

저소음 포장 시공에 따른 편익비용 평가*

배운신** · 문성호***

Benefit Cost Evaluation of Noise Reduction Pavement*

Yoon-Shin Bae** · Sung-Ho Mun***

요약 : 본 연구는 도로변 소음환경평가를 위해 교통소음예측모델을 이용하였다. 본 모델은 야외음향전달방법에 근거하며 또한, ISO 9613-2에 따른 모델이다. 그리고 차량형태에 따라 음향파워레벨(sound power level)을 예측할 수 있는 식을 이용하였다. 다양한 포장형식에 따른 비용편익을 분석하기 위해 교통소음의 크기에 따른 배상액들을 고려하였다. 교통소음예측모델을 이용하여 소음레벨을 예측하고 그 결과값에 따른 배상액을 결정하는 과정을 통해 비교하는 분석 방법이 의사결정의 도구로써 사용될 수 있음을 확인하였다. 특히 다양한 차량형태를 고려한 교통소음형태를 모델링하였고 포장에 대해 소음평가를 할 수 있었다. 따라서 배상액의 비교분석 방법에 따라 저소음 포장을 평가할 수 있었다.

주제어 : 교통소음예측, 음향파워레벨, 배상금액, 저소음 포장

ABSTRACT : A traffic noise prediction model was used for noise-related environmental assessment in road area. The model is based on an outdoor sound propagation method, and is compliant with ISO 9613-2 and the sound power level(PWL) estimation for a traffic noise patterns of vehicles. In order to evaluate cost benefits of several pavement types, compensation costs were considered based on traffic noise levels. Through evaluating the compensation costs using the traffic noise prediction model, it can be found that a comparison analysis method based on compensation costs roles as a decision making tool to choose an appropriate pavement type, considering traffic noise patterns of several vehicle types. Therefore, noise reduction pavement can be evaluated according to the comparison analysis method of compensation costs.

Key Words : traffic noise prediction, sound power level, compensation costs, noise reduction pavement

* 이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비(일부)지원으로 수행되었습니다.

** 서울연구원 안전환경연구실 부연구위원(Associate Research Fellow, The Seoul Institute)

*** 서울과학기술대학교 건설시스템디자인공학과 조교수(Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science & Technology), 교신저자(E-mail: smun@seoultech.ac.kr, Tel: 02-970-9014)

I. 서론

중앙환경분쟁조정위원회는 부천시 부평-신월 간 경인고속도로 인근 주민이 고속도로에서 발생되는 소음, 진동, 먼지 등에 따른 정신적 피해에 대한 분쟁조정에 있어 고속도로 소음 배상(동아일보, 2002) 책임이 관리기관에 있음을 결정 내렸다. 이를 계기로 환경소음에 대한 많은 관심을 보이게 되었으며, 환경오염 피해분야에서 소음이 차지하는 비중이 가장 많다(중앙환경분쟁조정위원회, 2011). 본 논문에서 다루고자 하는 소음(진동이 포함된)의 환경분쟁 조정신청 현황을 살펴보면 1991년도부터 2000년까지는 연간 조정신청의 경우 56건이었으나, 2001년 이후에는 연간 400에서 500건으로 급속히 증가하고 있음을 알 수 있다(이수갑 외, 2007). 소음 피해사건에 대해 살펴보면 환경분쟁조정 신청 건수가 1991년부터 2010년까지 20년간 총 2,208건이었으며 이중 소음을 단독 요인으로 신청한 경우는 총 177건이며, 피해유형으로는 정신적 피해가 154건, 농수산물 등 재산 피해 59건, 가축피해 44건, 영업피해가 18건으로 중복응답도 포함하고 있다(중앙환경분쟁조정위원회, 2011).

소음이 인체에 미치는 영향으로는 소음성 난청, 불쾌감, 그리고 생리적 위해 요인을 들 수 있다. 소음성 난청은 8시간 동안 85dBA 혹은 그 이상의 소음레벨에 노출될 경우 발병할 가능성이 매우 높다고 알려져 있다. 불쾌감은 인체에 미치는 영향 중 심리적, 정신적 피해로서 발생된 소음에 의해 생활 활동에 방해를 줄 뿐만 아니라 업무효율의 저하를 야기시킨다. 마지막으로 생리적인 위해로는 생리적 변화를 들 수 있는데 소화기 계통의 변화, 호르몬 변화, 신경성 쇠약, 심장박동의 변화이다.

지가와 소음 간의 관계로는 소음 1dBA 상승에 지가가 0.63% 하락하는 관계식을 제안하기도 한다(이수갑 외, 2007). 해외에는 교통소음 저감을 위한 지불용의(Willingness to Pay, WTP) 접근법에 근거해서 1dBA를 줄이는 데 연간 얼마나 지불할 수 있는지를 조사한 자료에 근거하면, 덴마크 코펜하겐 도심주변의 경우 소음레벨이 55dBA의 지역인 경우 2유로를 지불할 의사를 보여주고 있고 소음레벨이 75dBA의 지역인 경우는 10유로를 지불할 의사를 보여주고 있다(Björner, 2004). 스페인 지역에서 연구한 논문(Lera-Lopez et al., 2012)에 의하면 젊고 많은 교육을 받은 층일수록 소음환경에 민감하게 반응하였으며 또한, 많은 지불용의(WTP)를 보여 주었다. 반면 홍콩에서 연구한 결과(Li et al., 2009)에서는 개인의 연봉이 높고 현재 접하고 있는 소음레벨의 크기가 큰 경우 지불용의(WTP)가 큼을 보여주고 있다. 따라서 위에서 언급된 것처럼 도심주변에서 발생하는 소음레벨 크기에 따라 그 지역주민이 지불용의(WTP)를 달리함을 볼 수 있다. 즉 조용한 지역의 경우는 소음레벨을 줄이는데 지불용의(WTP)가 적은 반면에 주변이 시끄러운 지역의 경우는 소음레벨을 줄이는데 지불용의(WTP)가 큼을 알 수 있다.

이와 유사한 접근방법 중 하나로서 본 연구에서는 소음 피해에 따른 배상액 관점에서 저소음 포장시공의 비용편익을 산정하고자 하며 이를 위해 차량 및 노면 종류별 음향파워레벨 산정식을 이용하고 이와 더불어 ISO 9613-2(1996)에서 제안하는 음향전달식을 이용하고자 한다. 본 음향파워레벨 산정식은 다양한 포장형식에 따라 소음레벨을 줄이는 데 어느 정도 효과가 있는지를 차량 및 노면 종류별 음향파워레벨 산정식에 대해 좀 더 자세히 살펴보고자 하며 또한, 소음 피해에

다른 배상액 산정에 대해 살펴보고자 한다.

II. 차량 및 노면 종류별 음향파워레벨 산정식

차량 및 노면 종류별 음향파워레벨 산정식은 기존 연구(Cho and Mun, 2008)에서 볼 수 있듯이 음향파워 보정계수와 차량별 근접장 소음(Close Proximity, CPX) 계측인 등가 소음도의 회귀식으로부터 식 (1)과 같이 산정된다.

$$L_{W,i} = a_{P,i} + b_{P,i} \log_{10}(V) + C_{m,ref,i} \quad (1)$$

여기서, 아래첨자 i 는 주파수 대역을 나타내는 인자이고, a_P 와 b_P 는 CPX 계측 결과를 이용해 차량 및 노면 종류별로 구한 산정계수이고 $C_{m,ref,i}$ 는 보정계수이며 이를 이용하여 식 (1)을 간편하게 정리하면 식 (2)와 같이 표현할 수 있다(예: $A_i = a_P + C_{m,ref,i}$ 그리고 $B_i = b_{P,i}$).

$$L_{W,i} = A_i + B_i \log_{10} V \quad (2)$$

교통소음의 예측모형은 ISO 9613-2(1996)에서 알 수 있듯이 주파수별 수음점에서의 소음레벨을 $L_{fT,i}$ 로 정의하였으며 또한, 음향파워레벨과의 관계식을 식 (3)과 같이 정의하였다.

$$L_{fT,i} = L_{W,i} + D_{c,i} - At_i \quad (3)$$

여기서, $L_{W,i}$ 는 음향파워레벨, $D_{c,i}$ 는 소음전달진행에 있어 방향성의 보정계수, 그리고 At_i 는 소음의 감쇠계수로서 지형에 따른 감쇠, 공기전달에 따른 감쇠계수, 지표면의 종류에 따른 감쇠계수, 방음벽 설치 유무에 따른 감쇠계수, 그리고 기타 감쇠계수로 구성되어 있다.

본 연구에서는 차량의 타이어와 포장면의 상호작용에 의해 발생하는 음압레벨을 이용하여 일반 포장과 저소음포장에 대한 소음레벨 차이를 고려하고자 하며 따라서 식 (2) 및 (3)을 이용하여 식 (4)와 같이 정리할 수 있다. $D_{c,i}$ 는 ISO 9613-2에 의해 자유 전방향의 경계조건인 경우 영으로 간주할 수 있다.

$$L_{fT,i} = A_i + B_i \log_{10} V - (A_{di} + A_{atm} + A_{gr} + A_{misc}) \quad (4)$$

여기서, A_{di} 는 지형 전달에 따른 감쇠 즉 소음원과 수음점 사이의 거리에 따른 감쇠를 고려한 것이며, A_{atm} 은 공기에 따른 감쇠로서 온도와 습도 조건에 따라 달라지며, A_{gr} 는 지표면에 따라 달라지는 감쇠계수로서 딱딱한 표면의 경우 영으로 간주된다.

본 연구에서는 도로변 지면을 영으로 간주하여 해석하며, A_{misc} 의 경우는 기타 감쇠계수로서 도심지 혹은 공단 등에 따라 소음전달이 장애물에 의해 감쇠되는 것을 고려한 계수로서 본 연구에서는 수음점까지 전달되는 과정에서 지장물이 없다고 가정하여 영으로 간주할 수 있다.

1. 지형 전달에 따른 감쇠계수(A_{di})

지형 전달에 따른 감쇠계수는 식 (5)와 같이 ISO 9613-2에 의해 고려할 수 있다.

$$A_{di} = [20 \log_{10}(d/d_0) + 11] \quad (5)$$

여기서, d 는 소음원에서 수음점까지의 거리이고, d_0 은 기준거리 1m로 감쇠계수에서 거리에 대해 차원을 없애기 위한 것이다. 즉 감쇠계수의 단위는 dB이다.

2. 공기에 따른 감쇠계수 A_{atm}

소음원이 공기의 매질을 통해 전달되는 과정에서 감쇠되는 부분을 고려하기 위해 역시 ISO 9613-2의 기준에 따라서 식 (6)을 이용할 수 있다.

$$A_{atm} = \alpha d / 1000 \quad (6)$$

여기서, α 는 공기에 따른 감쇠계수를 고려하기 위해 1/1옥타브 밴드에서 주파수별 계수값으로서 단위는 dB/km이다.

본 연구에서 고려하고자 하는 온도 및 습도를 20℃ 및 70%로 결정한다면 ISO 9613-2에 의해 <표 1>과 같이 얻을 수 있다.

<표 1> 주파수별 고려되는 감쇠계수

온도	습도	주파수별 감쇠계수, α , dB/km							
		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
20℃	70%	0.1	0.3	1.1	2.8	5.0	9.0	22.9	76.6

3. 총 감쇠계수

본 연구에서 고려될 감쇠계수는 앞에서 살펴본 바와 같이 지형전달 및 공기 매질을 통해 전달되는 소음 감쇠를 들 수 있다. 따라서 수음점이 50m, 100m, 그리고 150m에서 떨어진 곳에 위치한다고 가정할 때 <표 2>와 같이 주파수별 총 감쇠계수를 구할 수 있다.

<표 2> 수음점 거리 및 주파수별 총 감쇠계수

주파수 거리	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
50m	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.2
100m	51.0	51.0	51.0	51.0	51.1	51.1	51.2	51.8
150m	54.5	54.5	54.5	54.6	54.6	54.7	55.0	56.2

4. 차량종류 및 포장 종류별 음향파워 산정식의 계수값

차량종류를 구분하기 위해서 <표 3>과 같이 차량의 사용용도 및 형태에 따라 6종류로 분류하여 음향파워레벨을 산정하였다.

<표 3> 소음예측모형에 이용된 차량 분류

차량종류	차량의 사용용도 및 형태	하중축수
승용차	• 7인승 이하의 승용차	2
소형차량	• 미니밴으로서 8~10인승 및 SUV 차량	2
버스	• 대형버스로서 30인승 이상의 버스	2~4
소형트럭	• 차량길이가 5에서 6m 사이의 소형트럭	2
중형차량	• 중형트럭으로서 6m 이상의 차량으로 대형트럭과 구별되는 차량 • 중형버스로 11에서 29인승 사이의 차량	2
대형트럭	• 10톤 이상의 대형트럭	2

이와 더불어 6개의 차량종류에 대해서 유사한 소음발생형태에 따라 식 (7)과 같이 그룹별로 구성하여 현장에 실시한 소음계측값과 비교했을 때 회귀모델식과 유사한 결과를 얻었다(Cho and Mun, 2008). 따라서 본 연구에서도 같은 차량그룹을 이용하여 소음레벨을 산정하였다.

$$\text{그룹: 대형트럭, 중형트럭, 소형트럭} + \text{버스} + \text{소형차량, 그리고 승용차} \quad (7)$$

여기서, +는 차량의 그룹을 형성하기 위해 같은 분류로 간주하고 각각 구해진 계수값의 평균값을 이용하여 소음예측 회귀식을 구하였다.

식 (7)에서 보는 바와 같이 소형트럭, 버스, 그리고 소형차량만 유사한 소음특성으로 간주하여 그룹을 구성하였으며 다른 형태의 차량은 각각의 회귀식의 계수값을 그대로 이용하였다. <표 4>는

<표 4> 일반 포장표면 및 차량 종류별 음향파워레벨의 회귀식 계수값

차종구분	포장표면	계수값 Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
대형트럭	DGA	Ai	25.6	41.4	84.3	36.2	57.9	58.2	56.6	52.3
		Bi	30.6	27.3	11.2	38.8	27.1	25.3	22.9	21.0
	SMA	Ai	26.5	43.2	80.6	40.4	59.9	58.6	57.5	48.3
		Bi	30.3	26.5	13.3	36.3	25.6	24.5	21.9	22.6
	30mm TPCC	Ai	28.1	48.2	77.2	44.4	48.3	53.0	57.8	53.3
		Bi	29.8	24.4	15.6	35.0	33.3	28.6	22.3	20.4
	18mm LPCC	Ai	26.9	42.3	79.3	39.5	56.2	61.3	59.1	49.2
		Bi	30.2	27.4	14.2	37.2	28.7	23.8	21.5	22.6
	25mm LPCC	Ai	29.6	45.3	81.8	38.7	57.4	59.1	60.2	51.2
		Bi	28.7	25.8	13.0	37.8	28.2	25.1	20.8	21.3
중형트럭	DGA	Ai	25.4	33.4	41.4	46.6	49.7	46.8	39.6	33.0
		Bi	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
	SMA	Ai	27.0	39.2	43.9	47.3	49.3	46.2	36.0	33.4
		Bi	29.1	26.9	28.7	29.7	30.2	30.1	31.8	29.5
	30mm TPCC	Ai	26.0	34.1	43.4	48.2	52.8	49.8	42.2	34.4
		Bi	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
	18mm LPCC	Ai	24.1	30.4	39.5	38.4	68.7	56.1	43.5	31.3
		Bi	30.8	31.9	31.7	34.5	20.6	26.1	29.1	31.7
	25mm LPCC	Ai	24.8	26.9	40.9	36.1	68.6	54.7	44.6	33.4
		Bi	30.2	33.3	31.1	35.6	20.8	26.9	28.5	30.4
승용차	DGA	Ai	-16.7	1.5	14.6	46.2	39.0	31.0	11.7	-24.0
		Bi	46.8	41.2	38.1	24.5	32.5	34.6	40.5	53.6
	SMA	Ai	-6.7	13.4	23.6	47.3	37.7	33.2	10.3	-31.1
		Bi	43.0	35.9	34.5	25.0	33.2	32.4	40.9	57.4
	30mm TPCC	Ai	-4.4	34.6	35.5	49.3	25.8	26.7	10.2	-22.1
		Bi	40.8	25.9	29.8	25.1	42.3	39.0	42.4	52.9
	18mm LPCC	Ai	-3.7	33.9	31.8	41.1	39.5	39.1	16.4	-18.6
		Bi	42.1	26.7	31.8	28.4	33.6	31.0	39.1	51.5
	25mm LPCC	Ai	-0.1	37.2	35.2	36.6	35.6	30.6	9.7	-24.2
		Bi	39.9	24.9	30.4	30.9	35.8	35.6	42.7	54.4
소형트럭 + 버스 + 소형차량	DGA	Ai	9.2	19.9	26.1	44.7	39.9	34.5	37.4	25.3
		Bi	35.9	34.9	35.8	29.2	33.0	34.7	30.2	32.6
	SMA	Ai	9.9	23.3	33	47.9	43.2	33.7	37	24.1
		Bi	35.4	33.0	32.4	27.5	30.7	33.7	29.3	32.7
	30mm TPCC	Ai	14.3	36.9	35.3	63.7	25.4	29.0	30.4	22.2
		Bi	33.2	26.8	32.2	20.9	42.7	39.5	34.5	34.4
	18mm LPCC	Ai	10.8	34.5	36.0	46.0	34.7	31.4	35.7	27.8
		Bi	35.1	28.0	31.6	29.0	35.6	36.3	30.8	31.5
	25mm LPCC	Ai	9.8	34.2	37.1	44.2	30.0	27.3	35.0	28.0
		Bi	35.4	28.0	31.1	30.0	38.1	38.5	31.1	31.3

〈표 5〉 저소음 아스팔트 포장 및 다이아몬드 그라인딩 콘크리트 포장에 있어 차종에 따른 음향파워레벨의 회귀식 계수값

차종구분	포장표면	계수값 Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
대형트럭	PAC	Ai	24.5	40.8	80.3	33.7	51.4	51.8	50.8	46.9
		Bi	30.6	27.3	11.2	38.8	27.1	25.3	22.9	21.0
	DGPCC	Ai	29.1	47.8	75.0	43.6	46.3	50.9	55.3	50.2
		Bi	29.8	24.4	15.6	35.0	33.3	28.6	22.3	20.4
중형트럭	PAC	Ai	24.3	32.8	37.4	44.1	43.2	40.4	33.8	27.6
		Bi	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
	DGPCC	Ai	27.0	33.7	41.2	47.4	50.8	47.7	39.7	31.3
		Bi	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
승용차	PAC	Ai	-17.8	0.9	10.6	43.7	32.5	24.6	5.9	-29.4
		Bi	46.8	41.2	38.1	24.5	32.5	34.6	40.5	53.6
	DGPCC	Ai	-3.4	34.2	33.3	48.5	23.8	24.6	7.7	-25.2
		Bi	40.8	25.9	29.8	25.1	42.3	39.0	42.4	52.9
소형트럭+버스+소형차량	PAC	Ai	8.8	19.4	22.7	42.2	33.2	28.0	31.6	20.1
		Bi	35.9	34.9	35.8	29.2	33.0	34.7	30.2	32.6
	DGPCC	Ai	15.6	36.7	33.3	62.9	23.4	26.7	27.7	19.0
		Bi	33.2	26.8	32.2	20.9	42.7	39.5	34.5	34.4

식 (7)에 근거한 1/1 옥타브 밴드의 주파수별 계수값을 보여주고 있다.

〈표 4〉에서 언급하고 있는 포장표면 형식의 구분은 일반 밀입도 포장(Dense Graded Asphalt, DGA), SMA(Stone Mastic Asphalt) 포장, 30mm 횡 방향 그루빙 포장(30mm Transversely-tined Portland Cement Concrete, 30mm TPCC), 18mm 종 방향 그루빙 포장(18mm Longitudinally-tined Portland Cement Concrete, 18mm LPCC), 그리고 25mm 종 방향 그루빙 포장(25mm Longitudinally-tined Portland Cement Concrete, 25mm LPCC)으로 표기하였다. 즉, 각각의 포장 종류별 계수값을 측정데이터에 근거해서 구하였다.

〈표 5〉는 저소음 효과가 있다고 알려진 저소음 아스팔트 포장과 다이아몬드 그라인딩 콘크리트 포장에 대한 음향파워레벨의 계수값을 보여주고 있다. 여기서 저소음 아스팔트 포장은 Porous Asphalt Concrete(PAC)로 표현하였고 다이아몬

드 그라인딩 콘크리트 포장의 경우는 Diamond Grinding Portland Cement Concrete(DGPCC)로 표현하였다.

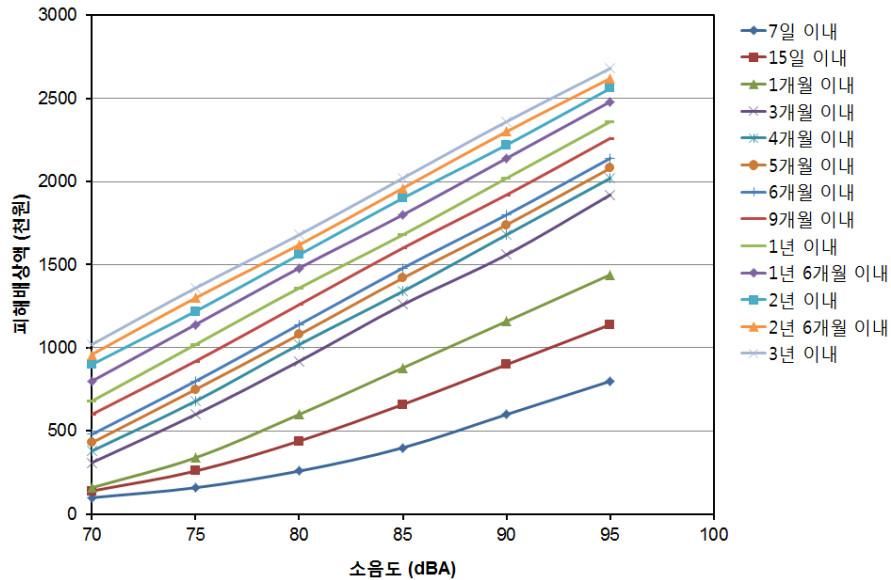
Ⅲ. 소음 피해에 따른 배상액 산정

소음 피해에 따른 배상액 산정의 방법은 “환경 피해 평가방법 및 배상액 산정기준의 합리적 조정방안 연구”(이수갑 외, 2007)에 근거하여 식 (8)과 같이 소음 피해액은 피해량에 선형적으로 비례한다고 가정하였다.

$$M = aD + b \quad (8)$$

여기서, M 은 피해액, D 는 피해량, a 그리고 b 는 과거의 소음 피해 보상 관례로부터 구해지는 상수 값이다.

현재 사용되고 있는 배상액 산정기준은 소음도



〈그림 1〉 소음도에 따른 배상액 산정기준

〈표 6〉 소음에 따른 정신적 피해 배상액 산정 기준

(금액단위: 천 원)

피해기간 \ 초과소음도(dBA)	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25 이상
7일 이내	100	160	260	400	600	800
15일 이내	140	260	440	660	900	1140
1개월 이내	160	340	600	880	1160	1440
3개월 이내	310	600	920	1260	1560	1920
4개월 이내	380	680	1020	1340	1680	2020
5개월 이내	430	750	1080	1420	1740	2080
6개월 이내	480	800	1140	1480	1800	2140
9개월 이내	600	920	1260	1600	1920	2260
1년 이내	680	1020	1360	1680	2020	2360
1년 6개월 이내	800	1140	1480	1800	2140	2480
2년 이내	900	1220	1560	1900	2220	2560
2년 6개월 이내	960	1300	1620	1960	2300	2620
3년 이내	1020	1360	1680	2020	2360	2680

70dBA로 산정할 수 있다. 이수갑 외(2007)에서 제안하는 배상액 산정기준에 의해 저소음 포장의 시공에 따른 배상비용의 절감을 분석하고자 한다. 따라서 〈그림 1〉과 〈표 6〉과 같이 소음에 의

한 정신적 피해 배상액 산정을 고려하였다. 소음에 노출되는 기간의 정도에 따라 배상액이 변화하는 것을 알 수 있다.

IV. 포장 형식별 소음레벨에 따른 배상액 평가

앞에서 살펴본 포장 형식별 음향파워레벨과 관련된 회귀식 계수값과 더불어 소음 피해에 따른 배상금 산정근거에 따라 발생하는 소음레벨에 의해 배상금을 결정하고자 하며 <표 7>에서 볼 수 있는 것처럼 이동 교통그룹의 경우들을 고려하여 초과되는 소음에 따른 배상금을 산정하고자 한다.

<표 7> 소음분석을 위한 교통그룹의 경우

차종	대형트럭	중형트럭	승용차	소형트럭+버스+소형차량
경우 1	1	4	15	10
경우 2	5	5	10	10

경우 1: 주로 승용차 및 소형트럭+버스+소형차들이 통행하는 경우를 고려한 것

경우 2: 대형트럭 및 중형트럭의 교통비중이 있는 도로를 고려한 것

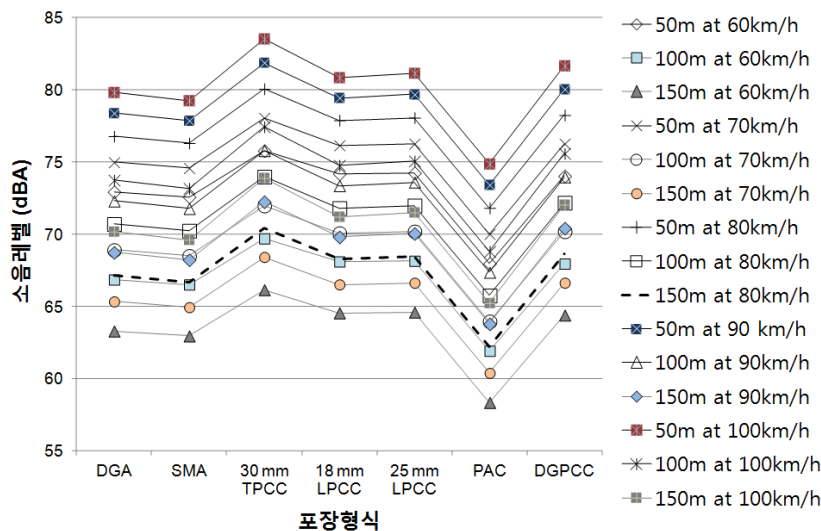
이를 바탕으로 다양한 포장의 형식 및 차량평균 속도를 고려하여 위치별 즉 도로에서 50m, 100m, 그리고 150m 이격된 거리에서의 소음레벨을 계산하였다. 계산에 있어 각각의 주파수별 소음레벨을 합산하여 구하는 방법에 있어서는 로그값에 대한 합산을 고려해야 되므로 식 (9)를 이용하여 해당 포장형식에 따른 총 음압레벨값을 이용하여 속도별로 그 값을 산정하였다.

Overall =

$$10\log_{10}(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + 10^{L_3/10} + \dots + 10^{L_n/10}) \quad (9)$$

여기서, L_1, L_2, \dots, L_n 는 각각 해당되는 주파수에 따른 소음레벨값을 말한다.

또한, <표 4>, <표 5>에서의 계수값을 이용하여 속도별로 해당 주파수의 소음레벨을 구하고, 식 (9)를 이용하여 총합음압레벨값인 Overall 값을 구하여 해당 포장의 소음평가 지표로 이용하였



<그림 2> 경우 1에 있어서 포장형식별 속도에 따른 총 음압소음레벨값

다. 이와 더불어 이격거리에 대한 소음감소를 고려하기 위해 <표 2>에 주어진 값을 이용하였으며 소음발생점에서 수음점까지의 거리를 고려하여 수음점에서의 소음레벨값인 총 음압레벨값을 구하였다.

<표 7>에서 다양한 차종의 그룹에서 발생하는 총 음압레벨값을 구하기 위해서는 식 (9)를 그대로 이용할 수 있다. 즉, 여기서는 L_1, L_2, \dots, L_n 의 값은 각각의 차량에서 발생하는 소음레벨값으로 간주하여 총 음압레벨값을 계산할 수 있다. 특히 같은 포장 및 차량에 대해서는 식 (10)에 의해 쉽게 계산할 수 있다.

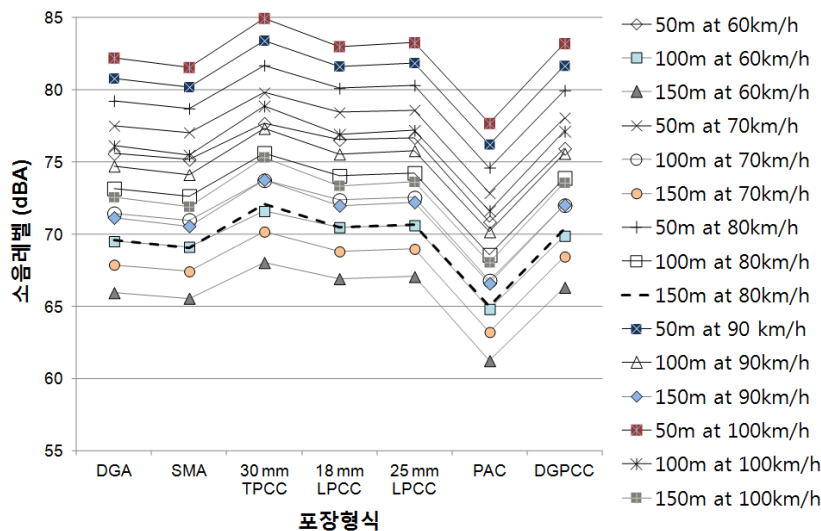
$$N\text{대의 총음합레벨값} = L_{eq(A)} + 10\log_{10}(N) \quad (10)$$

여기서, $L_{eq(A)}$ 는 한 개의 차량에서 발생하는 소음레벨이고, N 는 같은 차종의 총 대수를 말한다.

앞에서 언급한 계산방법을 이용하여 <그림 2> 및 <그림 3>에서 보는 바와 같이 각각의 경우에

대해 포장형식별 수음점 위치에 따른 총 음압레벨값을 계산하였다.

<그림 2> 및 <그림 3>에 표기된 예에서 50m at 60km/h의 의미는 해당 경우에 차들의 평균속도가 60km/h이고 수음점 위치가 50m임을 말한다. 이러한 표기방법은 다른 경우에도 똑같이 적용되었다. 소형차들의 교통량이 많은 경우에 해당되는 <그림 2>에서는 50m의 수음점의 경우 배상의 기준이 되는 70dBA보다 높은 것으로 보여주고 있으나 저소음 포장(PAC)의 경우 평균속도가 80km/h 이상으로 주행하고 수음점이 50m인 경우에서만 배상의 기준이 되는 70dBA보다 높은 것을 알 수 있다. 즉 수음점이 100m 그리고 150m인 경우에는 평균속도가 100km/h이어도 배상의 기준이 되는 70dBA보다 소음레벨값이 낮게 산정되었다. 아스팔트 포장인 일반 아스팔트 포장(DGA) 및 SMA의 경우에는 속도가 80km/h 이상인 평균속도 그리고 수음점 위치가 100m 이내인 경우에 배상기준인 70dBA보다 높게 산정되었다. 콘크리트 포장은 일반적으로 아스팔트 포장



<그림 3> 경우 2에 있어서 포장형식별 속도에 따른 총 음압소음레벨값

보다 높은 총 음압레벨값을 보여주고 있다. 특히 30mm 횡 방향 그루빙 포장(30mm TPCC)의 경우는 평균속도가 90km/h 이상이고 수음점이 50m인 경우에는 80dBA보다 높은 총 음압레벨값이 산정됨에 따라 그에 따른 배상액이 클 수 있음을 알 수 있다.

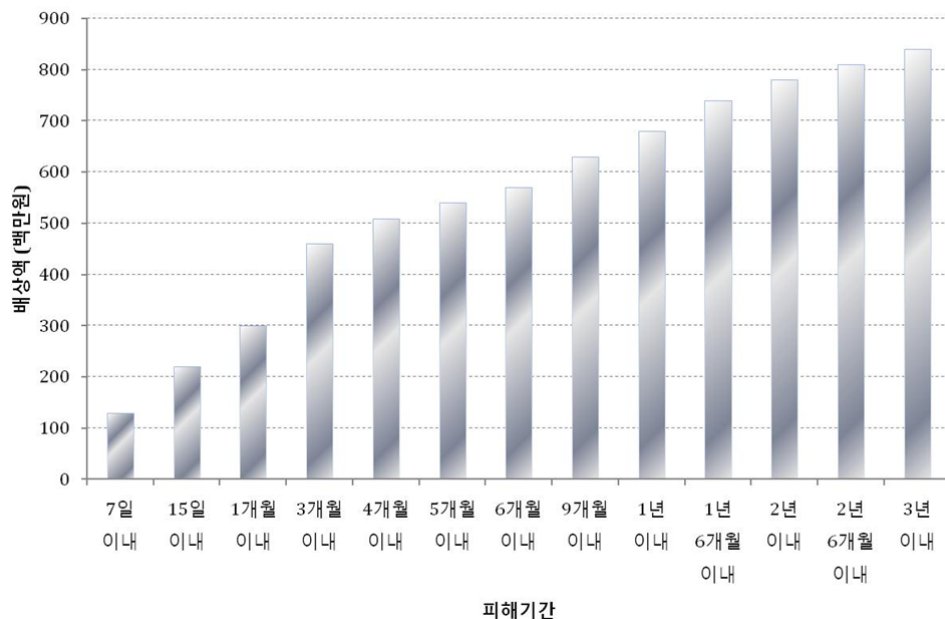
〈그림 3〉의 경우인 중차량이 비교적 많은 상황에서는 저소음 포장의 경우 수음점이 50m에서 모두 배상의 기준이 되는 70dBA보다 높게 산정되었으나 차량의 평균속도가 100km/h이고 수음점이 100m인 경우를 제외하고는 수음점 위치가 100m 및 150m에서는 차량의 속도와 상관없이 배상의 기준이 되는 소음레벨보다 적게 산정되었다. 따라서 앞에서 살펴본 두 가지의 경우에서 볼 수 있듯이 저소음 포장은 다른 형식의 포장보다 5dBA 이상 저소음 효과가 있음을 알 수 있다. 즉 〈표 6〉에서 5dBA의 차이는 배상액이 크게 달라질 수 있고 경우에 따라서는 배상이 요

구되는 70dBA보다 적게 산정이 될 수 있음을 알 수 있다.

〈그림 2〉 및 〈그림 3〉의 경우에서 80~85dBA로 측정이 되는 구간에 있어 〈표 6〉에 근거한 배상액을 고려하고 추정하고자 한다. 예를 들어 피해를 입는 가구수를 500가구로 가정하고 다양한 피해기간을 고려했을 때 〈그림 4〉와 같이 그 결과를 얻을 수 있다.

V. 결론

본 연구는 피해기간에 따른 배상액을 근거로 소음의 환경적 피해에 따라 포장형식을 평가하였다. 즉 다양한 포장형식별 그리고 차종 형태별로 가능한 교통그룹을 설정한 소음레벨 크기에 따라 그 배상액을 결정할 수 있었다. 특히 도로변 공동주택지에 대해 소음레벨을 예측하기 위해서 음향 파워레벨 예측식을 이용하였다. 여기서 이용된 예



〈그림 4〉 80에서 85dBA의 경우 피해기간에 따른 배상액(백만 원)

측식은 ISO 9613-2에서 제안하는 식이다. 따라서 음향전달메커니즘을 이용함으로써 설정된 수음점에서의 총 음합예측값을 예상할 수 있었다. 본 연구에서 제안하는 해석방법을 이용함으로써 향후 예측되는 소음값이 배상의 기준이 되는 70dBA보다 높은 경우 현장여건 및 시공비를 고려하여 적합한 포장형식을 선정할 수 있다. 또한, 주변여건에 의해 적절한 포장형식을 결정할 수 있다.

참고문헌

- 동아일보, 2002, “고속도로 소음민원에 따른 배상”, 동아일보.
- 이수갑 · 박형숙 · 조진상 · 구윤서, 2007, “환경피해 평가 방법 및 배상액 산정기준의 합리적 조정방안 연구”, 서울대학교 환경소음진동연구센터.
- 중앙환경분쟁조정위원회, 2011, 「환경분쟁조정 20년사」, 환경부, 중앙환경분쟁조정위원회.
- Bjorner, T. B., 2004, “Combining socio-acoustic and contingent valuation surveys to value noise reduction”, *Transportation Research Part D*, 9: 341~356.
- Cho, D-S. and Mun, S., 2008, “Determination of the sound power levels emitted by various vehicles using a novel testing method”, *Applied Acoustics*, 69: 185~195.
- International Organization for Standardization, 1996, “ISO 9613-2: Acoustics-attenuation of sound during propagation outdoors-part 2: General method of calculation”.
- Lera-Lopez, F., Faulin, J., and Sanchez, M., 2012, “Determinants of the willingness-to-pay for reducing the environmental impacts of road transportation”, *Transportation Research Part D*, 17: 215~220.
- Li, H. N., Chau, C. K., Tse, M. S., and Tang, S. K., 2009, “Valuing road noise for residents in Hong Kong”, *Transportation Research Part D*, 14: 264~271.

원 고 접 수 일 : 2012년 8월 29일
1차 심사 완료 일 : 2012년 9월 21일
최종 원고 채택 일 : 2012년 10월 8일