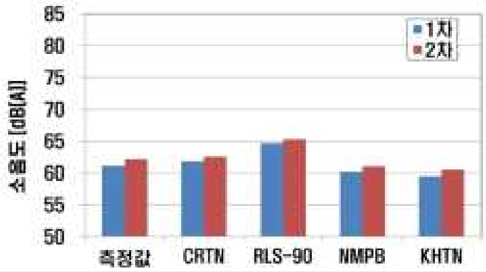
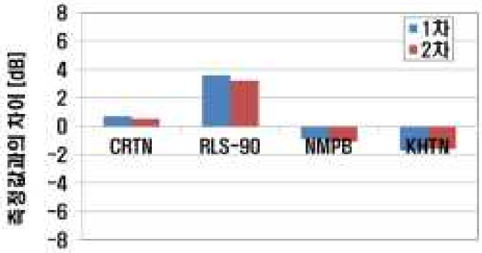
지 점	해석결과 비교	측정값에 대한 해석값 차이
이격거리 65m [도로단 기준] 지점높이 -17m [도로면 기준]		
이격거리 65m [도로단 기준] 지점높이 -16m [도로면 기준]		
이격거리 65m [도로단 기준] 지점높이 -15m [도로면 기준]		
이격거리 65m [도로단 기준] 지점높이 -14m [도로면 기준]		
이격거리 65m [도로단 기준] 지점높이 -13m [도로면 기준]		
이격거리 65m [도로단 기준] 지점높이 -12m [도로면 기준]		

표 3.11 [현장-6] 소음해석 결과 비교(CadnaA)

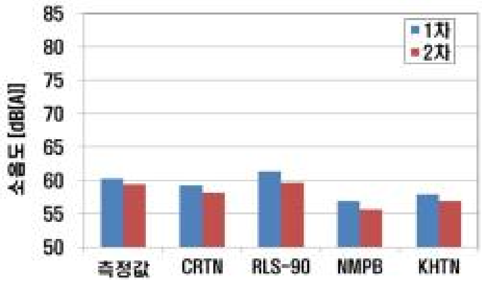
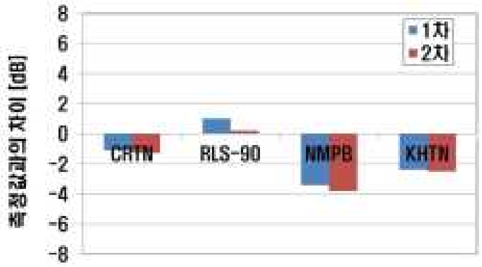
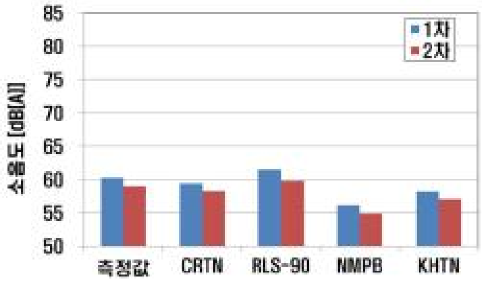
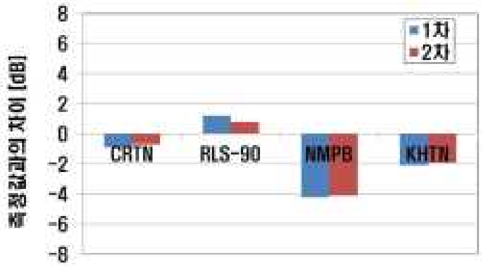
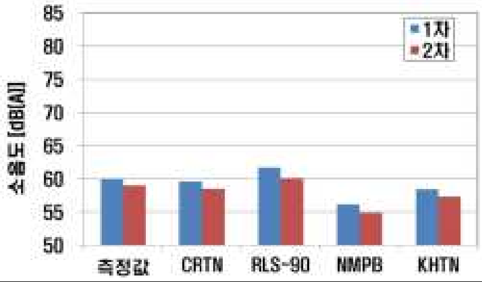
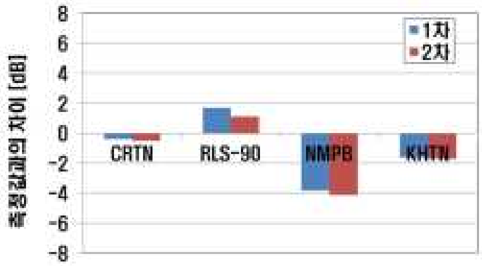
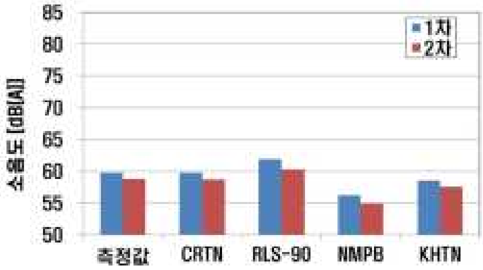
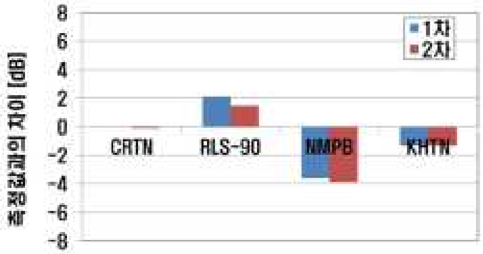
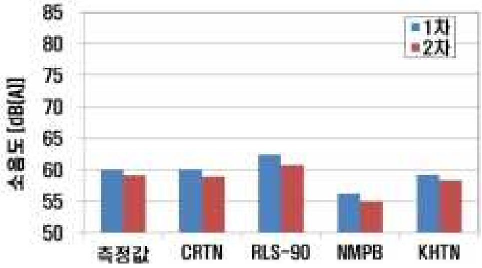
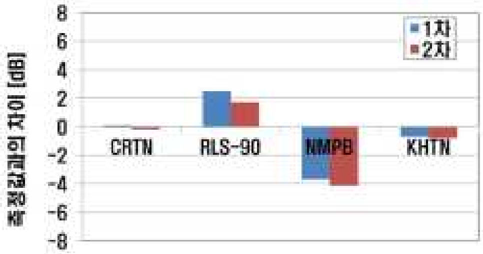
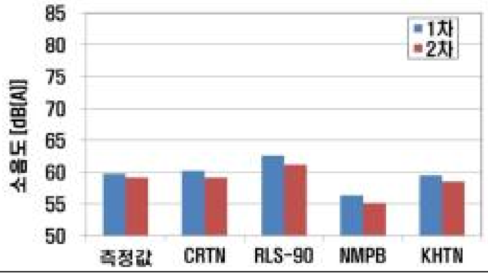
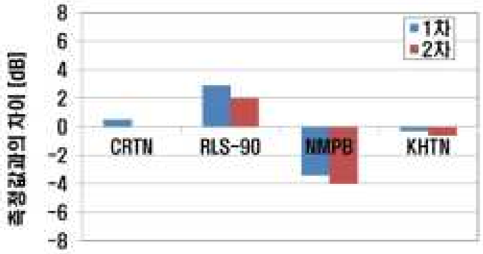
지 점	해석결과 비교	측정값에 대한 해석값 차이
이격거리 100m [도로단 기준] 지점높이 -16m [도로면 기준]		
이격거리 100m [도로단 기준] 지점높이 -15m [도로면 기준]		
이격거리 100m [도로단 기준] 지점높이 -14m [도로면 기준]		
이격거리 100m [도로단 기준] 지점높이 -13m [도로면 기준]		
이격거리 100m [도로단 기준] 지점높이 -12m [도로면 기준]		
이격거리 100m [도로단 기준] 지점높이 -11m [도로면 기준]		

표 3.12 [현장-6] 소음해석 결과 비교(SoundPLAN)

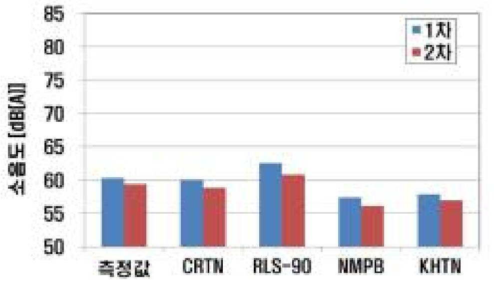
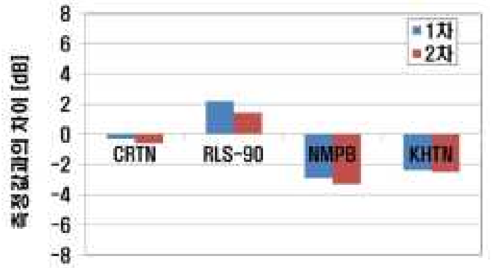
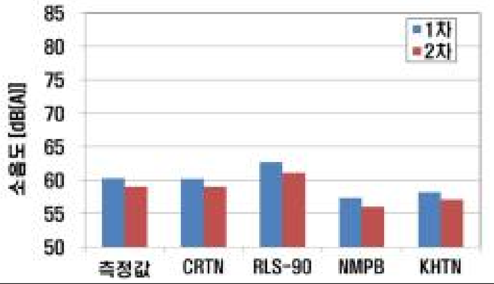
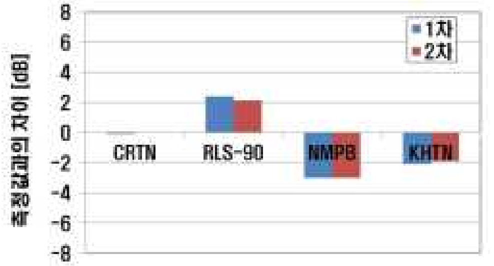
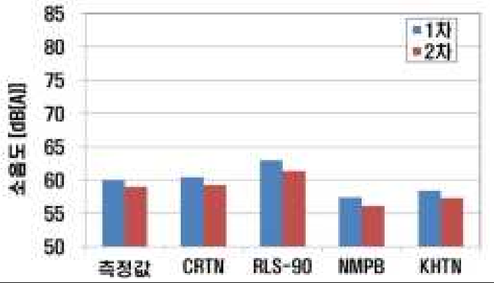
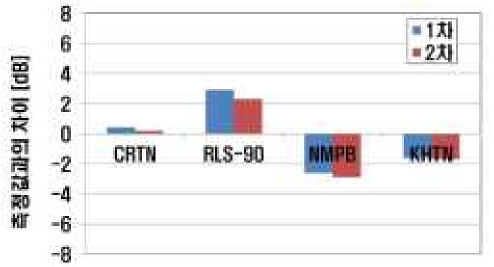
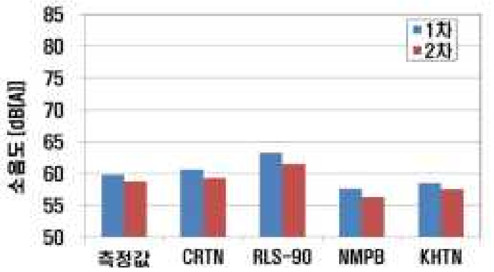
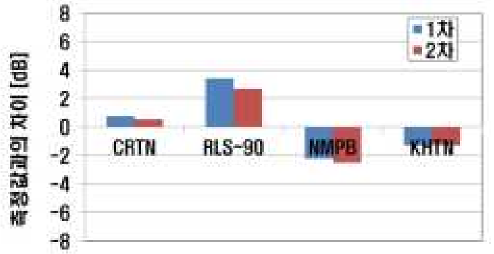
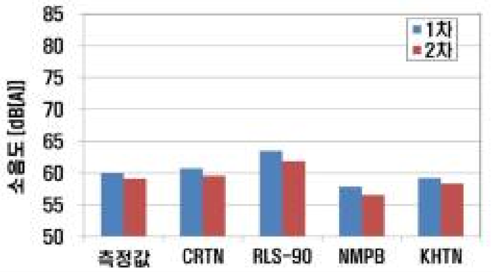
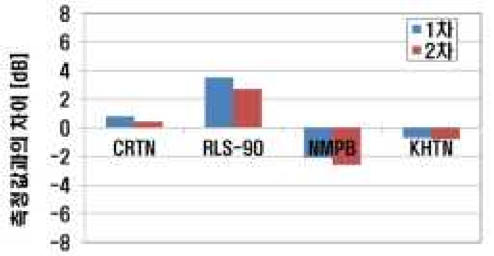
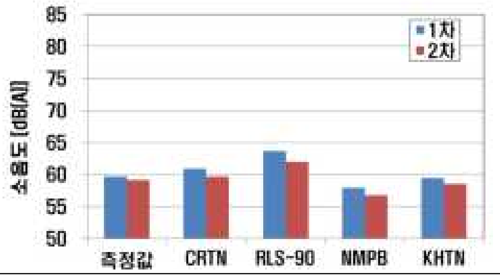
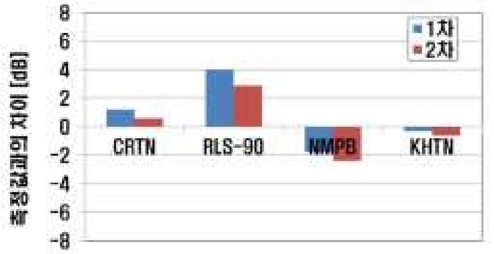
지 점	해석결과 비교	측정값에 대한 해석값 차이
이격거리 100m [도로단 기준] 지점높이 -16m [도로면 기준]		
이격거리 100m [도로단 기준] 지점높이 -15m [도로면 기준]		
이격거리 100m [도로단 기준] 지점높이 -14m [도로면 기준]		
이격거리 100m [도로단 기준] 지점높이 -13m [도로면 기준]		
이격거리 100m [도로단 기준] 지점높이 -12m [도로면 기준]		
이격거리 100m [도로단 기준] 지점높이 -11m [도로면 기준]		

표 3.13 [현장-7] 소음해석 결과 비교(CadnaA)

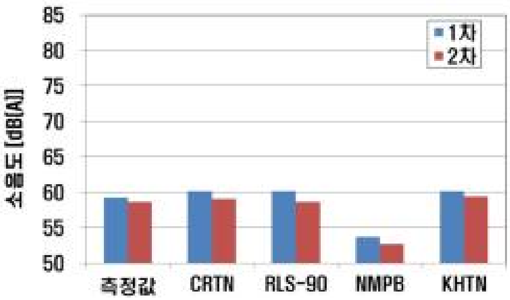
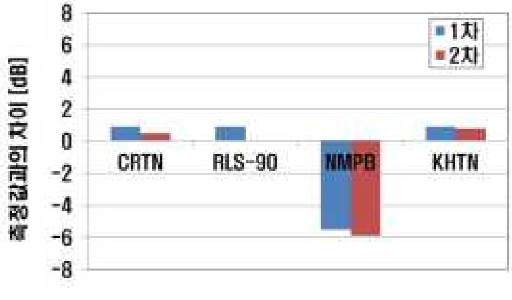
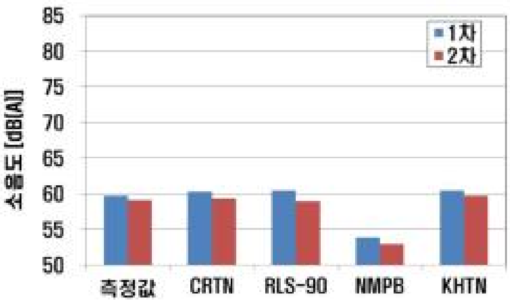
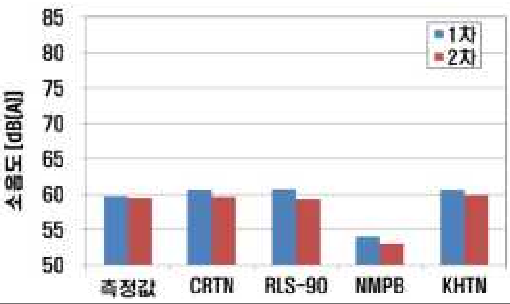
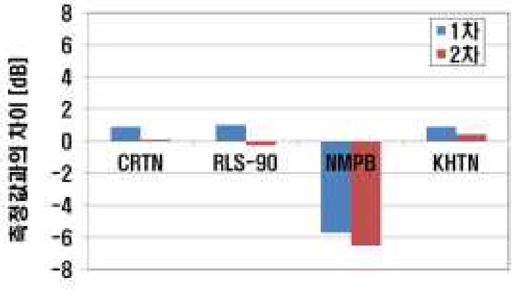
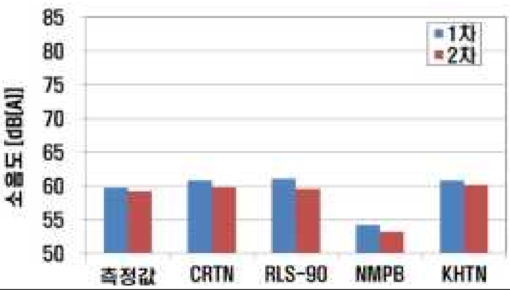
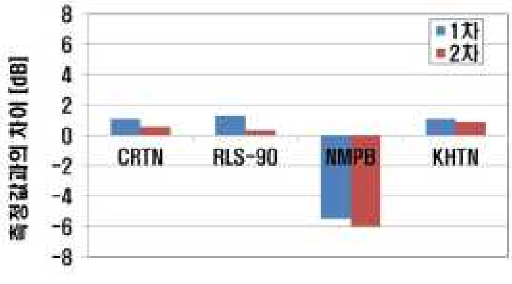
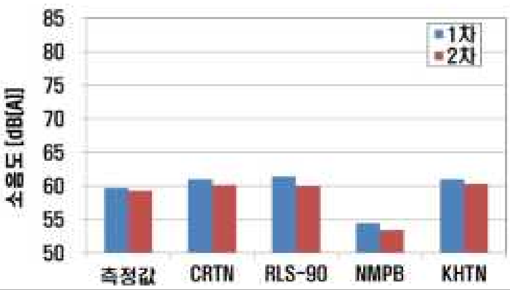
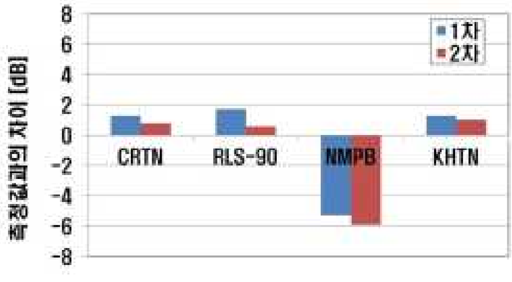
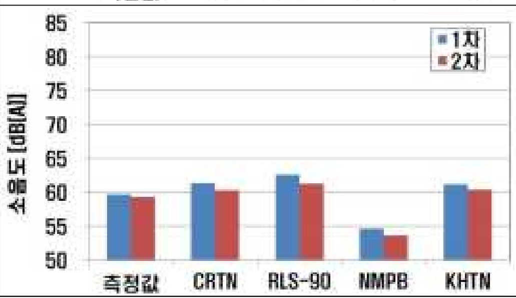
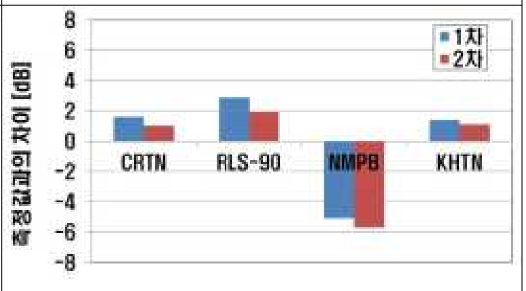
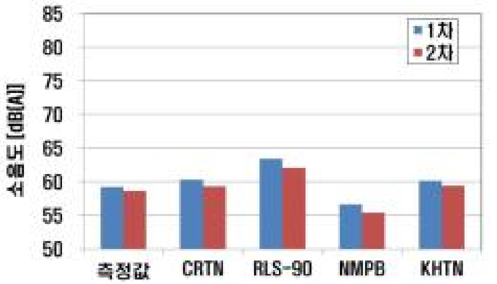
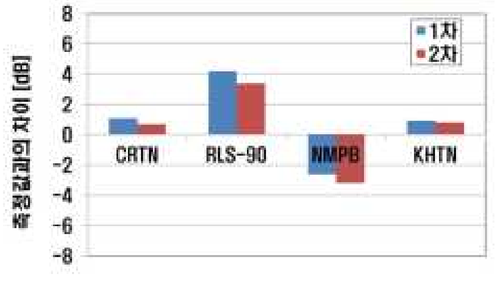
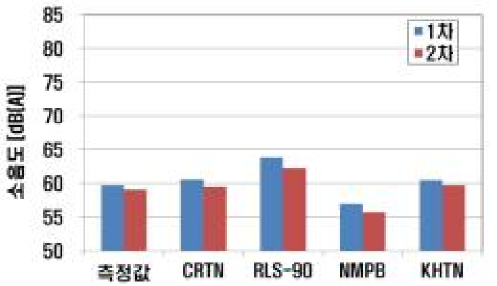
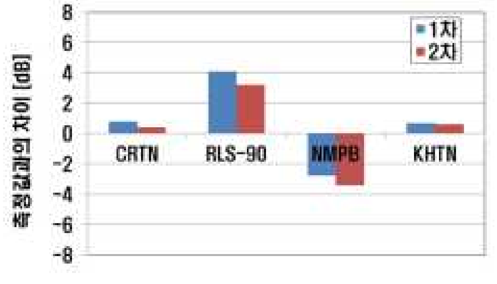
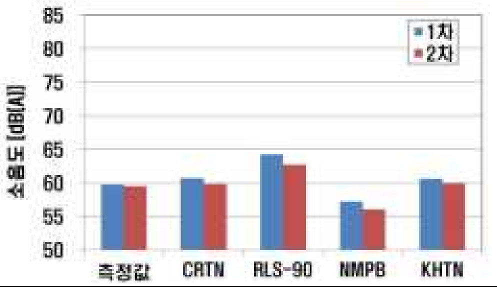
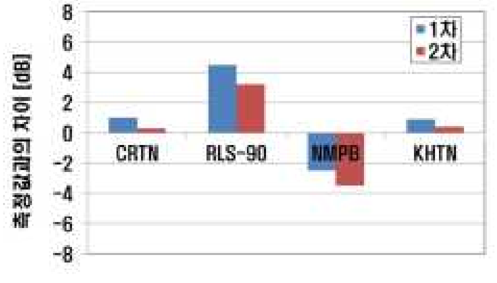
지 점	해석결과 비교	측정값에 대한 해석값 차이
이격거리 65m [도로단 기준] 지점높이 -17m [도로면 기준]		
이격거리 65m [도로단 기준] 지점높이 -16m [도로면 기준]		
이격거리 65m [도로단 기준] 지점높이 -15m [도로면 기준]		
이격거리 65m [도로단 기준] 지점높이 -14m [도로면 기준]		
이격거리 65m [도로단 기준] 지점높이 -13m [도로면 기준]		
이격거리 65m [도로단 기준] 지점높이 -12m [도로면 기준]		

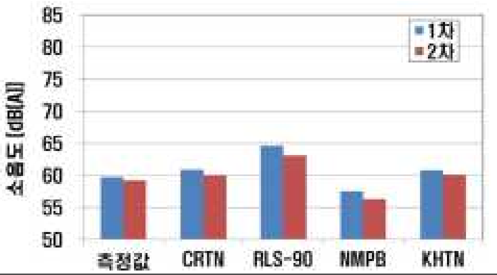
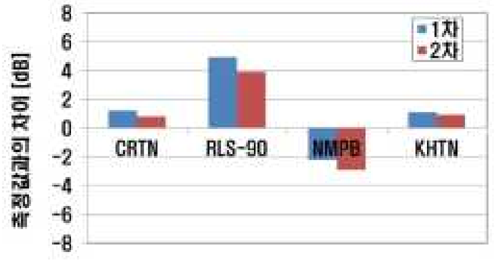
표 3.14 [현장-7] 소음해석 결과 비교(SoundPLAN)

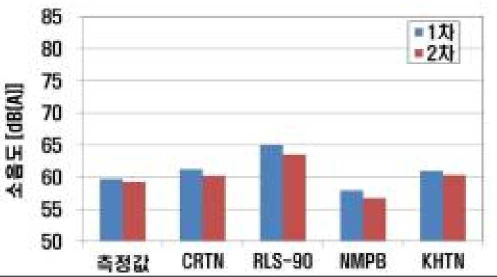
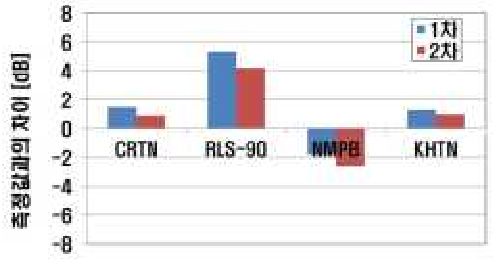
<table>
<tr><th>지 점</th><th>해석결과 비교</th><th>측정값에 대한 해석값 차이</th></tr>
<tr><td>이격거리
65m
[도로단 기준]

지점높이
-17m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>이격거리
65m
[도로단 기준]

지점높이
-16m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>이격거리
65m
[도로단 기준]

지점높이
-15m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>이격거리
65m
[도로단 기준]

지점높이
-14m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>이격거리
65m
[도로단 기준]

지점높이
-13m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>이격거리
65m
[도로단 기준]

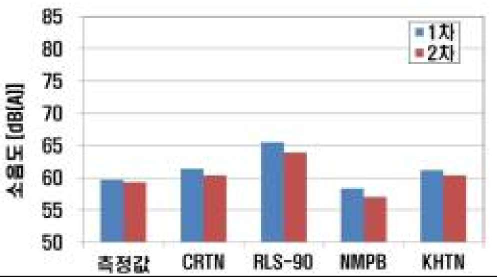
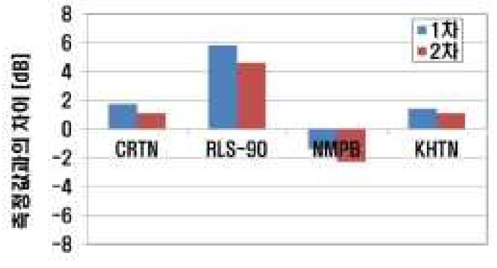
지점높이
-12m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
</table>

표 3.15 [현장-8] 소음해석 결과 비교(CadnaA)

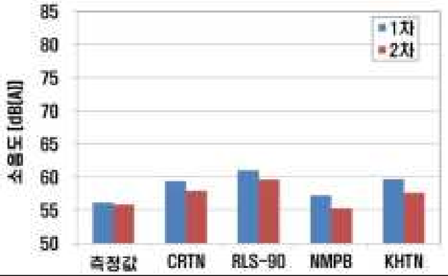
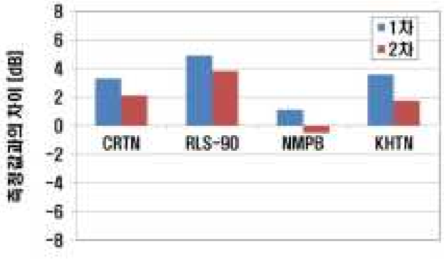
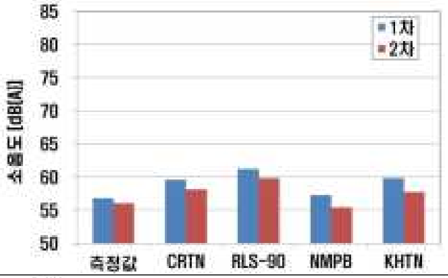
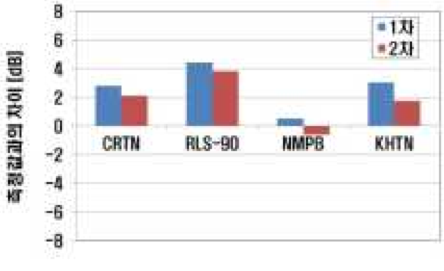
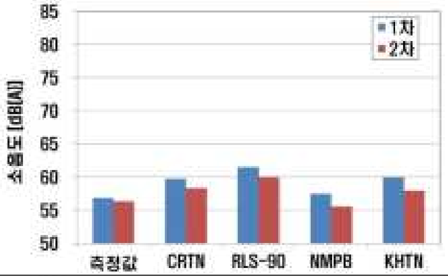
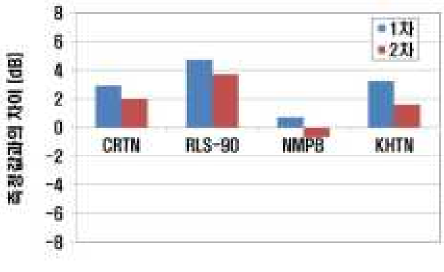
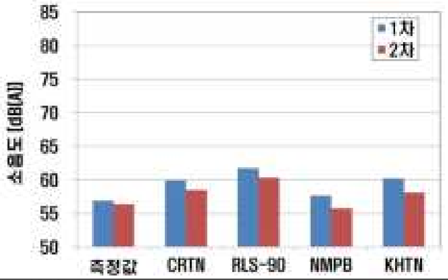
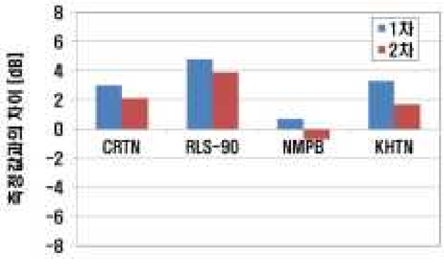
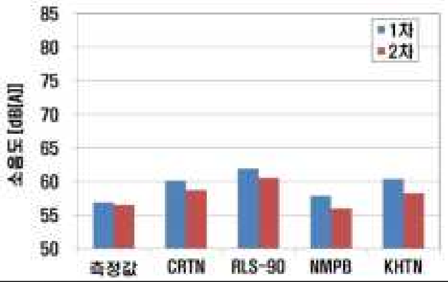
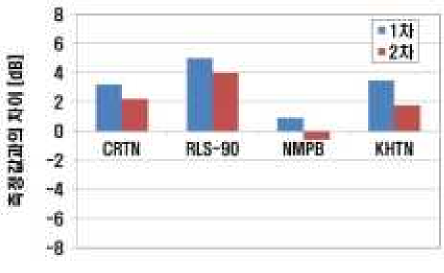
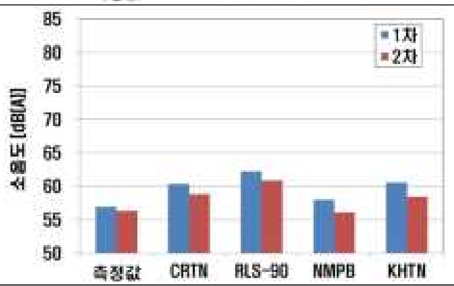
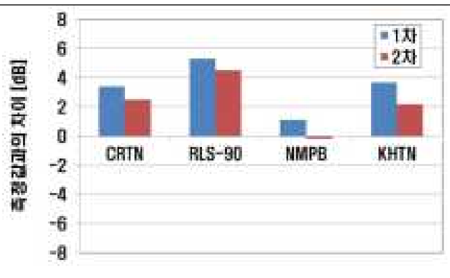
지 점	해석결과 비교	측정값에 대한 해석값 차이
이격거리 108m [도로단 기준] 지점높이 -36m [도로면 기준]		
이격거리 108m [도로단 기준] 지점높이 -35m [도로면 기준]		
이격거리 108m [도로단 기준] 지점높이 -34m [도로면 기준]		
이격거리 108m [도로단 기준] 지점높이 -33m [도로면 기준]		
이격거리 108m [도로단 기준] 지점높이 -32m [도로면 기준]		
이격거리 108m [도로단 기준] 지점높이 -31m [도로면 기준]		

표 3.16 [현장-8] 소음해석 결과 비교(SoundPLAN)

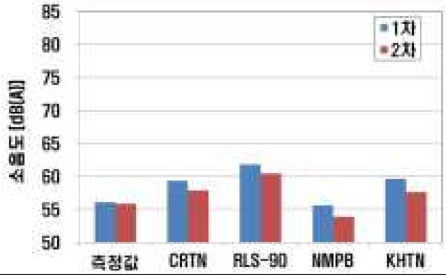
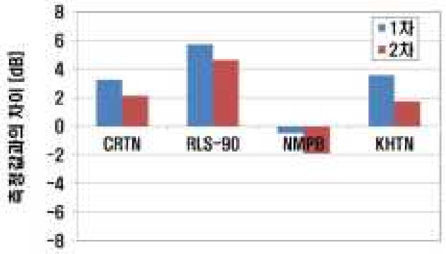
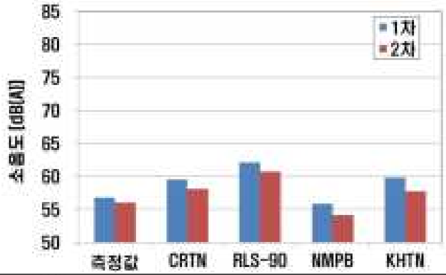
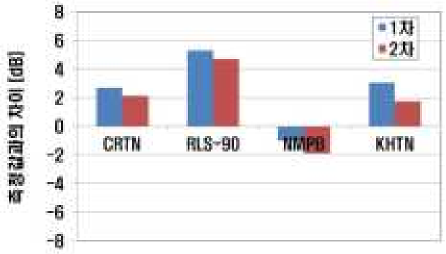
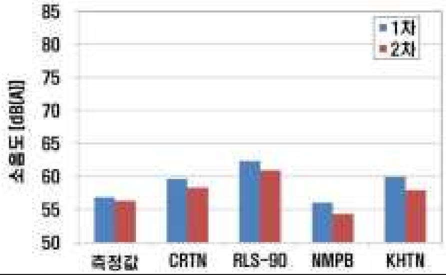
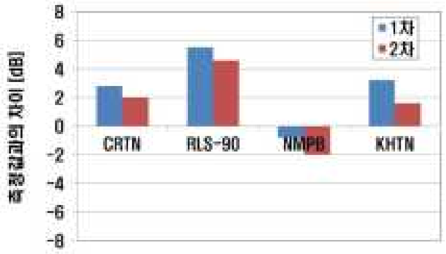
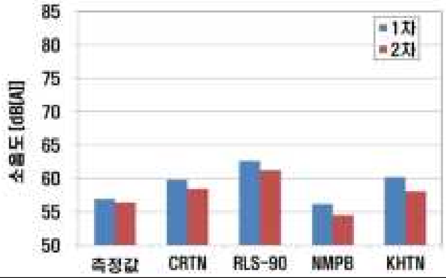
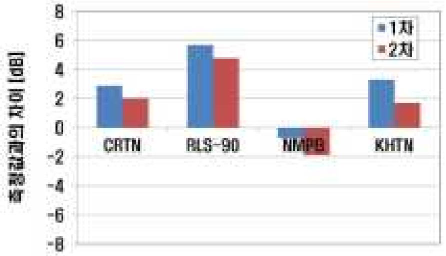
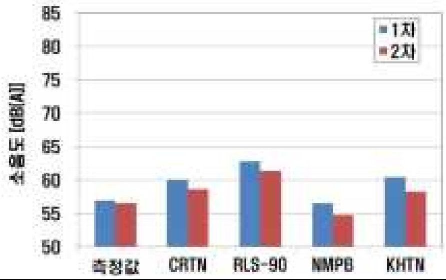
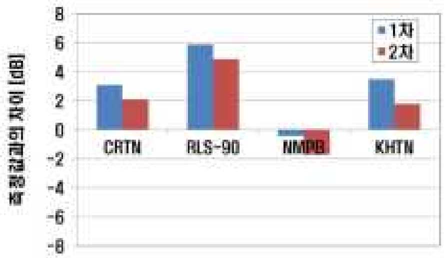
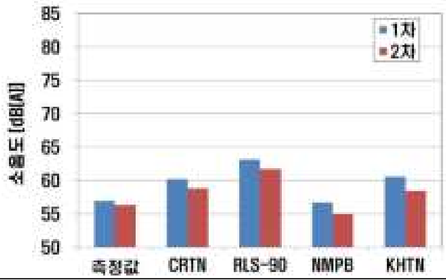
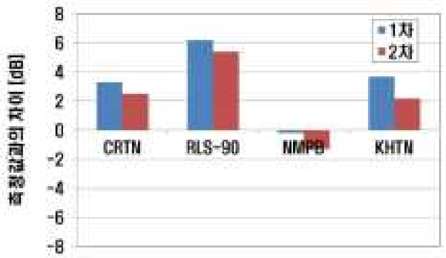
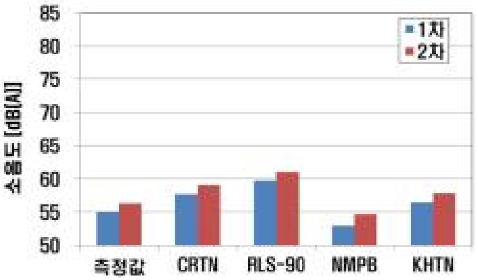
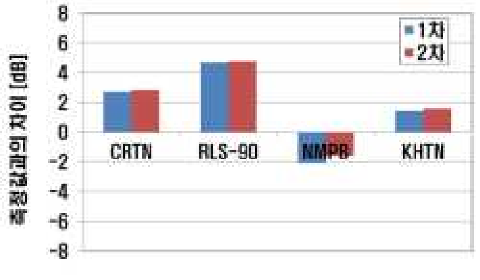
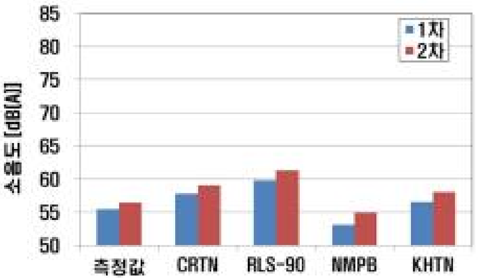
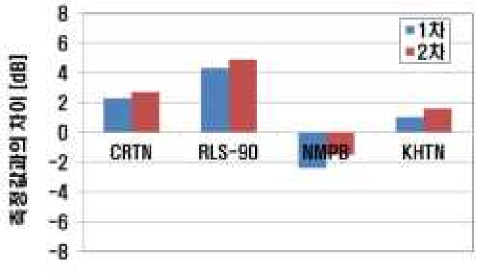
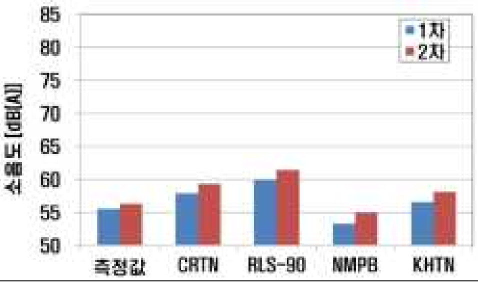
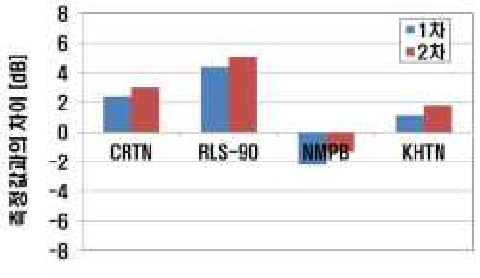
지 점	해석결과 비교	측정값에 대한 해석값 차이
이격거리 108m [도로단 기준] 지점높이 -36m [도로면 기준]		
이격거리 108m [도로단 기준] 지점높이 -35m [도로면 기준]		
이격거리 108m [도로단 기준] 지점높이 -34m [도로면 기준]		
이격거리 108m [도로단 기준] 지점높이 -33m [도로면 기준]		
이격거리 108m [도로단 기준] 지점높이 -32m [도로면 기준]		
이격거리 108m [도로단 기준] 지점높이 -31m [도로면 기준]		

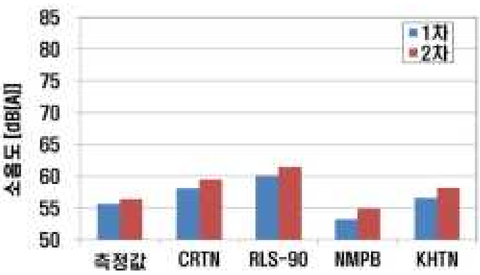
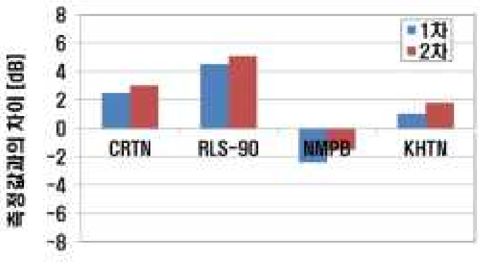
표 3.17 [현장-9] 소음해석 결과 비교(CadnaA)

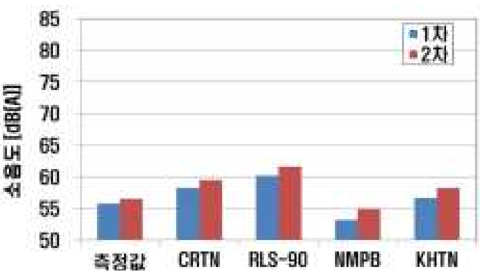
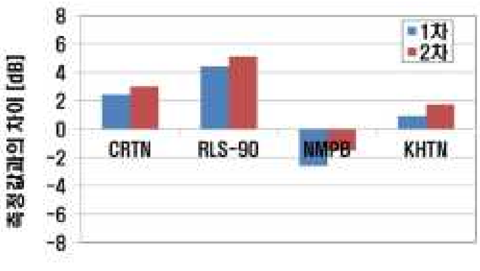
<table>
<tr><th>지 점</th><th>해석결과 비교</th><th>측정값에 대한 해석값 차이</th></tr>
<tr><td>이격거리
230m
[도로단 기준]

지점높이
-32m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>이격거리
230m
[도로단 기준]

지점높이
-31m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>이격거리
230m
[도로단 기준]

지점높이
-30m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>이격거리
230m
[도로단 기준]

지점높이
-29m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>이격거리
230m
[도로단 기준]

지점높이
-28m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>이격거리
230m
[도로단 기준]

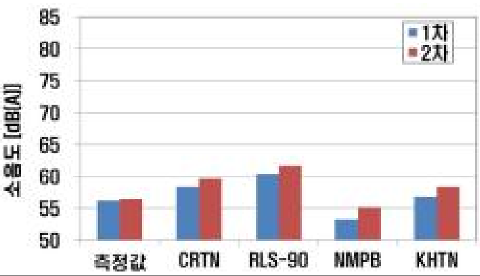
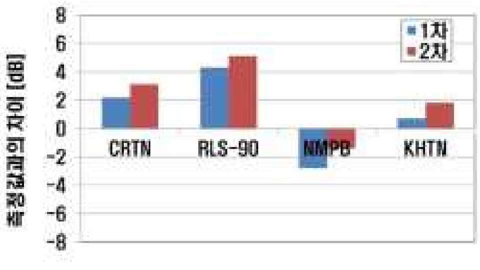
지점높이
-27m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
</table>

표 3.18 [현장-9] 소음해석 결과 비교(SoundPLAN)

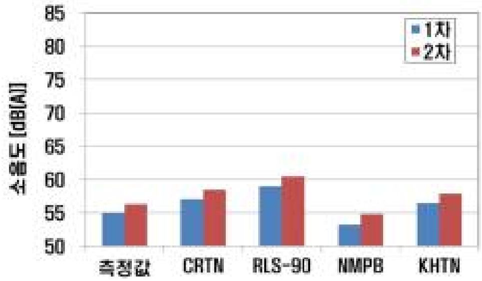
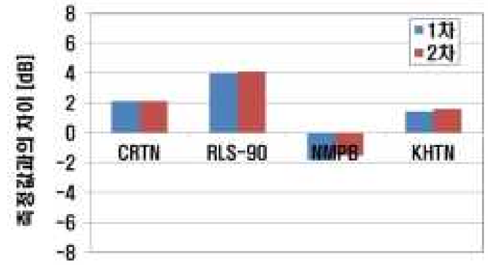
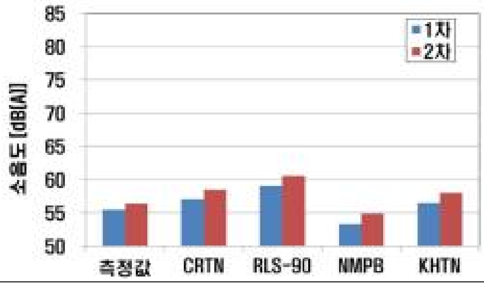
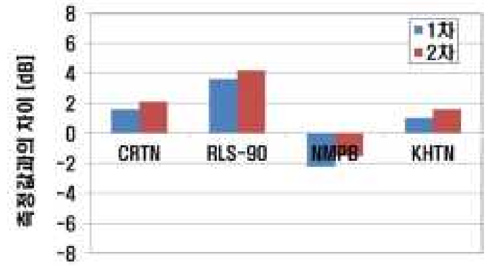
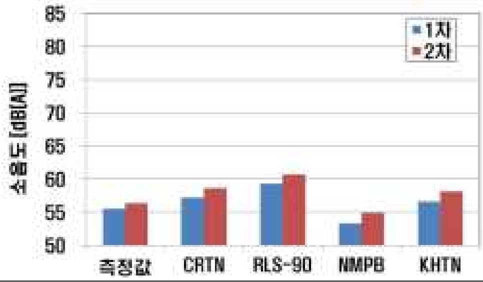
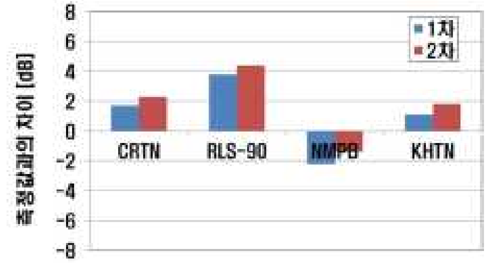
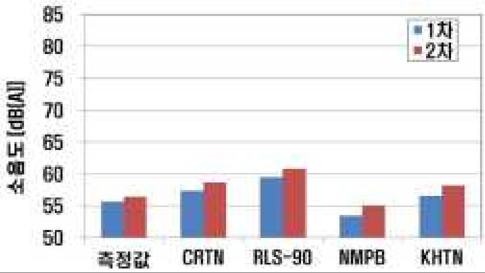
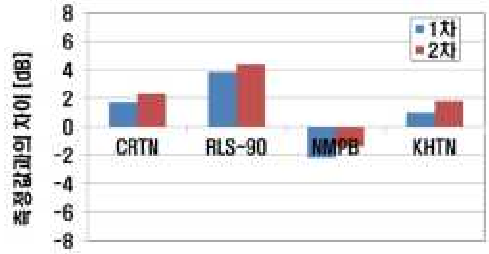
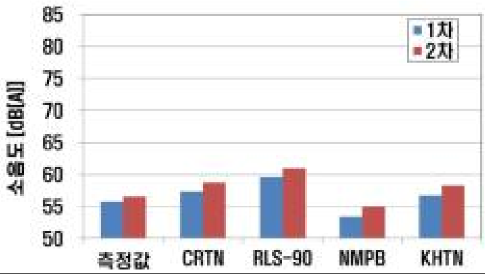
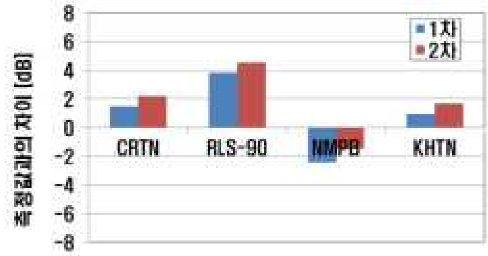
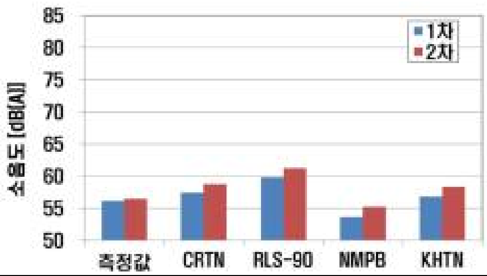
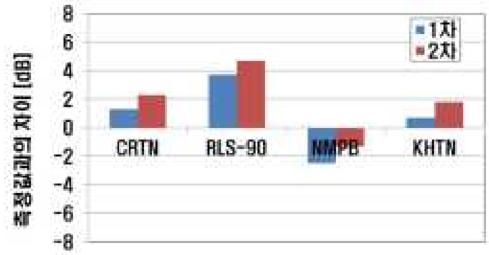
지 점	해석결과 비교	측정값에 대한 해석값 차이
이격거리 230m [도로단 기준] 지점높이 -32m [도로면 기준]		
이격거리 230m [도로단 기준] 지점높이 -31m [도로면 기준]		
이격거리 230m [도로단 기준] 지점높이 -30m [도로면 기준]		
이격거리 230m [도로단 기준] 지점높이 -29m [도로면 기준]		
이격거리 230m [도로단 기준] 지점높이 -28m [도로면 기준]		
이격거리 230m [도로단 기준] 지점높이 -27m [도로면 기준]		

표 3.19 [현장-10] 소음해석 결과 비교(CadnaA)

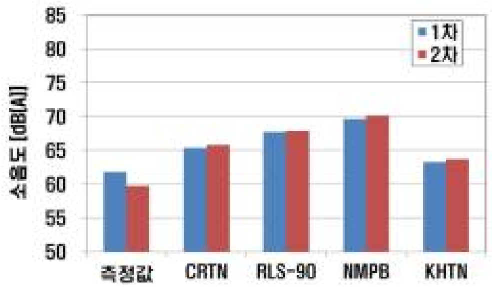
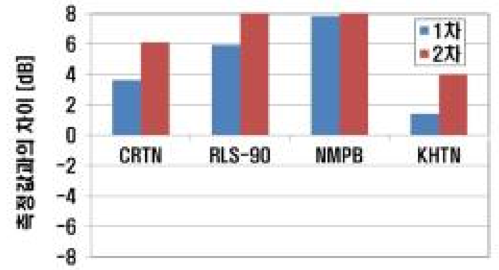
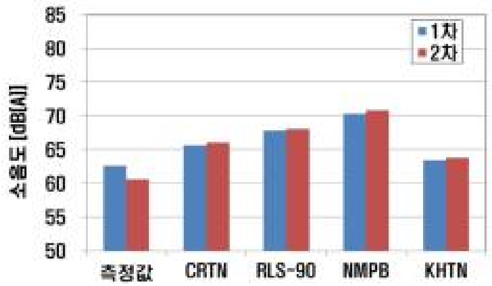
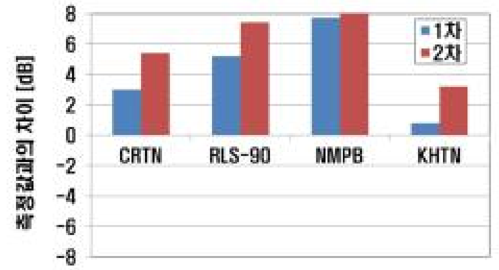
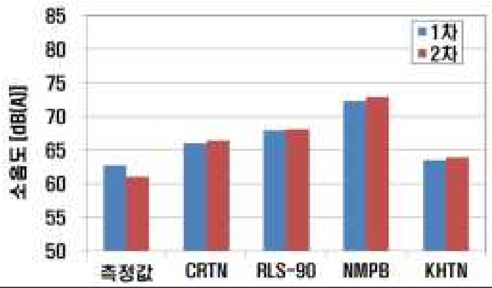
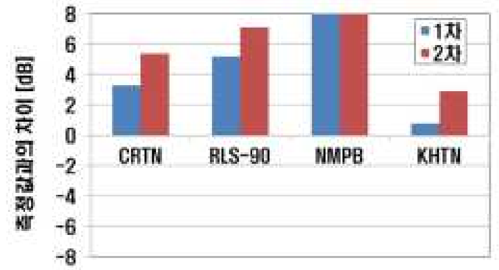
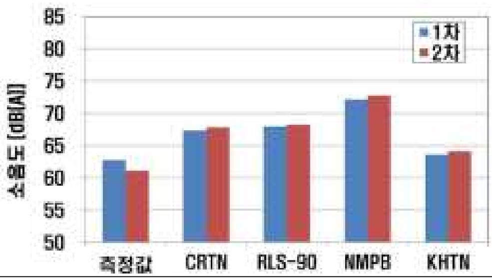
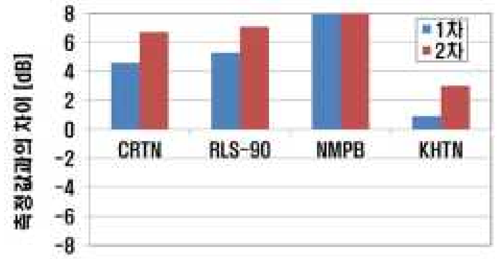
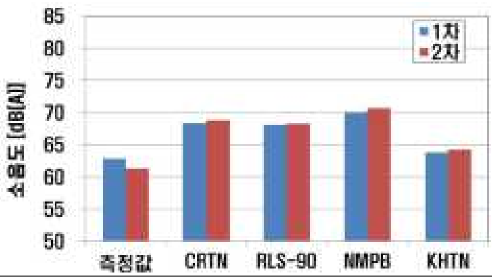
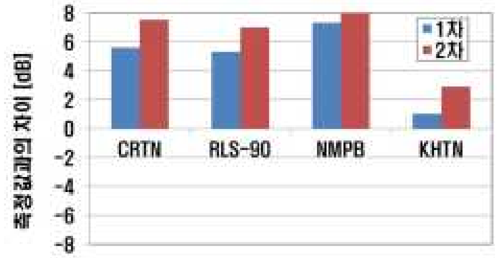
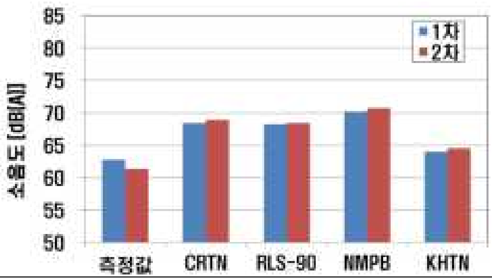
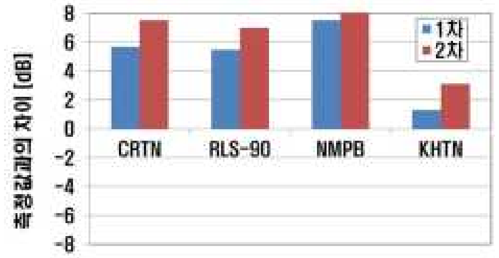
지 점	해석결과 비교	측정값에 대한 해석값 차이
이격거리 125m [도로단 기준] 지점높이 -3m [도로면 기준]		
이격거리 125m [도로단 기준] 지점높이 -2m [도로면 기준]		
이격거리 125m [도로단 기준] 지점높이 -1m [도로면 기준]		
이격거리 125m [도로단 기준] 지점높이 0m [도로면 기준]		
이격거리 125m [도로단 기준] 지점높이 1m [도로면 기준]		
이격거리 125m [도로단 기준] 지점높이 2m [도로면 기준]		

표 3.20 [현장-10] 소음해석 결과 비교(SoundPLAN)

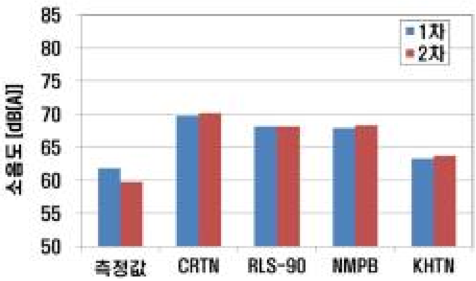
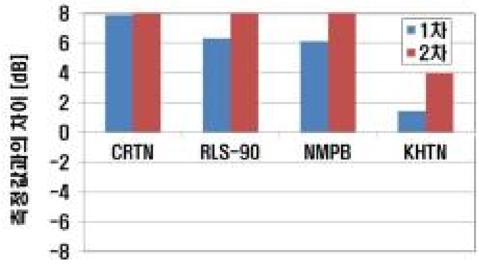
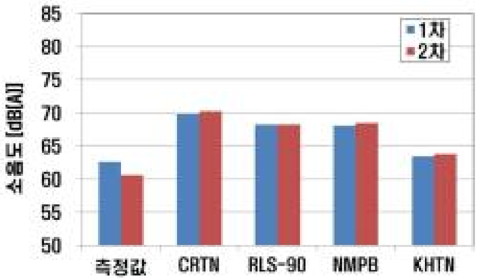
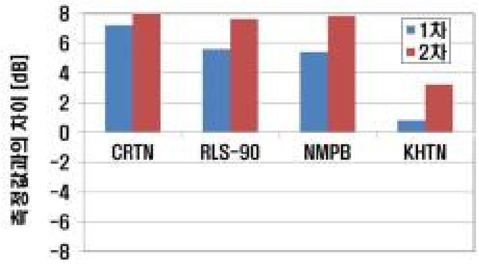
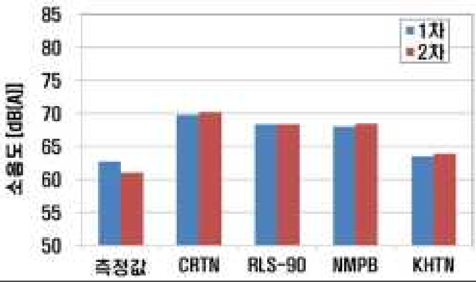
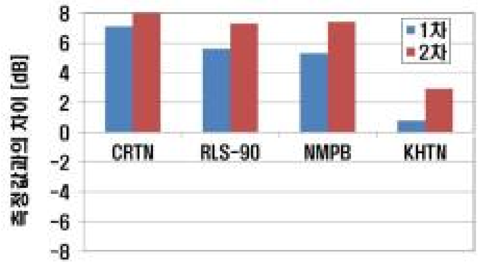
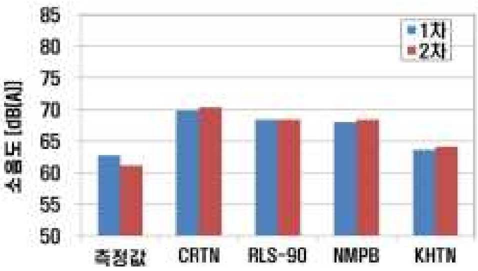
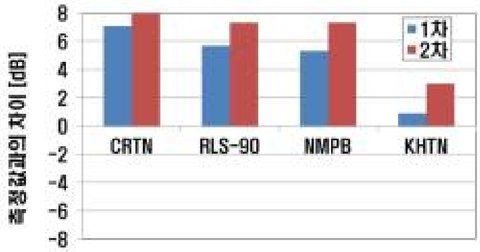
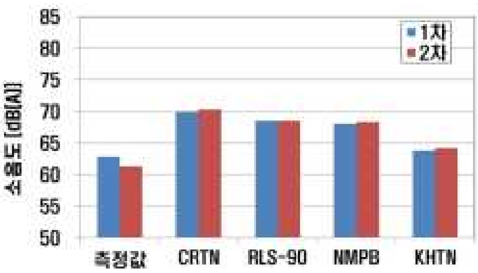
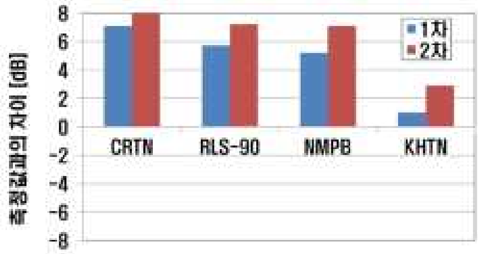
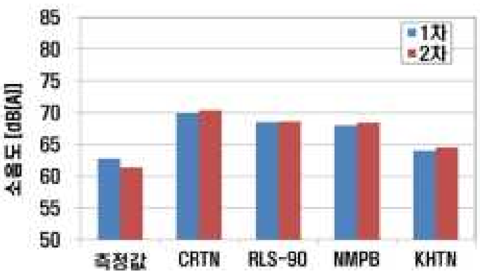
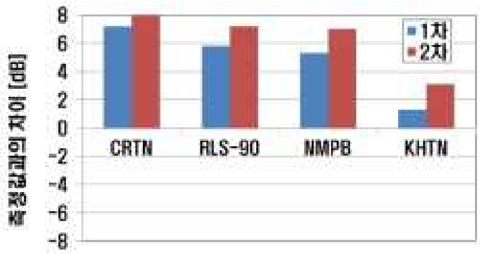
<table>
<tr><th>지 점</th><th>해석결과 비교</th><th>측정값에 대한 해석값 차이</th></tr>
<tr><td>이격거리
125m
[도로단 기준]</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>지점높이
-3m
[도로면 기준]</td></tr>
<tr><td>이격거리
125m
[도로단 기준]</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>지점높이
-2m
[도로면 기준]</td></tr>
<tr><td>이격거리
125m
[도로단 기준]</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>지점높이
-1m
[도로면 기준]</td></tr>
<tr><td>이격거리
125m
[도로단 기준]</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>지점높이
0m
[도로면 기준]</td></tr>
<tr><td>이격거리
125m
[도로단 기준]</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>지점높이
1m
[도로면 기준]</td></tr>
<tr><td>이격거리
125m
[도로단 기준]</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>지점높이
2m
[도로면 기준]</td></tr>
</table>

표 3.21 [현장-11] 소음해석 결과 비교(CadnaA)

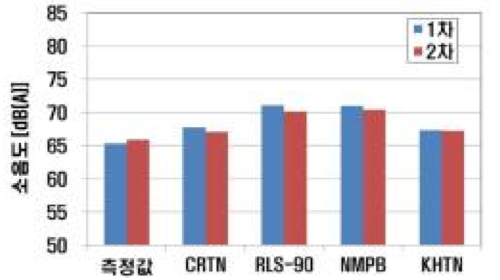
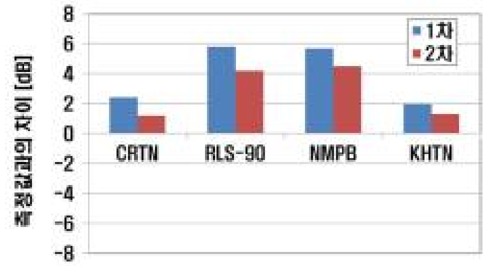
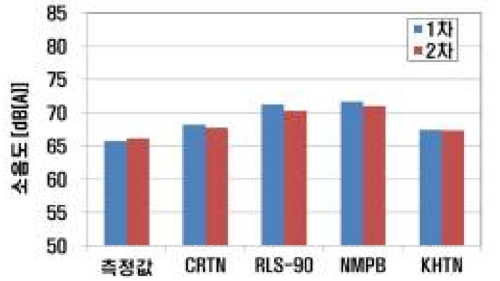
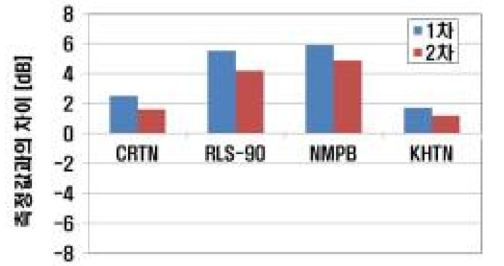
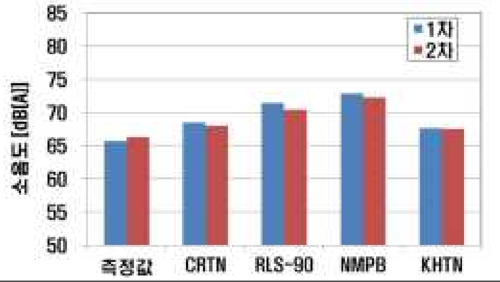
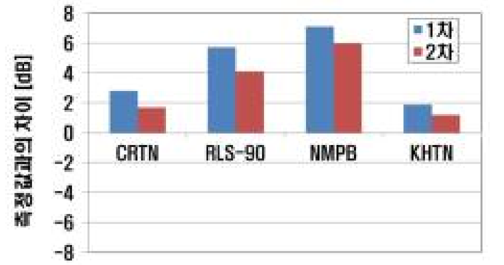
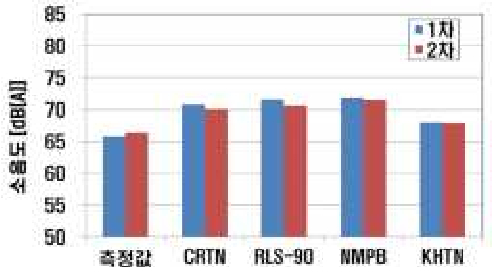
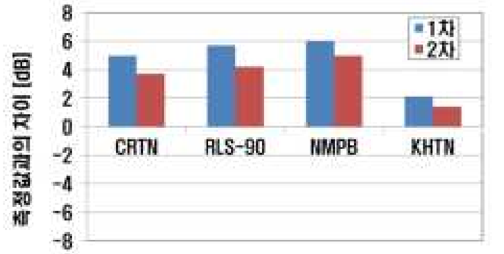
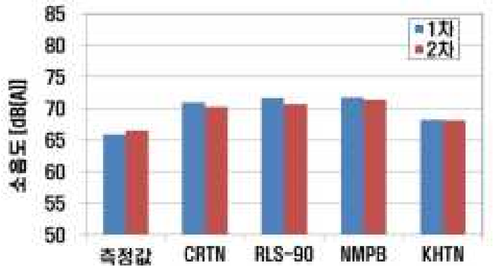
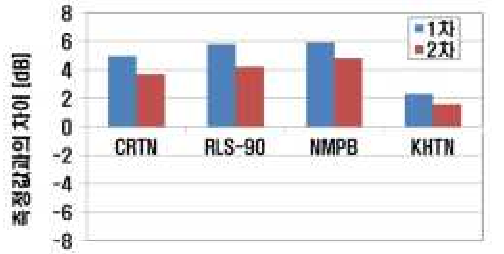
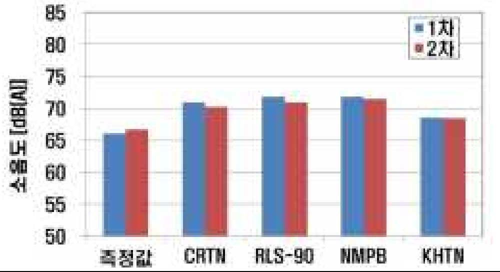
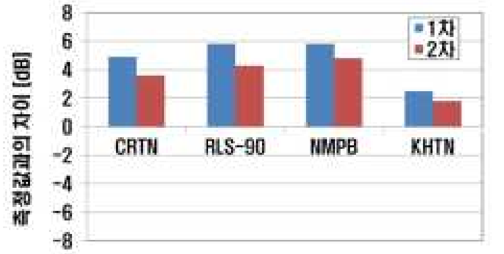
지 점	해석결과 비교	측정값에 대한 해석값 차이
이격거리 95m [도로단 기준] 지점높이 -2m [도로면 기준]		
이격거리 95m [도로단 기준] 지점높이 -1m [도로면 기준]		
이격거리 95m [도로단 기준] 지점높이 0m [도로면 기준]		
이격거리 95m [도로단 기준] 지점높이 1m [도로면 기준]		
이격거리 95m [도로단 기준] 지점높이 2m [도로면 기준]		
이격거리 95m [도로단 기준] 지점높이 3m [도로면 기준]		

표 3.22 [현장-11] 소음해석 결과 비교(SoundPLAN)

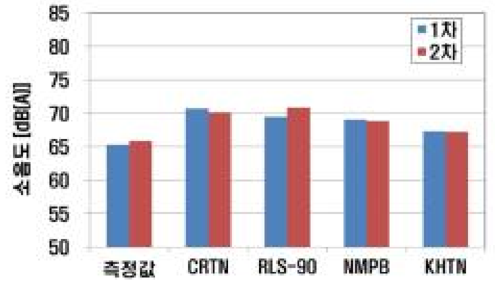
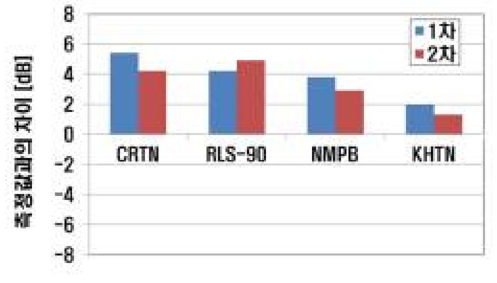
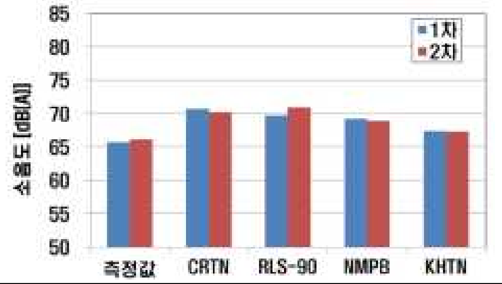
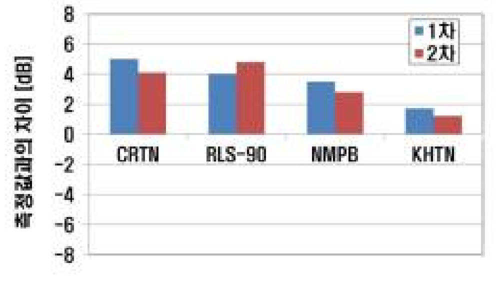
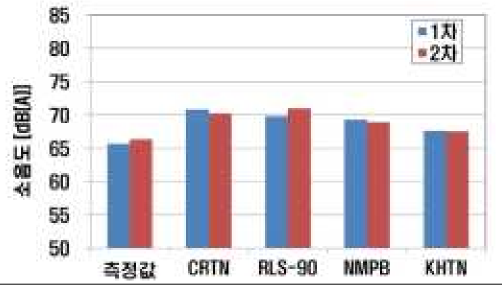
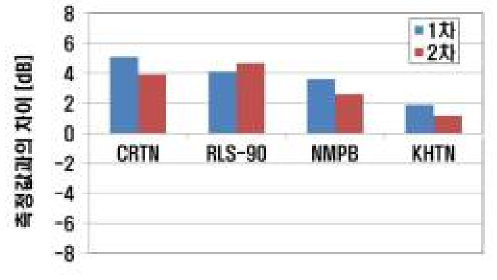
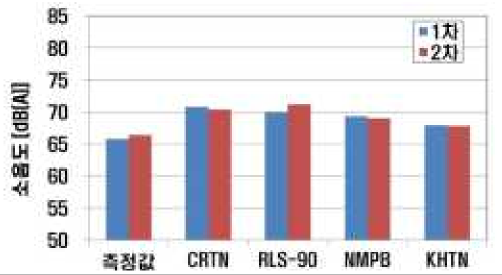
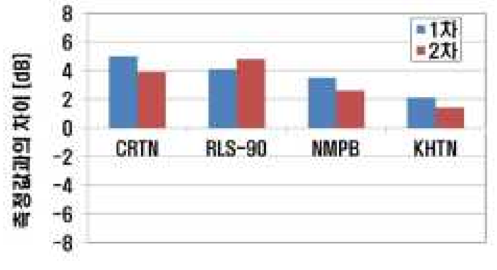
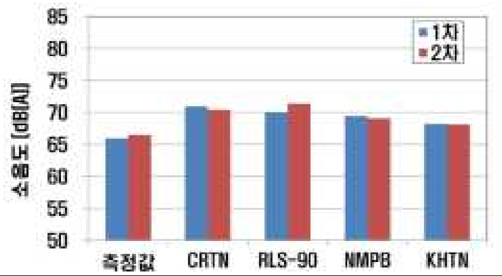
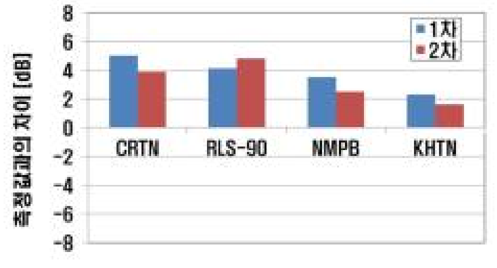
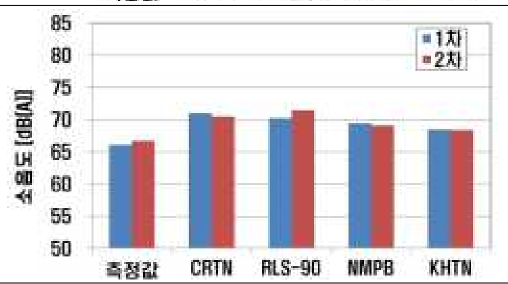
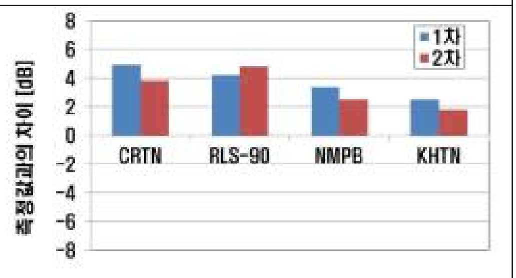
지 점	해석결과 비교	측정값에 대한 해석값 차이
이격거리 95m [도로단 기준] 지점높이 -2m [도로면 기준]		
이격거리 95m [도로단 기준] 지점높이 -1m [도로면 기준]		
이격거리 95m [도로단 기준] 지점높이 0m [도로면 기준]		
이격거리 95m [도로단 기준] 지점높이 1m [도로면 기준]		
이격거리 95m [도로단 기준] 지점높이 2m [도로면 기준]		
이격거리 95m [도로단 기준] 지점높이 3m [도로면 기준]		

표 3.23 [현장-12] 소음해석 결과 비교(CadnaA)

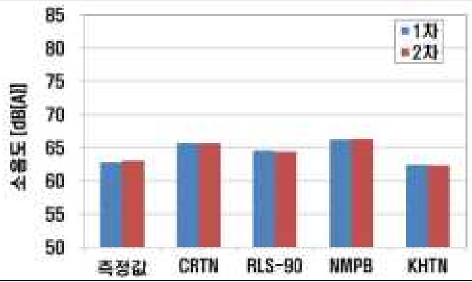
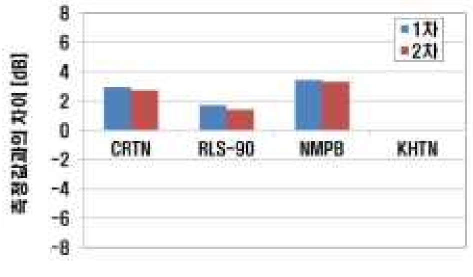
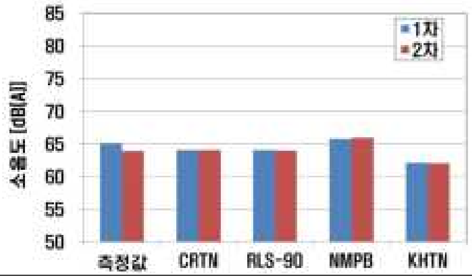
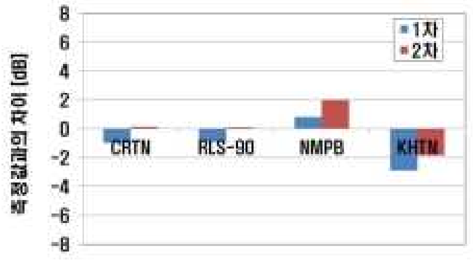
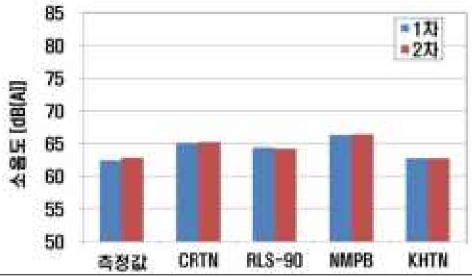
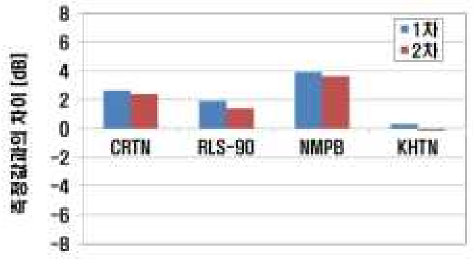
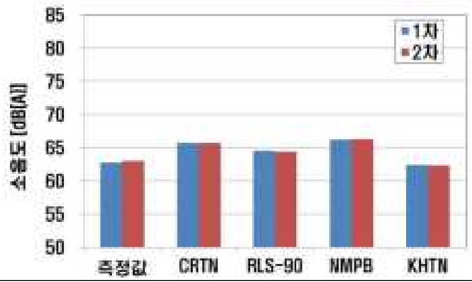
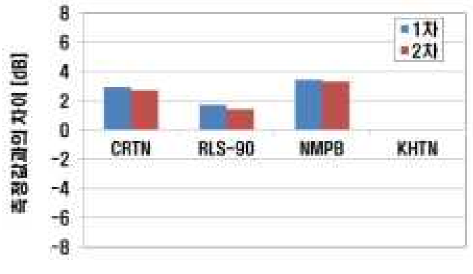
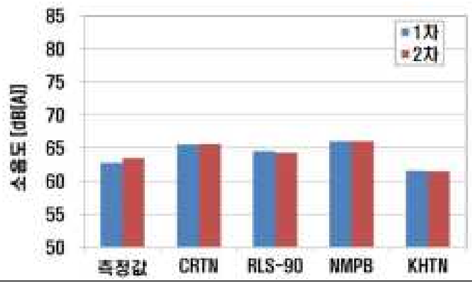
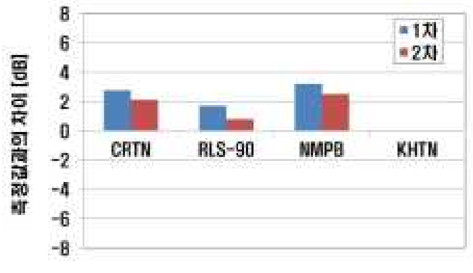
지 점	해석결과 비교	측정값에 대한 해석값 차이
이격거리 326m [도로단 기준] 지점높이 52m [도로면 기준]		
이격거리 326m [도로단 기준] 지점높이 57m [도로면 기준]		
이격거리 326m [도로단 기준] 지점높이 64m [도로면 기준]		
이격거리 330m [도로단 기준] 지점높이 75m [도로면 기준]		
이격거리 325m [도로단 기준] 지점높이 83m [도로면 기준]		

표 3.24 [현장-12] 소음해석 결과 비교(SoundPLAN)

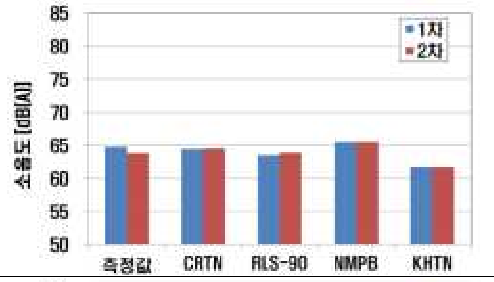
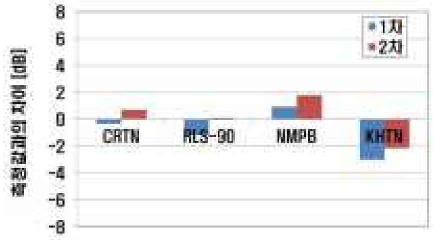
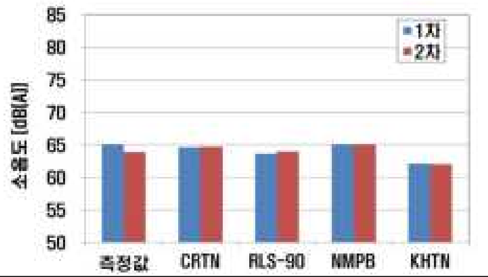
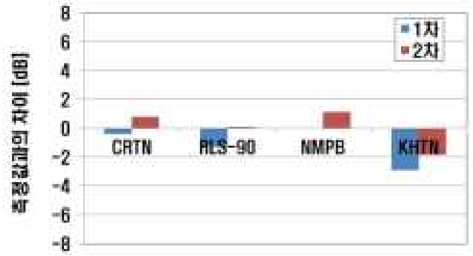
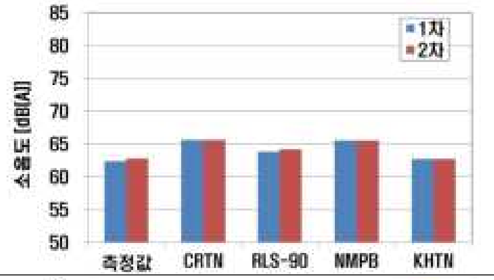
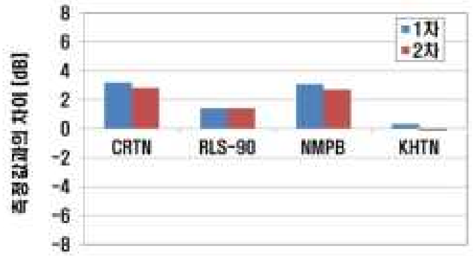
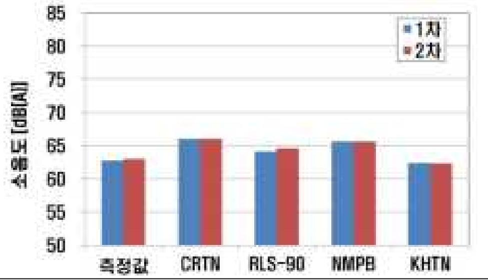
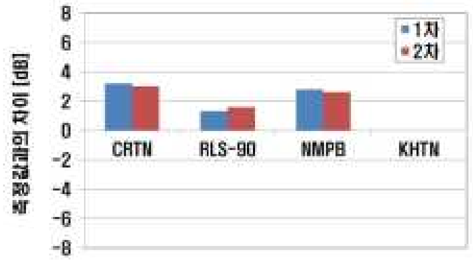
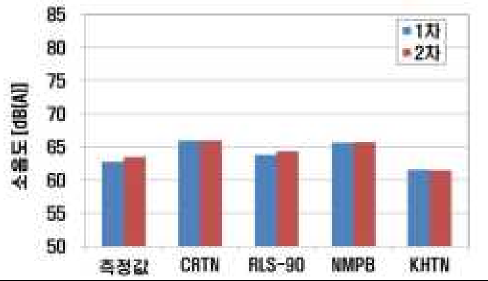
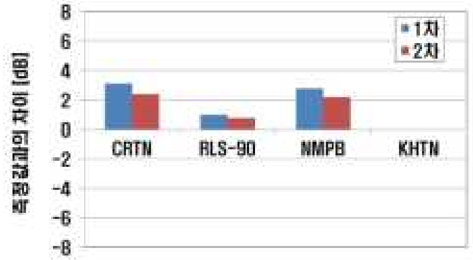
지 점	해석결과 비교	측정값에 대한 해석값 차이
이격거리 326m [도로단 기준] 지점높이 52m [도로면 기준]		
이격거리 326m [도로단 기준] 지점높이 57m [도로면 기준]		
이격거리 326m [도로단 기준] 지점높이 64m [도로면 기준]		
이격거리 330m [도로단 기준] 지점높이 75m [도로면 기준]		
이격거리 325m [도로단 기준] 지점높이 83m [도로면 기준]		

표 3.25 [현장-13] 소음해석 결과 비교(CadnaA)

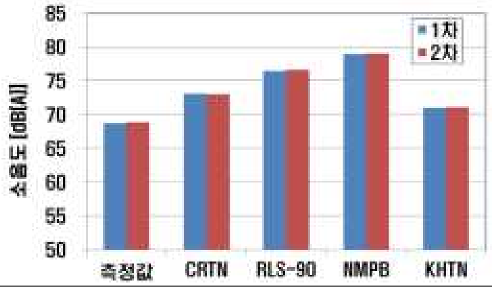
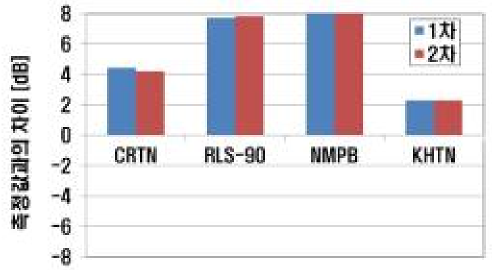
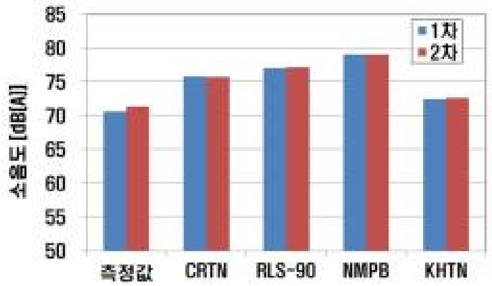
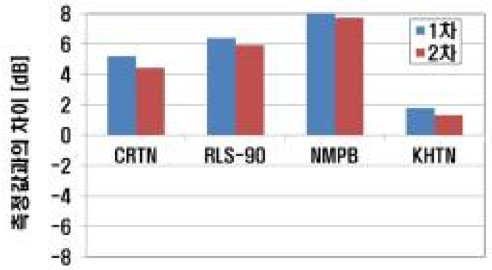
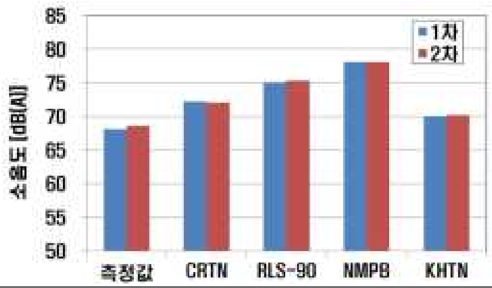
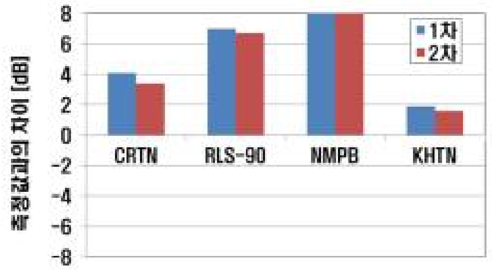
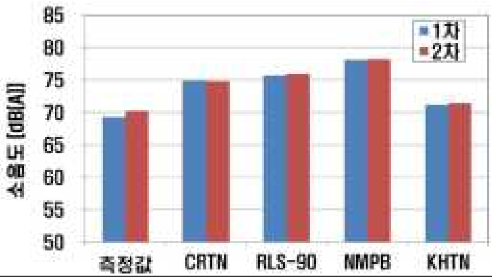
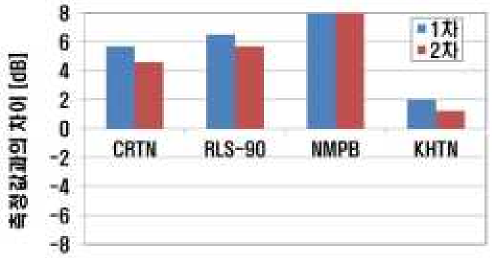
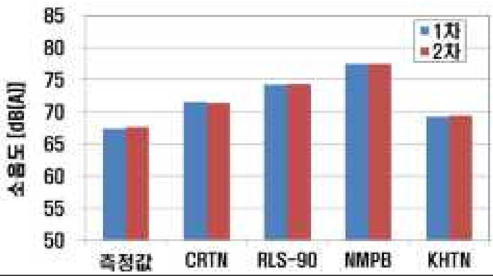
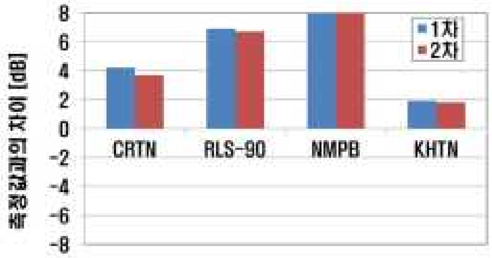
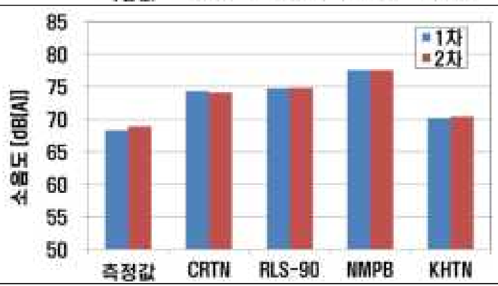
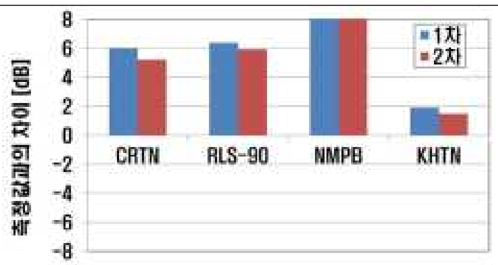
지 점	해석결과 비교	측정값에 대한 해석값 차이
이격거리 30m [도로단 기준] 지점높이 0m [도로면 기준]		
이격거리 30m [도로단 기준] 지점높이 2m [도로면 기준]		
이격거리 40m [도로단 기준] 지점높이 0m [도로면 기준]		
이격거리 40m [도로단 기준] 지점높이 2m [도로면 기준]		
이격거리 50m [도로단 기준] 지점높이 0m [도로면 기준]		
이격거리 50m [도로단 기준] 지점높이 2m [도로면 기준]		

표 3.26 [현장-13] 소음해석 결과 비교(SoundPLAN)

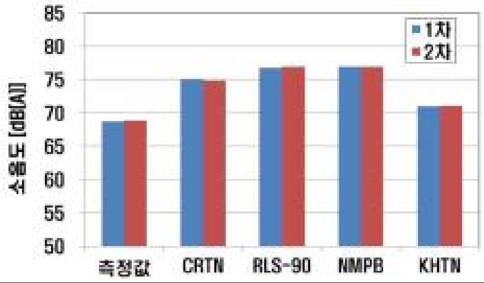
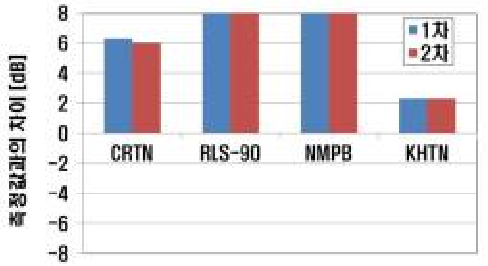
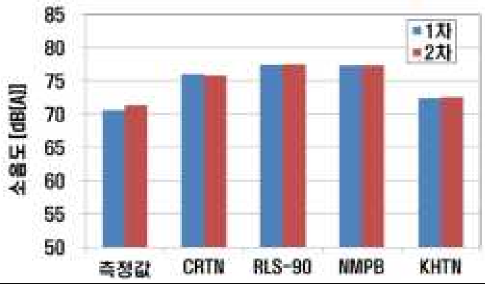
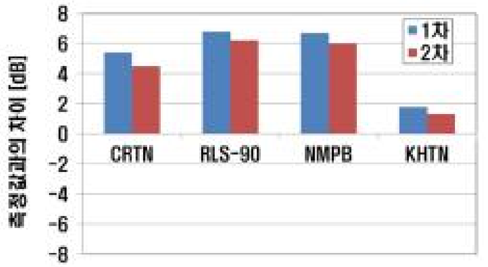
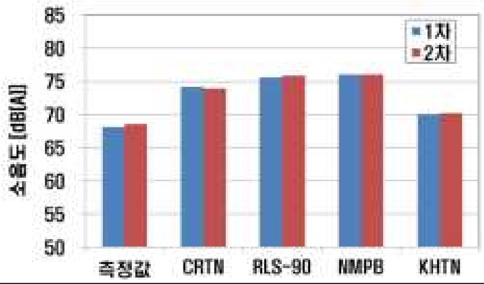
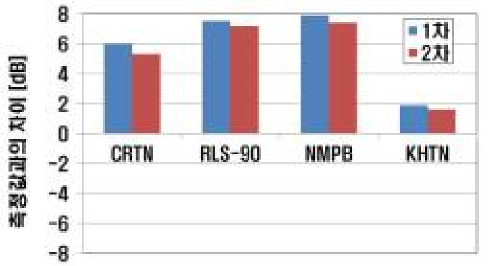
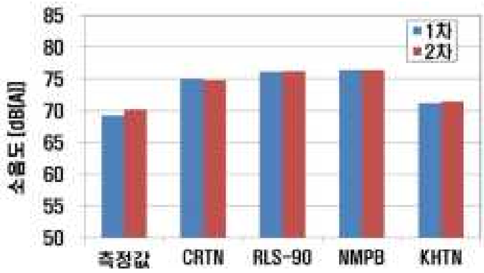
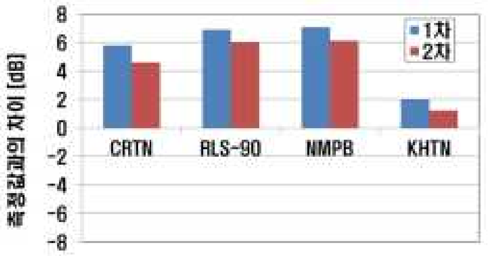
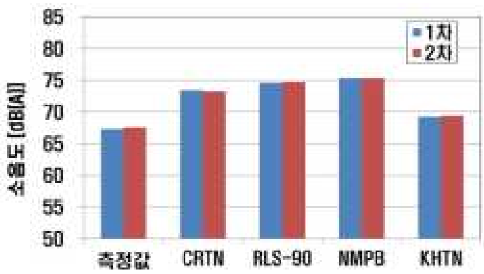
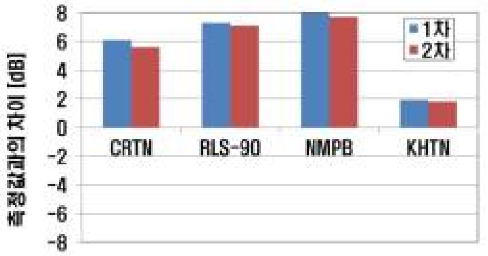
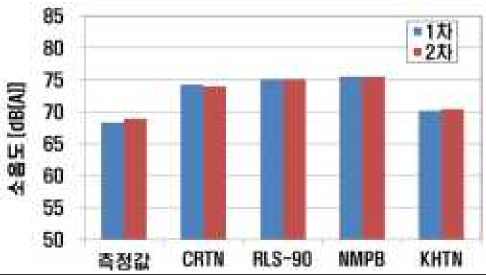
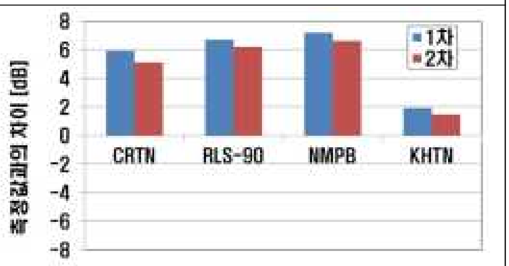
지 점	해석결과 비교	측정값에 대한 해석값 차이
이격거리 30m [도로단 기준] 지점높이 0m [도로면 기준]		
이격거리 30m [도로단 기준] 지점높이 2m [도로면 기준]		
이격거리 40m [도로단 기준] 지점높이 0m [도로면 기준]		
이격거리 40m [도로단 기준] 지점높이 2m [도로면 기준]		
이격거리 50m [도로단 기준] 지점높이 0m [도로면 기준]		
이격거리 50m [도로단 기준] 지점높이 2m [도로면 기준]		

표 3.27 [현장-14] 소음해석 결과 비교(CadnaA)

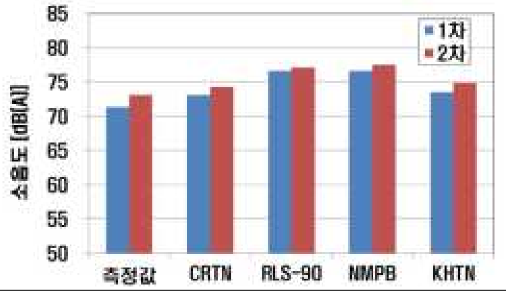
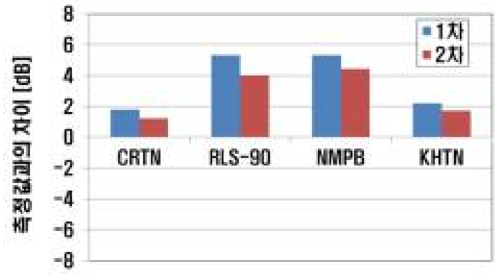
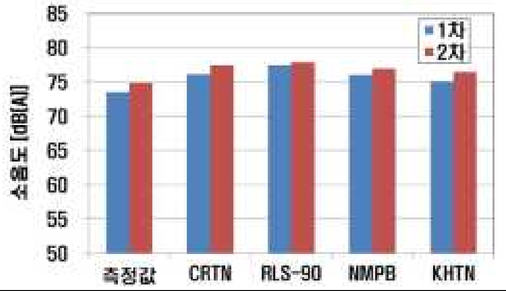
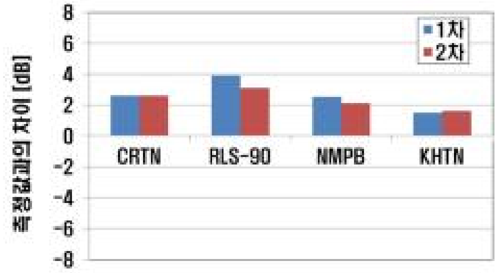
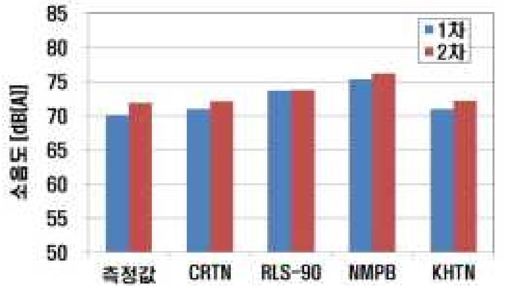
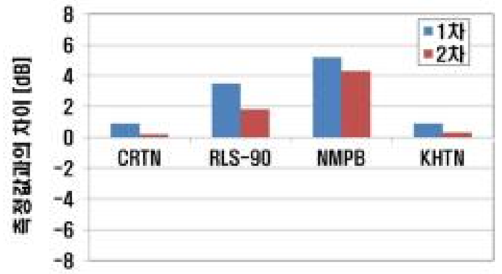
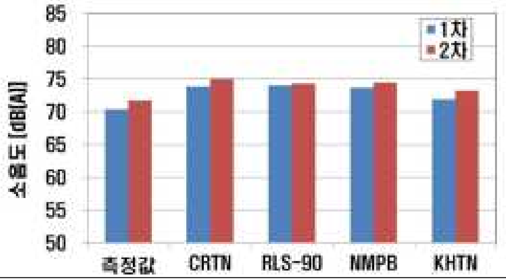
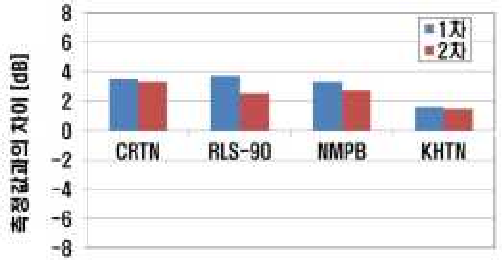
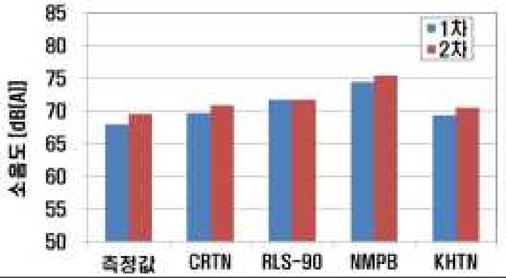
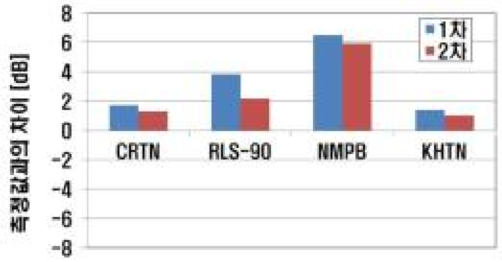
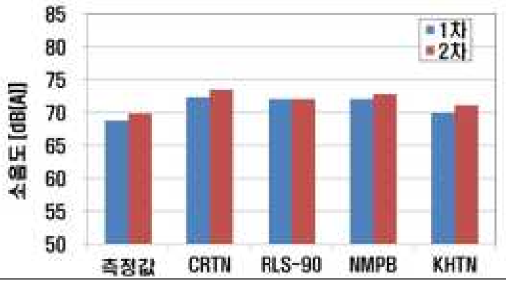
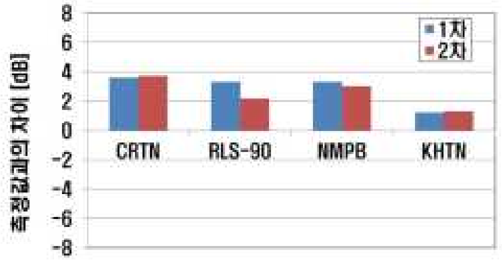
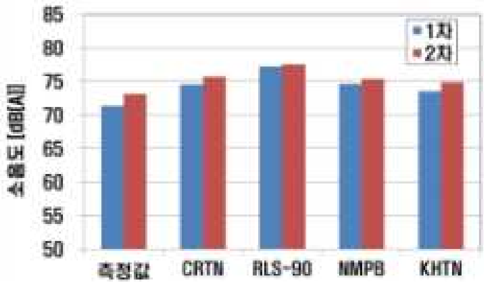
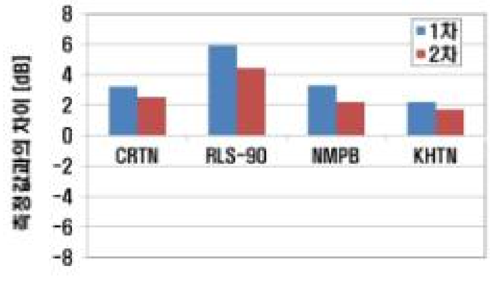
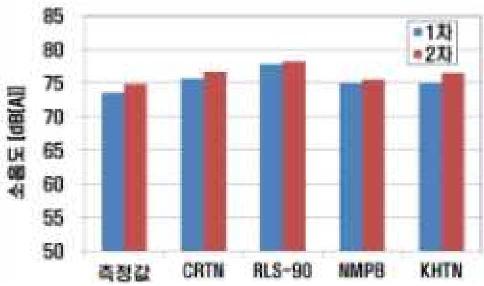
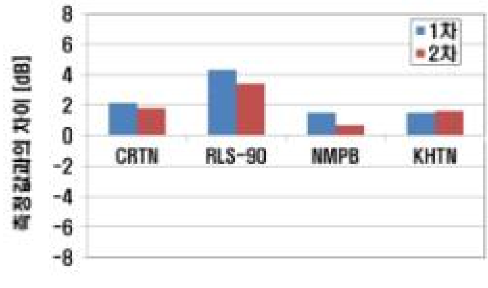
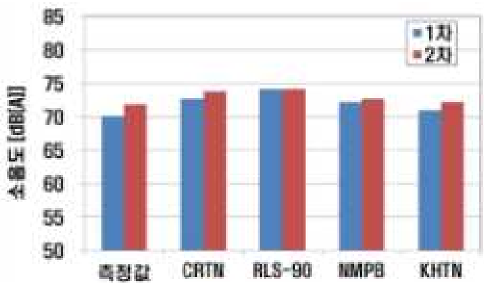
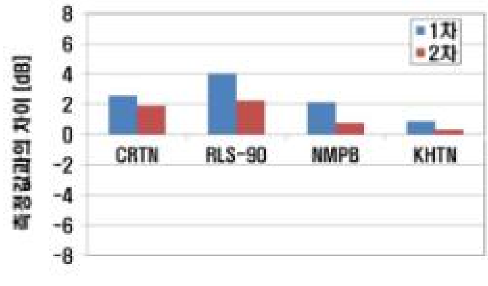
지 점	해석결과 비교	측정값에 대한 해석값 차이
이격거리 30m [도로단 기준] 지점높이 0m [도로면 기준]		
이격거리 30m [도로단 기준] 지점높이 2m [도로면 기준]		
이격거리 60m [도로단 기준] 지점높이 0m [도로면 기준]		
이격거리 60m [도로단 기준] 지점높이 2m [도로면 기준]		
이격거리 90m [도로단 기준] 지점높이 0m [도로면 기준]		
이격거리 90m [도로단 기준] 지점높이 2m [도로면 기준]		

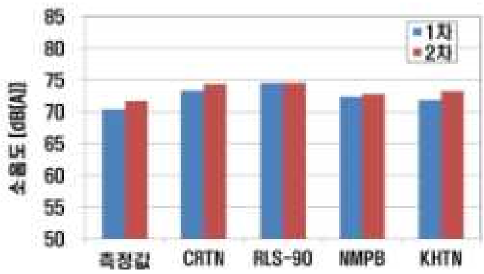
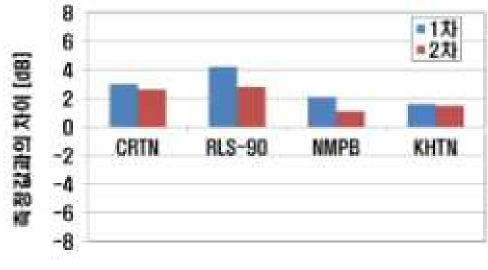
표 3.28 [현장-14] 소음해석 결과 비교(SoundPLAN)

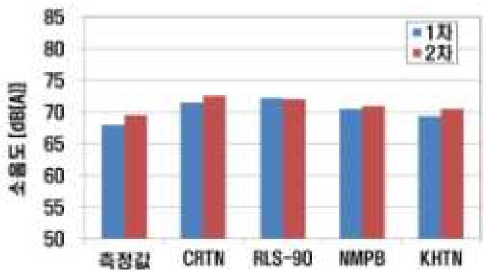
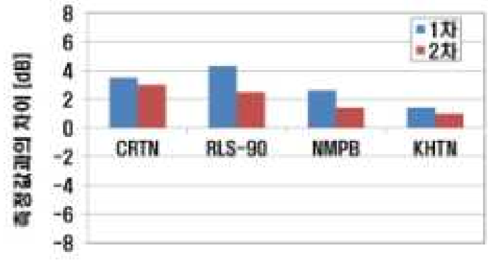
<table>
<tr><th>지 점</th><th>해석결과 비교</th><th>측정값에 대한 해석값 차이</th></tr>
<tr><td>이격거리
30m
[도로단 기준]

지점높이
0m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>이격거리
30m
[도로단 기준]

지점높이
2m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>이격거리
60m
[도로단 기준]

지점높이
0m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>이격거리
60m
[도로단 기준]

지점높이
2m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>이격거리
90m
[도로단 기준]

지점높이
0m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>이격거리
90m
[도로단 기준]

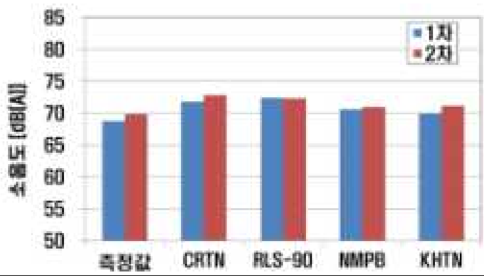
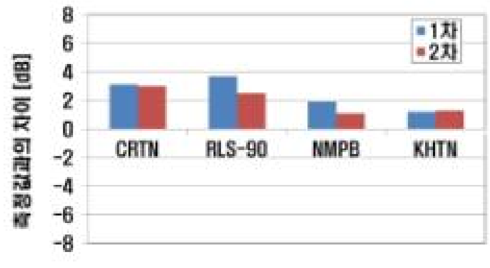
지점높이
2m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
</table>

표 3.29 [현장-15] 소음해석 결과 비교(CadnaA)

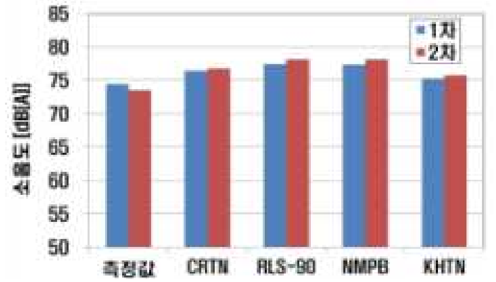
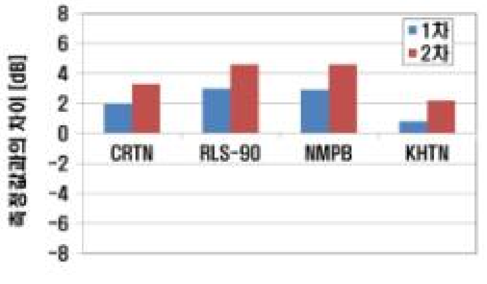
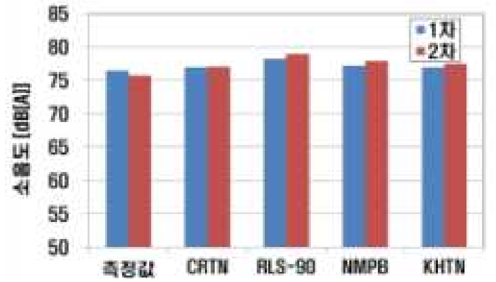
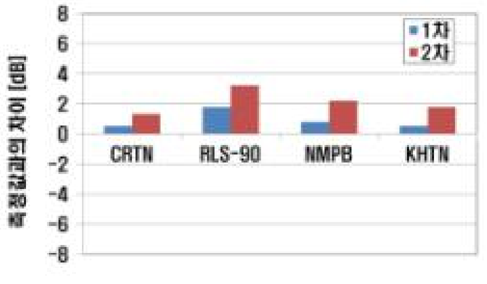
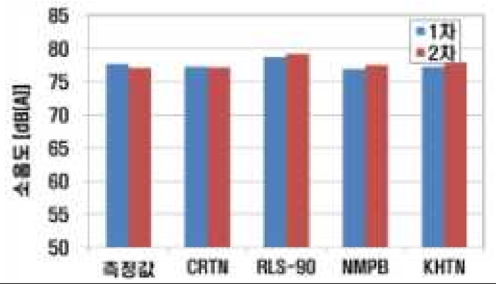
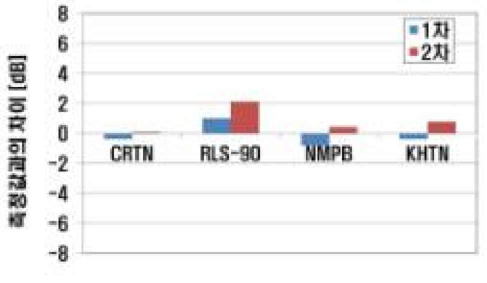
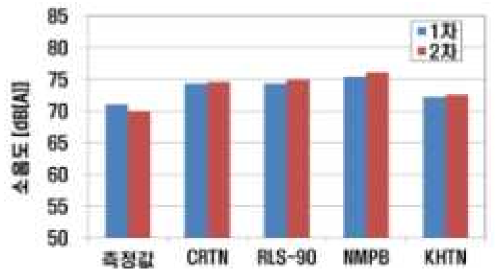
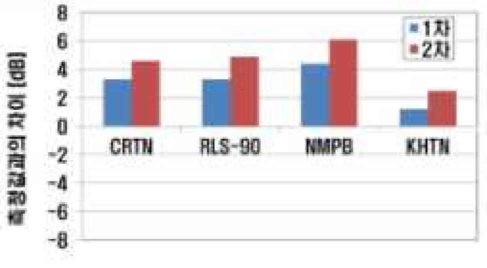
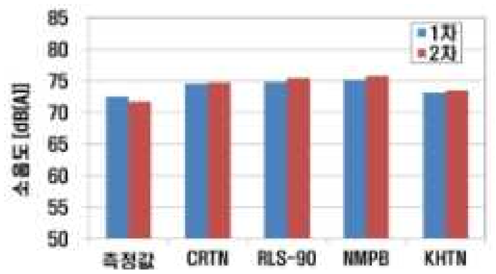
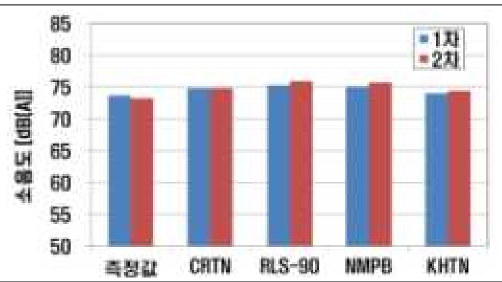
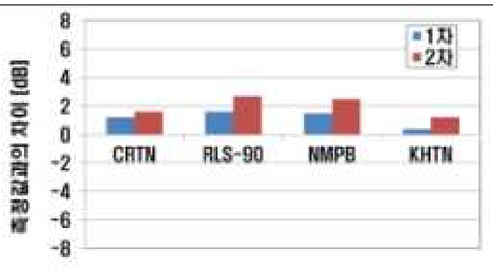
지 점	해석결과 비교	측정값에 대한 해석값 차이
이격거리 25m [도로단 기준] 지점높이 2m [도로면 기준]		
이격거리 25m [도로단 기준] 지점높이 4m [도로면 기준]		
이격거리 25m [도로단 기준] 지점높이 6m [도로면 기준]		
이격거리 50m [도로단 기준] 지점높이 2m [도로면 기준]		
이격거리 50m [도로단 기준] 지점높이 4m [도로면 기준]		
이격거리 50m [도로단 기준] 지점높이 6m [도로면 기준]		

표 3.30 [현장-15] 소음해석 결과 비교(SoundPLAN)

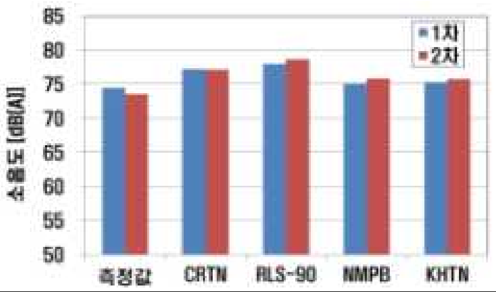
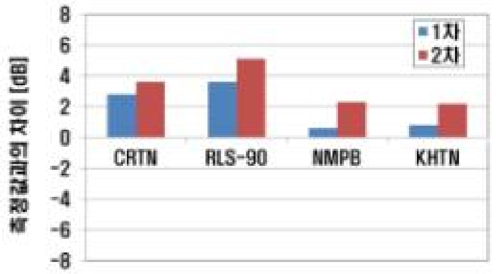
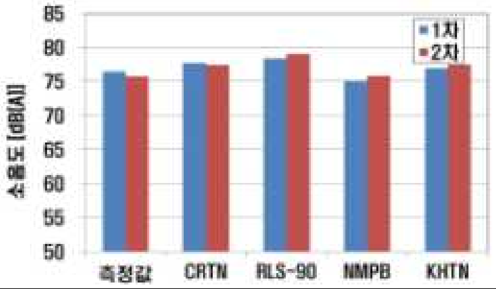
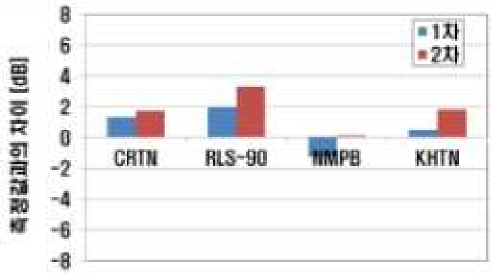
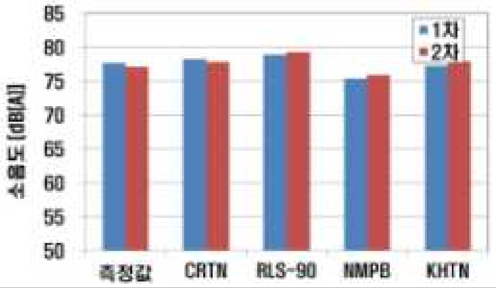
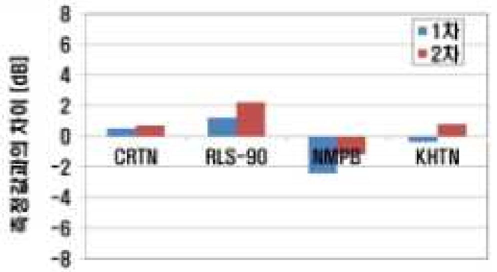
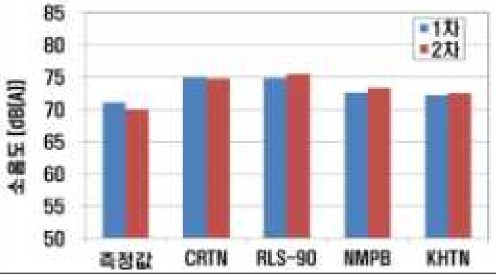
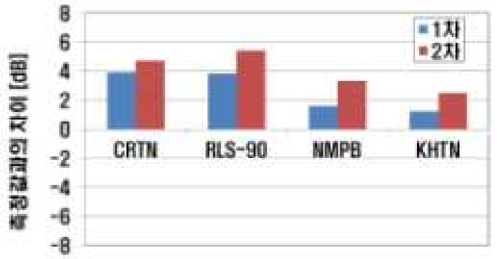
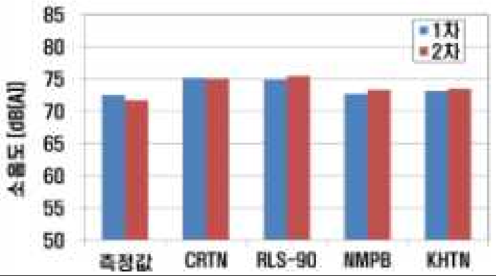
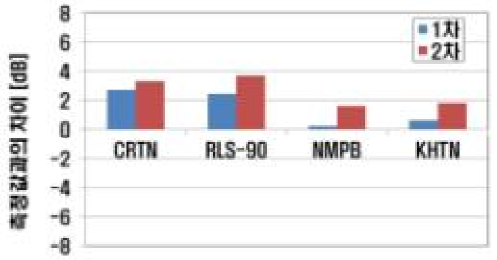
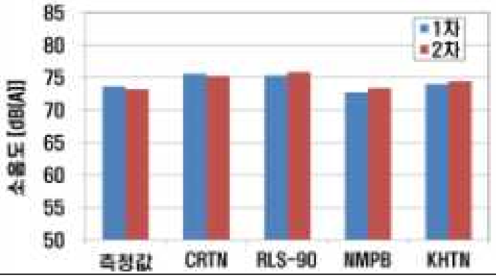
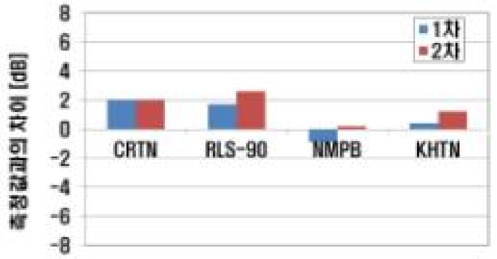
지 점	해석결과 비교	측정값에 대한 해석값 차이
이격거리 25m [도로단 기준] 지점높이 2m [도로면 기준]		
이격거리 25m [도로단 기준] 지점높이 4m [도로면 기준]		
이격거리 25m [도로단 기준] 지점높이 6m [도로면 기준]		
이격거리 50m [도로단 기준] 지점높이 2m [도로면 기준]		
이격거리 50m [도로단 기준] 지점높이 4m [도로면 기준]		
이격거리 50m [도로단 기준] 지점높이 6m [도로면 기준]		

표 3.31 [현장-16] 소음해석 결과 비교(CadnaA)

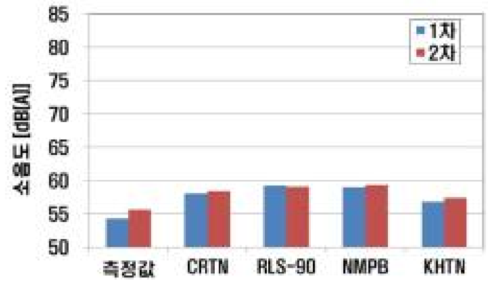
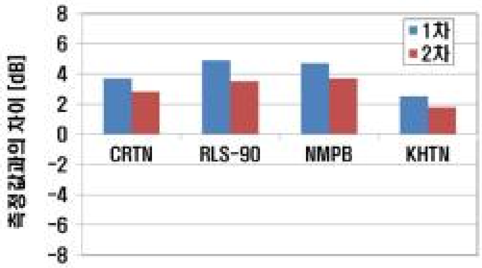
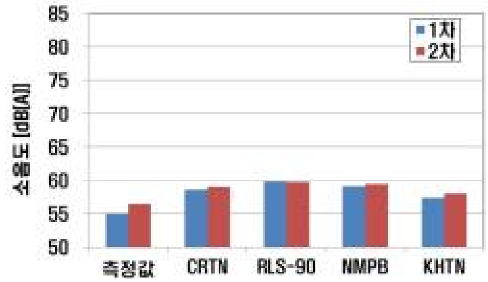
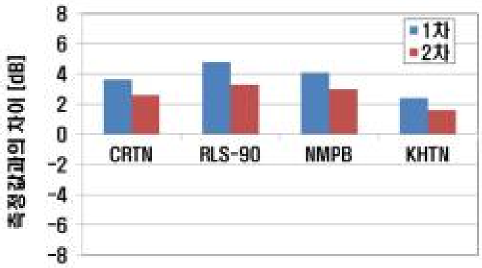
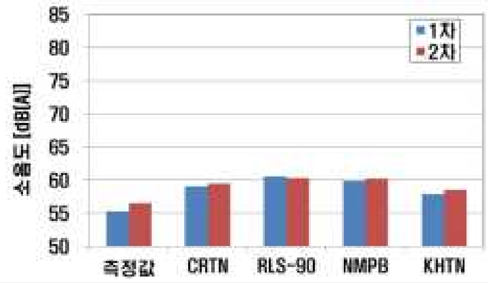
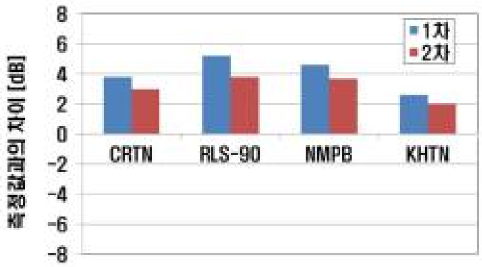
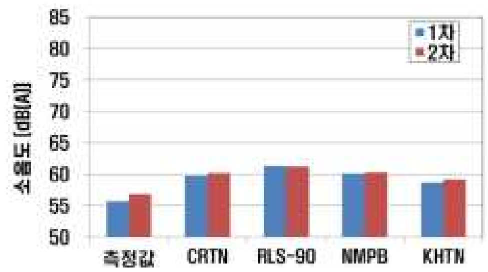
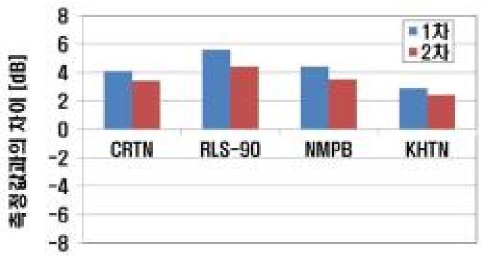
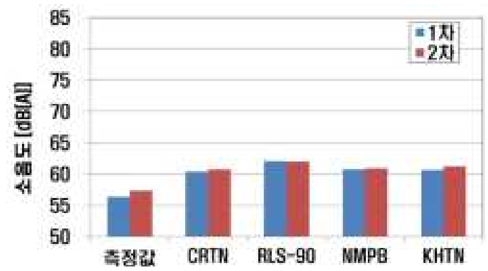
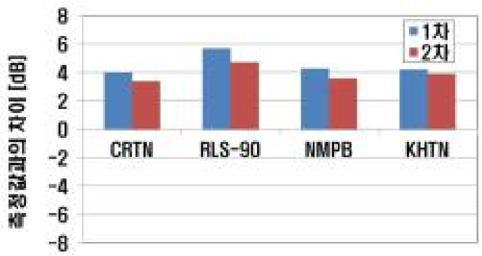
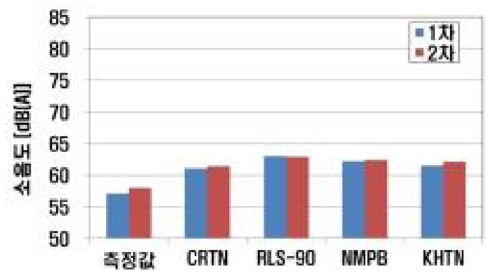
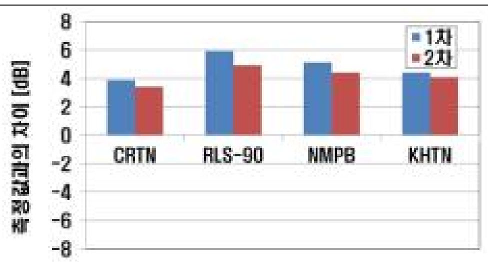
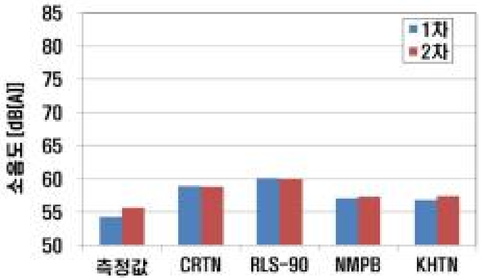
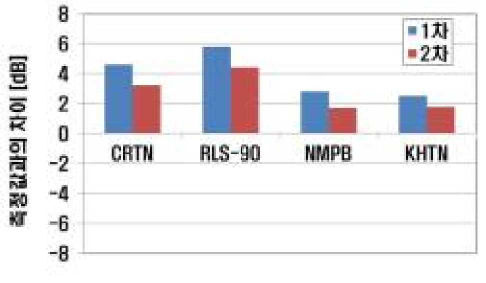
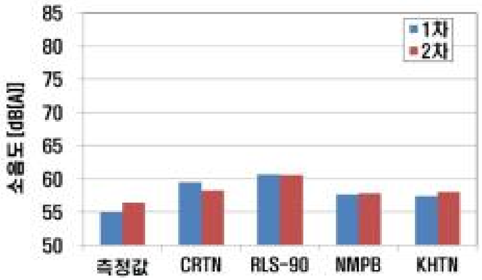
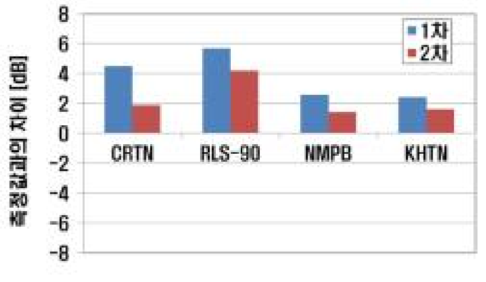
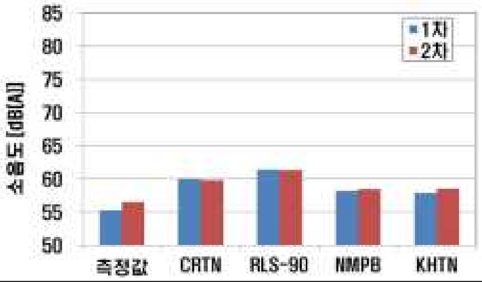
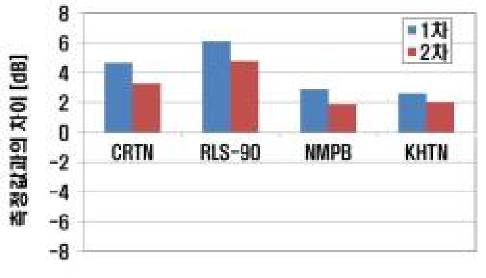
지 점	해석결과 비교	측정값에 대한 해석값 차이
이격거리 25m [도로단 기준] 지점높이 -5m [도로면 기준]		
이격거리 25m [도로단 기준] 지점높이 -4m [도로면 기준]		
이격거리 25m [도로단 기준] 지점높이 -3m [도로면 기준]		
이격거리 25m [도로단 기준] 지점높이 -2m [도로면 기준]		
이격거리 25m [도로단 기준] 지점높이 -1m [도로면 기준]		
이격거리 25m [도로단 기준] 지점높이 0m [도로면 기준]		

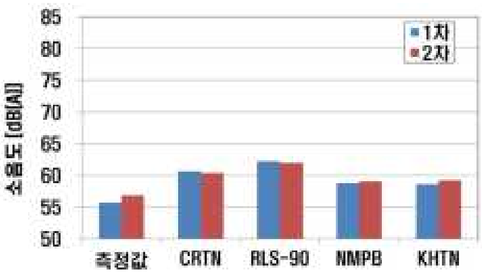
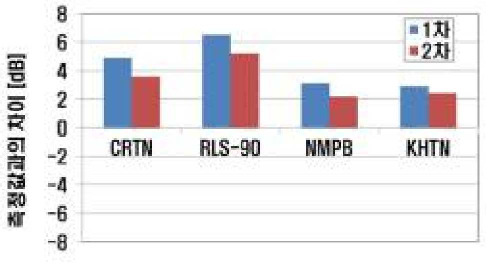
표 3.32 [현장-16] 소음해석 결과 비교(SoundPLAN)

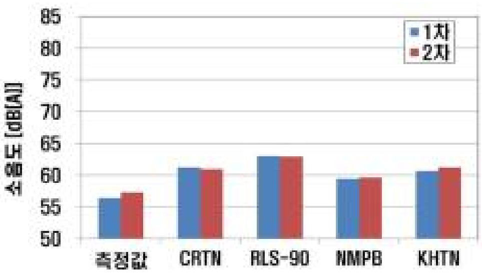
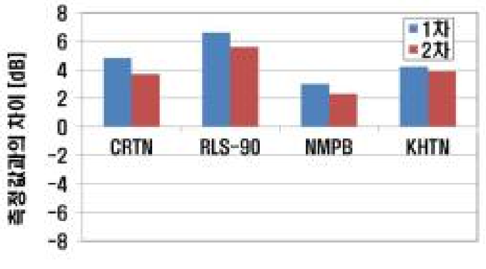
<table>
<tr><th>지 점</th><th>해석결과 비교</th><th>측정값에 대한 해석값 차이</th></tr>
<tr><td>이격거리
25m
[도로단 기준]

지점높이
-5m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>이격거리
25m
[도로단 기준]

지점높이
-4m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>이격거리
25m
[도로단 기준]

지점높이
-3m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>이격거리
25m
[도로단 기준]

지점높이
-2m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>이격거리
25m
[도로단 기준]

지점높이
-1m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>이격거리
25m
[도로단 기준]

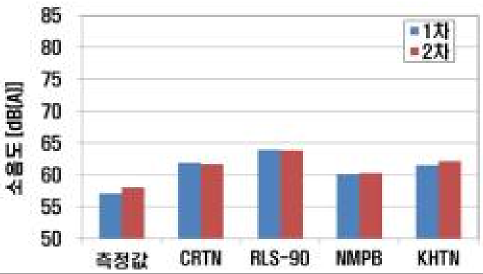
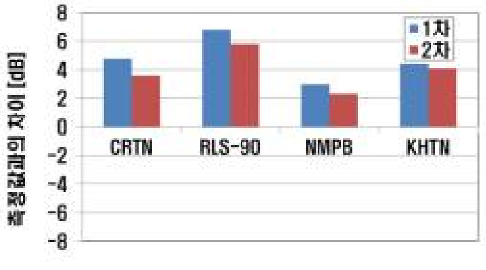
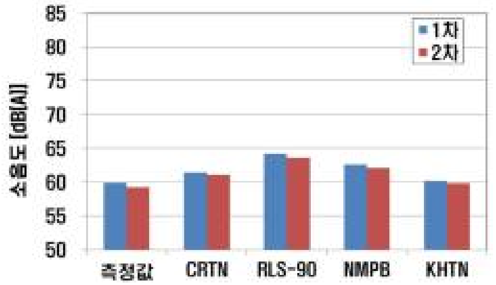
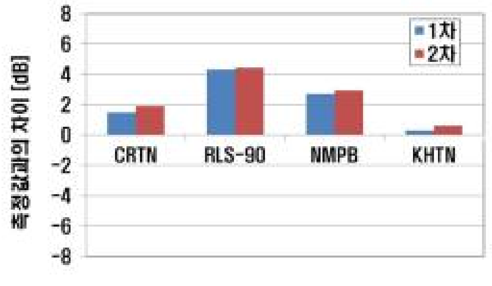
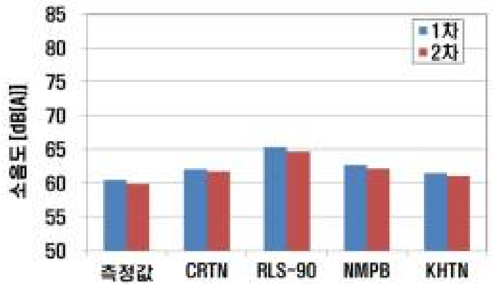
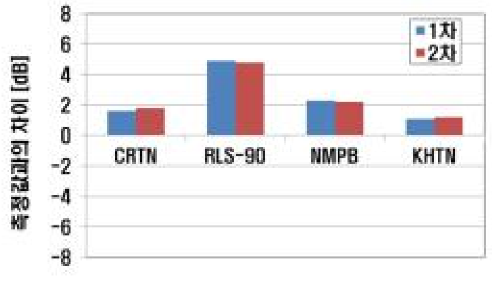
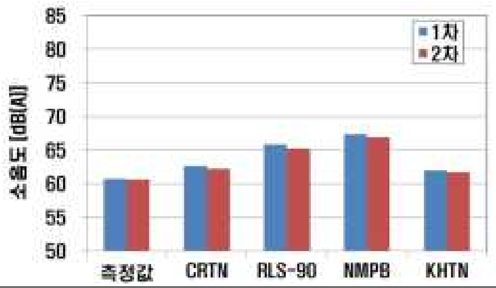
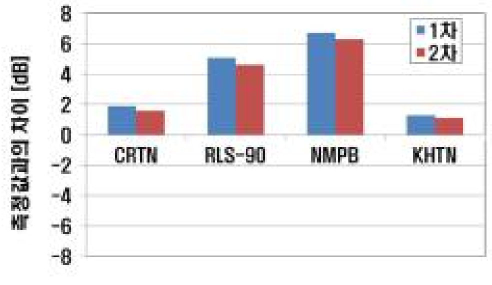
지점높이
0m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
</table>

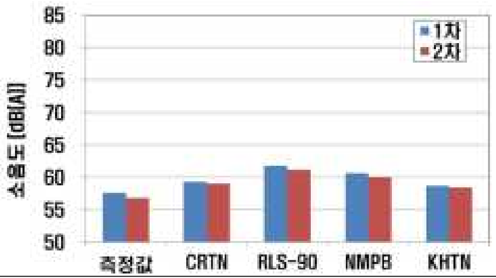
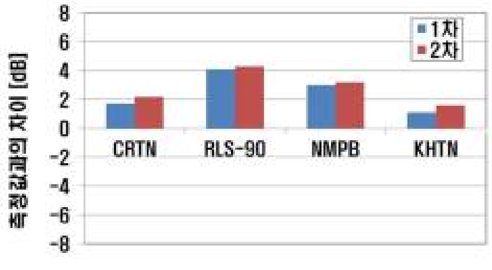
표 3.33 [현장-17] 소음해석 결과 비교(CadnaA)

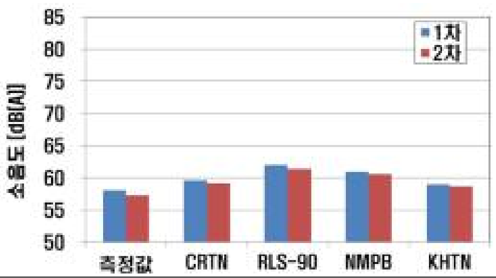
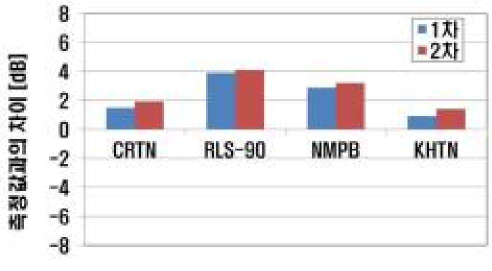
<table>
<tr><th>지 점</th><th>해석결과 비교</th><th>측정값에 대한 해석값 차이</th></tr>
<tr><td>이격거리
100m
[도로단 기준]

지점높이
-5m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>이격거리
100m
[도로단 기준]

지점높이
-3m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>이격거리
100m
[도로단 기준]

지점높이
-1m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>이격거리
180m
[도로단 기준]

지점높이
-5m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>이격거리
180m
[도로단 기준]

지점높이
-3m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>이격거리
180m
[도로단 기준]

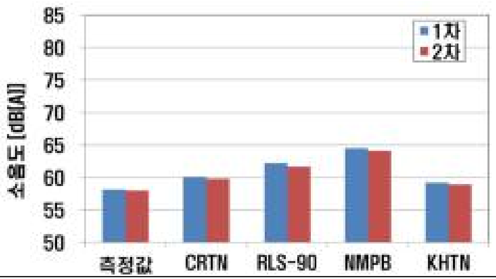
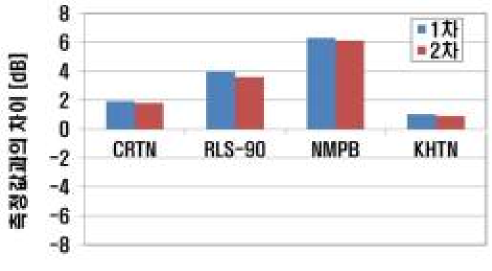
지점높이
-1m
[도로면 기준]</td><td>
</td><td>
</td></tr>
</table>

표 3.34 [현장-17] 소음해석 결과 비교(SoundPLAN)

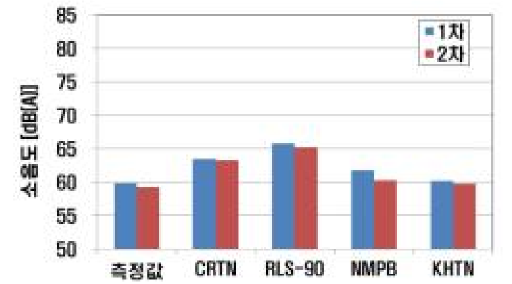
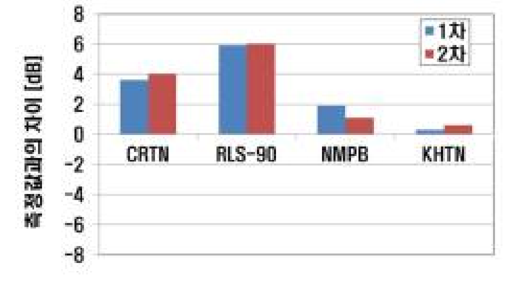
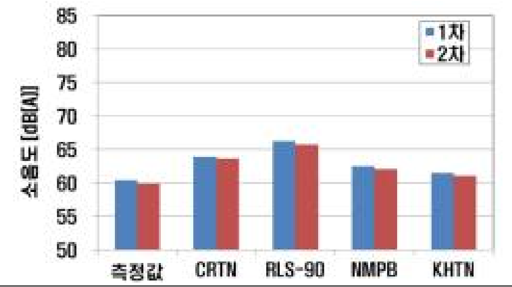
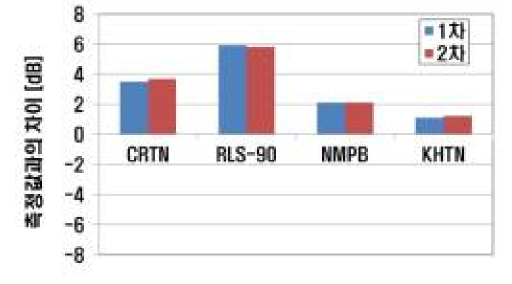
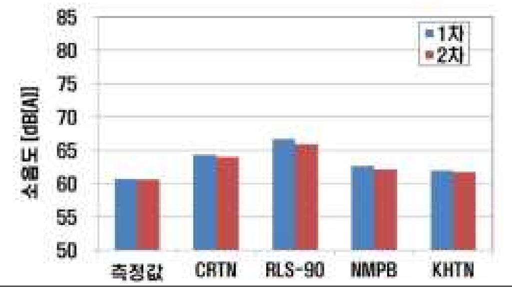
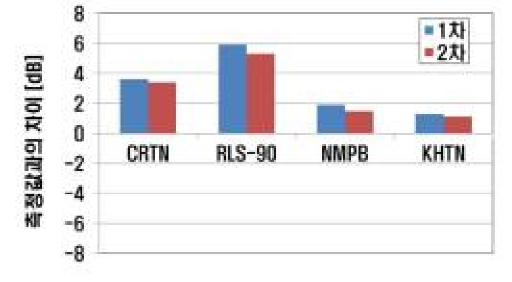
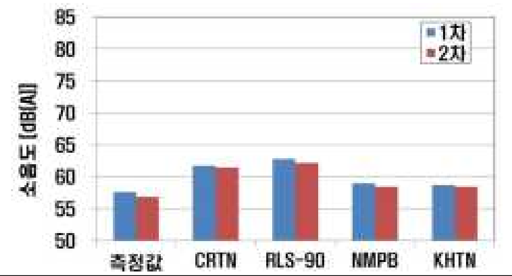
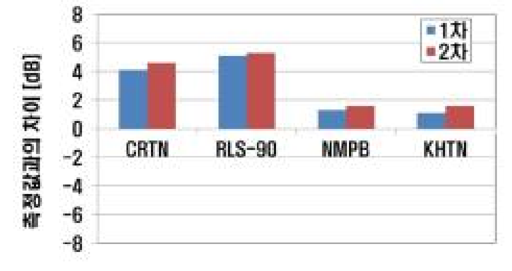
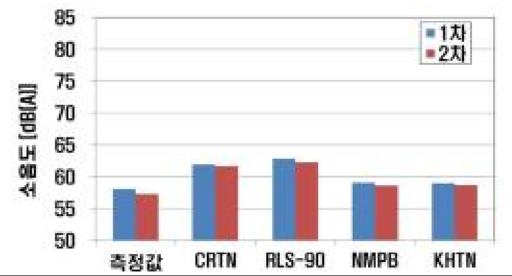
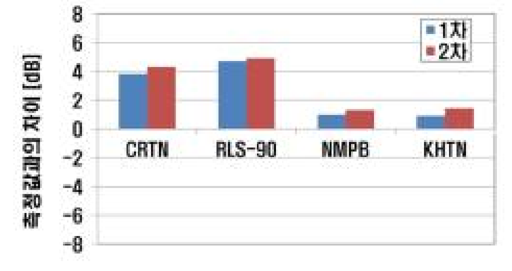
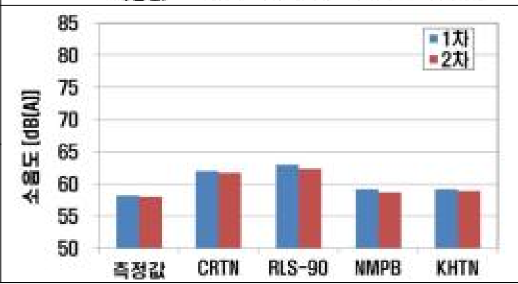
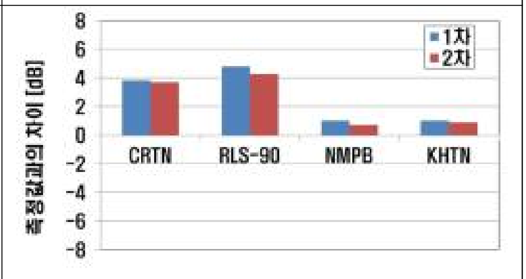
지 점	해석결과 비교	측정값에 대한 해석값 차이
이격거리 100m [도로단 기준] 지점높이 -5m [도로면 기준]		
이격거리 100m [도로단 기준] 지점높이 -3m [도로면 기준]		
이격거리 100m [도로단 기준] 지점높이 -1m [도로면 기준]		
이격거리 180m [도로단 기준] 지점높이 -5m [도로면 기준]		
이격거리 180m [도로단 기준] 지점높이 -3m [도로면 기준]		
이격거리 180m [도로단 기준] 지점높이 -1m [도로면 기준]		

표 3.35 [현장-18] 소음해석 결과 비교(CadnaA)

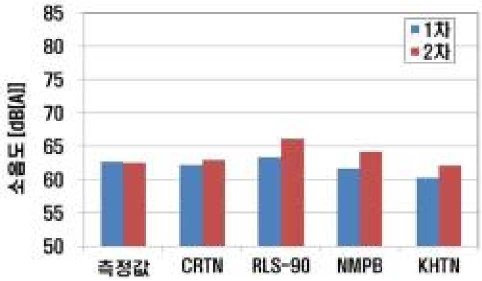
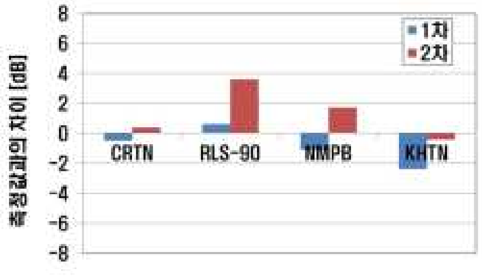
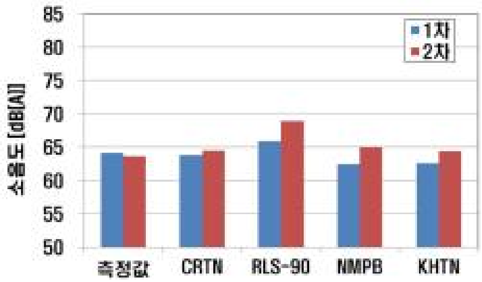
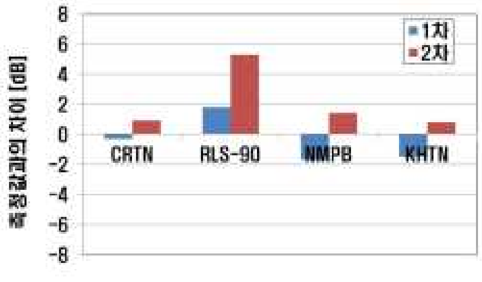
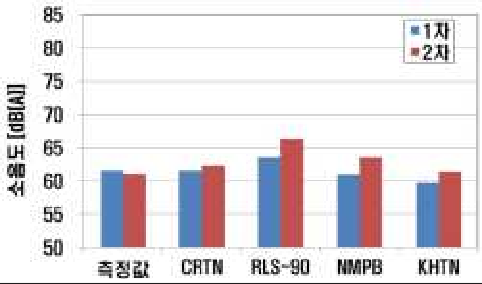
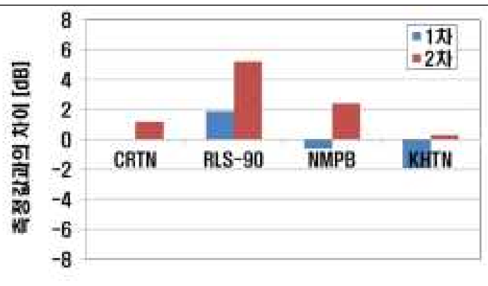
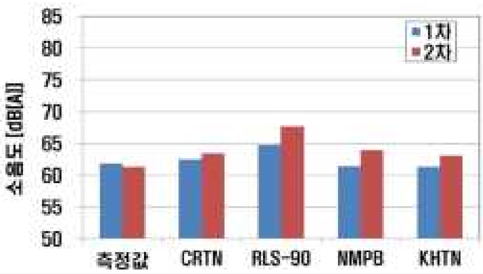
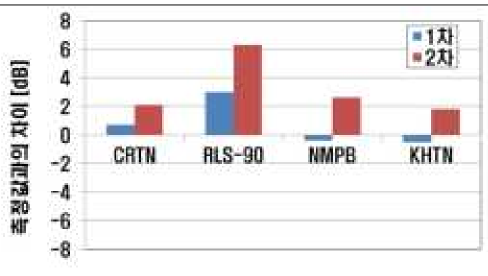
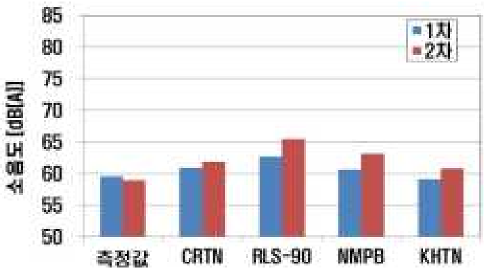
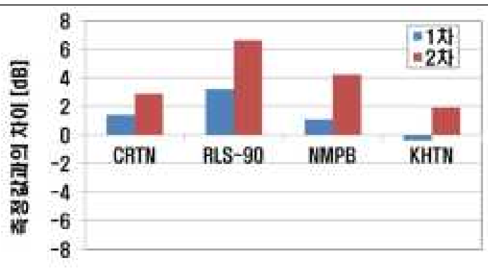
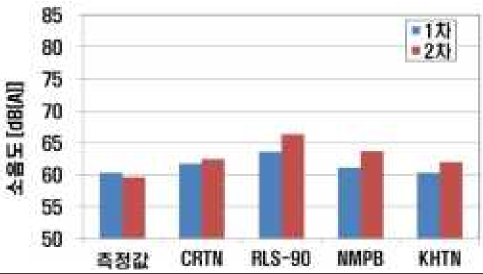
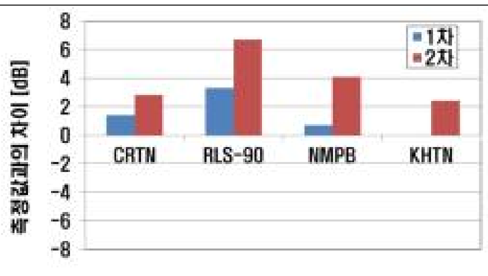
지 점	해석결과 비교	측정값에 대한 해석값 차이
이격거리 25m [도로단 기준] 지점높이 -3m [도로면 기준]		
이격거리 25m [도로단 기준] 지점높이 -1m [도로면 기준]		
이격거리 50m [도로단 기준] 지점높이 -3m [도로면 기준]		
이격거리 50m [도로단 기준] 지점높이 -1m [도로면 기준]		
이격거리 75m [도로단 기준] 지점높이 -3m [도로면 기준]		
이격거리 75m [도로단 기준] 지점높이 -1m [도로면 기준]		

표 3.36 [현장-18] 소음해석 결과 비교(SoundPLAN)

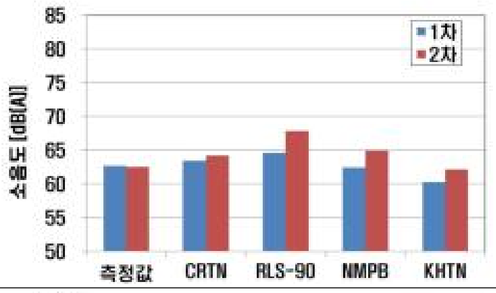
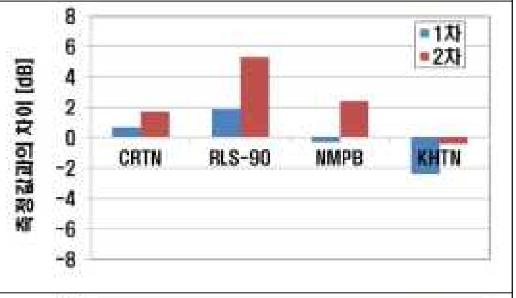
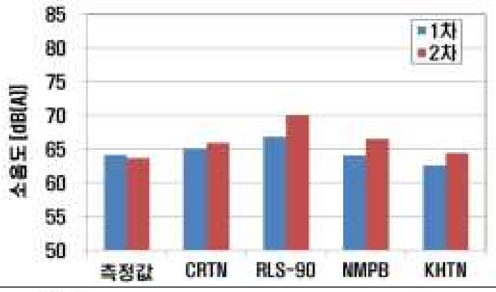
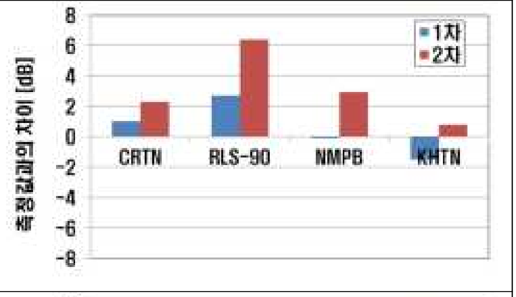
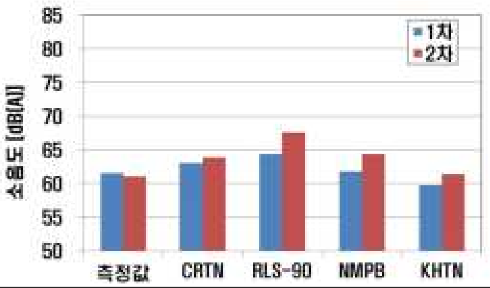
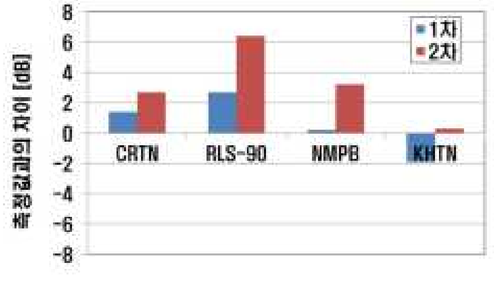
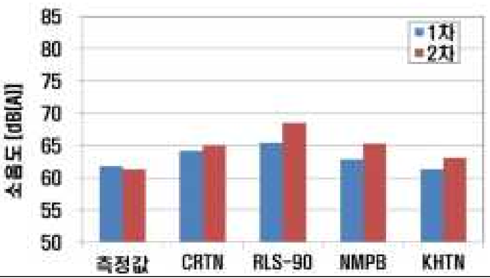
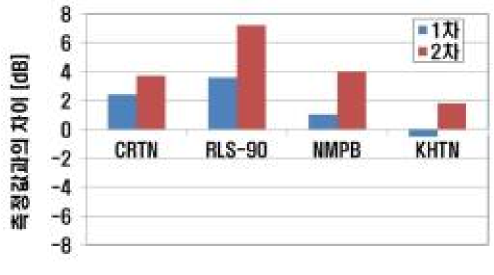
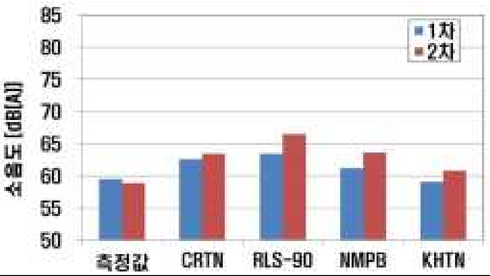
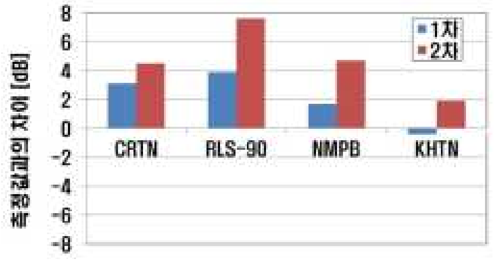
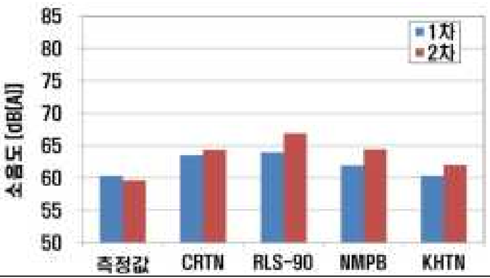
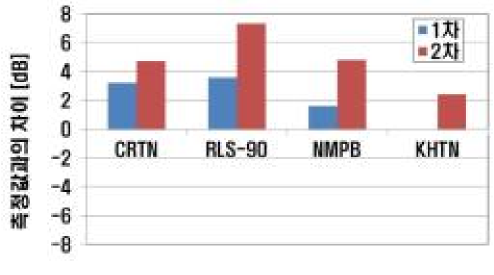
지 점	해석결과 비교	측정값에 대한 해석값 차이
이격거리 25m [도로단 기준] 지점높이 -3m [도로면 기준]		
이격거리 25m [도로단 기준] 지점높이 -1m [도로면 기준]		
이격거리 50m [도로단 기준] 지점높이 -3m [도로면 기준]		
이격거리 50m [도로단 기준] 지점높이 -1m [도로면 기준]		
이격거리 75m [도로단 기준] 지점높이 -3m [도로면 기준]		
이격거리 75m [도로단 기준] 지점높이 -1m [도로면 기준]		

표 3.37 [현장-19] 소음해석 결과 비교(CadnaA)

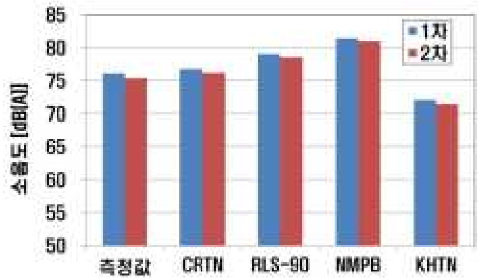
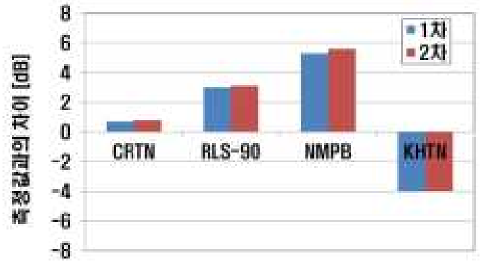
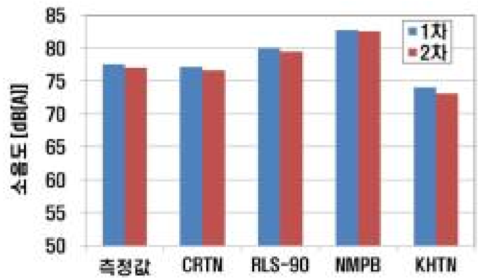
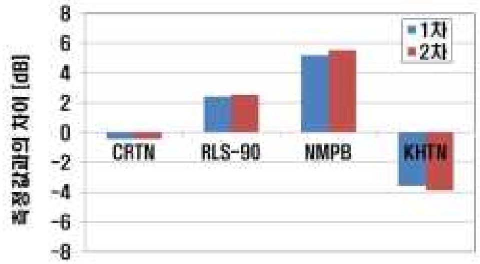
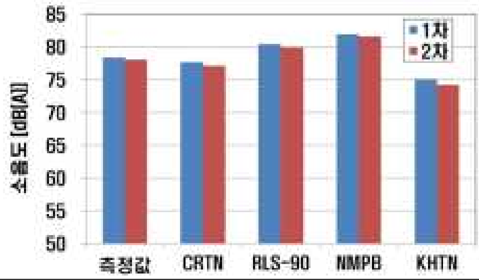
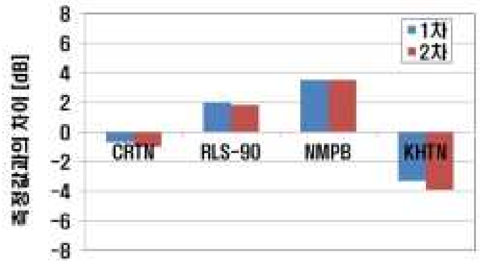
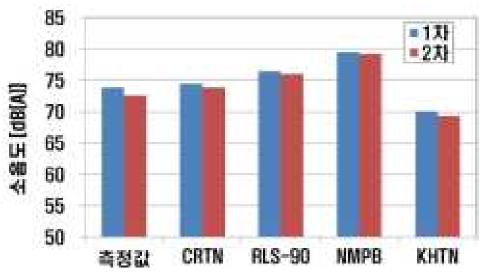
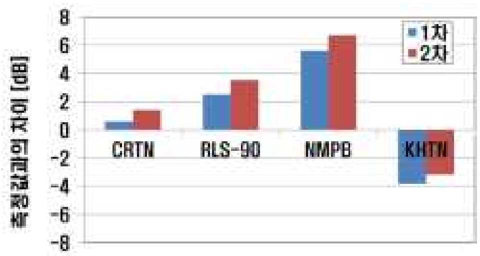
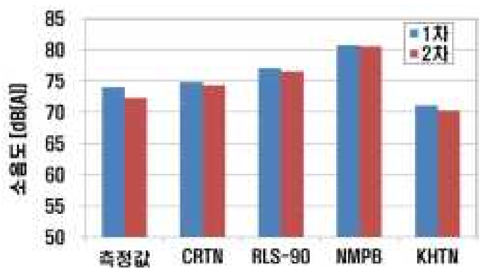
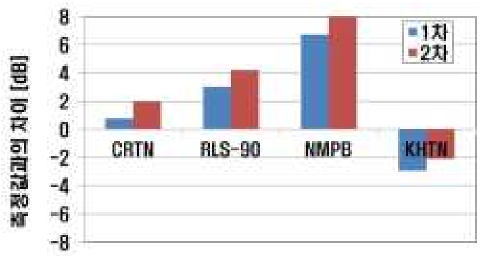
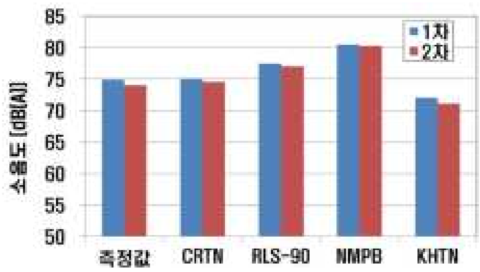
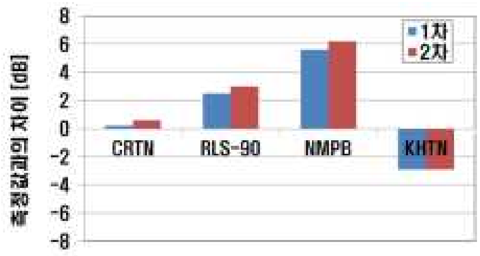
지 점	해석결과 비교	측정값에 대한 해석값 차이
이격거리 25m [도로단 기준] 지점높이 2m [도로면 기준]		
이격거리 25m [도로단 기준] 지점높이 4m [도로면 기준]		
이격거리 25m [도로단 기준] 지점높이 6m [도로면 기준]		
이격거리 50m [도로단 기준] 지점높이 2m [도로면 기준]		
이격거리 50m [도로단 기준] 지점높이 4m [도로면 기준]		
이격거리 50m [도로단 기준] 지점높이 6m [도로면 기준]		

표 3.38 [현장-19] 소음해석 결과 비교(SoundPLAN)

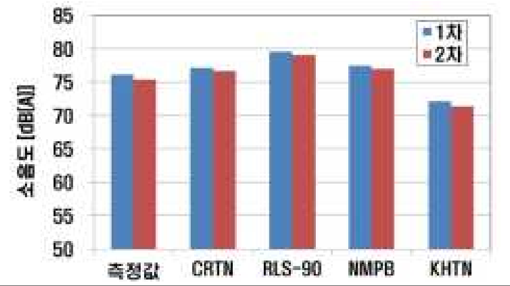
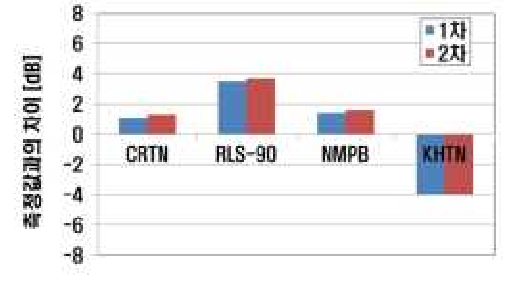
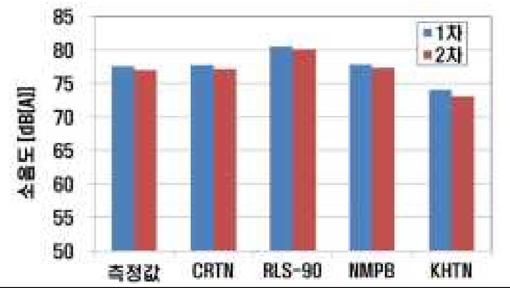
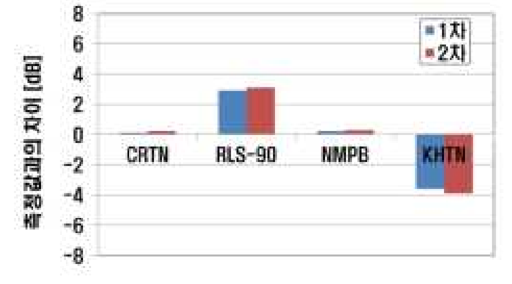
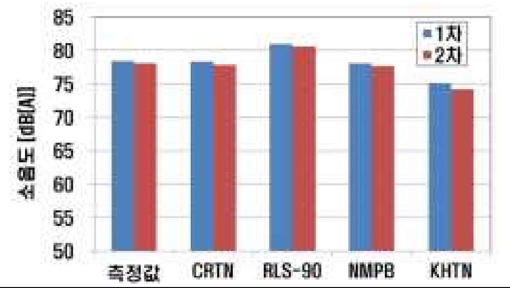
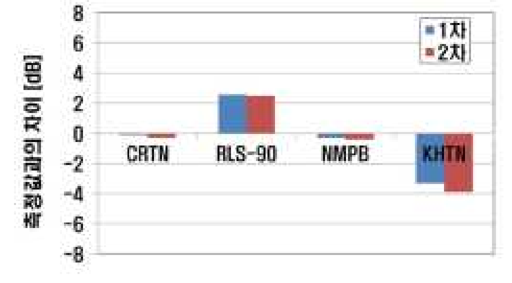
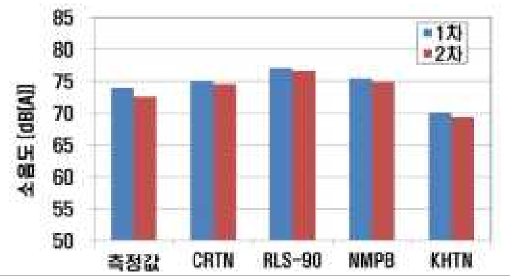
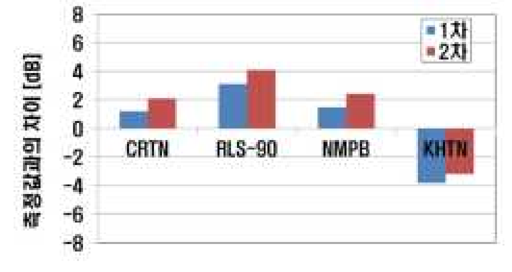
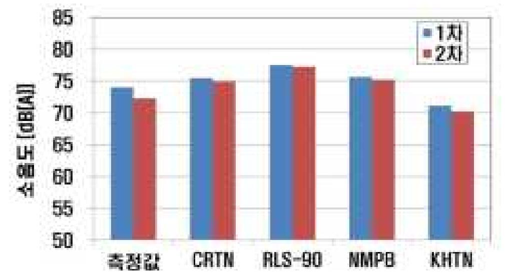
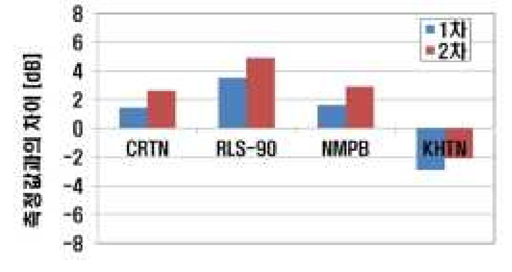
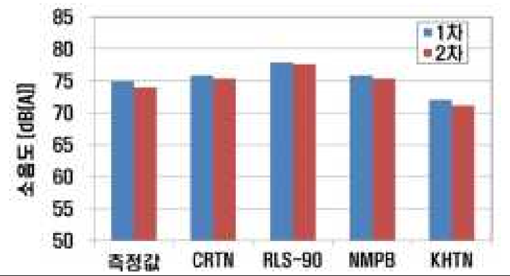
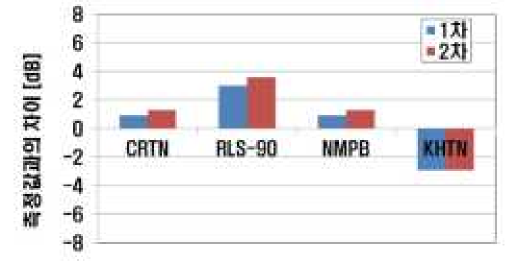
지 점	해석결과 비교	측정값에 대한 해석값 차이
이격거리 25m [도로단 기준] 지점높이 2m [도로면 기준]		
이격거리 25m [도로단 기준] 지점높이 4m [도로면 기준]		
이격거리 25m [도로단 기준] 지점높이 6m [도로면 기준]		
이격거리 50m [도로단 기준] 지점높이 2m [도로면 기준]		
이격거리 50m [도로단 기준] 지점높이 4m [도로면 기준]		
이격거리 50m [도로단 기준] 지점높이 6m [도로면 기준]		

표 3.39 [현장-20] 소음해석 결과 비교(CadnaA)

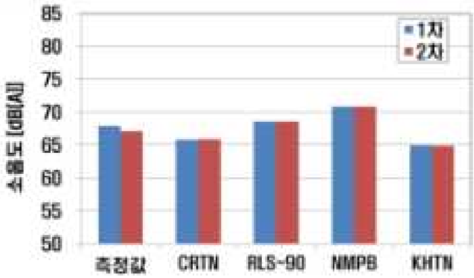
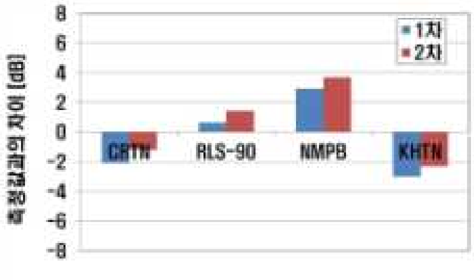
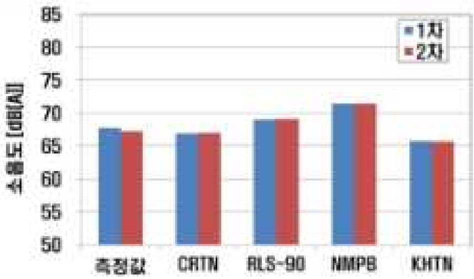
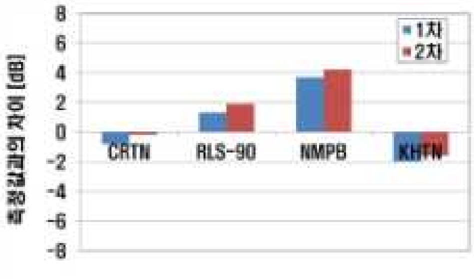
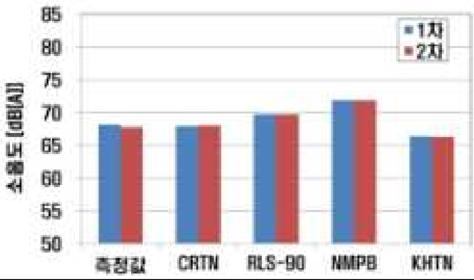
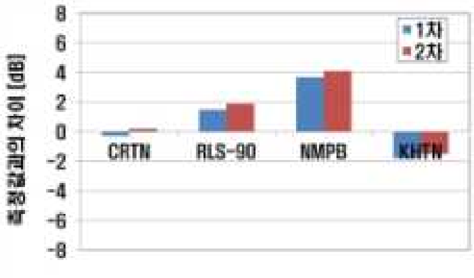
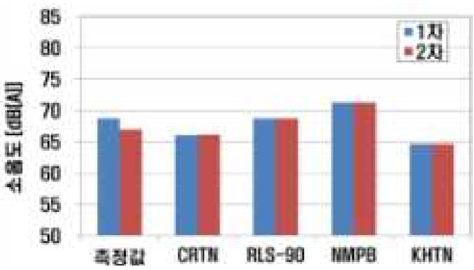
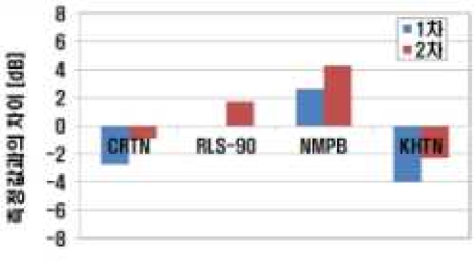
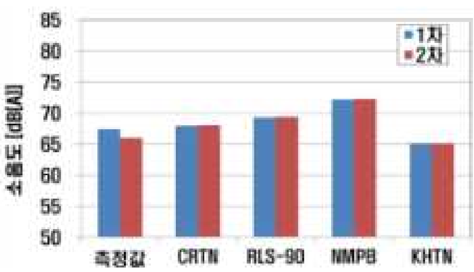
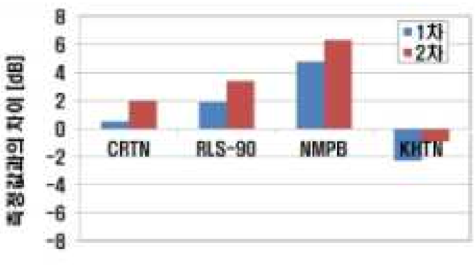
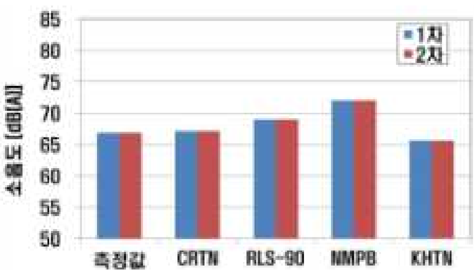
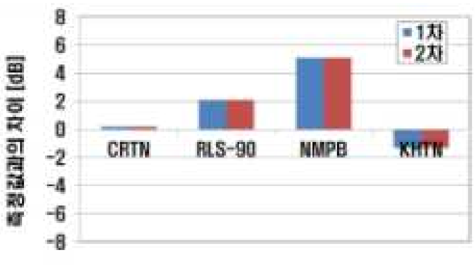
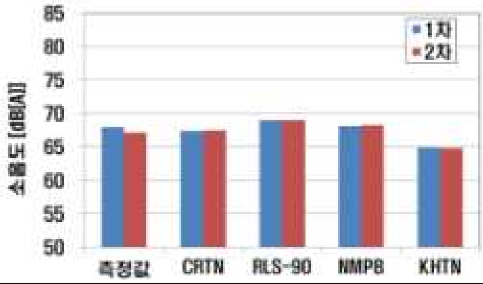
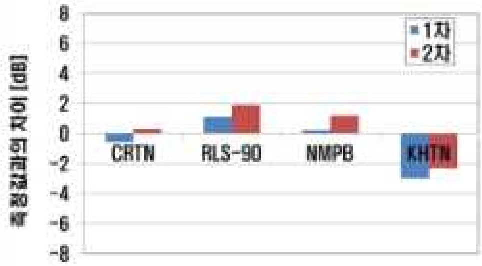
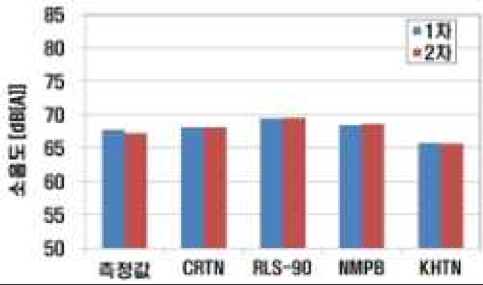
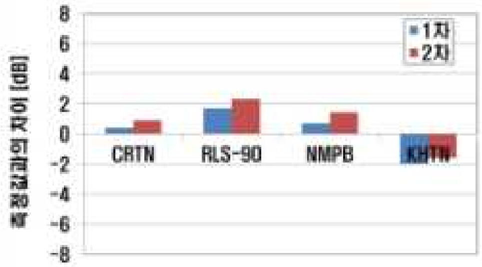
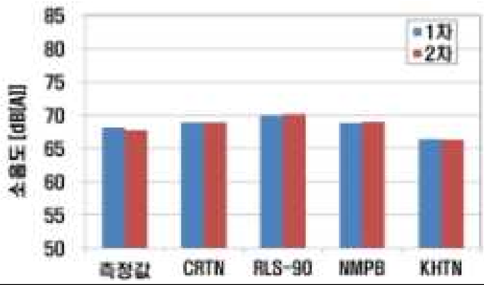
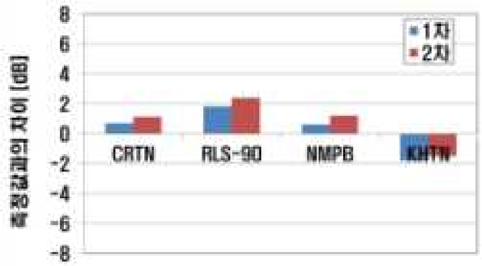
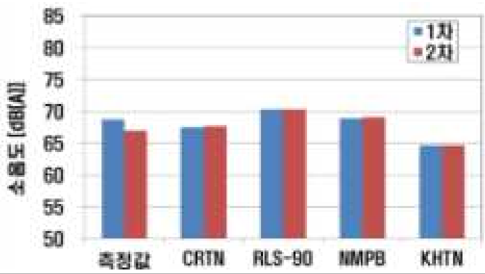
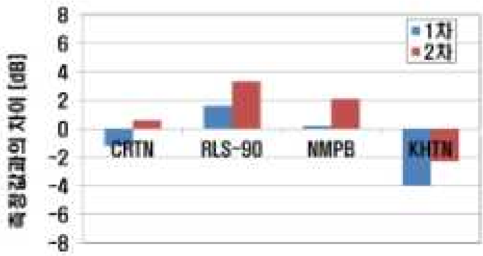
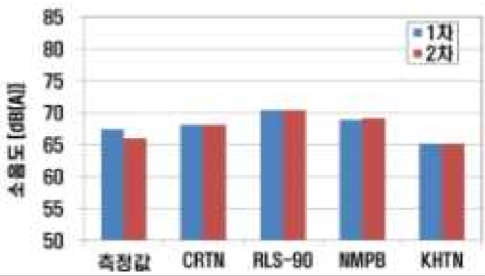
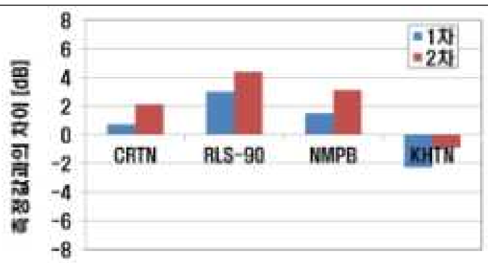
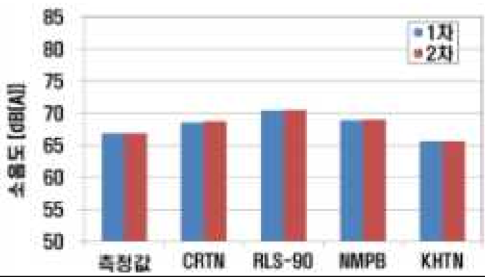
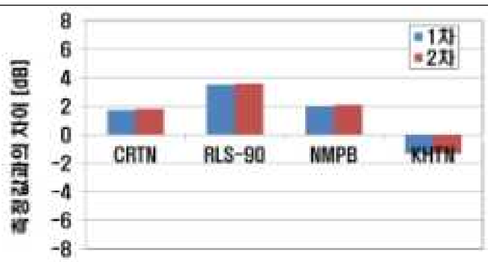
<table>
<tr><th>지 점</th><th>해석결과 비교</th><th>측정값에 대한 해석값 차이</th></tr>
<tr><td>이격거리
20m
[도로단 기준]</td><td rowspan="2">
</td><td rowspan="2">
</td></tr>
<tr><td>지점높이
-1m
[도로면 기준]</td></tr>
<tr><td>이격거리
20m
[도로단 기준]</td><td rowspan="2">
</td><td rowspan="2">
</td></tr>
<tr><td>지점높이
0m
[도로면 기준]</td></tr>
<tr><td>이격거리
20m
[도로단 기준]</td><td rowspan="2">
</td><td rowspan="2">
</td></tr>
<tr><td>지점높이
1m
[도로면 기준]</td></tr>
<tr><td>이격거리
40m
[도로단 기준]</td><td rowspan="2">
</td><td rowspan="2">
</td></tr>
<tr><td>지점높이
-1m
[도로면 기준]</td></tr>
<tr><td>이격거리
40m
[도로단 기준]</td><td rowspan="2">
</td><td rowspan="2">
</td></tr>
<tr><td>지점높이
0m
[도로면 기준]</td></tr>
<tr><td>이격거리
40m
[도로단 기준]</td><td rowspan="2">
</td><td rowspan="2">
</td></tr>
<tr><td>지점높이
1m
[도로면 기준]</td></tr>
</table>

표 3.40 [현장-20] 소음해석 결과 비교(SoundPLAN)

<table>
<tr><th>지 점</th><th>해석결과 비교</th><th>측정값에 대한 해석값 차이</th></tr>
<tr><td>이격거리
20m
[도로단 기준]</td><td rowspan="2">
</td><td rowspan="2">
</td></tr>
<tr><td>지점높이
-1m
[도로면 기준]</td></tr>
<tr><td>이격거리
20m
[도로단 기준]</td><td rowspan="2">
</td><td rowspan="2">
</td></tr>
<tr><td>지점높이
0m
[도로면 기준]</td></tr>
<tr><td>이격거리
20m
[도로단 기준]</td><td rowspan="2">
</td><td rowspan="2">
</td></tr>
<tr><td>지점높이
1m
[도로면 기준]</td></tr>
<tr><td>이격거리
40m
[도로단 기준]</td><td rowspan="2">
</td><td rowspan="2">
</td></tr>
<tr><td>지점높이
-1m
[도로면 기준]</td></tr>
<tr><td>이격거리
40m
[도로단 기준]</td><td rowspan="2">
</td><td rowspan="2">
</td></tr>
<tr><td>지점높이
0m
[도로면 기준]</td></tr>
<tr><td>이격거리
40m
[도로단 기준]</td><td rowspan="2">
</td><td rowspan="2">
</td></tr>
<tr><td>지점높이
1m
[도로면 기준]</td></tr>
</table>

제 4 장 3D 해석모델 오차분석

4.1 주요 연구내용

○ 현장측정 및 해석결과 비교 분석에 따른 해석모델 특징 분석
- 해석모델(RLS-90, NMPB, CRTN, KHTN) 특징 분석
- 상용 프로그램(SoundPLAN, CadnaA) 특징 분석

○ 현장측정 및 해석결과 비교 정리
- 측정 및 해석결과 분석
- 모델(RLS-90, NMPB, CRTN, KHTN) 해석에 의한 결과 정리

4.2 해석모델 정확도 분석

4.2.1 방음벽현장 분석

전체 20개 측정현장 중 방음벽이 설치된 3개 현장에 대해 해석모델별 오차를 분석하였다. 1개 현장에서 6개 지점에 대해 4시간 이상의 시간 간격을 두고 2회 측정하였고 총 36개 측정값을 KHTN, RLS, CRTN, NMPB 모델에 의한 해석값과 비교하여 해석모델의 오차를 분석하여 표 4.1 및 그림 4.1과 4.2에 나타내었으며, 표 4.2 및 그림 4.3에 해석모델별 오차의 분포 범위를 나타내었다.

표 4.1 방음벽현장에 대한 해석모델별 정확도(±3dB 기준) 분석

예측모델	KHTN model-2007	RLS-90		CRTN		NMPB-08	
		CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN
측정 데이터 수	36	36	36	36	36	36	36
+3dB 초과 데이터 수	4	13	16	10	11	21	2
-3dB 미만 데이터 수	1	0	0	7	7	11	9
±3dB 이내 데이터 수	31	23	20	19	18	4	25
±3dB 이내 정확도	**86.1%**	**63.9%**	**55.6%**	**52.8%**	**50.0%**	**11.1%**	**69.4%**

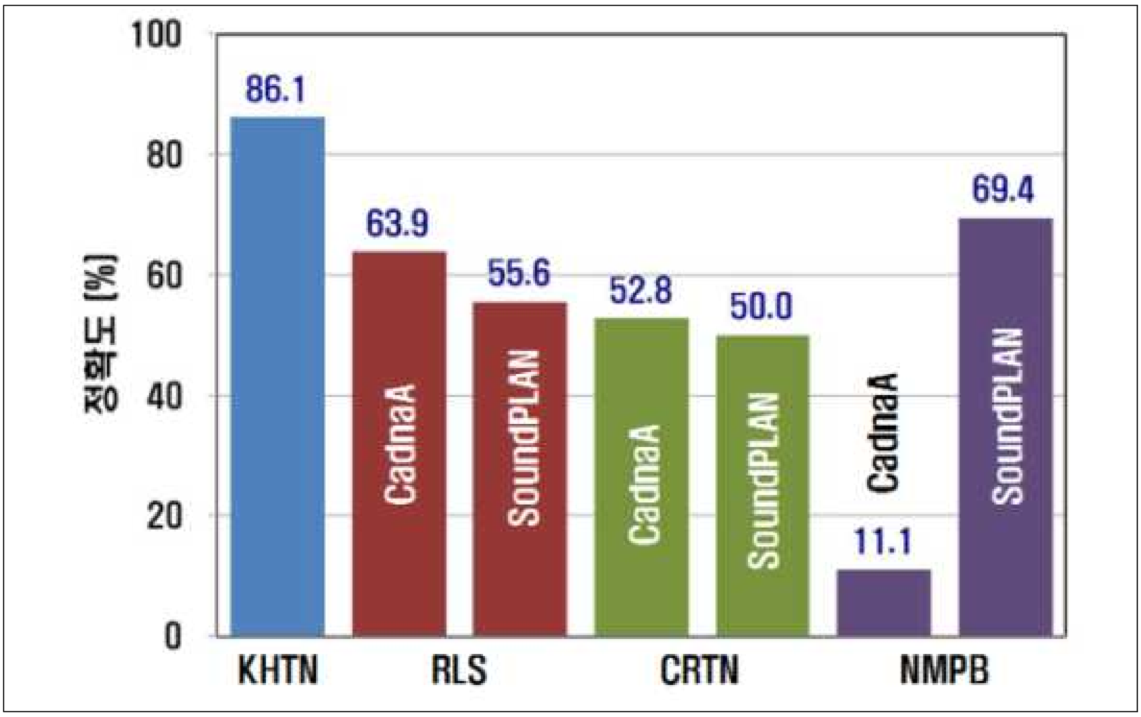


그림 4.1 방음벽현장에 대한 해석모델별 정확도(±3dB 기준)

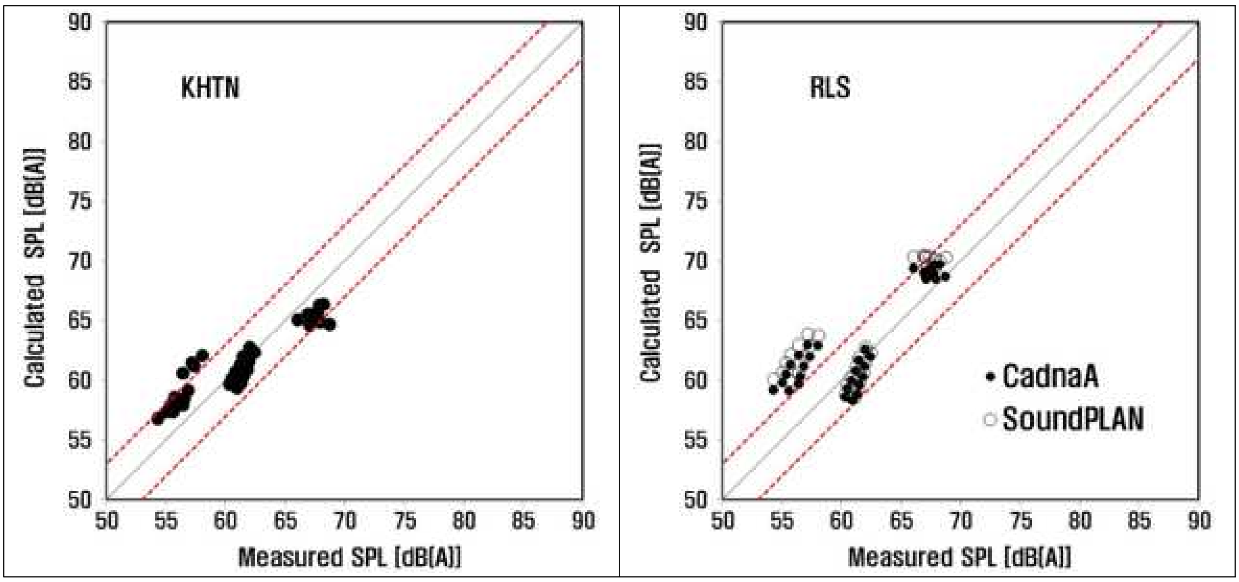


그림 4.2 방음벽현장에 대한 해석모델별 오차(±3dB 기준)분포 비교

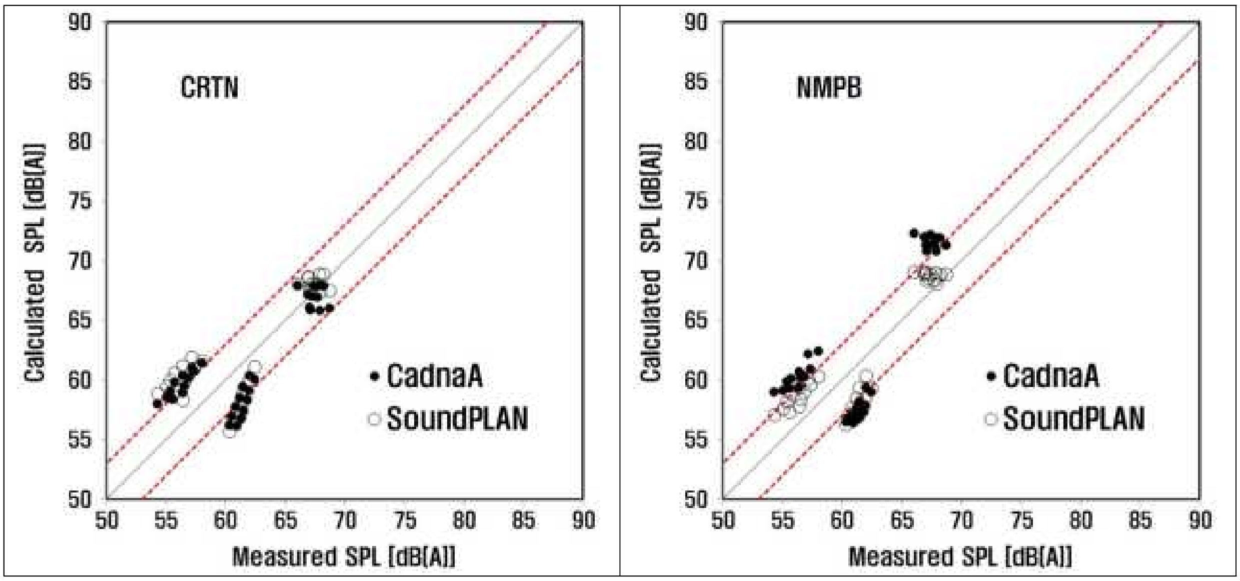


그림 4.2 방음벽현장에 대한 해석모델별 오차(±3dB 기준)분포 비교(계속)

표 4.2 방음벽현장에 대한 해석모델별 오차(±3dB 기준) 분포

예측모델	KHTN model-2007	RLS-90		CRTN		NMPB-08	
		CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN
오차 분포[dB]	-4～4.4	-2.6～5.9	-2.4～6.8	-4.8～4.1	-4.6～4.9	-4.6～6.3	-4.3～3.1

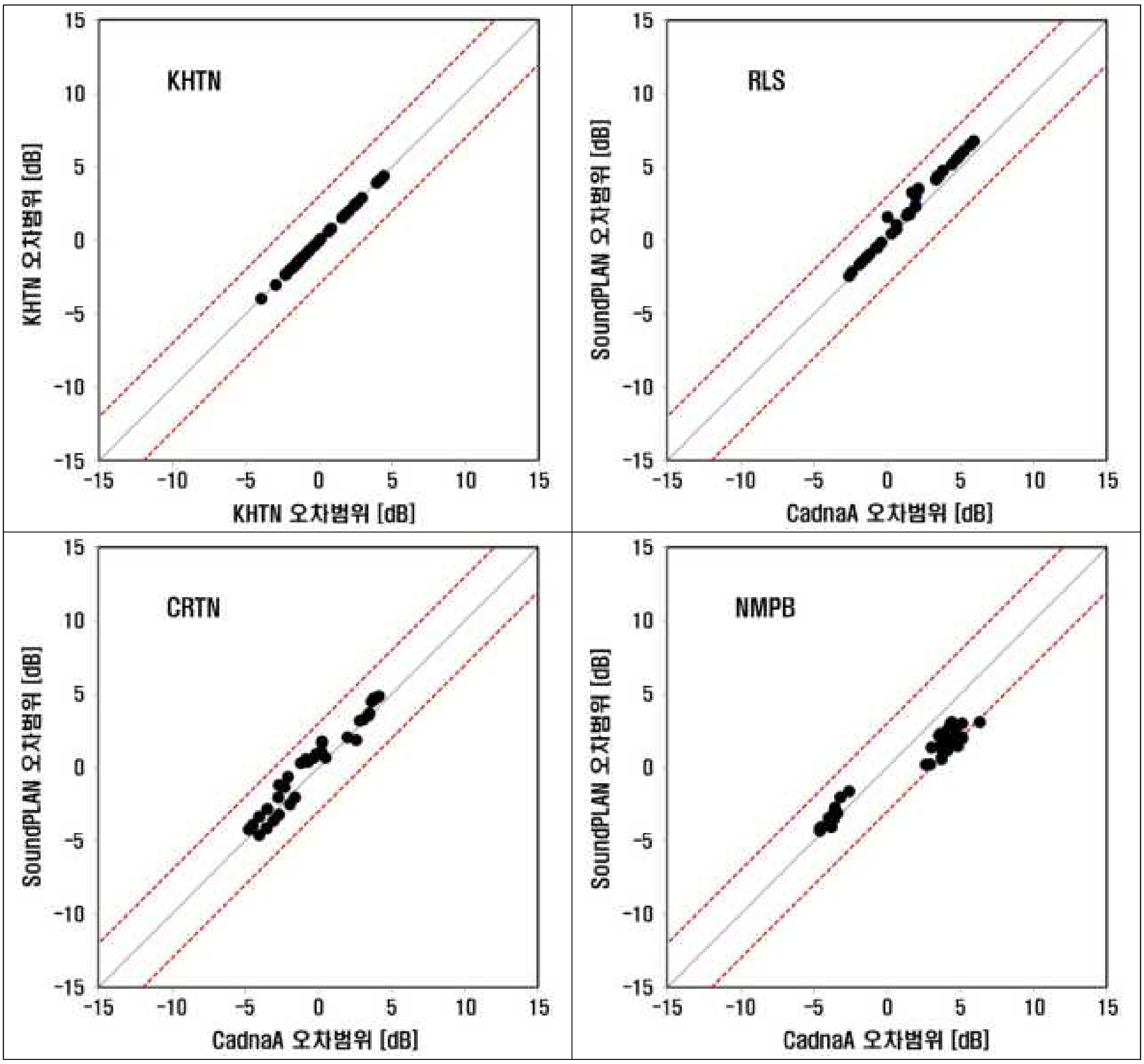


그림 4.3 방음벽현장에 대한 KHTN 및 상용 프로그램간 오차(±3dB 기준)분포 비교

4.2.2 교량현장 분석

전체 20개 측정현장 중 교량이 설치된 4개 현장에 대해 해석모델별 오차를 분석하였다. 1개 현장에서 6개 지점에 대해 4시간 이상의 시간 간격을 두고 2회 측정하였고 총 48개 측정값을 KHTN, RLS, CRTN, NMPB 모델에 의한 해석값과 비교하여 해석모델의 오차를 분석하여 표 4.3 및 그림 4.4와 4.5에 나타내었으며, 표 4.4 및 그림 4.6에 해석모델별 오차의 분포를 나타내었다.

표 4.3 교량현장에 대한 해석모델별 정확도(±3dB 기준) 분석

예측모델	KHTN model-2007	RLS-90		CRTN		NMPB-08	
		CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN
측정 데이터 수	48	48	48	48	48	48	48
+3dB 초과 데이터 수	6	32	45	7	8	2	4
-3dB 미만 데이터 수	0	0	0	0	0	12	3
±3dB 이내 데이터 수	43	16	3	41	40	34	41
±3dB 이내 정확도	**87.8%**	**33.3%**	**6.3%**	**85.4%**	**83.3%**	**70.8%**	**85.4%**

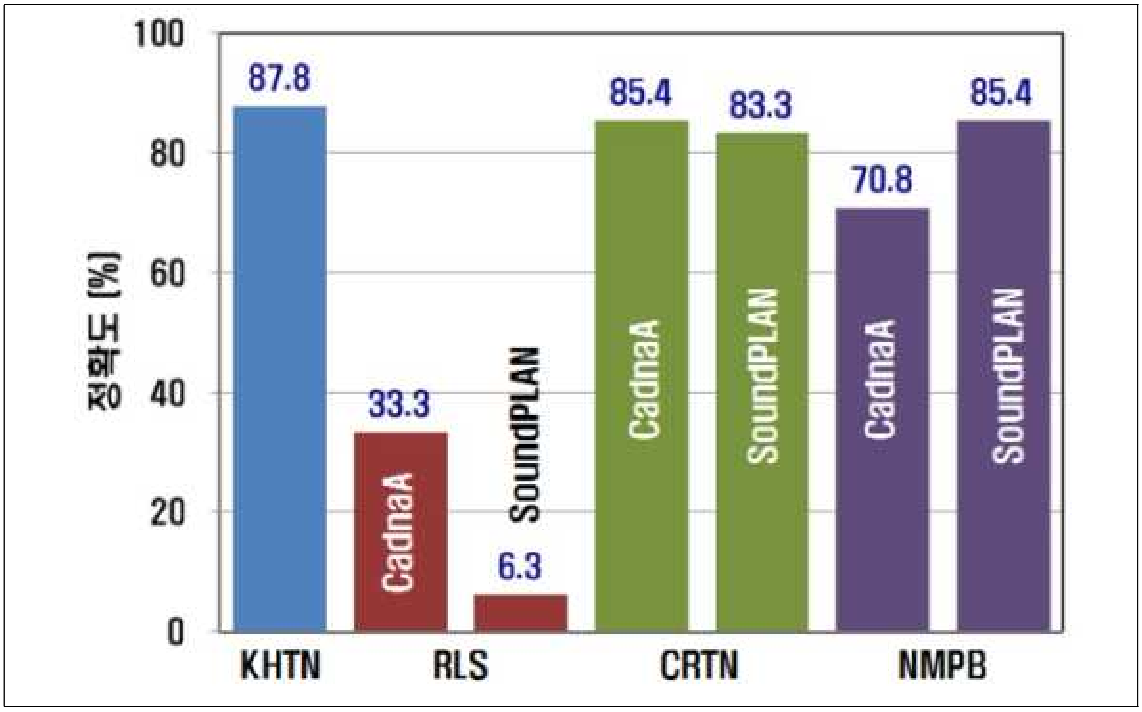


그림 4.4 교량현장에 대한 해석모델별 정확도(±3dB 기준)

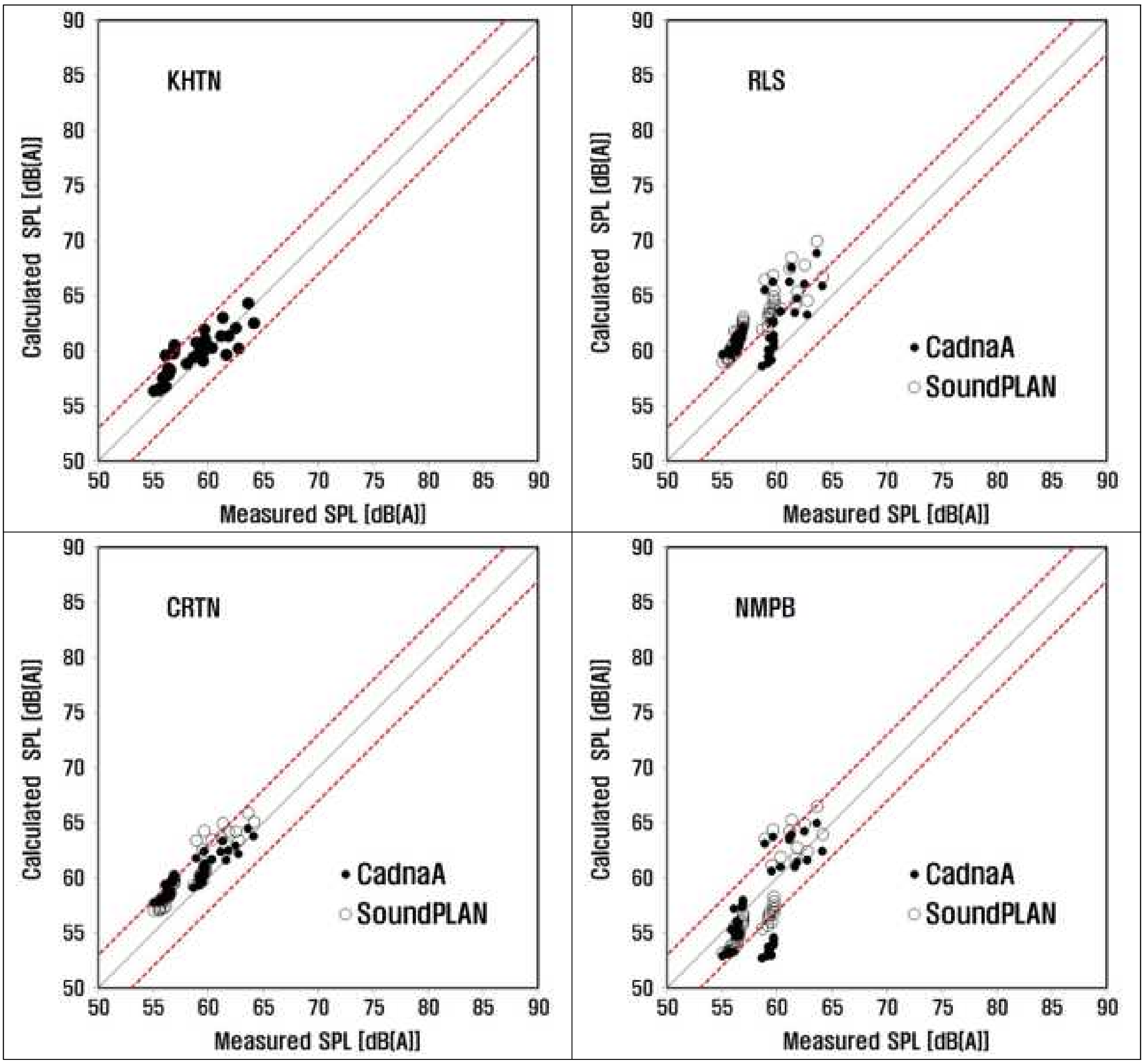


그림 4.5 교량현장에 대한 해석모델별 오차(±3dB 기준)분포 비교

표 4.4 교량현장에 대한 해석모델별 오차(±3dB 기준) 분포

예측모델	KHTN model-2007	RLS-90		CRTN		NMPB-08	
		CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN
오차 분포[dB]	-2.4~3.7	-0.3~6.7	1.9~7.6	-0.5~3.4	0.3~4.7	6.5~4.2	-3.5~4.8

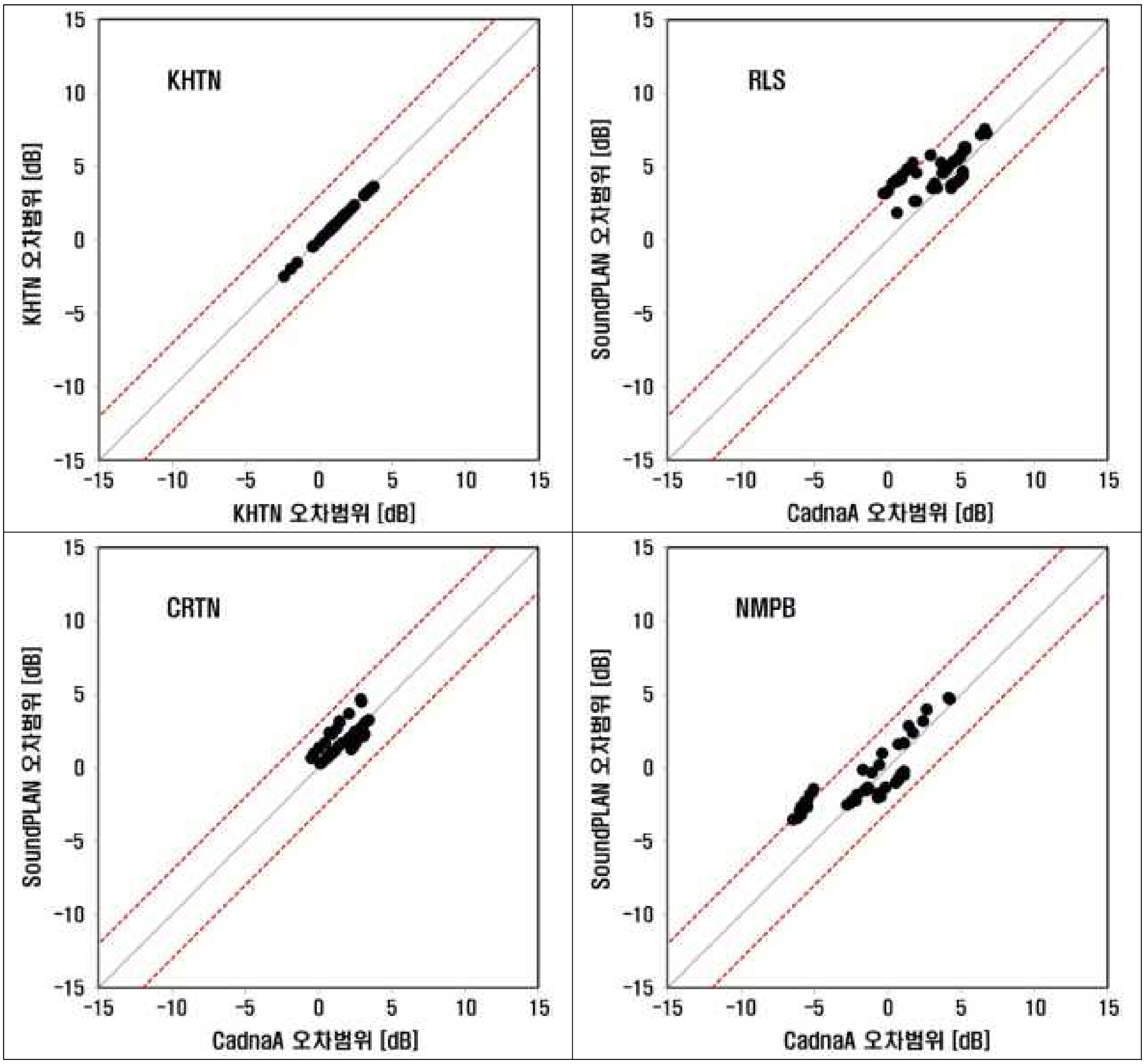


그림 4.6 교량현장에 대한 KHTN 및 상용 프로그램간 오차(±3dB 기준)분포 비교

4.2.3 도로변현장 분석

전체 20개 측정현장 중 도로변 1개 현장에 대해 해석모델별 오차를 분석하였다. 1개 현장에서 6개 지점에 대해 4시간 이상의 시간 간격을 두고 2회 측정하였고 총 12개 측정값을 KHTN, RLS, CRTN, NMPB 모델에 의한 해석값과 비교하여 해석모델의 오차를 분석하여 표 4.5 및 그림 4.7과 4.8에 나타내었으며, 표 4.6 및 그림 4.9에 해석모델별 오차의 분포를 나타내었다.

표 4.5 도로변현장에 대한 해석모델별 정확도(±3dB 기준) 분석

예측모델	KHTN model-2007	RLS-90		CRTN		NMPB-08	
		CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN
측정 데이터 수	12	12	12	12	12	12	12
+3dB 초과 데이터 수	0	0	0	0	0	0	0
-3dB 미만 데이터 수	4	0	0	10	10	0	3
±3dB 이내 데이터 수	8	12	12	2	2	12	9
±3dB 이내 정확도	**66.7%**	**100%**	**100%**	**16.7%**	**16.7%**	**100%**	**75%**

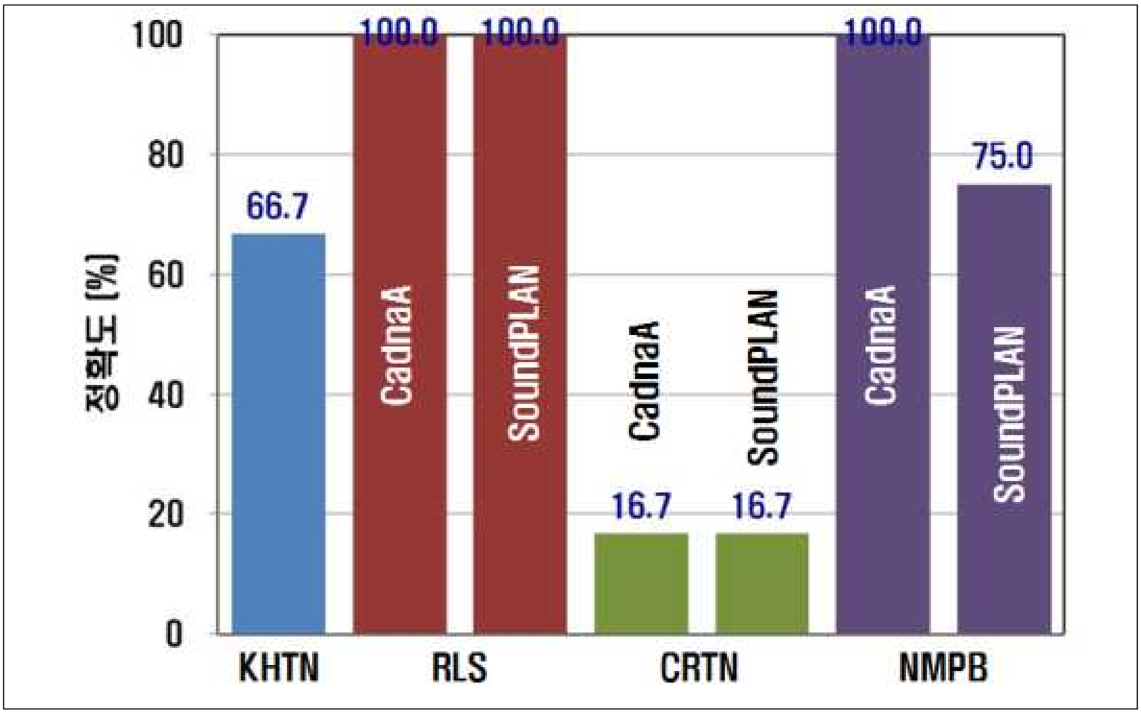


그림 4.7 도로변현장에 대한 해석모델별 정확도(±3dB 기준)

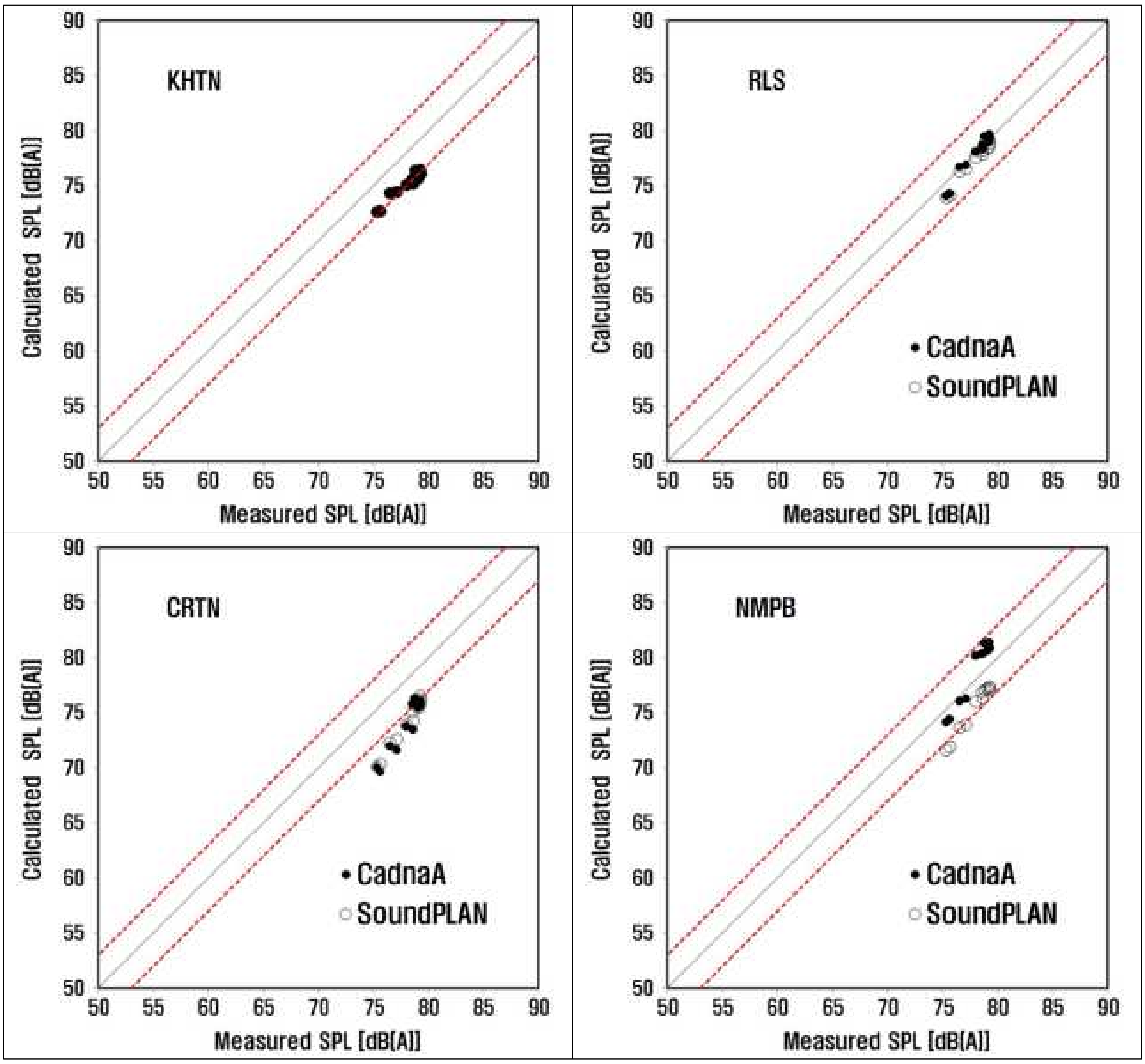


그림 4.8 도로변현장에 대한 해석모델별 오차(±3dB 기준)분포 비교

표 4.6 도로변현장에 대한 해석모델별 오차(±3dB 기준) 분포

예측모델	KHTN model-2007	RLS-90		CRTN		NMPB-08	
		CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN
오차 분포[dB]	-3.4~2.1	-1.3~0.7	-1.5~0.1	-6.0~-2.5	-5.2~-2.6	-1.2~2.5	-3.7~1.6

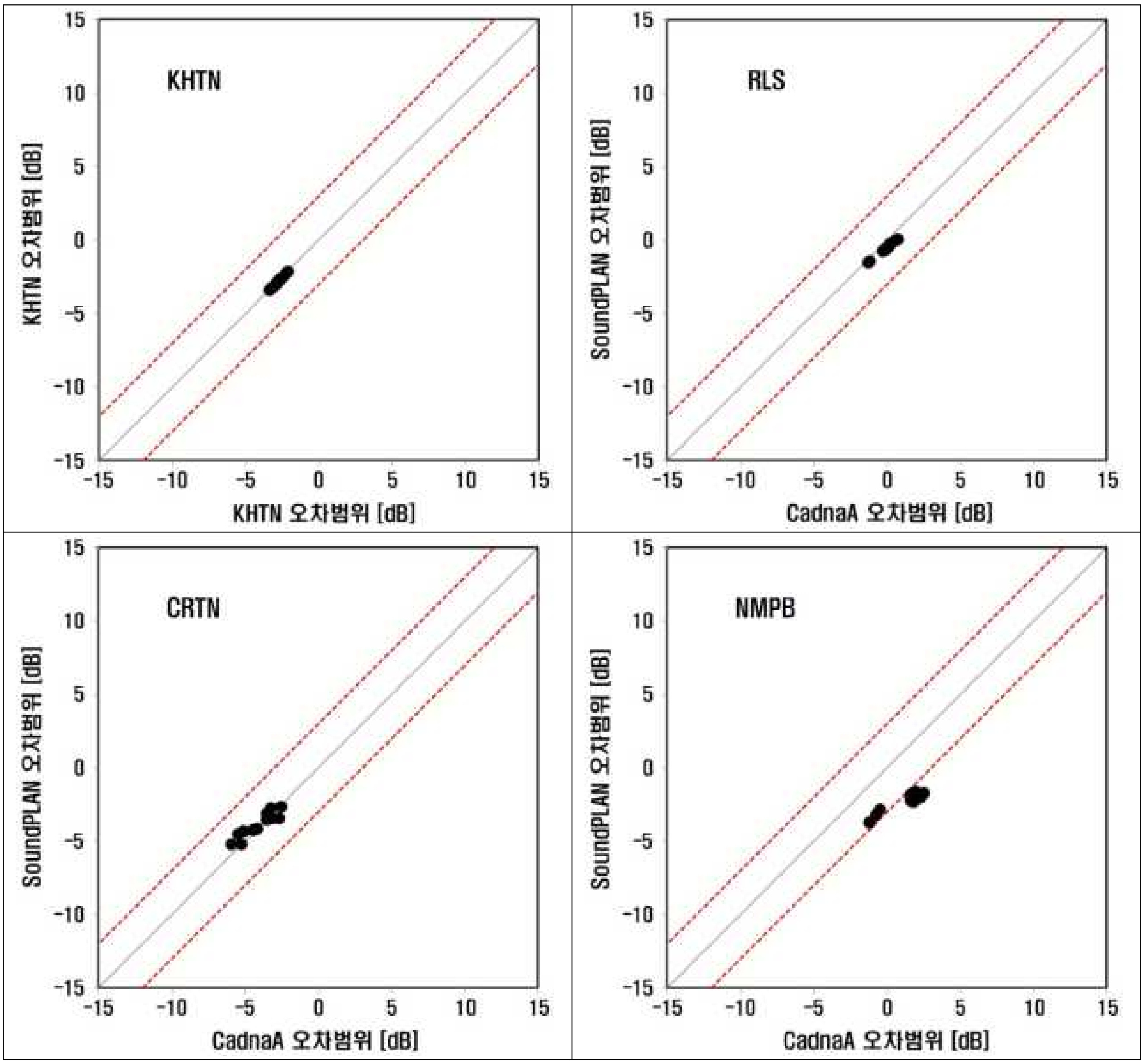


그림 4.9 도로변현장에 대한 KHTN 및 상용 프로그램간 오차(±3dB 기준)분포 비교

4.2.4 공동주택현장 분석

전체 20개 측정현장 중 공동주택 1개 현장에 대해 해석모델별 오차를 분석하였다. 1개 현장에서 5개 지점에 대해 4시간 이상의 시간 간격을 두고 2회 측정하였고 총 10개 측정값을 KHTN, RLS, CRTN, NMPB 모델에 의한 해석값과 비교하여 해석모델의 오차를 분석하여 표 4.7 및 그림 4.10과 4.11에 나타내었으며, 표 4.8 및 그림 4.12에 해석모델별 오차의 분포를 나타내었다.

표 4.7 공동주택현장에 대한 해석모델별 정확도(±3dB 기준) 분석

예측모델	KHTN model-2007	RLS-90		CRTN		NMPB-08	
		CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN
측정 데이터 수	10	10	10	10	10	10	10
+3dB 초과 데이터 수	0	0	0	0	3	5	1
-3dB 미만 데이터 수	1	0	0	0	0	0	0
±3dB 이내 데이터 수	9	10	10	10	7	5	9
±3dB 이내 정확도	**90%**	**100%**	**100%**	**100%**	**70%**	**50%**	**90%**

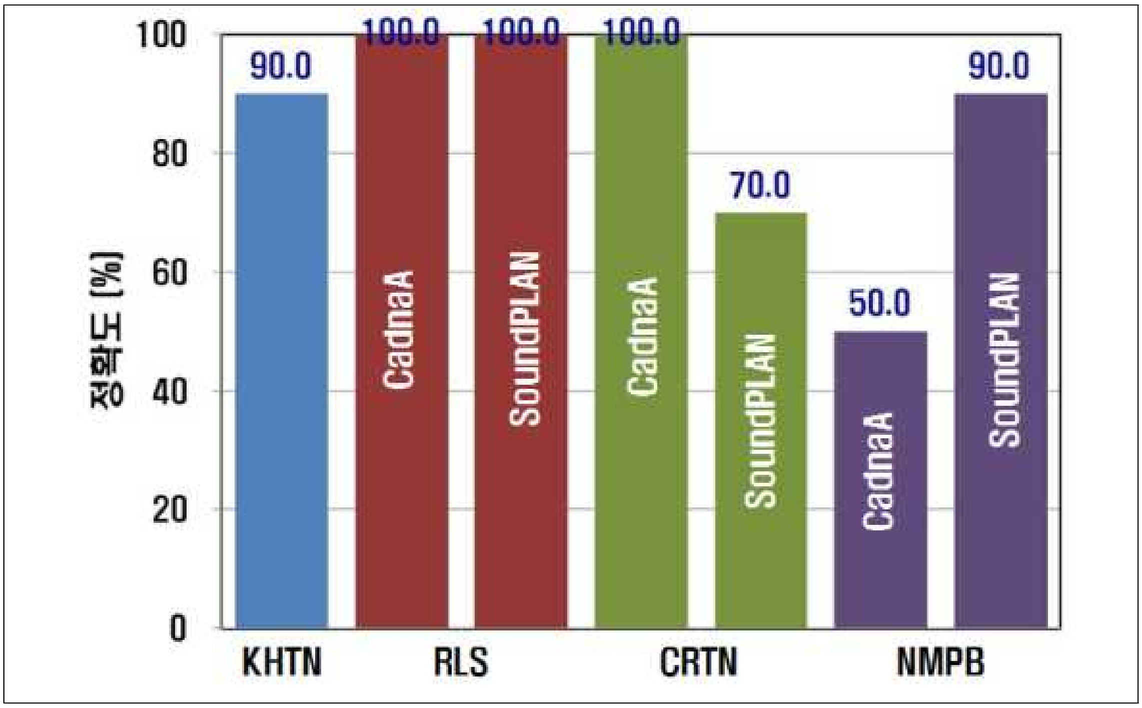


그림 4.10 공동주택현장에 대한 해석모델별 정확도(±3dB 기준)

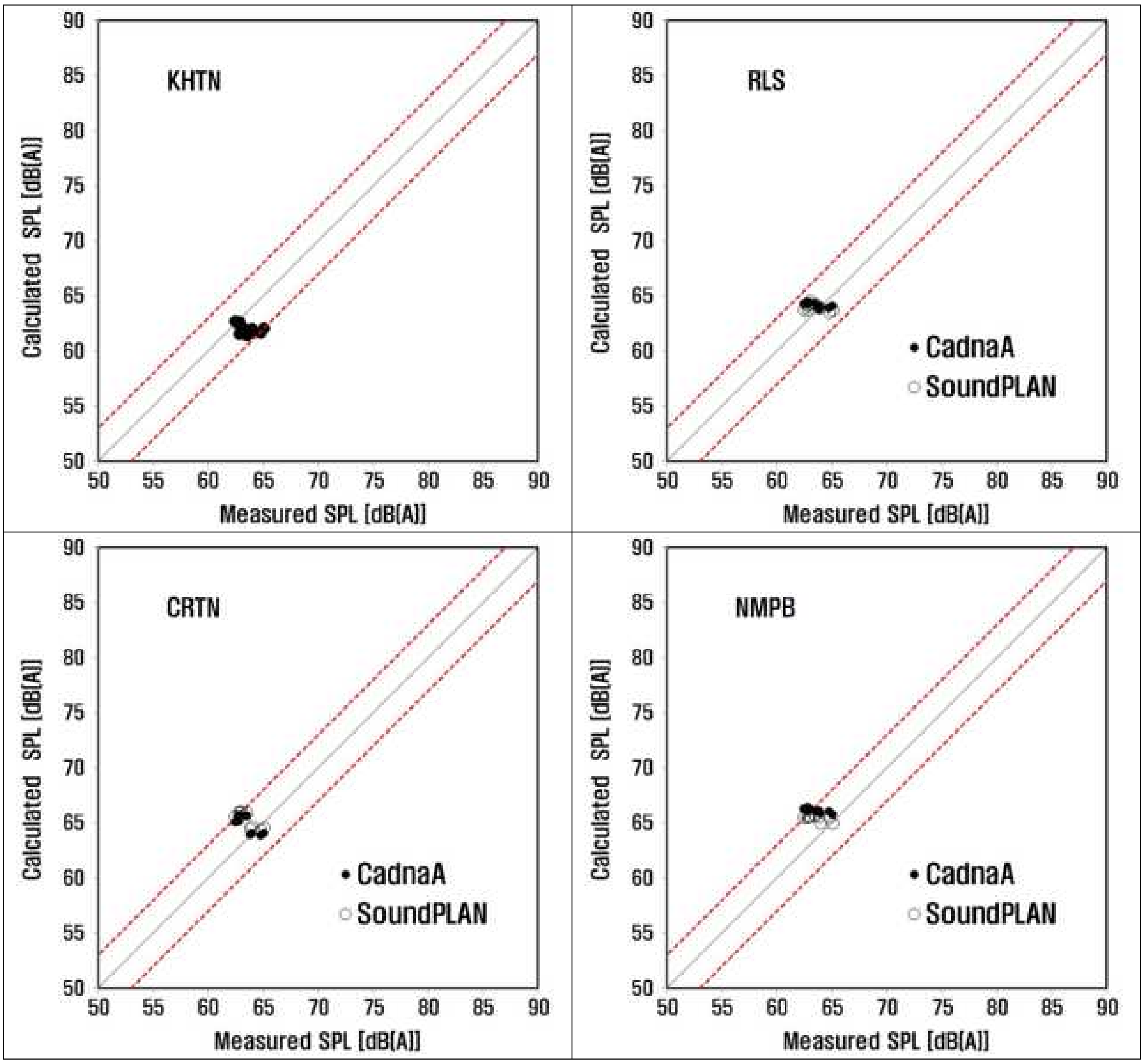


그림 4.11 공동주택현장에 대한 해석모델별 오차(±3dB 기준)분포 비교

표 4.8 공동주택현장에 대한 해석모델별 오차(±3dB 기준) 분포

예측모델	KHTN model-2007	RLS-90		CRTN		NMPB-08	
		CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN
오차 분포[dB]	-3.0~0.3	-0.9~1.9	-1.3~1.6	-1.0~2.9	-0.4~3.2	0.8~3.9	0~3.1

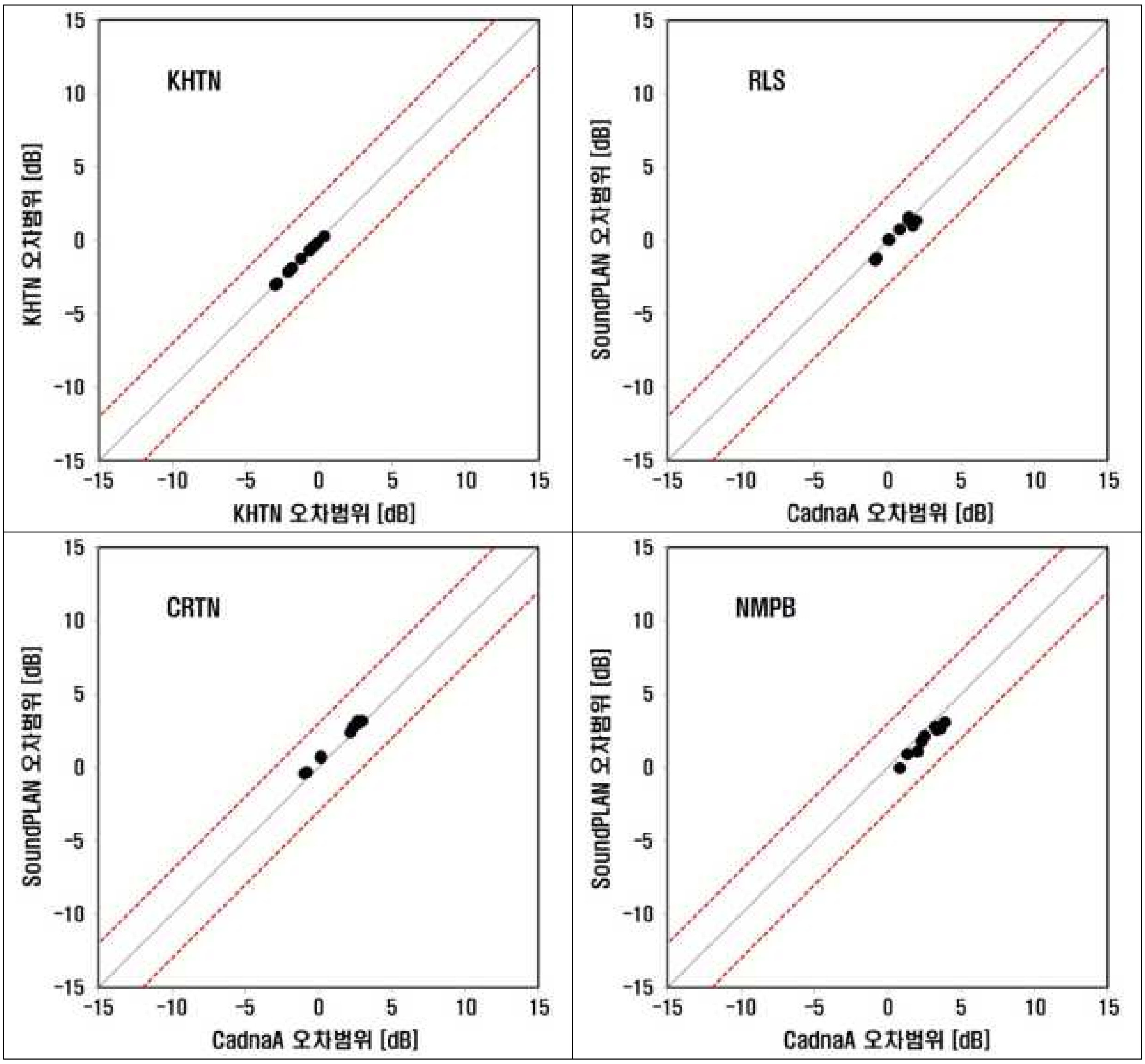


그림 4.12 공동주택현장에 대한 KHTN 및 상용 프로그램간 오차(±3dB 기준)분포 비교

4.2.5 평지현장 분석

전체 20개 측정현장 중 평지 1개 현장에 대해 해석모델별 오차를 분석하였다. 1개 현장에서 6개 지점에 대해 4시간 이상의 시간 간격을 두고 2회 측정하였고 총 12개 측정값을 KHTN, RLS, CRTN, NMPB 모델에 의한 해석값과 비교하여 해석모델의 오차를 분석하여 표 4.9 및 그림 4.13과 4.14에 나타내었으며, 표 4.10 및 그림 4.15에 해석모델별 오차의 분포를 나타내었다.

표 4.9 평지현장에 대한 해석모델별 정확도(±3dB 기준) 분석

예측모델	KHTN model-2007	RLS-90		CRTN		NMPB-08	
		CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN
측정 데이터 수	12	12	12	12	12	12	12
+3dB 초과 데이터 수	0	5	6	4	4	4	1
-3dB 미만 데이터 수	0	0	0	0	0	0	0
±3dB 이내 데이터 수	12	7	6	8	8	8	11
±3dB 이내 정확도	**100%**	**58.3%**	**50%**	**66.7%**	**66.7%**	**66.7%**	**91.7%**

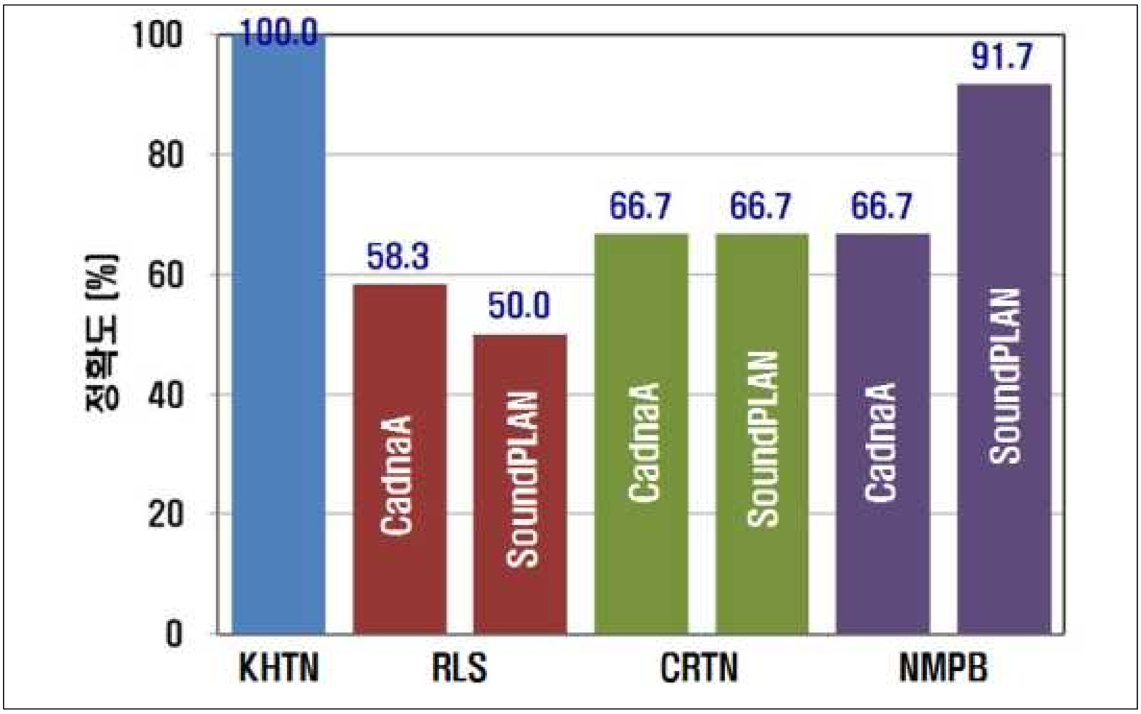


그림 4.13 평지현장에 대한 해석모델별 정확도(±3dB 기준)

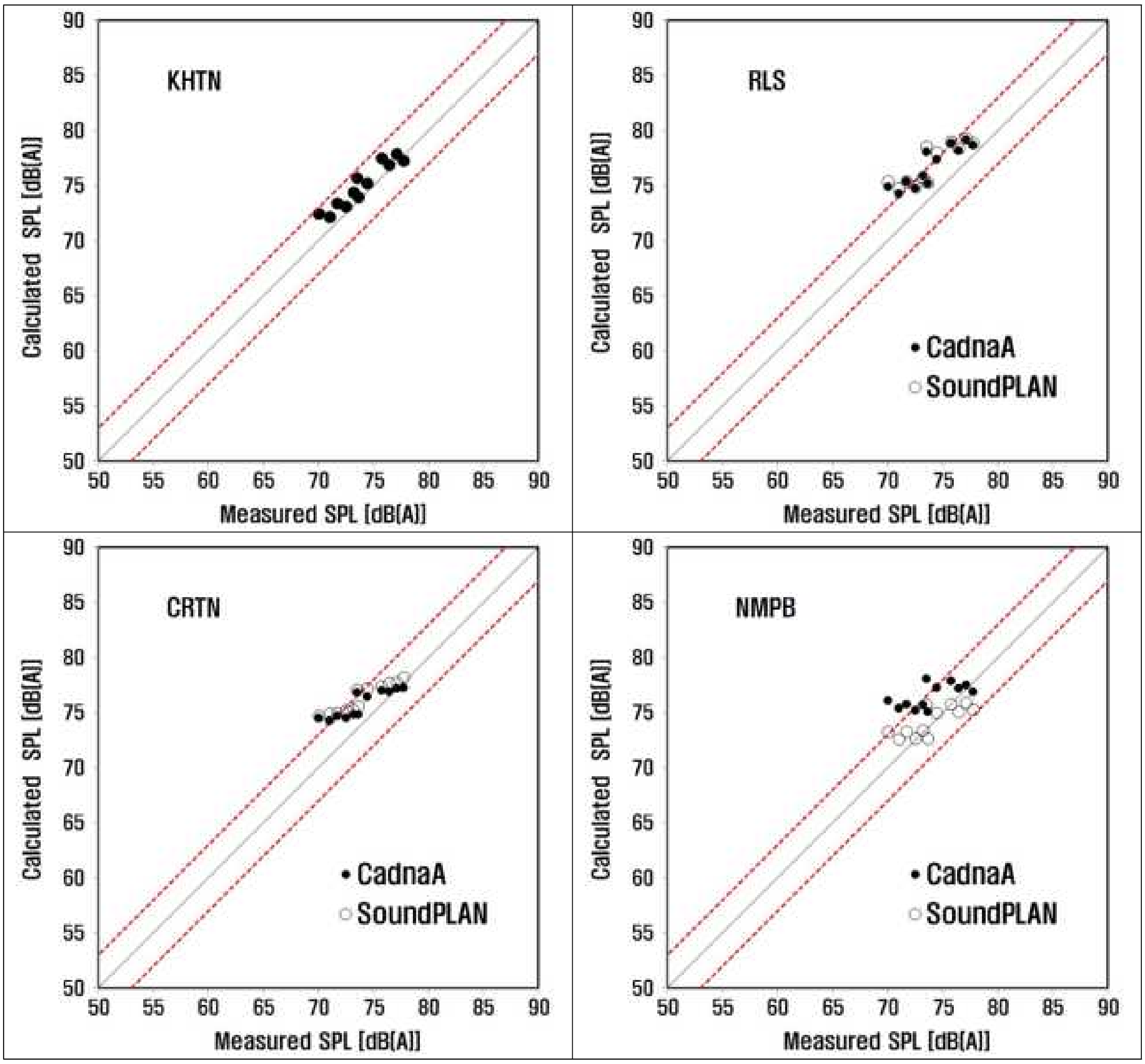


그림 4.14 평지현장에 대한 해석모델별 오차(±3dB 기준)분포 비교

표 4.10 평지현장에 대한 해석모델별 오차(±3dB 기준) 분포

예측모델	KHTN model-2007	RLS-90		CRTN		NMPB-08	
		CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN
오차 산술평균[dB]	-0.4～2.5	1.0～4.9	1.2～5.4	-1.0～0.6	-0.4～3.2	-0.8～6.1	-2.4～3.3

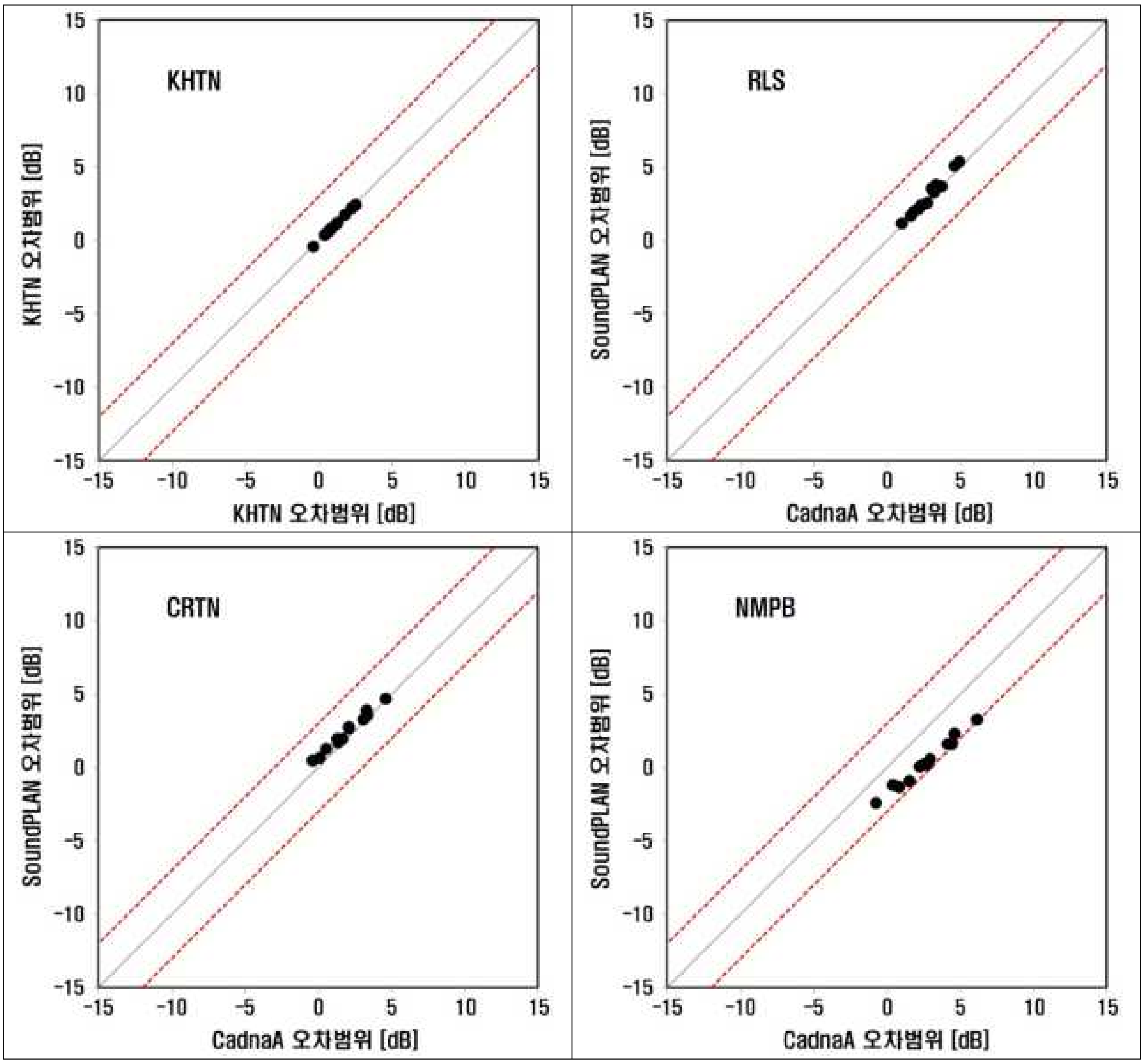


그림 4.15 평지현장에 대한 KHTN 및 상용 프로그램간 오차(±3dB 기준)분포 비교

4.2.6 성토현장 분석

성토 10개 현장에 대해 해석모델별 오차를 분석하였다. 우리나라 고속도로는 성토구조의 도로가 가장 많으며 본 연구에서 선정한 20개 현장중 50%가 성토현장이므로, 해석결과를 이격거리별로 나누어 분석하였다.

[이격거리 20~50m]

성토 10개 현장중 4개 현장에서 도로단으로부터 수평 이격거리 20~50m에 측정지점을 설정하였다. 1개 현장에서 6개 지점에 대해 4시간 이상의 시간 간격을 두고 2회 측정하였고 총 48개 측정값을 KHTN, RLS, CRTN, NMPB 모델에 의한 해석값과 비교하여 해석모델의 오차를 분석하여 표 4.11 및 그림4.16과 4.17에 나타내었으며, 표 4.12 및 그림 4.18에 해석모델별 오차의 분포를 나타내었다.

표 4.11 성토[이격거리 20~50m]현장에 대한 해석모델별 정확도(±3dB 기준) 분석

예측모델	KHTN model-2007	RLS-90		CRTN		NMPB-08	
		CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN
측정 데이터 수	48	48	48	48	48	48	48
+3dB 초과 데이터 수	5	36	44	12	13	27	12
-3dB 미만 데이터 수	8	0	0	0	0	0	0
±3dB 이내 데이터 수	35	12	4	36	35	21	36
±3dB 이내 정확도	**72.9%**	**25%**	**8.3%**	**75%**	**72.9%**	**43.8%**	**75%**

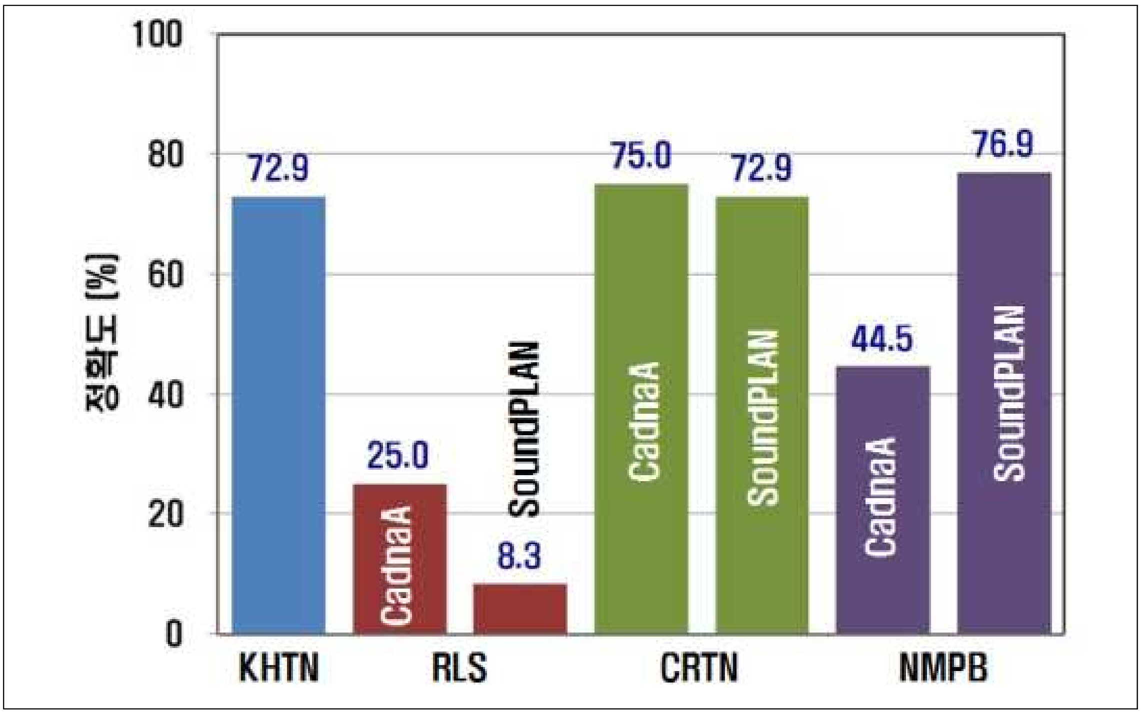


그림 4.16 성토[이격거리 20~50m]현장에 대한 해석모델별 정확도(±3dB 기준)

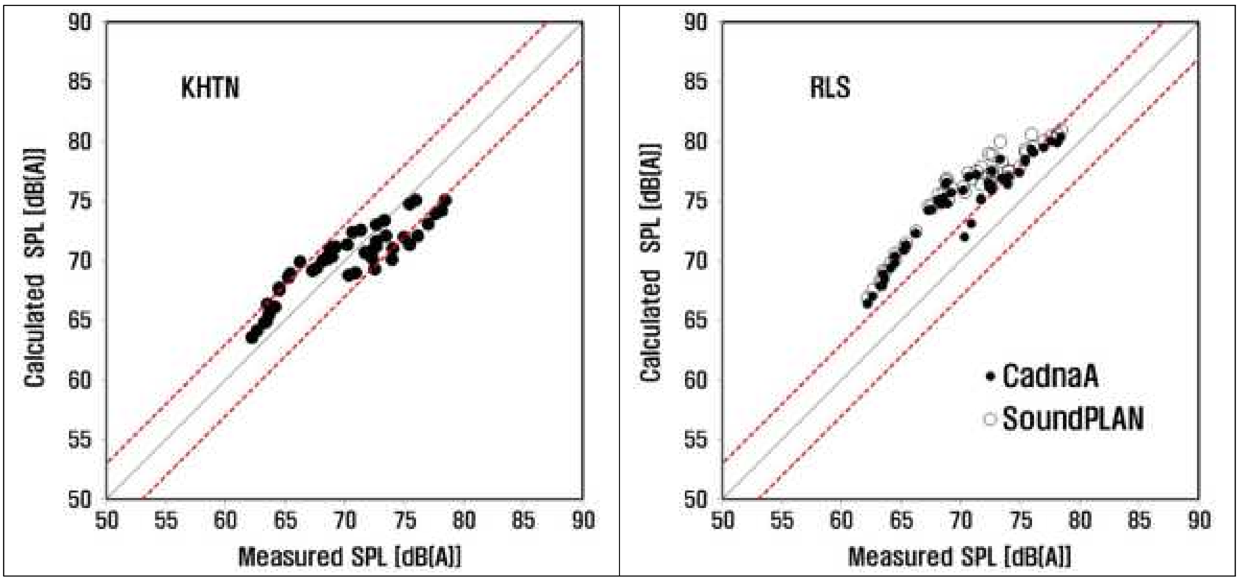


그림 4.17 성토[이격거리 20~50m]현장에 대한 해석모델별 오차(±3dB 기준)분포 비교

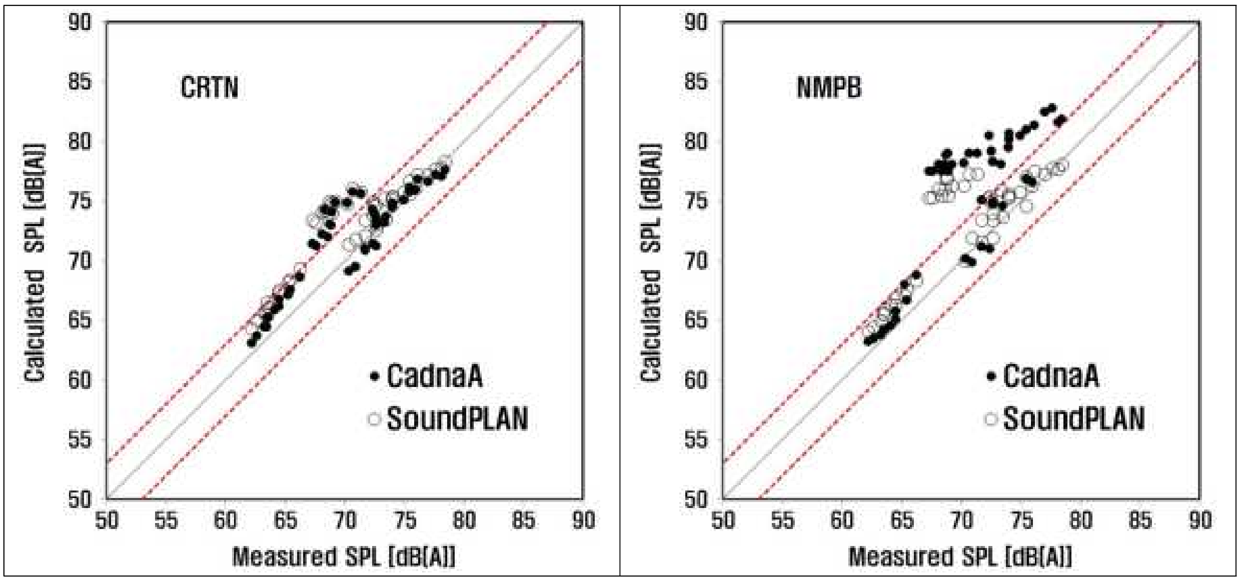


그림 4.17 성토[이격거리 20~50m]현장에 대한 해석모델별 오차(±3dB 기준)분포 비교(계속)

표 4.12 성토[이격거리 20~50m]현장에 대한 해석모델별 오차(±3dB 기준) 분포

예측모델	KHTN model-2007	RLS-90		CRTN		NMPB-08	
		CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN
오차 분포[dB]	**-4~3.8**	**1.7~7.8**	**2.5~8.1**	**-1.4~6**	**-0.3~6.3**	**-1.4~10.2**	**-0.8~8.2**

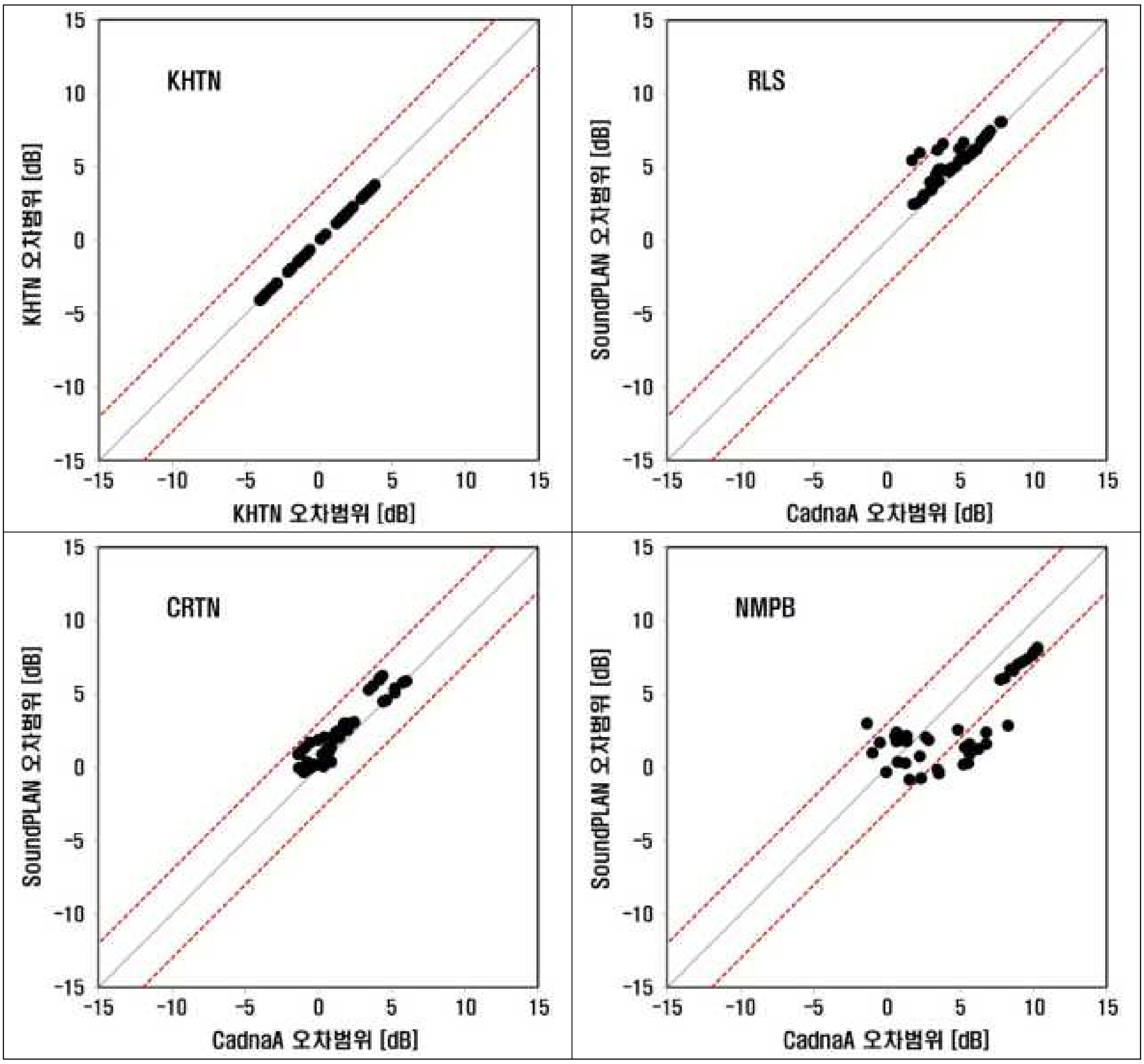


그림 4.18 성토[이격거리 20~50m]현장에 대한 KHTN 및 상용 프로그램간 오차(±3dB 기준)분포 비교

[이격거리 60~95m]

성토 10개 현장중 3개 현장에서 도로단으로부터 수평 이격거리 60~95m에 측정지점을 설정하였다. 1개 현장에서 6개 지점에 대해 4시간 이상의 시간 간격을 두고 2회 측정하였고 총 36개 측정값을 KHTN, RLS, CRTN, NMPB 모델에 의한 해석값과 비교하여 해석모델의 오차를 분석하여 표 4.13 및 그림4.19와 4.20에 나타내었으며, 표 4.14 및 그림 4.21에 해석모델별 오차의 분포를 나타내었다.

표 4.13 성토[이격거리 60~95m]현장에 대한 해석모델별 정확도(±3dB 기준) 분석

예측모델	KHTN model-2007	RLS-90		CRTN		NMPB-08	
		CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN
측정 데이터 수	36	36	36	36	36	36	36
+3dB 초과 데이터 수	0	20	32	10	15	20	7
-3dB 미만 데이터 수	0	0	0	0	0	0	0
±3dB 이내 데이터 수	36	16	4	26	21	16	29
±3dB 이내 정확도	**100%**	**44.4%**	**3.8%**	**72.2%**	**58.3%**	**44.4%**	**80.6%**

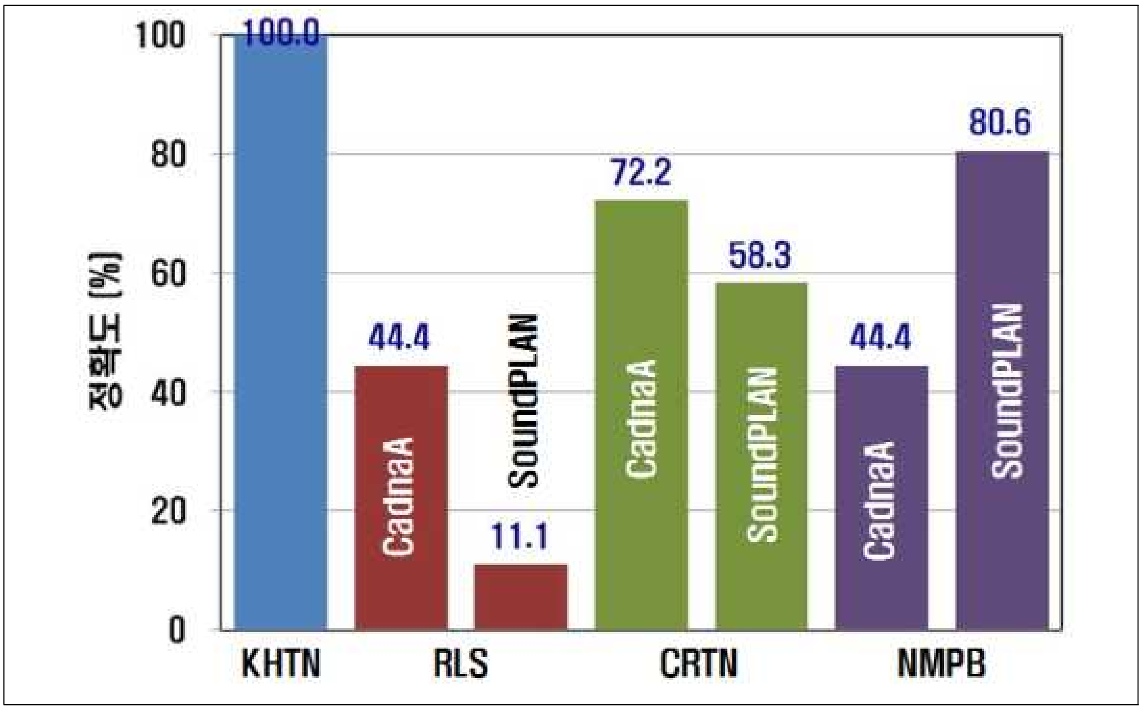


그림 4.19 성토[이격거리 60~95m]현장에 대한 해석모델별 정확도(±3dB 기준)

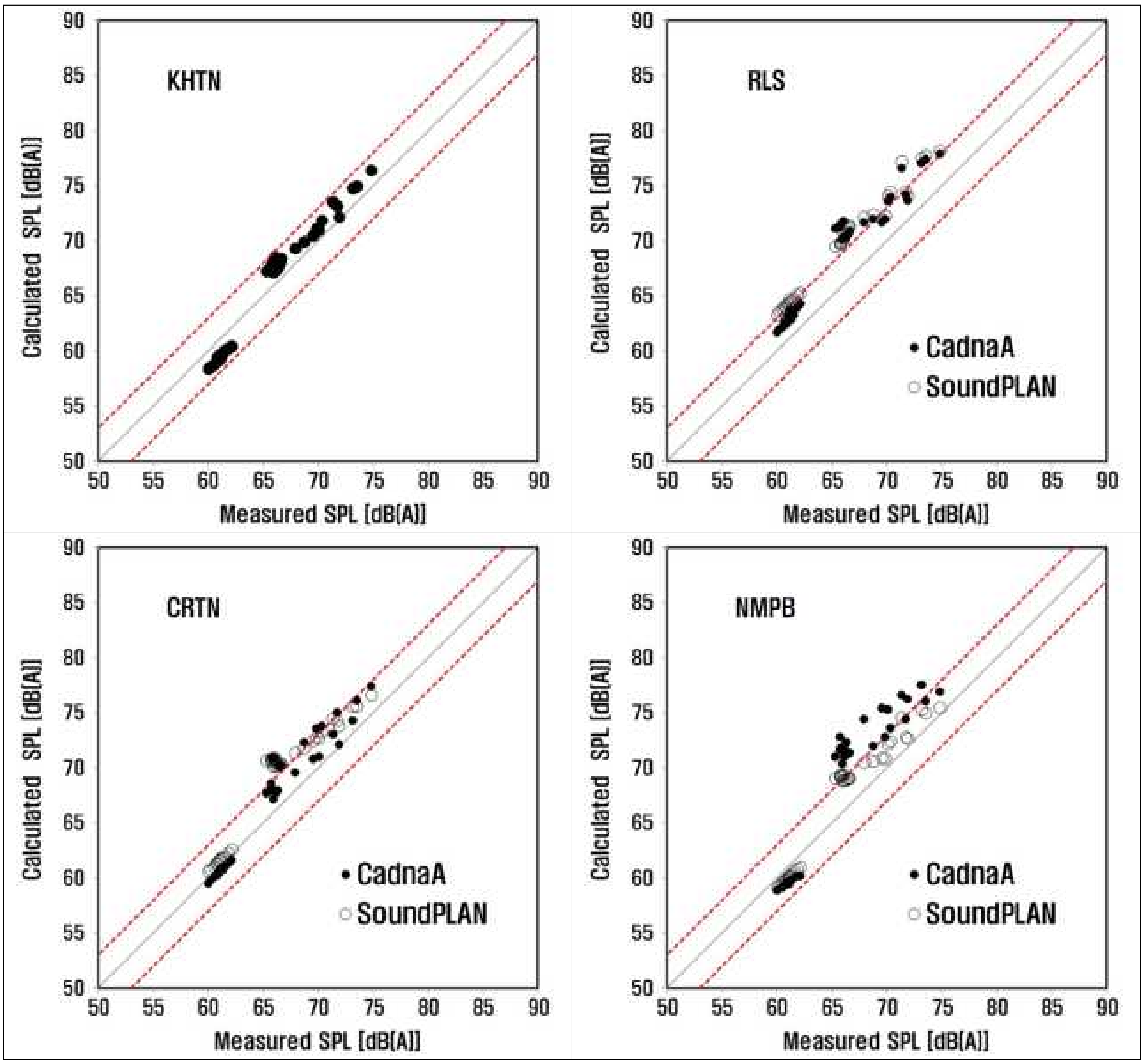


그림 4.20 성토[이격거리 60~95m]현장에 대한 해석모델별 오차(±3dB 기준)분포 비교

표 4.14 성토[이격거리 60～95m]현장에 대한 해석모델별 오차(±3dB 기준) 분포

예측모델	KHTN model-2007	RLS-90		CRTN		NMPB-08	
		CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN
오차 분포[dB]	-1.8～2.5	1.6～5.8	2.2～5.9	-0.6～5	0.5～5.4	-1.9～7.1	-1.1～3.8

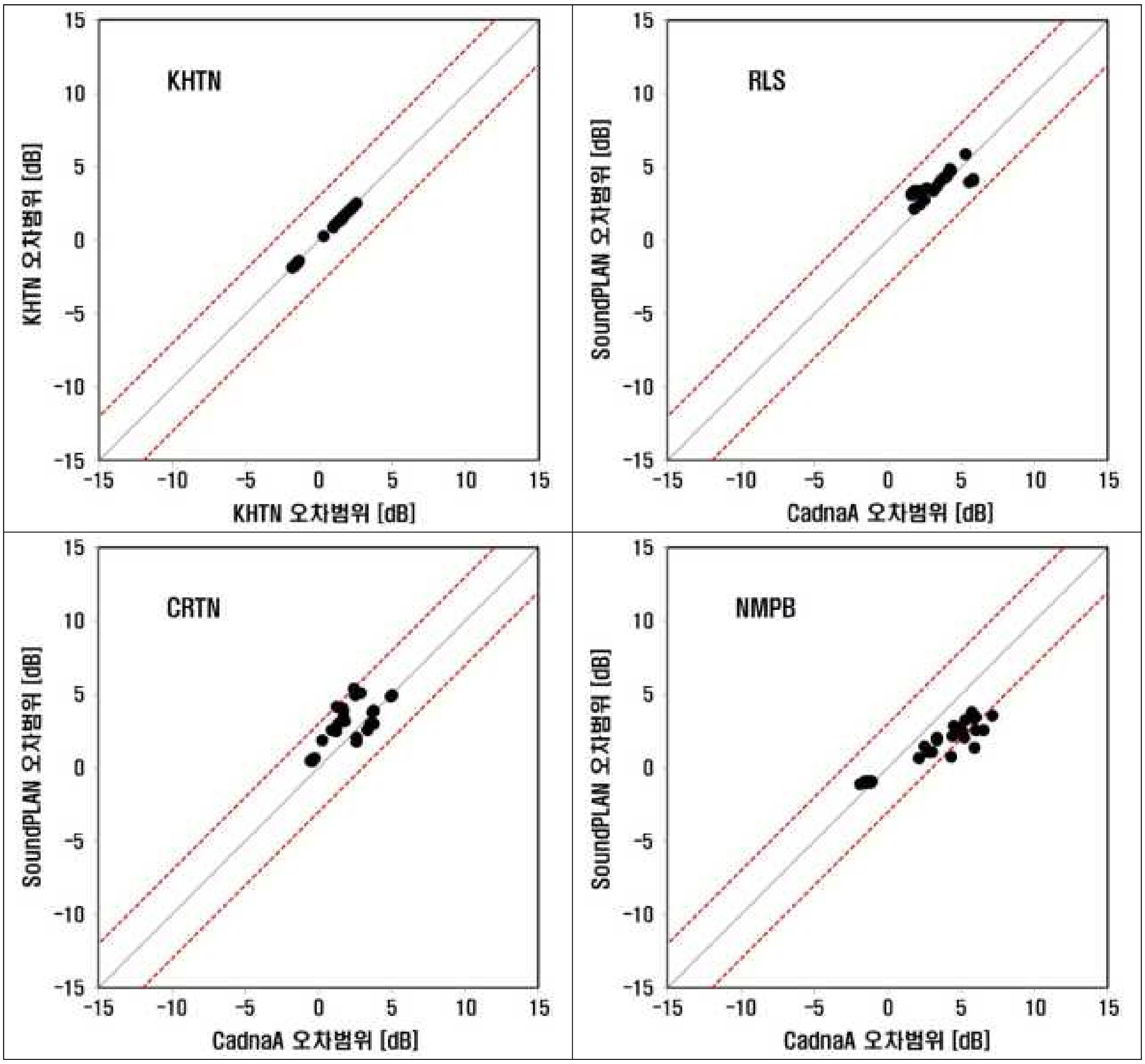


그림 4.21 성토[이격거리 60～95m]현장에 대한 KHTN 및 상용 프로그램간 오차(±3dB 기준)분포 비교

[이격거리 100~180m]

성토 10개 현장중 3개 현장에서 도로단으로부터 수평 이격거리 100~180m에 측정지점을 설정하였다. 1개 현장에서 6개 지점에 대해 4시간 이상의 시간 간격을 두고 2회 측정하였고 총 36개 측정값을 KHTN, RLS, CRTN, NMPB 모델에 의한 해석값과 비교하여 해석모델의 오차를 분석하여 표 4.15 및 그림4.22와 4.23에 나타내었으며, 표 4.16 및 그림 4.24에 해석모델별 오차의 분포를 나타내었다.

표 4.15 성토[이격거리 100~180m]현장에 대한 해석모델별 정확도(±3dB 기준) 분석

예측모델	KHTN model-2007	RLS-90		CRTN		NMPB-08	
		CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN
측정 데이터 수	36	36	36	36	36	36	36
+3dB 초과 데이터 수	3	24	27	12	24	18	12
-3dB 미만 데이터 수	0	0	0	0	0	12	1
±3dB 이내 데이터 수	33	12	9	24	12	6	23
±3dB 이내 정확도	**91.7%**	**33.3%**	**25%**	**66.7%**	**33.3%**	**16.7%**	**63.9%**

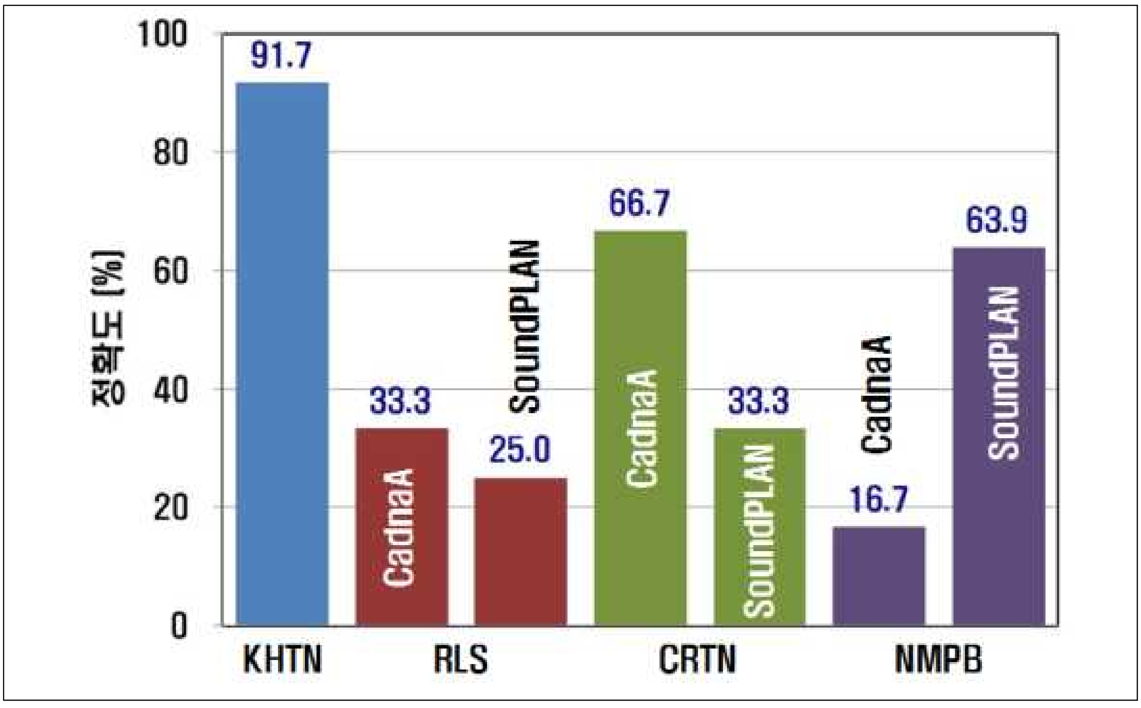


그림 4.22 성토[이격거리 100~180m]현장에 대한 해석모델별 정확도(±3dB 기준)

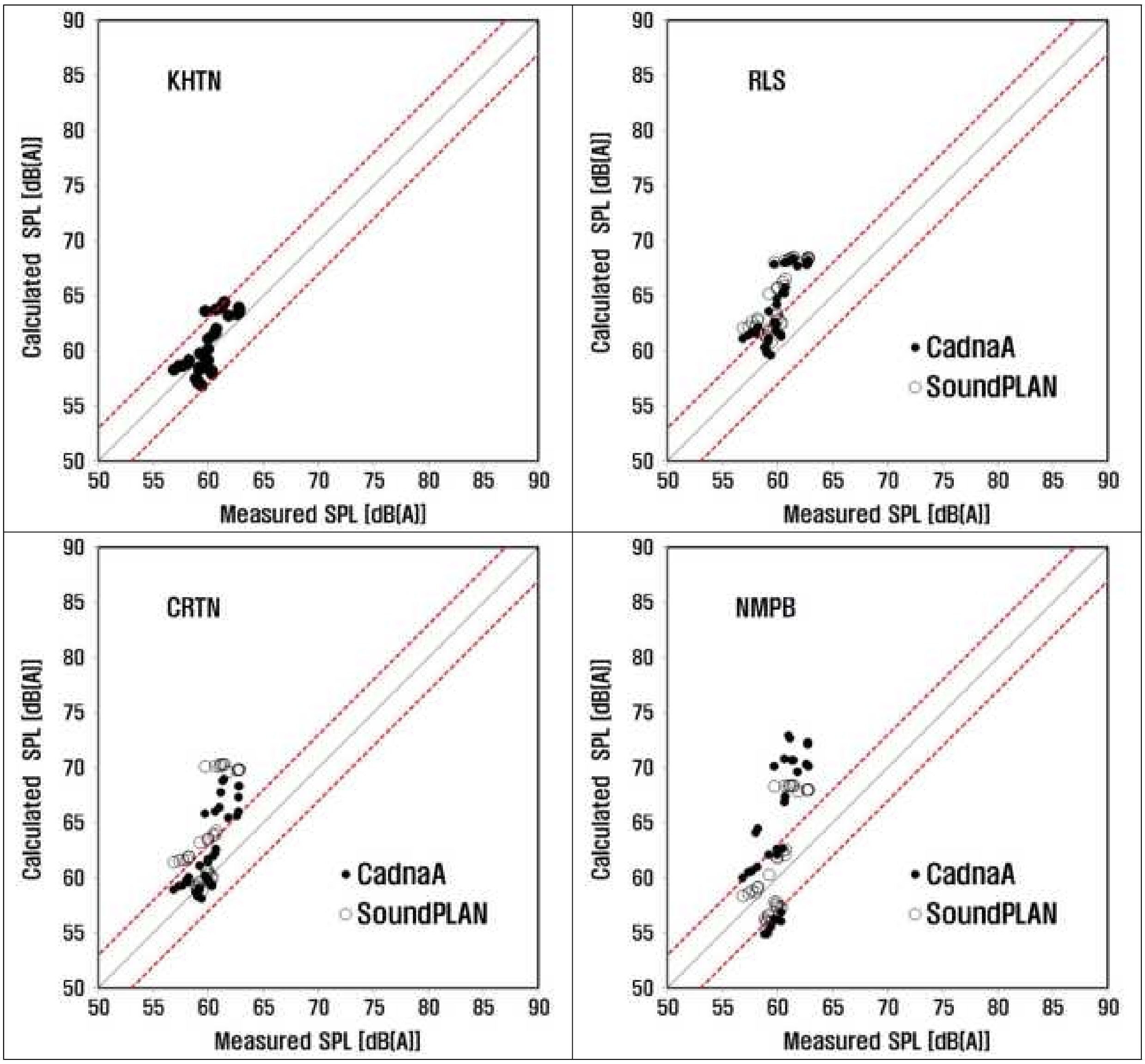


그림 4.23 성토[이격거리 100~180m]현장에 대한 KHTN 및 상용 프로그램간 오차(±3dB 기준)분포 비교

표 4.16 성토[이격거리 100~180m]현장에 대한 해석모델별 오차(±3dB 기준) 분포

예측모델	KHTN model-2007	RLS-90		CRTN		NMPB-08	
		CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN
오차 산술평균[dB]	-2.5~4	0.2~8.2	1.4~8.4	-1.3~7.5	-0.6~10.4	-4.2~11.9	-3.3~8.6

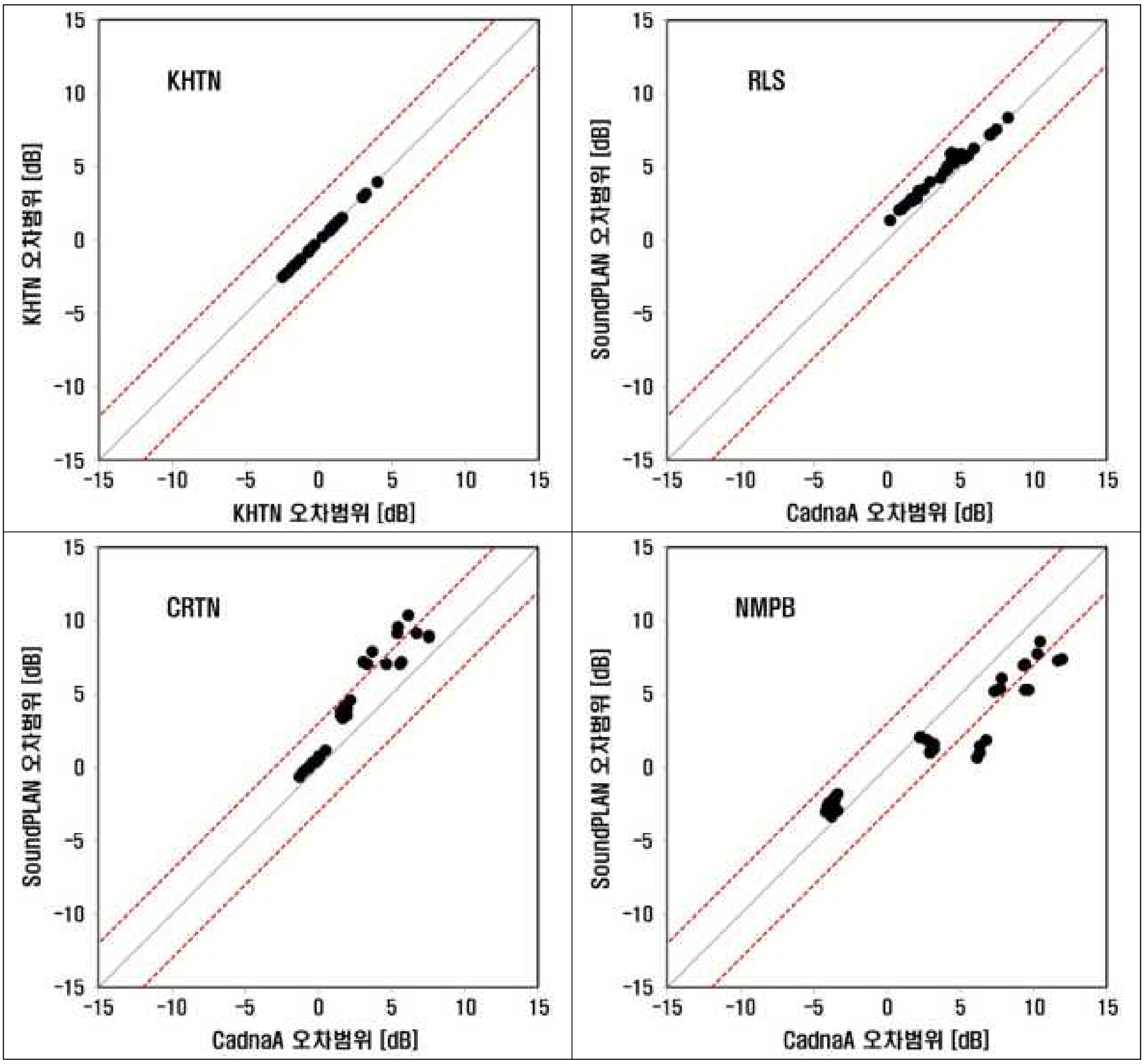


그림 4.24 성토[이격거리 100~180m]현장에 대한 KHTN 및 상용 프로그램간 오차(±3dB 기준)분포 비교

[성토 전체]

전체 20개 측정현장 중 성토 10개 현장 전체에 대해 해석모델별 오차를 분석하였다. 1개 현장에서 6개 지점에 대해 4시간 이상의 시간 간격을 두고 2회 측정하였고 총 120개 측정값을 KHTN, RLS, CRTN, NMPB 모델에 의한 해석값과 비교하여 해석모델의 오차를 분석하여 표 4.17 및 그림4.25와 4.26에 나타내었으며, 표 4.18 및 그림 4.27에 해석모델별 오차의 분포를 나타내었다.

표 4.17 성토현장에 대한 해석모델별 정확도(±3dB 기준) 분석

예측모델	KHTN model-2007	RLS-90		CRTN		NMPB-08	
		CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN
측정 데이터 수	120	120	120	120	120	120	120
+3dB 초과 데이터 수	8	80	103	34	52	65	31
-3dB 미만 데이터 수	8	0	0	0	0	12	1
±3dB 이내 데이터 수	104	40	17	86	68	43	88
±3dB 이내 정확도	**86.7%**	**33.3%**	**14.2%**	**71.7%**	**56.7%**	**35.8%**	**73.3%**

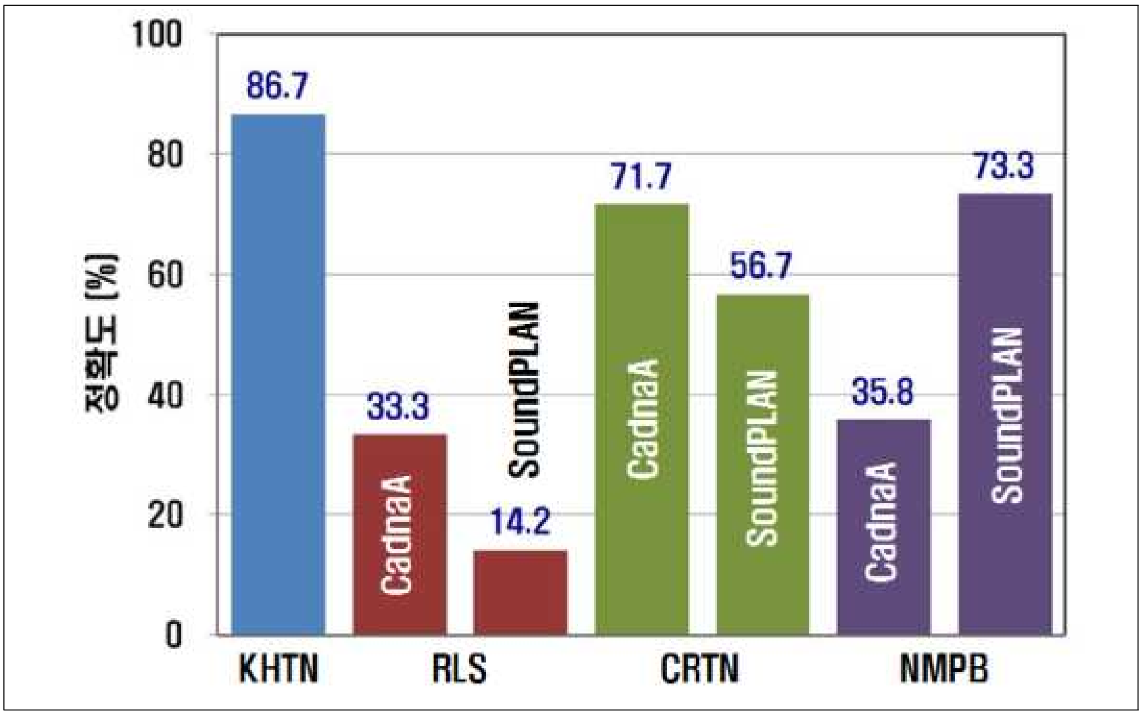


그림 4.25 성토현장에 대한 해석모델별 정확도(±3dB 기준)

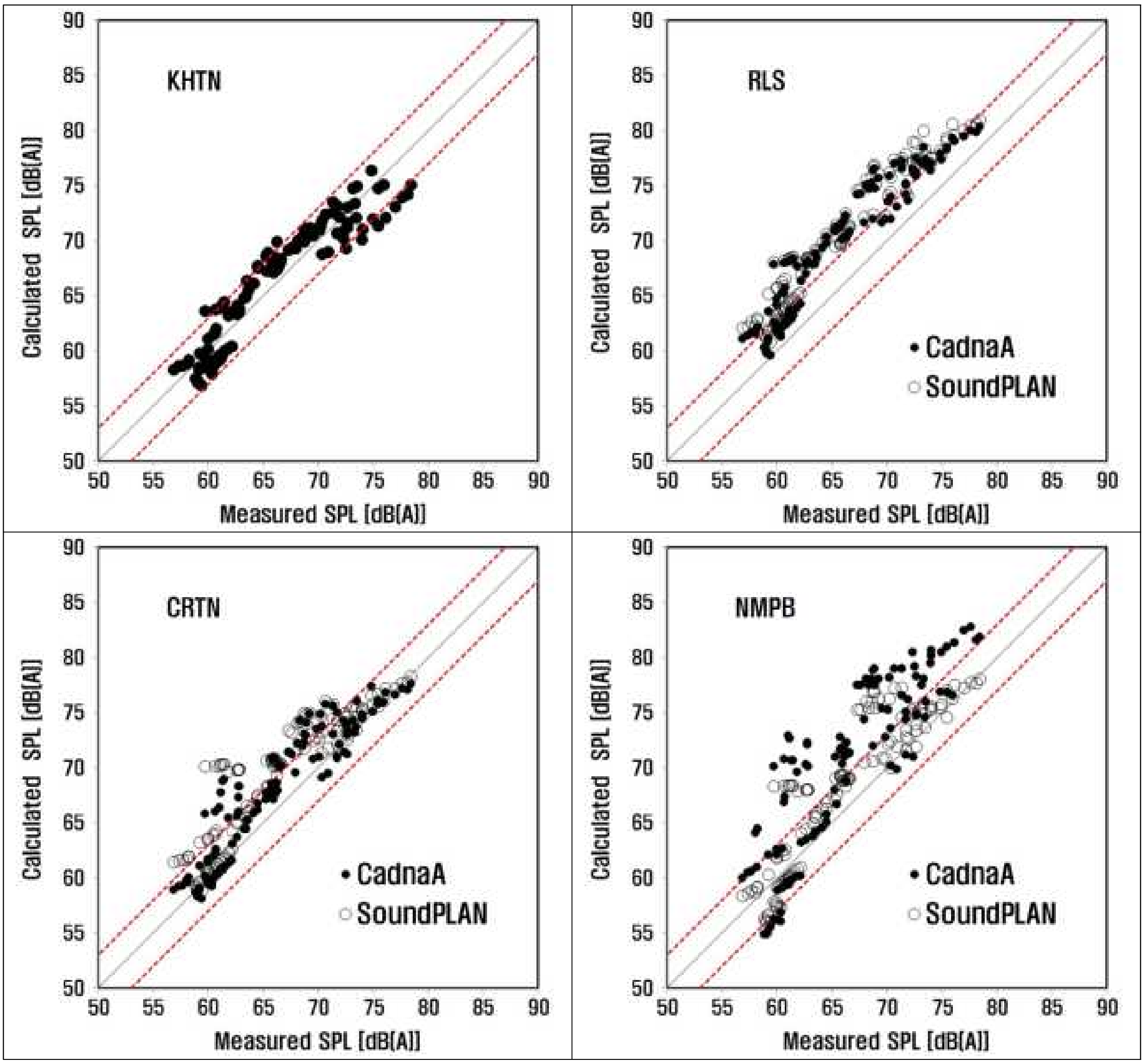


그림 4.26 성토현장에 대한 해석모델별 오차(±3dB 기준)분포 비교

표 4.18 성토현장에 대한 해석모델별 오차(±3dB 기준) 분포

예측모델	KHTN model-2007	RLS-90		CRTN		NMPB-08	
		CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN
오차 분포[dB]	-4.0~4.0	0.2~8.2	1.4~8.4	-1.4~7.5	-0.6~10.4	-4.2~11.9	-3.3~8.6

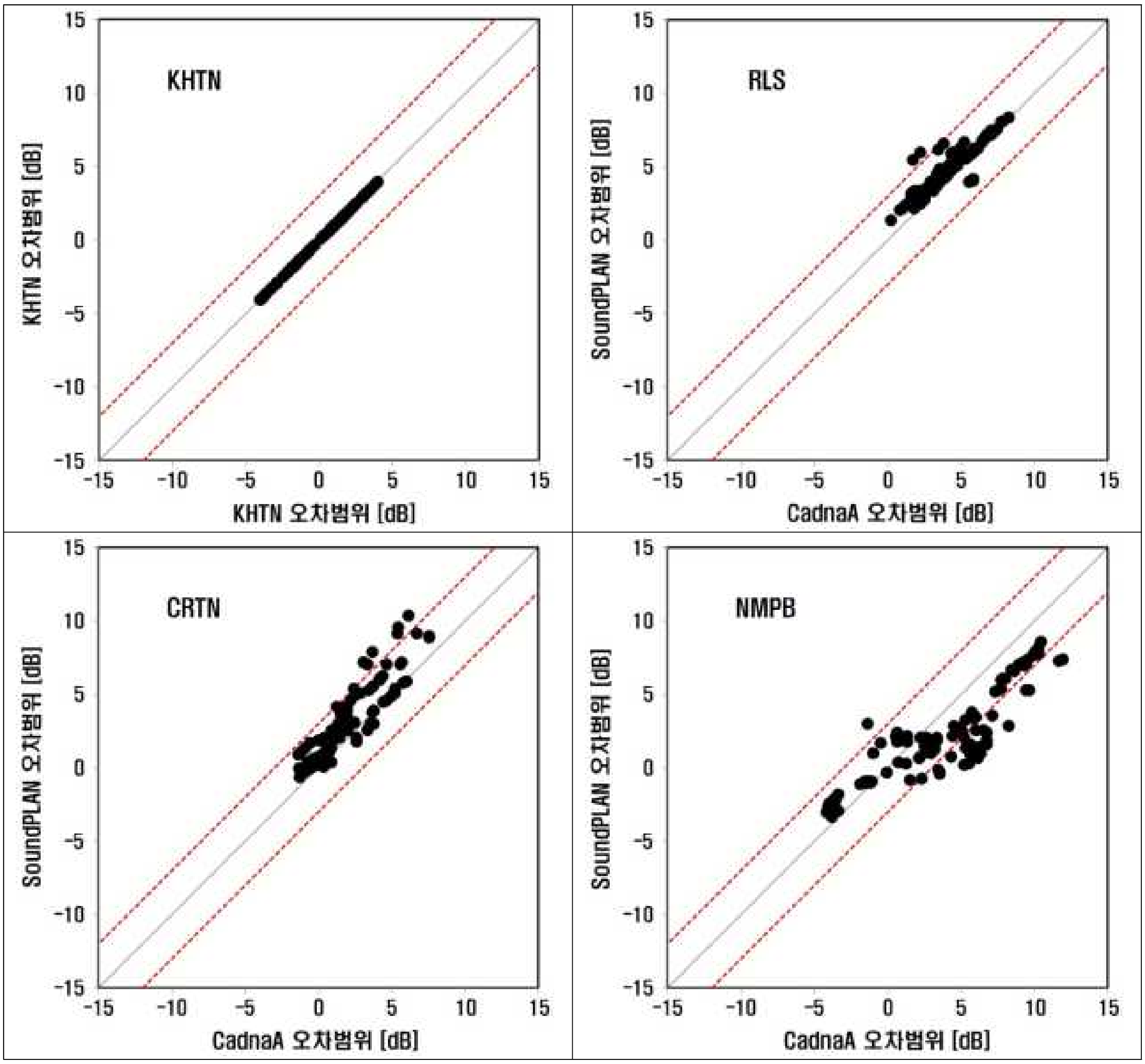


그림 4.27 성토현장에 대한 KHTN 및 상용 프로그램간 오차(±3dB 기준)분포 비교

4.2.7 전체현장 분석

전체 20개 측정현장에 대해 해석모델별 오차를 분석하였다. 1개 현장에서 6개 지점(현장-4는 5개 지점)에 대해 4시간 이상의 시간 간격을 두고 2회 측정하였고 총 238개 측정값을 KHTN, RLS, CRTN, NMPB 모델에 의한 해석값과 비교하여 해석모델의 오차를 분석하여 표 4.19 및 그림4.28과 4.29에 나타내었으며, 표 4.20 및 그림 4.30에 해석모델별 오차의 분포를 나타내었다.

표 4.19 전체현장에 대한 해석모델별 정확도(±3dB 기준) 분석

예측모델	KHTN model-2007	RLS-90		CRTN		NMPB-08	
		CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN
측정 데이터 수	238	238	238	238	238	238	238
+3dB 초과 데이터 수	18	130	170	55	78	97	39
-3dB 미만 데이터 수	14	0	0	17	17	35	16
±3dB 이내 데이터 수	206	108	68	166	143	106	183
±3dB 이내 정확도	86.6%	45.4%	28.6%	69.7%	60.1%	44.5%	76.9%

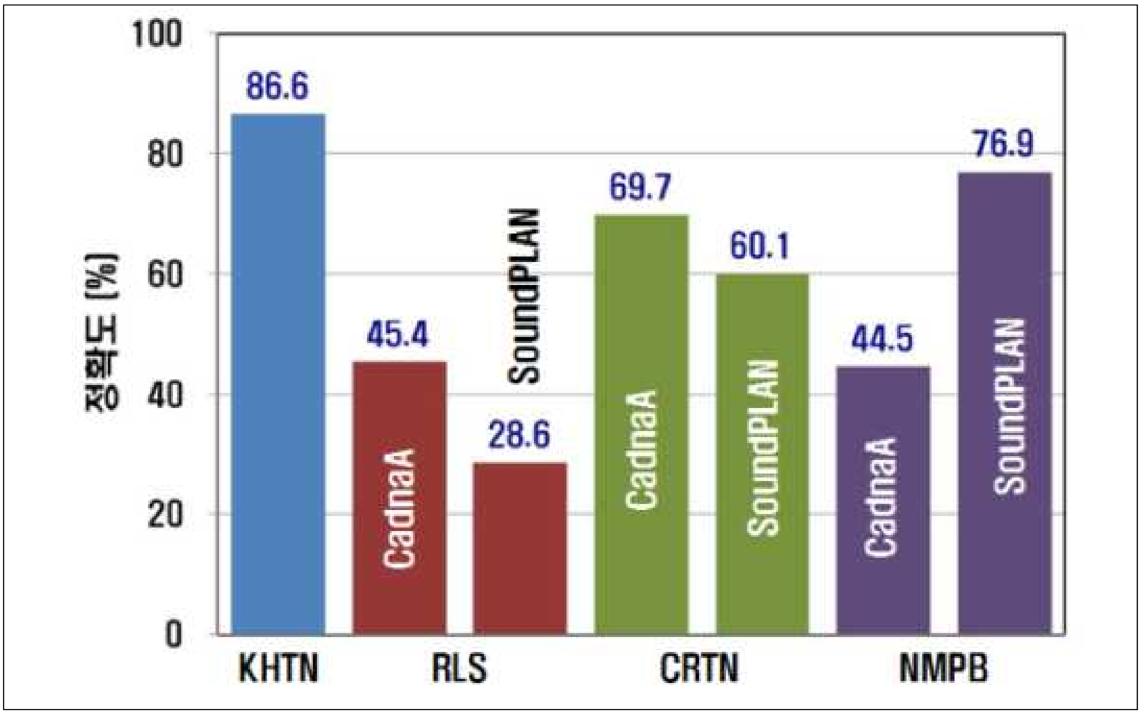


그림 4.28 전체현장에 대한 해석모델별 정확도(±3dB 기준)

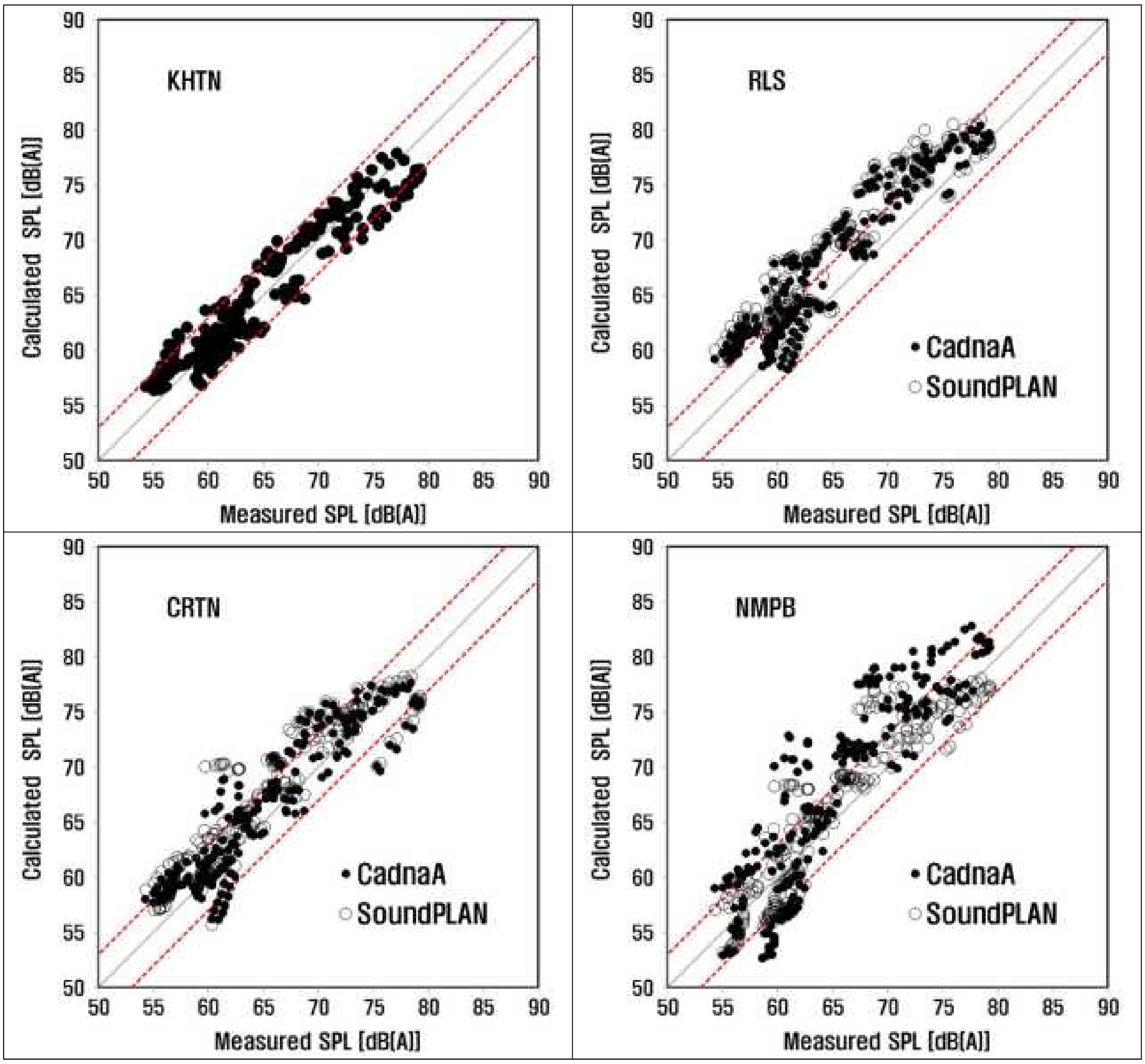


그림 4.29 전체현장에 대한 해석모델별 오차(±3dB 기준)분포 비교

표 4.20 전체현장에 대한 해석모델별 오차(±3dB 기준) 분포

예측모델	KHTN model-2007	RLS-90		CRTN		NMPB-08	
		CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN	CadnaA	SoundPLAN
오차 분포[dB]	-4.0~4.4	-2.6~8.2	-2.4~8.4	-6.0~7.5	-5.2~10.4	-6.5~11.9	-4.3~8.6

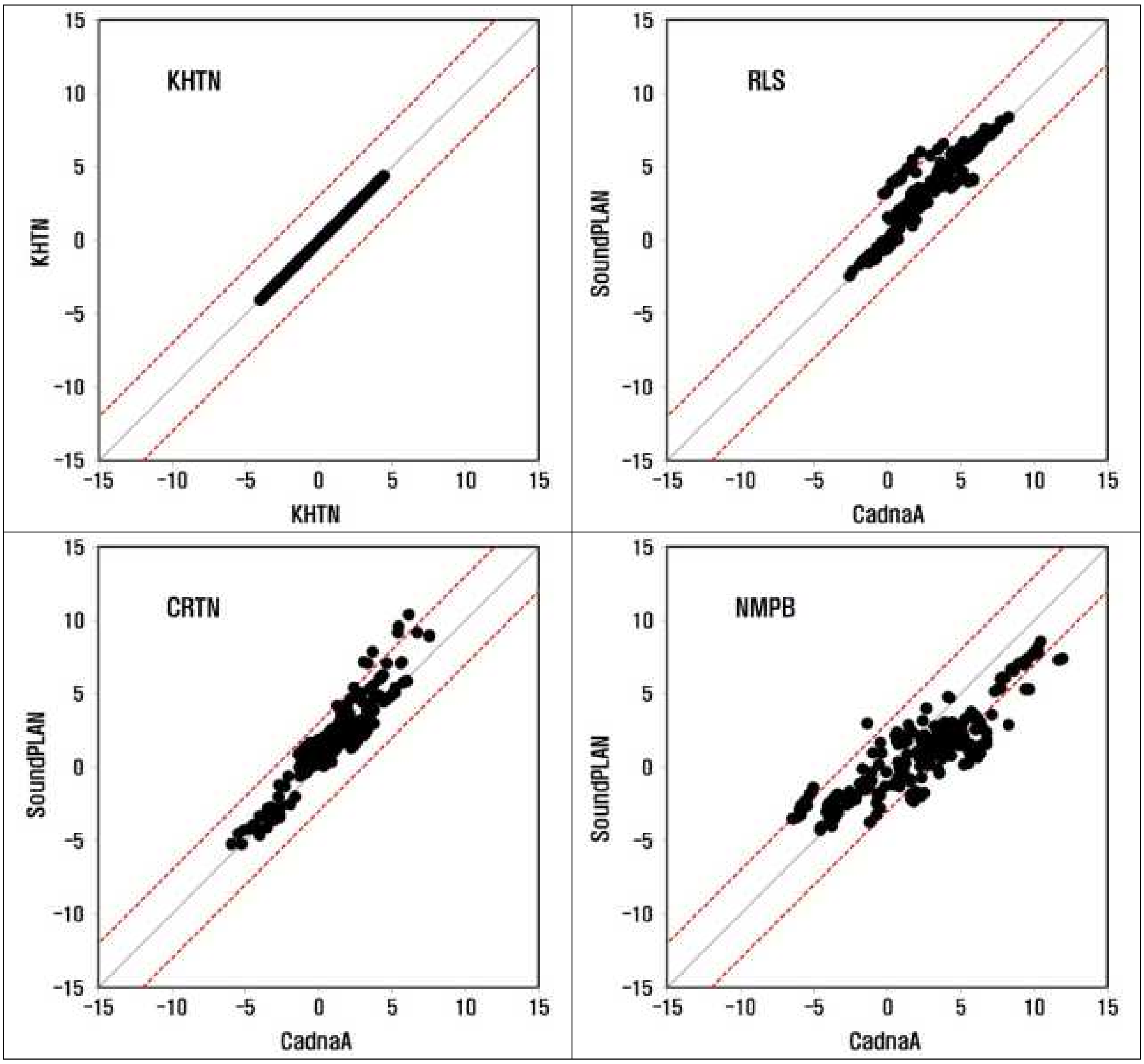


그림 4.30 전체현장에 대한 KHTN 및 상용 프로그램간 오차(±3dB 기준)분포 비교

제 5 장 고속도로 3D 소음해석 가이드라인 검토

5.1 주요 연구내용

○ 3D 도로소음 해석방법에 대한 기존 가이드라인 분석

- 환경부 소음지도 작성방법 분석
- 한국환경정책평가연구원 소음예측모델 적용 가이드라인 분석

○ 도로소음 3D 해석을 위한 적정 도로연장 검토

- 도로연장 설정에 따른 소음도 차이 비교
- 평가지점 이격거리 대비 도로연장 비(L/D)에 따른 소음도 차이 비교

5.2 기존사례 검토

3D 소음해석과 관련하여 환경부에서는 소음지도 작성방법을 고시[7]하였고 한국환경정책평가연구원에서는 소음예측모델 적용의 가이드라인을 제시[5]하고 있다. 환경부에서 고시한 소음지도 작성방법에는 예측모델의 인자적용에 대한 구체적 제시보다는 사용지도의 축척, 사용 범위・계산격자・교통량 등을 언급하고 있다. 환경정책평가연구원에서 제시 가이드라인은 환경부 고시 보다 구체적으로 도로 소음원 및 방음벽 입력 방법을 상세히 제시하고 있다. NMPB의 기상조건 및 도로 포장년수에 대한 입력 인자의 불확실성과 CRTN의 L_{10}으로 예측되는 것을 이유로 들어 RLS 모델을 이용하여 해석할 것을 권하고 있다. 표 5.1 및 표 5.2에 환경부가 고시한 소음지도 작성 방법과 한국환경정책평가연구원에서 제시한 소음예측모델 적용 가이드라인을 나타내었다.

표 5.1 소음지도 작성방법(환경부)

항 목	적용 방안
소음지도 작성 프로그램의 요구조건	지도파일 및 그림파일에 등고선, 건물높이 등의 지형·지물정보를 입력하고 대상지역을 3차원으로 표현할 수 있다. 도로소음, 철도소음에 대하여 교통량, 속력 등의 영향인자를 입력하여 소음원을 생성할 수 있다. 예측식 및 예측조건 등을 설정할 수 있다.
해석모델	CRTN, RLS90, NMPB, Nord 2000, ASJ 2003
지도의 축척	1:5000이하의 축척지도를 사용한다.
기상조건	그 지역의 최근 5년간 연평균(기온, 습도, 기압, 풍향, 풍속 등)을 사용한다.
지형조건	지형조건을 생성할 때 등고선의 입력은 최소한 주곡선 및 계곡선의 정보를 입력하여 소음전파를 계산한다.
계산격자	주요소음원을 중심으로 평면 소음지도(grid noise map)를 계산하고 주요 소음원 주변에 주거지역이 있을 때는 주거건물에 대한 높이별 외벽 소음지도(facade noise map)를 계산한다. 평면 소음지도 계산시 격자는 10×10m이하의 단위로 작성하고, 격자의 높이는 지면으로부터 1.5m를 원칙으로 한다. 높이별 소음도의 계산은 층별 소음도를 확인한다.
계산관련 영향인자 설정	아스팔트 포장 등의 도심지에서의 지면 흡음률은 “0”으로 한다. 다만, 녹지나 산 등의 지면 흡음을 특별히 고려해야하는 지역인 경우 평균적인 지면흡음률(ISO 9613)을 적용한다. 기타 전달감쇠와 관련된 영향인자는 ISO 9613에 따라 적용할 수 있다. 반사횟수는 3회 이상으로 하고, 영향 소음원의 거리는 5,000m 이상으로 하며 수음점에서의 소음계산 각도는 360°로 한다.
평가단위	소음평가단위는 등가소음도(L_{eq}, dB(A))로 한다.
교통량	1시간 교통량을 기준으로 하며, 연평균 교통량을 사용한다. 주 · 야간의 교통량은 통계자료 또는 측정한 값을 기준으로 하며, 야간의 교통량을 산정하기 어려울 때는 주간 연평균 교통량 × 0.7(국도의 경우 주간 연평균 교통량 × 0.5)로 가정한다.
속력	현재의 속력을 측정할 수 있는 지역에서는 주·야간 시간대 중 소통이 원활환 시간에 각각 1시간 동안의 속력을 측정하여 평균속력을 기준으로 한다. 단, 속력의 측정이 어려울 때는 도로의 제한속도를 사용한다.
차종구분	적용 예측식별 차종 구분(표 2.1 참조)
소음원 설정	도로는 주행 방향별로 각각 도로교통소음원으로 설정한다.
도로종단구배 및 도로 표면	도로종단구배가 5% 이상일 때는 적용하여 예측한다. 도로포장은 아스팔트와 콘크리트를 구분하고 저감 효과가 검증된 저소음포장에 대해서만 보정값을 적용한다.
소음지도의 검증	소음지도에서의 계산된 소음도 결과와 실측값을 비교하여 평균오차 ±3dB, 표준편차 3을 초과해서는 안 된다.

표 5.2 소음예측모델 적용 가이드라인(한국환경정책평가연구원)

항 목	적용 방안
도로·지형·건물 등의 정보 생성	수치 지도, 설계 데이터, 현장 조사자료 등을 활용하여 도로, 개발지역 및 그 주변의 지형 및 건물, 소음저감시설 등을 구현한 정보를 생성한다.
도로소음 예측식	도로소음 예측식은 예측식의 특성 및 장단점, 입력변수의 종류 및 내용 등의 검토를 통해 선정한다. - CRTN의 경우 소음결과가 L_{10}으로 국내 기준에 적용할 수 없다. - NMPB의 경우 기상학적 영향을 입력하도록 되어 있으나, 국내에서는 활용할 자료가 없다.
도로 소음원	- 도로폭은 도로 사양(중앙 분리대, 차선수 및 차선 폭, 갓길 등)을 고려하여 설정한다. - 도로 소음원은 상행 구간 및 하행 구간을 구분하거나 주행 차선수를 고려하여 설정한다. - 교통량, 차속, 대형 차량 비율은 도로의 구간별·연도별·시간대별 분포를 바탕으로 한 소음예측을 통해 도로소음이 최대로 발생하는 시간대의 정보를 입력한다. - 도로 구배율은 도로 지형자료를 활용하거나 직접 입력한다. - 도로 포장의 경우 포장 종류에 따른 보정값을 직접 입력한다. - 다중 반사 효과는 고려하지 않는다. - 도로소음 예측식에 따른 분류 방법과 국내 12차종 분류정보를 고려하여 차종을 구분한다. - 도로 노선과 관련하여 교통량 및 차속 동이 다른 경우 도로를 구분하여 모델링한다. - 도로 소음원과 관련한 입력변수 종류, 적용 방법, 적용값 등의 내용과 그에 따른 근거 및 사유를 명시한다.
도로소음 저감시설 및 건물	- 방음벽 종류 및 특성(꺾임형 방음벽, 흡음률 등), 위치, 높이, 길이 등에 대한 정보를 입력하여 방음벽을 생성한다. - 완전 흡음형 방음벽의 경우 No reflection을 선택하고 반사형 방음벽의 경우 방음벽 재질에 따른 Reflection loss 또는 Absorption loss 값을 입력한다. - 꺾임형 방음벽의 경우 직선형 영역과 꺾임형 영역을 명확히 구분하고 꺾임형 영역의 수평 및 수직 길이 또는 꺾은 각도를 입력하여 방음벽을 생성한다. - 교량형 방음벽의 경우 교량과 지면의 상대적 위치를 고려하여 방음벽 설치 위치를 입력한다. - 방음벽 이외의 도로 저감시설(방음둑 등)에 대하여 저감시설 위치, 높이, 길이, 재질 등을 고려하여 제원 및 특성을 입력한다.

표 5.2 소음예측모델 적용 가이드라인(한국환경정책평가연구원)(계속)

항 목	적용 방안
도로소음 저감시설 및 건물(계속)	- 건물을 모델링할 경우 이전에 생성된 건물 정보 데이터를 활용하거나 건물 형상, 배치, 위치, 높이 등의 정보를 입력한다. - 건물은 완전 반사체를 기본으로 하며, 건물 외벽의 재질 등에 대한 명확한 정보를 바탕으로 건물에 대한 반사손실(Reflection loss)을 고려한다. - 도로소음 저감시설(방음벽 등) 및 건물 모델링과 관련한 입력변수 종류, 적용 방법, 적용값 등의 내용과 그에 따른 근거 및 사유를 명시한다.
도로소음 예측결과 명시	- 도로 주변의 고층 정온시설 등에 대한 도로소음 예측결과(층별 소음분포, 도로소음 기준 초과지역 및 초과 정도)를 표로 정리하여 명시한다. - 도로 주변의 고층 정온시설에 대한 평면 등음선도, 수직 등음선도, 건물 외벽 등음선도 등을 제시한다. - 도로소음 예측결과와 도로소음 기준과의 비교·검토를 통한 도로소음기준 초과지역 및 초과정도 등을 나타내는 등음선도 등을 명시한다. - 도로소음 저감대책 시행 전 및 시행 후의 소음예측결과를 비교·검토한 결과를 표 및 등음선도 등을 통해 제시한다.
도로소음 예측결과 검증	- 3차원 소음예측모델에 의한 소음예측결과는 아래 사항을 참조하여 검증한다. · 신설이나 확장 계획이 있는 도로의 경우 도로특성(교통량, 차속 등)이 유사한 기존 도로를 활용한다. · 도로소음 측정과 동일한 시점에서의 교통량, 차속, 대형 차량비율 등의 정보에 근거한 도로소음 예측결과를 산출한다. · 동일한 시점 및 수음점에서의 도로소음 예측결과와 측정결과를 비교 검토하고 오차 원인을 분석한다. - 도로소음 검증의 분석결과를 바탕으로 도로소음 저감계획의 적정성을 검토한다.
기타 고려 사항	- 3차원 소음예측모델 적용에 따른 추가적인 고려 사항은 환경부에서 고시한 소음지도 작성방법 등의 내용을 참조한다.

5.3 도로연장 설정 검토

기존 사례에서는 도로소음 해석에 설정해야할 적정 연장에 대한 제시가 없다. 도로소음의 3차원 해석에서 소음원이 되는 도로의 연장이 충분하지 않으면 해석결과가 과소평가 될 수 있고 연장을 길게 하면 반대로 해석결과가 과대평가 되고 해석 시간도 길어지게 된다. 본 연구에서는 도로 소음원의 길이에 따른 예측 모델별 소음레벨을 분석하여 적정한 도로 연장을 검토하였다. 표 5.3에 적정 도로연장 검토를 위한 해석조건을 나타내었다. 도로 연장을 100~3000m 범위에서 변화시켜가면서 각 평가지점에서의 소음도 및 평가지점 이격거리 대비 도로연장 비(L/D)에 따른 소음도를 분석하였다. 표 5.5~5.7 및 그림 5.1~5.3에 분석결과를 나타내었다.

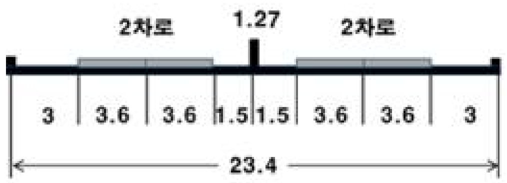
표 5.3 적정 도로연장 검토를 위한 해석 조건

<table>
<tr><th>해석조건</th><th>도로모델 단면</th></tr>
<tr><td>

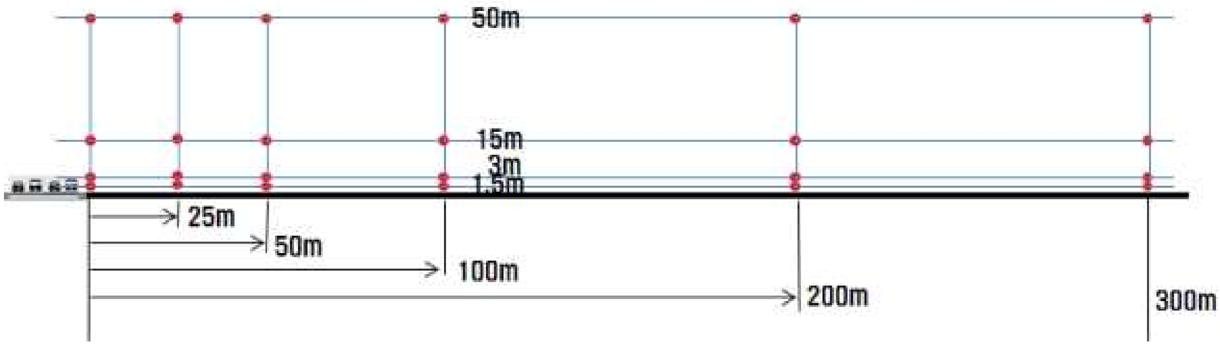
- 도로 : 왕복 4차로
- 교통량 : 왕복 4,000대/hr (차로당 1,000대/시)
- 대형차 혼입율 : 20%
- 주행속도 : 소형차 100km/h, 대형차 80km/h

</td><td>

[단위 : m]



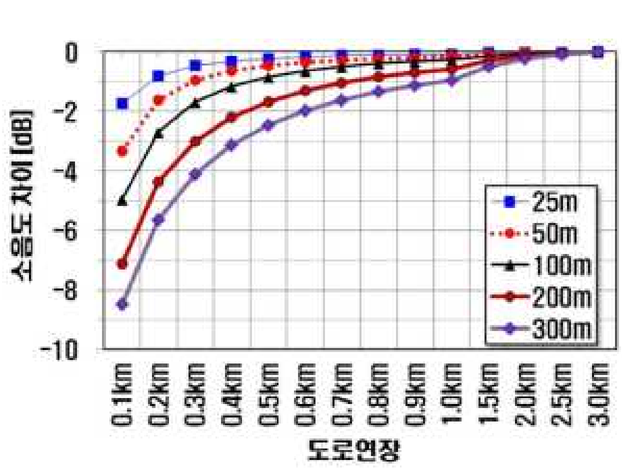
</td></tr>
<tr><td colspan="2">



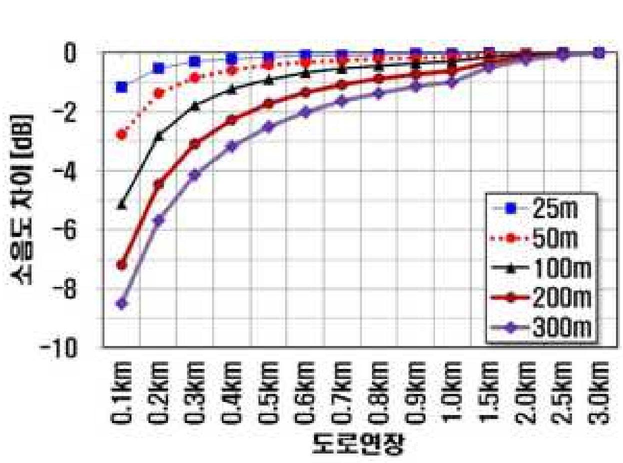
</td></tr>
</table>

표 5.4 3km 연장 대비 도로연장에 따른 소음도 차이(KHTN)

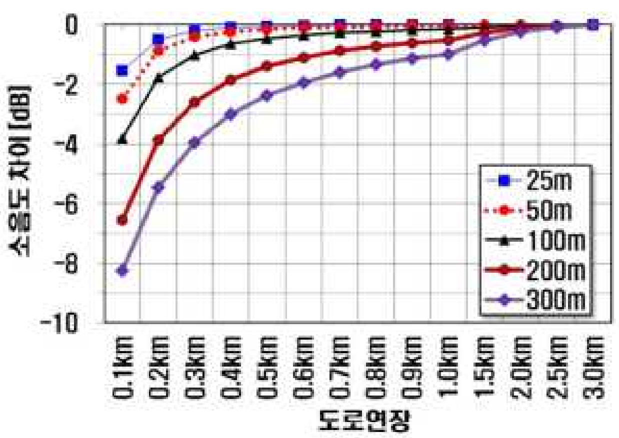
이격거리 [m]	평가높이 [m]	도로연장별 소음도 차이[dB]													
		0.1km	0.2km	0.3km	0.4km	0.5km	0.6km	0.7km	0.8km	0.9km	1km	1.5km	2km	2.5km	3km
25	1.5	-1.7	-0.8	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	3	-1.2	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	15	-1.5	-0.5	-0.2	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	50	-3.0	-1.3	-0.7	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
50	1.5	-3.3	-1.6	-1.0	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	0.0	0.0	0.0
	3	-2.8	-1.4	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0
	15	-2.5	-0.9	-0.4	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	50	-3.6	-1.7	-1.0	-0.6	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
100	1.5	-5.0	-2.7	-1.7	-1.1	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	0.0	0.0
	3	-5.1	-2.8	-1.8	-1.2	-0.9	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	0.0	0.0
	15	-3.8	-1.8	-1.0	-0.6	-0.5	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0
	50	-4.9	-2.5	-1.4	-0.9	-0.6	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
200	1.5	-7.1	-4.4	-3.0	-2.2	-1.7	-1.3	-1.0	-0.9	-0.7	-0.6	-0.3	-0.1	0.0	0.0
	3	-7.2	-4.5	-3.1	-2.3	-1.7	-1.3	-1.1	-0.9	-0.7	-0.6	-0.3	-0.1	-0.1	0.0
	15	-6.6	-3.9	-2.6	-1.9	-1.4	-1.1	-0.9	-0.7	-0.6	-0.5	-0.3	-0.1	0.0	0.0
	50	-6.5	-3.8	-2.4	-1.7	-1.2	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.1	0.0	0.0	0.0
300	1.5	-8.5	-5.7	-4.1	-3.1	-2.5	-2.0	-1.6	-1.3	-1.1	-1.0	-0.5	-0.2	-0.1	0.0
	3	-8.5	-5.7	-4.1	-3.2	-2.5	-2.0	-1.6	-1.4	-1.2	-1.0	-0.5	-0.2	-0.1	0.0
	15	-8.2	-5.5	-3.9	-3.0	-2.4	-1.9	-1.6	-1.3	-1.1	-1.0	-0.5	-0.2	-0.1	0.0
	50	-7.8	-5.0	-3.4	-2.5	-1.8	-1.4	-1.1	-0.9	-0.7	-0.6	-0.3	-0.1	0.0	0.0



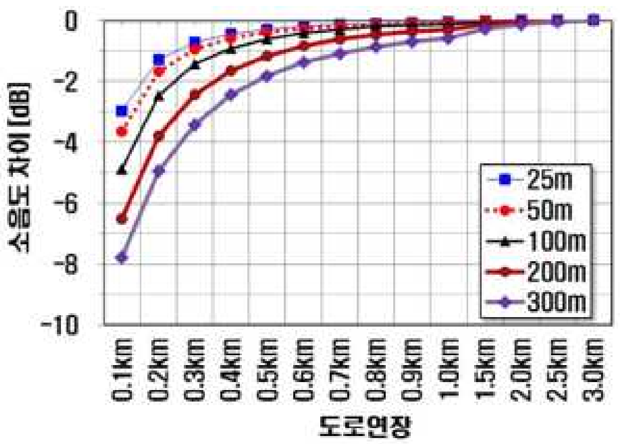
평가점 높이 1.5m



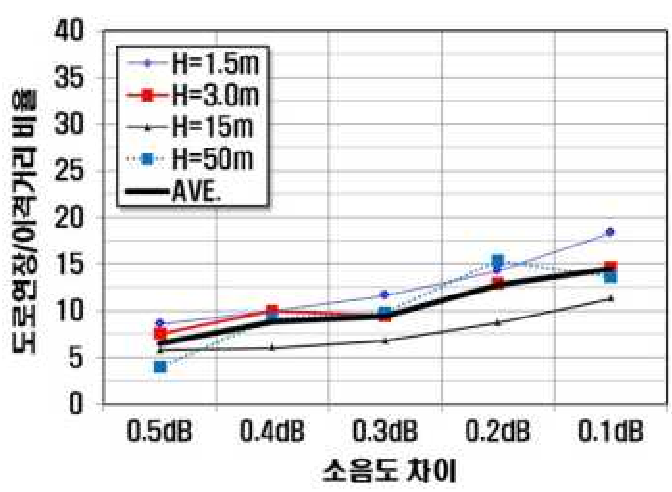
평가점 높이 3m



평가점 높이 15m



평가점 높이 50m

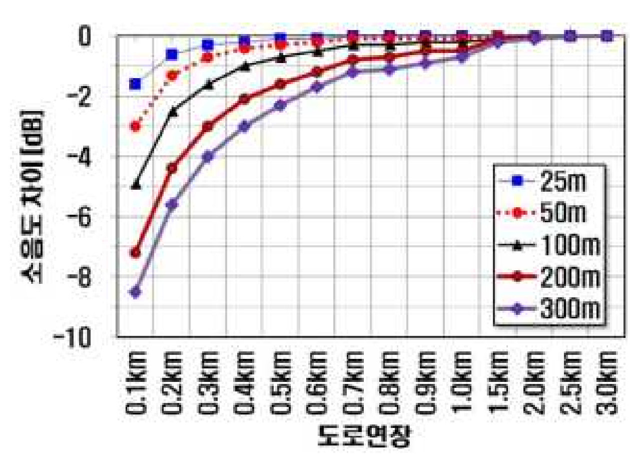


도로연장-이격거리 비율에 소음도 차이

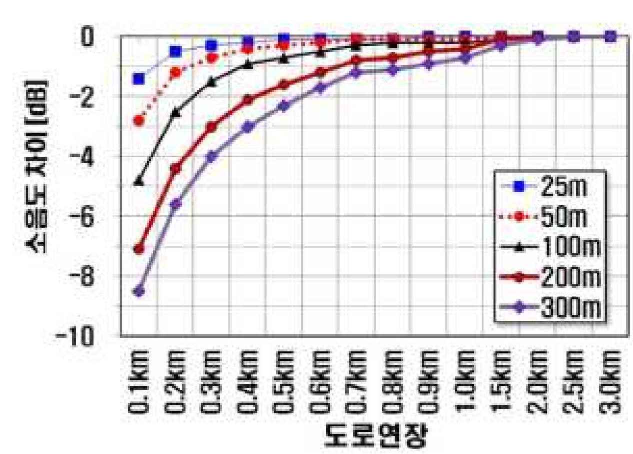
그림 5.1 3km 연장 대비 도로연장 및 L/D비에 따른 소음도 차이(KHTN)

표 5.5 3km 연장 대비 도로연장에 따른 소음도 차이(RLS)

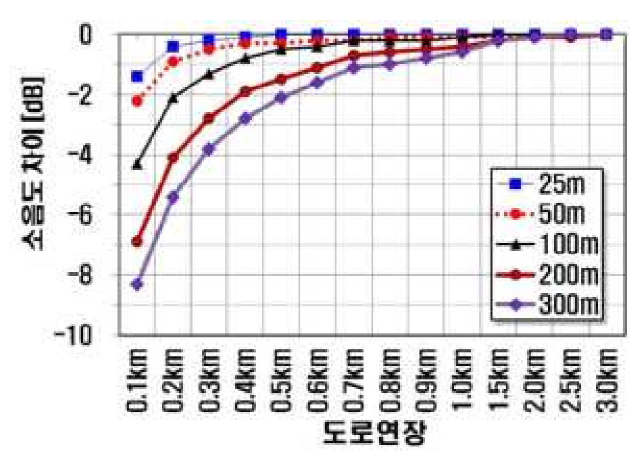
이격거리 [m]	평가높이 [m]	도로연장별 소음도 차이[dB]													
		0.1km	0.2km	0.3km	0.4km	0.5km	0.6km	0.7km	0.8km	0.9km	1km	1.5km	2km	2.5km	3km
25	1.5	-1.6	-0.6	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	3	-1.4	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	15	-1.4	-0.4	-0.2	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	50	-2.9	-1.2	-0.6	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
50	1.5	-3.0	-1.3	-0.7	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	3	-2.8	-1.2	-0.7	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	15	-2.2	-0.9	-0.5	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0
	50	-3.6	-1.6	-0.8	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0
100	1.5	-4.9	-2.5	-1.6	-1.0	-0.7	-0.5	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1	0.0	0.0	0.0
	3	-4.8	-2.5	-1.5	-0.9	-0.7	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	0.0	0.0	0.0
	15	-4.3	-2.1	-1.3	-0.8	-0.5	-0.4	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	50	-4.7	-2.3	-1.2	-0.7	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
200	1.5	-7.2	-4.4	-3.0	-2.1	-1.6	-1.2	-0.8	-0.7	-0.5	-0.5	-0.1	-0.1	0.0	0.0
	3	-7.1	-4.4	-3.0	-2.1	-1.6	-1.2	-0.8	-0.7	-0.5	-0.4	-0.1	0.0	0.0	0.0
	15	-6.9	-4.1	-2.8	-1.9	-1.5	-1.1	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2	-0.1	-0.1	0.0
	50	-6.2	-3.5	-2.3	-1.5	-1.1	-0.8	-0.5	-0.4	-0.4	-0.3	-0.1	0.0	0.0	0.0
300	1.5	-8.5	-5.6	-4.0	-3.0	-2.3	-1.7	-1.2	-1.1	-0.9	-0.7	-0.2	-0.1	0.0	0.0
	3	-8.5	-5.6	-4.0	-3.0	-2.3	-1.7	-1.2	-1.1	-0.9	-0.7	-0.3	-0.1	0.0	0.0
	15	-8.3	-5.4	-3.8	-2.8	-2.1	-1.6	-1.1	-1.0	-0.8	-0.6	-0.2	-0.1	0.0	0.0
	50	-7.9	-5.0	-3.5	-2.6	-1.9	-1.5	-1.0	-1.0	-0.8	-0.6	-0.2	-0.1	0.0	0.0



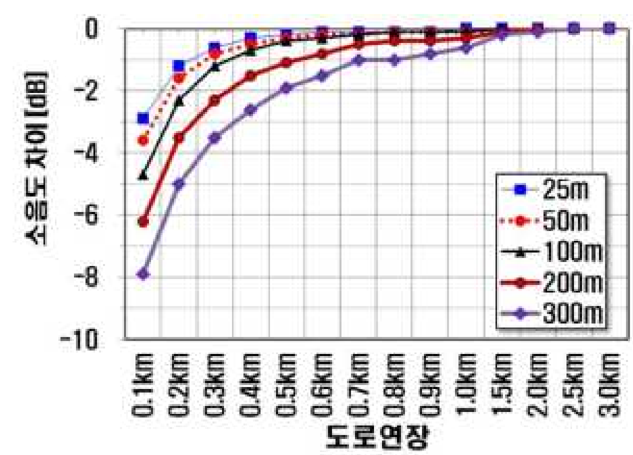
평가점 높이 1.5m



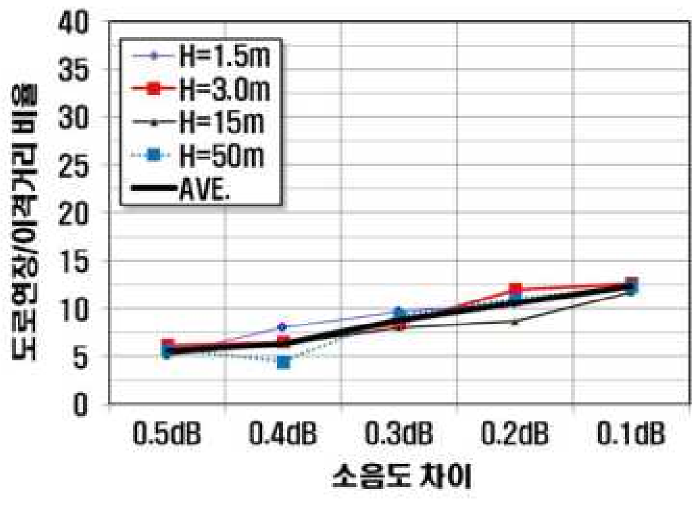
평가점 높이 3m



평가점 높이 15m



평가점 높이 50m

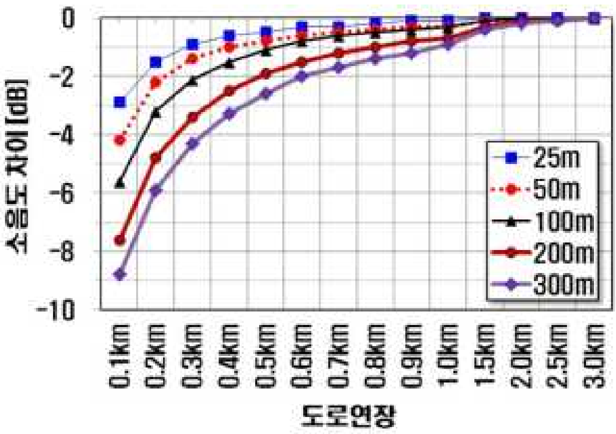


도로연장-이격거리 비율에 소음도 차이

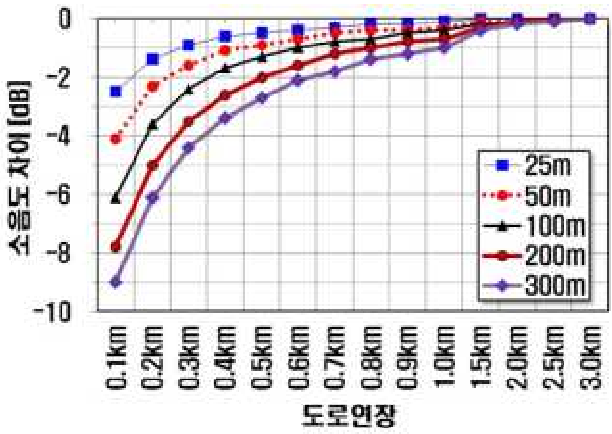
그림 5.2 3km 연장 대비 도로연장 및 L/D비에 따른 소음도 차이(RLS)

표 5.6 3km 연장 대비 도로연장에 따른 소음도 차이(NMPB)

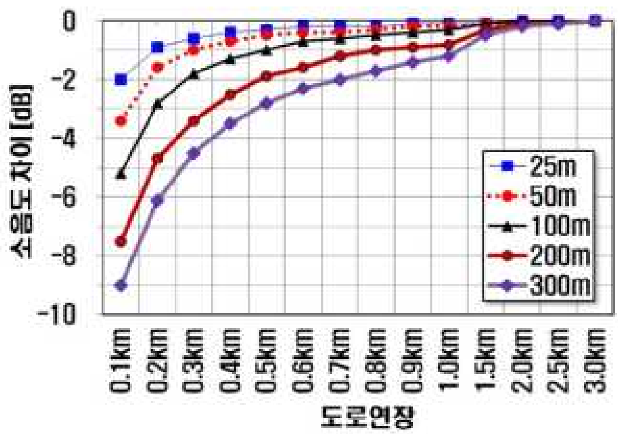
이격 거리 [m]	평가 높이 [m]	도로연장별 소음도 차이[dB]													
		0.1km	0.2km	0.3km	0.4km	0.5km	0.6km	0.7km	0.8km	0.9km	1km	1.5km	2km	2.5km	3km
25	1.5	-2.9	-1.5	-0.9	-0.6	-0.5	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	3	-2.5	-1.4	-0.9	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	15	-2.0	-0.9	-0.6	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0
	50	-3.1	-1.4	-0.9	-0.6	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0
50	1.5	-4.2	-2.2	-1.4	-1.0	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	0.0
	3	-4.1	-2.3	-1.6	-1.1	-0.9	-0.7	-0.5	-0.4	-0.4	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	0.0
	15	-3.4	-1.6	-1.0	-0.7	-0.5	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	0.0
	50	-3.9	-1.9	-1.1	-0.8	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1	0.0	0.0	0.0
100	1.5	-5.6	-3.2	-2.1	-1.5	-1.1	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.1	0.0	0.0	0.0
	3	-6.1	-3.6	-2.4	-1.7	-1.3	-1.0	-0.8	-0.7	-0.5	-0.4	-0.2	-0.1	0.0	0.0
	15	-5.2	-2.8	-1.8	-1.3	-1.0	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.1	0.0	0.0	0.0
	50	-5.3	-2.9	-1.8	-1.2	-0.9	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	0.0	0.0
200	1.5	-7.6	-4.8	-3.4	-2.5	-1.9	-1.5	-1.2	-1.0	-0.8	-0.7	-0.3	-0.1	-0.1	0.0
	3	-7.8	-5.0	-3.5	-2.6	-2.0	-1.6	-1.2	-1.0	-0.8	-0.7	-0.3	-0.1	0.0	0.0
	15	-7.5	-4.7	-3.4	-2.5	-1.9	-1.6	-1.2	-1.0	-0.9	-0.8	-0.3	-0.1	-0.1	0.0
	50	-7.3	-4.5	-3.1	-2.2	-1.7	-1.3	-1.0	-0.8	-0.6	-0.5	-0.2	-0.1	0.0	0.0
300	1.5	-8.8	-5.9	-4.3	-3.3	-2.6	-2.0	-1.7	-1.4	-1.2	-0.9	-0.4	-0.2	-0.1	0.0
	3	-9.0	-6.1	-4.4	-3.4	-2.7	-2.1	-1.8	-1.4	-1.2	-1.0	-0.4	-0.2	-0.1	0.0
	15	-9.0	-6.1	-4.5	-3.5	-2.8	-2.3	-2.0	-1.7	-1.4	-1.2	-0.5	-0.2	-0.1	0.0
	50	-8.7	-5.8	-4.2	-3.2	-2.5	-2.0	-1.6	-1.3	-1.1	-0.9	-0.4	-0.2	-0.1	0.0



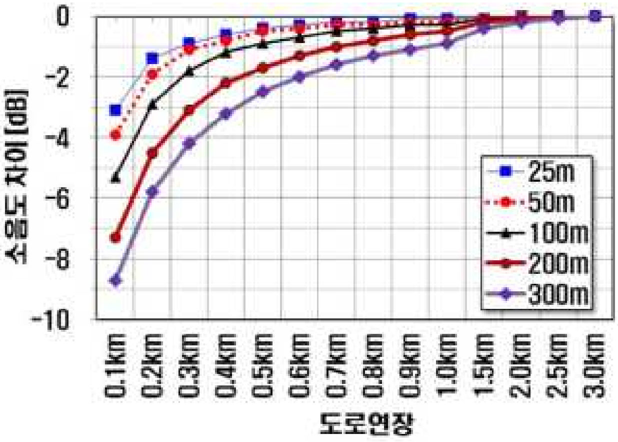
평가점 높이 1.5m



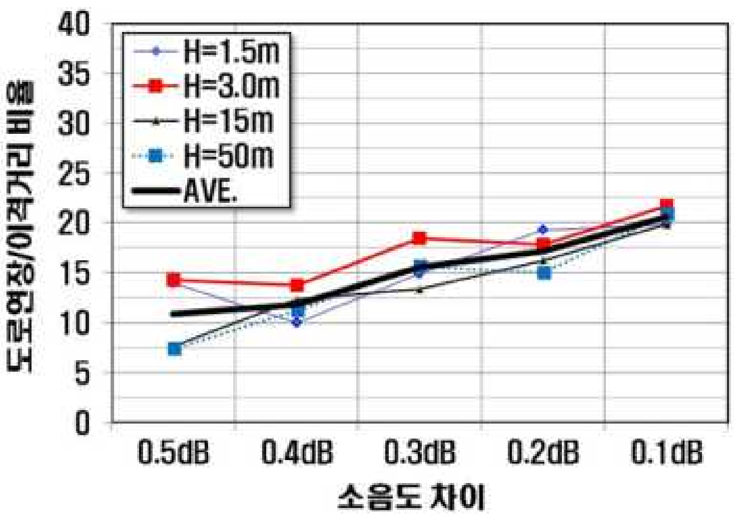
평가점 높이 3m



평가점 높이 15m



평가점 높이 50m

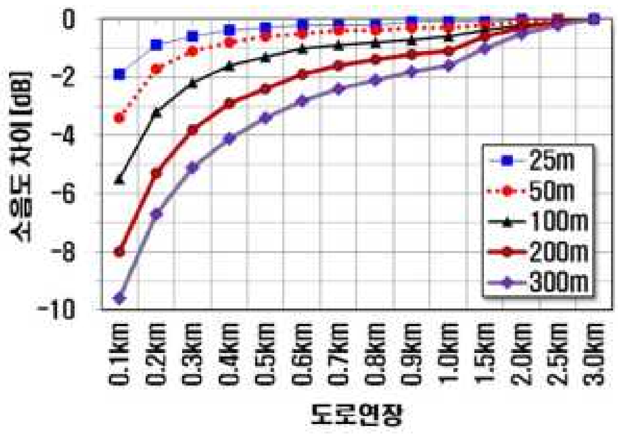


도로연장-이격거리 비율에 소음도 차이

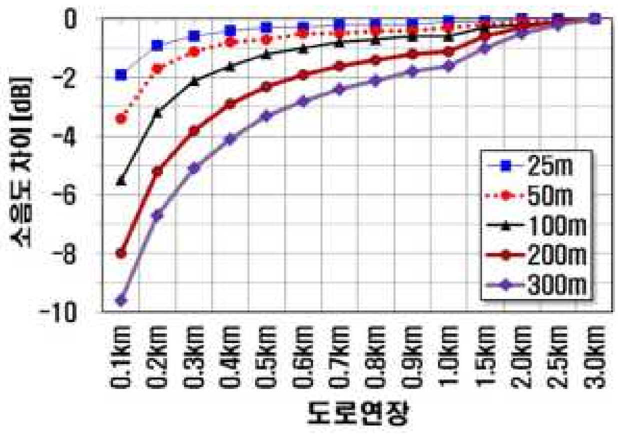
그림 5.2 3km 연장 대비 도로연장 및 L/D비에 따른 소음도 차이(NMPB)

표 5.7 3km 연장 대비 도로연장에 따른 소음도 차이(CRTN)

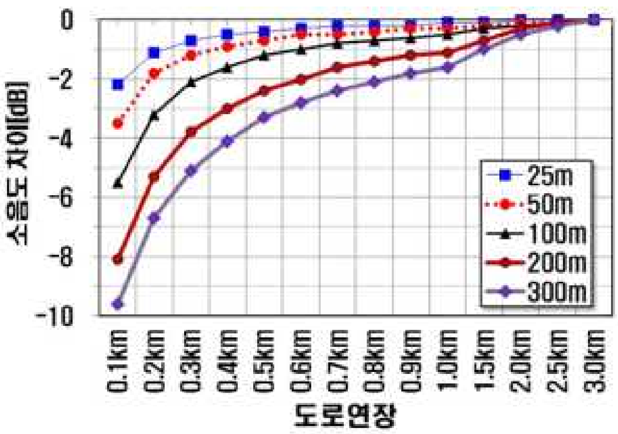
이격거리 [m]	평가높이 [m]	도로연장별 소음도 차이[dB]													
		0.1km	0.2km	0.3km	0.4km	0.5km	0.6km	0.7km	0.8km	0.9km	1km	1.5km	2km	2.5km	3km
25	1.5	-1.9	-0.9	-0.6	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0
	3	-1.9	-0.9	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0
	15	-2.2	-1.1	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0
	50	-3.5	-1.8	-1.1	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	0.0	0.0
50	1.5	-3.4	-1.7	-1.1	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.0
	3	-3.4	-1.7	-1.1	-0.8	-0.7	-0.5	-0.5	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	0.0
	15	-3.5	-1.8	-1.2	-0.9	-0.7	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	0.0
	50	-4.3	-2.3	-1.5	-1.0	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.0
100	1.5	-5.5	-3.2	-2.2	-1.6	-1.3	-1.0	-0.9	-0.8	-0.7	-0.6	-0.4	-0.2	-0.1	0.0
	3	-5.5	-3.2	-2.1	-1.6	-1.2	-1.0	-0.8	-0.7	-0.6	-0.6	-0.3	-0.2	-0.1	0.0
	15	-5.5	-3.2	-2.1	-1.6	-1.2	-1.0	-0.8	-0.7	-0.6	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	0.0
	50	-5.9	-3.4	-2.3	-1.7	-1.3	-1.0	-0.9	-0.7	-0.6	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	0.0
200	1.5	-8.0	-5.3	-3.8	-2.9	-2.4	-1.9	-1.6	-1.4	-1.2	-1.1	-0.6	-0.3	-0.1	0.0
	3	-8.0	-5.2	-3.8	-2.9	-2.3	-1.9	-1.6	-1.4	-1.2	-1.1	-0.6	-0.3	-0.1	0.0
	15	-8.1	-5.3	-3.8	-3.0	-2.4	-2.0	-1.6	-1.4	-1.2	-1.1	-0.7	-0.3	-0.1	0.0
	50	-8.0	-5.2	-3.8	-2.9	-2.3	-1.9	-1.5	-1.3	-1.1	-1.0	-0.5	-0.2	-0.1	0.0
300	1.5	-9.6	-6.7	-5.1	-4.1	-3.4	-2.8	-2.4	-2.1	-1.8	-1.6	-1.0	-0.5	-0.2	0.0
	3	-9.6	-6.7	-5.1	-4.1	-3.3	-2.8	-2.4	-2.1	-1.8	-1.6	-1.0	-0.5	-0.2	0.0
	15	-9.6	-6.7	-5.1	-4.1	-3.3	-2.8	-2.4	-2.1	-1.8	-1.6	-1.0	-0.5	-0.2	0.0
	50	-9.6	-6.7	-5.1	-4.1	-3.3	-2.8	-2.4	-2.1	-1.8	-1.6	-0.9	-0.5	-0.2	0.0



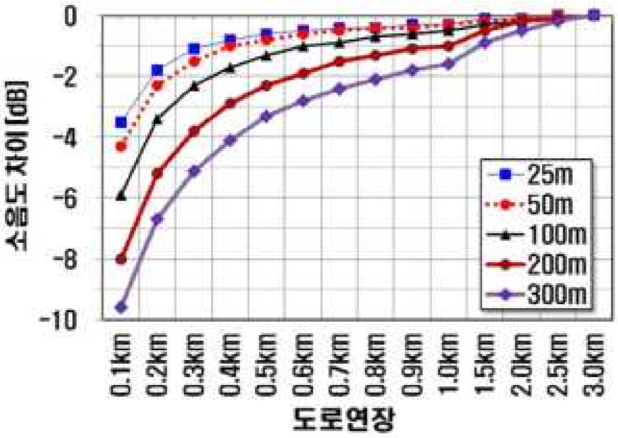
평가점 높이 1.5m



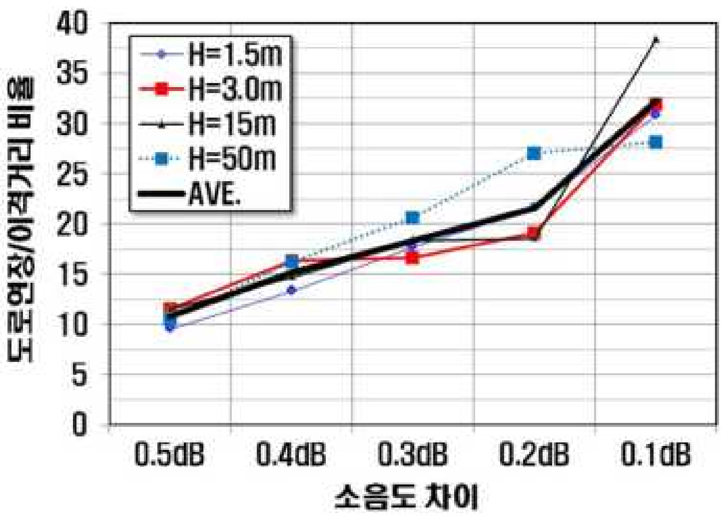
평가점 높이 3m



평가점 높이 15m



평가점 높이 50m



도로연장-이격거리 비율에 소음도 차이

그림 5.3 3km 연장 대비 도로연장 및 L/D비에 따른 소음도 차이(CRTN)

3km 연장 대비 도로연장 변화에 따른 해서값의 차이를 각 평가지점의 이격거리와의 비율(L/D, L: 도로연장, D: 이격거리)로 비교하여 검토한 결과, 도로연장을 3km로 설정하여 해석한 결과와 비교하여 0.5dB의 차이가 나도록 하려면 RLS의 경우 도로연장을 이격거리의 최소 5배 이상으로 설정해야 하며, 0.1dB의 차이가 나도록 하려면 도로연장을 이격거리에 비해 최소 13배 이상을 확보해야 하는 것으로 검토되었다. 이에 비하여 CRTN은 약 32배의 연장이 필요한 것으로 나타나 가장 긴 연장이 필요한 것으로 분석되었다. KHTN은 지면 흡음의 영향이 다른 모델에 비해 상대적으로 작아 먼 거리까지 소음원의 영향이 전파되어지기 때문에 상대적으로 L/D 비가 작은 것으로 판단되며 RLS는 지면 흡음의 영향을 반영하지 않으므로 L/D 비가 더욱 작은 것으로 분석되었다.

제 6 장 결 론

고속도로 3D 소음해석을 위한 해석모델 및 인자 분석을 위해 수행한 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

○ 현재 국내에서 고속도로 소음해석에 사용되는 4개 모델(KHTN, CRTN, RLS, NMPB)의 인자를 분석한 결과 모두 독자적인 방법에 의해 구현된 모델을 사용하고 있으며 KHTN과 NMPB만 ISO 9613을 준용한 전파모델을 구성하고 있었다. 음원모델의 특징은 4개 모델 모두 주행속도 증가에 따른 소음도 증가의 양상은 비슷하며 대형차 혼입율에 대한 소음도 증가율은 KHTN과 RLS가 조금 더 민감한 양상을 나타냈다. 전파모델에서의 회절감쇠의 양상은 KHTN과 RLS가 비슷하나 RLS가 다른 3개의 모델에 비해 가장 적은 회절감쇠특성을 갖는 것으로 분석되었다.

○ 고속도로 현장측정을 통해 해석모델의 정확도를 검토하였다. 다양한 고속도로 구조에 대한 현장측정을 하였으며 방음벽 배후에 있어서는 RLS와 KHTN의 오차가 상대적으로 크게 나타났으며 NMPB의 경우 CadnaA와 SoundPLAN의 해석결과 차이가 크게 나타나 향후 상용 프로그램간의 오차도 확인이 필요할 것으로 판단된다. 성토구조에서는 KHTN의 정확도가 가장 높게 나타났고 RLS의 정확도가 상대적으로 낮은 것으로 평가되었으며, 교량구조에서도 RLS의 정확도가 가장 낮은 것으로 평가되었다.

○ 20개 현장 238개의 측정값에 대해 해석모델별 정확도를 분석한 결과 ±3dB 오차범위를 기준으로 KHTN이 가장 정확도가 높은 것으로 평가되었다. 오차의 산포범위도 KHTN이 가장 좁게 (-4～4.4dB) 나타났으며 NMPB의 산포가 가장 넓게(-6.5～11.9dB) 나타났다. 상용 프로그램간의 해석결과 차이에 있어서는 RLS가 가장 작게, NMPB가 가장 크게 나타났다.

○ 본 연구의 측정 및 해석는 공정성을 위해 외부기관에 의해 수행되었으며, 측정결과는 기상의 영향, 해석결과는 사용자에 의한 영향이 포함되어 있을 것으로 사료되며 향후 추가적인 연구를 통해 보다 많은 현장에 대한 측정 및 분석이 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 고속도로 포장노면과 타이어간의 마찰음 분석 및 평가기법 연구, 한국도로공사 도로교통연구원, 2006
2. 고속도로 교통소음 저감대책 수립에 관한 용역, 한국도로공사, 2007
3. ISO 9613-1 Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoor - Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere
4. ISO 9613-2 Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoor - Part 2: General method of calculation
5. 환경영향평가에 적용되는 3차원 소음예측모델의 가이드라인 마련 연구, KEI, 2012
6. 환경영향 예측모델 활용지침 마련을 위한 연구, KEI, 2007
7. 소음지도의 작성방법, 환경부고시 제2013-75호, 2013
8. CadnaA Reference Manual
9. SoundPLAN User's Manual

도 서 정 보

<table>
<tr><td>1. 연구보고서 번호 :
연구원-2017-46-534.9607</td><td colspan="2">2. 도서목록번호</td><td>3. 수령번호</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">4. 제 목
고속도로 3D 소음해석을 위한 적용모델 및 인자 분석</td><td>5. 발간년월일 : 2017년 12월</td></tr>
<tr><td>6. 연구수행 기관명 코드</td></tr>
<tr><td colspan="3">7. 연구담당자와 소속연구실
환경연구실 김철환</td><td>8. 연구보고서 발간번호</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">9. 연구수행기관 또는 부서
한국도로공사 도로교통연구원</td><td>10. 사업분류코드</td></tr>
<tr><td>11. 계약 또는 인가번호</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">12. 연구제안 부서 또는 기관명
한국도로공사 도로교통연구원</td><td>13. 연구기관과 보고형태</td></tr>
<tr><td>14. 연구의뢰 기관명코드</td></tr>
<tr><td colspan="4">15. 기타사항</td></tr>
<tr><td colspan="4">16. 요 약 :
공동주택의 소음대책을 위해서는 기존의 2차원(2-dimensional) 해석 방법으로는 정확한 소음해석이 어려워지면서 3차원(3-dimensional) 방식의 소음해석이 일반적이 되고 있다. 하지만, 3차원 소음해석 방법은 2차원 소음해석에 비해 한차원 많은 설계변수가 요구되고 특히, 최근 3차원 소음해석에 사용되고 있는 상용 소프트웨어들은 다양한 해석모델과 함께 많은 설계변수가 적용되고 있다. 소음해석에 적용되는 변수들이 다양할수록 보다 정교한 소음해석이 가능하지만 이에 대한 적용 가이드라인이 없는 경우 사용자에 따라 다른 해석결과를 가져오게 된다. 본 연구에서는, 국내 도로소음 해석에 많이 사용되는 해석모델(CRTN, RLS-90, NMPB, KHTN)과 이 해석모델을 탑재하고 있는 상용 소프트웨어(CadnaA, SoundPLAN)의 인자들을 분석하고 고속도로 주변 현장측정을 통한 측정값과 비교하여 그 특징을 분석하였다. 해석모델별 음원모델과 전파모델을 분리하여 각 각에 대한 특징을 분석하고 고속도로 포장종류 및 구조, 방음벽배후 등 다양한 조건에서 현장소음을 측정하고 그 결과를 해석결과와 비교하여 해석모델의 특징을 검토하였다.</td></tr>
<tr><td colspan="3">17. 키워드: 소음, 방음벽, 성능설계, 소음대책</td><td>18. 발행부서 및 배포구분</td></tr>
<tr><td>19. 비밀구분</td><td>20. 비밀페이지</td><td>21. 총페이지 146</td><td>22. 가격</td></tr>
</table>

INFORMATION

1. Report No. KECRI-2017-46-534.9607	2. Accession No.	3. Receipt No.
4. Title and Subtitle Model and Parameter Analysis for Highway Noise 3D Calculations		5. Report Date : 2017. 12. 6. Performing
7. Researchers Environment Research Division Kim, Chulhwan		8. Performing Organization Report No.
9. Research Agency Name and Address Expressway & Transportation Research Institute		10. Work Unit Code 11. Contract or Grant No.
12. Sponsoring Agency Name and Address Expressway & Transportation Research Institute		13. Type of Report and Period Covered 14. Sponsoring Agency
15. Supplementary Note		
16. Abstract : For designing the noise mitigation plan of these types of apartment house, 3-dimensional noise analysis should be general because 2-dimensional noise analysis can not consider design factors analysis along the highway. The more design parameters in the model the more detail design would be considered but, there would be deviation in the result without guidelines for users. In this study, road traffic analysis models such as CRTN(uk), RLS-90(de), NMPB(fr), KHTN(kr) and it's package commercial software such as CadnaA, SoundPLAN are considered. For considering it's parameters such as the effect of speed, traffic volume, road gradient, type of road pavement, ground absorption, noise measurements have been performed for various highway sites such as asphalt pavement road, concrete pavement road, road side, far-field area and behind noise barriers in different heights. Compared with measured values and calculated values, noise analysis model and it's parameters have featured for making a user's guideline.		
17. Key Word : Noise, Noise abating device, Noise calculation model, Noise Abatement		18. Circulation and Distribution Statement

19. Security Classify	20. Security Page	21. No. of Page 146	22. Price

보고서 집필 내역

구분	소속 및 직책	성명	집필 부분	비고
연구책임자	환경연구실	김철환	총괄, 제1장, 제2장, 제3장 제4장, 제5장, 제6장	
참여연구자	환경연구실	강혜진	제3장, 제4장	
	환경연구실	장태순	제2장, 제5장	
	유니슨테크놀러지(주)	윤제원	제2장, 제3장, 제4장, 제5장	위탁 용역
	㈜팀버웨어	이주원	제3장, 제4장	위탁 용역

본 연구는 한국도로공사 도로교통연구원에서 수행한 연구성과물로서 정부와 공사의 정책이나 견해와는 관계없으며, 공사의 승인없이 연구내용의 일부 또는 전부를 다른 목적으로 이용할 수 없습니다.

발 행 처 : 한국도로공사 도로교통연구원

우편번호 : 18489

주 소 : 경기도 화성시 동부대로 922번길 208-96

전 화 : 031-8098-6161

F A X : 031-8098-6149

홈페이지 : http://www.ex.co.kr

발 행 월 : 2017년 12월