

철도신설지역에서의 소음예측식 연구

-국립환경과학원 철도소음예측식과 독일의 shall03을 중심으로

A Study on the Evaluation of an existing Prediction Model on the Rail Traffic Noise

전형준·장서일*

Hyung-Jun Chun, Seo-II Chang

Key Words : predict(예측), Prediction Model of NIER(국립환경과학원 예측식), "Shall03 of Germany"(독일의 Shall03 예측식)

ABSTRACT

The purpose of this study is to grasp present condition of railroad noise, and forecast noise and presented basis data that ready noise reduction countermeasure. This study has predicted the level of noise reduction according to barrier by considering the characteristics of the cause of noise. These result drew using "Prediction Model of NIER" and "Schall03 of Germany". This paper found important factors in railroad noise using this results and become forward syudy direction.

1. 서론

철도는 국가의 기간산업으로 안전하고 편리한 대용량의 여객 및 화물의 운송수단으로 이용되어 왔으며 현재 고속철과 도시철도를 포함한 철도의 신설 및 증설이 진행되고 있어 교통 및 수송수단으로서의 비중이 더욱 커질 전망이다. 그러나 운행 빈도의 증가 및 고속화로 인하여 선로주변의 환경에 부정적인 영향도 미치고 있으며 그 중 가장 심각한 환경공해는 소음진동과 관련된 것이라 할 수 있다. 소음진동과 관련된 환경적인 문제는 열차 내의 승객뿐만 아니라 선로주변의 거주지역의 주민들에게도 주야로 심각한 영향을 줄 수 있으므로 체계적인 분석과 대책이 요구되어진다.

특히 철도가 서울과 같은 대도시의 인구밀집지역을 통과할 때 주거지역과 매우 가까운 거리에서 소음을 발생시킬 수 있으며 열차조성 및 재편성시의 작업에서 발생하는 불규칙한 다발성 충격소음도 많은 민원의 대상이 되고 있으나 그 특성 상 정확한 평가가 어려운 것이 현실이다.

철도는 규모가 크고 소음원이 다양하여 이론적인 소

음의 예측 및 평가가 상당히 어려운 대상 중의 하나이다. 철도 또는 열차의 소음·진동 원인은 편마모된 차륜/레일 접촉에 의하여 유발되는 차륜/레일 소음·진동, 디젤엔진과 같은 추진 장치로부터 발생하는 추진 소음, 고속으로 운행하는 차량표면에 형성되는 난류층에 의해 발생하는 공력소음 등이 있다. 또한 도로 교통소음과 같은 주위의 암소음의 레벨이 매우 높은 경우 정확한 평가가 어려우며 열차의 종류별로 다른 통과시간도 정확한 예측 및 평가를 어렵게 하는 원인이다.

특히 도심지의 고층의 공동주택 주변에서 발생하는 철도소음은 방음벽과 같은 일반적인 저감대책으로는 중층 이상에서 거의 효과를 볼 수 없기 때문에 많은 민원을 유발하고 있는 실정이다. 본 연구의 대상지역은 XXXX역 인근 아파트 지역으로 수인선 전철화 사업이 진행되고 있어 향후 열차의 정차 및 통과횟수의 증가, 도시철도의 신설 운행 등으로 인해 과업 완료 후 소음의 대폭적인 증가가 우려되는 지역이다. 그래서 대상지역을 대상으로 인근 지역의 철도소음의 현황을 국립환경과학원 예측식과 독일의 Schall03식을 이용하여 향후 설치될 방음벽의 성능 평가 및 사업 완료 후 소음도의 증가를 예측하여 소음저감 대책을 마련하고 철도소음의 예측 인자와 기준의 기초 자료를 모색하는 데 있다.

† 정회원, 서울시립대학교 환경공학부 석사과정
E-mail : yoplhj@hanmail.net
Tel : (02) 2210-2986, Fax : (02) 2210-2877

* 서울시립대학교 환경공학부

2. 철도소음의 평가기준 및 예측방법⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾

2.1 외국의 철도소음과 국내의 철도 소음 기준

Table.1 주거지역에서의 외국의 철도 소음 기준

국명	소음지수	대상	시간	기준치 (dBA)	비고
독일	$L_r = L_{eq} - 5dB$	신선 및 변경선 (토차이용계획)	06~22 22~06	59(50~55) 49(40~49)	기준
오스트리아	$L_r = L_{eq} - 5dB$	신선 및 변경선	06~22 22~06	60~65 50~55	기준
덴마크	L_{eq} L_{max}	신선	24h	60 85	권고
프랑스	L_{eq}	신선(TGV)	06~22 22~06	60~65 55~60	기준
영국	L_{eq}	신선 국제선	06~24 24~06 24h	68	기준안
	63				
	85				
홍콩	L_{eq} L_{max}	기존선 및 신선 (새주택 계획)	24h 23~07	65	기준
	85				
일본	L_{max}	신선(신간선)		70	기준
네덜란드	L_{eq}	신선	07~19	60	기준
			19~23	55	
			23~07	50	
노르웨이	L_{eq} L_{max}	신선	24h 23~07	50~60	권고
	80				
스웨덴	L_{eq} L_{max}	신선 및 새주택	24h	60	기준
	70				
스위스	$L_r = L_{eq} - 5dB$	신선	06~22 22~06	60 50	기준
미국	L_{50}	신선	06~22 22~06	45~50 55~60	미국수송협회지침
워싱턴DC	$L_{eq}(1h)$	기존선	24h	65~75	조례기준

Table.2 국내의 철도 소음 기준 (단위 : dB(A))

대상지역	한도(Leq, 1h)			
	2000년 1월 1일 ~ 2009년 12월 31일		2010년 1월 1일부터	
	주간 (06:00~22:00)	야간 (22:00~06:00)	주간 (06:00~22:00)	야간 (22:00~06:00)
주거지역, 녹지지역, 준도시지역 중 취락지구 및 운동휴양지구, 자연환경보전지역, 학교병원공공도서관의 부지경계선으로부터 50미터 이내 지역	70	65	70	60
상업지역, 공업지역, 농림지역, 준농림지역 및 준도시지역 중 취락지구 및 운동휴양지구의 지역, 미교시지역	75	70	75	65

비고 : 1. 대상지역의 구분은 국토이용관리법(도시지역의 경우 도시계획법)에 의한다.
2. 정거장은 적용하지 않으며, 철교는 2010년1월1일부터 적용한다.
3. 이 규칙 공포일 이후 준공되는 철도는 2010년1월1일의 한도를 적용한다.

소음 환경기준의 미설정 항목 중의 하나인 철도소음의 기준으로는 1994년 11월 21일 철도소음도(기준)를 공포하여 2000년 1월 1일부터 시행하고 있으며, 공포일 이후 준공(이전, 변경)되는 철도에 대해서는 야간기준을 현재보다 약 5dB(A)를 강화시킨 2010년 1월 1일부터의 한도를 적용하기로 되어 있다. 지역 구분 또한 국토이용관리법 및 도시계획법에 의거하여 대상지역을 세분화하여 적용하고 있다.

외국의 경우 기준선은 L_{eq} 을 기준으로 하고 있지만, 신선로의 경우 L_{max} 로 하고 있으며, 철도 소음 기준을 L_{max} 로 하는 경우가 많다.

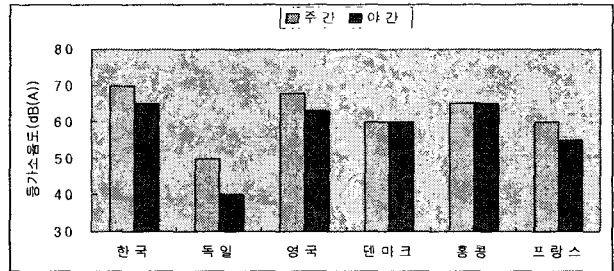


Fig. 1 주거지역에서의 철도소음기준 비교

Fig.1에서 보듯이 국내 소음기준은 외국에 비하여 다소 완화된 기준이며, 현재 L_{max} 로의 기준은 정해져 있지 않은 실정이다.

2.2 외국의 철도소음과 국내의 철도소음 예측방법

(1) 독일의 예측방법 Schall03

1990년에 제정되었던 교통소음 방지법령에서는 신설 또는 대규모 개조의 도로와 철도에 대한 소음기준치를 규정함과 함께, 부속서에 각각의 소음 예측방법을 제시하고, 기준치로서 주간(06:00~22:00)은 55dB, 야간(22:00~06:00)에서는 49dB를 설정하고 있다, 예측계산은 다음과 같은 순서에 따른다.

1) 소음레벨의 계산

주간 또는 야간의 등가소음레벨 L_{Aeq} 은 다음 식으로 계산한다.

$$L_{Aeq} = L_m + D_{Ez} + D_{SI} + D_{B,M} + D_B + S \quad dB(A)$$

여기서, L_m 은 주간 또는 야간의 평균소음레벨이며, 다음의 표준조건에 대하여 계산식을 이용하여 구한다.

[표준조건 및 L_m 산출식]

궤도로부터의 거리 : 25m

열차속도 : 100km/hr

열차길이 : 100m

궤도종류 : 바ラスト 궤도, 목재 침목

지표면에 대한 음원과 수음점의 평균 높이 : 2m

$$L_m = 51 + 10 \text{Log}[n(5 - 0.004p)] \quad dB(A)$$

여기서 n은 시간당 통과 열차수, p는 통과열차중의 화물열차의 비율(%)을 나타낸다.

2) 각종 보정값

Table. 3 Correction factors by car style

차량형식	보정값dB(A)
디스크 브레이크를 갖춘 차량	-2
차륜 제진재를 갖춘 고속차량	-4
시가지의 전차등	3
지하철의 차량	2
기타의 차량	0

D_{Fz} : 차량형식에 따른 열차형식에 대한 보정값은 Table. 3에 의한다.

D_{IV} : 열차길이와 속도가 표준조건과 다른 경우의 보정값은 다음과 같다.

$$D_{IV} = 10\log(LV^2) - 60 \quad \text{dB(A)}$$

여기서 L은 열차길이(m), V는 열차속도(Km/h)이다.
 D_{FB} : 표준조건인 바ラスト레도와 목재침목 이외의 레도구조에 대한 보정값은 Table. 4에 의한다.

D_{SI} : 소음 전파거리와 공기흡수에 대한 보정값은 다음과 같다.

Table. 4 Correction factors by track structure

레도종류	보정값dB(A)
풀, 잡초 등으로 덮인 레도	-2
바ラスト레도, 목재 침목	0
바ラスト레도, 콘크리트 침목	2
반사성 레도	5

$$D_{SI} = 15.8 - 10\log(d) - 0.0142d^{0.9} \quad \text{dB(A)}$$

여기서 d는 소음전파거리(m)이다.
 D_{BM} : 음원과 수음점을 잇는 소음 전파경로와 지표면에서의 높이에 대한 보정값으로 평균높이가 hm 일때 다음과 같다.

$$D_{BM} = -4.8 \cdot \exp[-\{hm/d(8.5 + 100/d)\}^{1.3}] \quad \text{dB(A)}$$

D_B : 방음벽, 건물, 제방, 성토구조, 도로등에 의해 음원이 차폐되는 경우의 보정값으로 감쇠량은 독일 연방철도에 의해 발표된 계산방법에 의해 산출한다.

S : 철도소음에 대한 보너스로 철도소음에 의한 소음피해가 도로교통소음에 비해 적은 것을 고려하여 -5dB(A)를 보정한다.

(2) 국내의 철도소음예측방법 국립환경과학원평가식 차량속도가 50~60km/h 이상에서 대부분 차량들은 정체 없이 자유롭게 주행할 경우의 거리별 소음도를 예측하기 위하여 다음과 같은 철도소음 예측식을 활

용하였다.

$$L_{eq} = \bar{L}_{max} + 10\log(n \times T_e / T) - 15\log r_a \quad \text{dB(A)}$$

\bar{L}_{max} : 개별열차 통과시의 최고소음도 파워평균 값 dB(A)

n : 측정대상시간 중 열차통과 횟수

T_e : 열차 1대당 최고소음도 지속시간(노출시간)

T : 측정대상 시간, sec

r_a : 기준거리에 대한 예측거리의 비

단, 여기서 T_e 의 값은 레일이 복선일 경우는 국립환경연구원 2002년도 조사연구보고서 「철도소음측정 방법 설정을 위한 연구」에서 구한 값을 이용하여 3.84를 적용하며, 나머지는 국립환경연구원 1994년도 조사연구보고서 「사업장 소음의 방지대책에 관한 연구(Ⅲ)」에서 구한 값을 이용하여 각각 단선은 8, 복복선은 5, 전철인 경우는 6을 추천하고 있다.

3. 연구 방법

3.1 측정 현황 및 설계 현황

(1) 현황분석⁽³⁾

Table.5 수인선 설계제원

선로구분	3급선		-
설계속도	120km/시간		-
기준열차장	전철	200m	10량 기준
	화물열차	500m	디젤전기기관차 및 전기기관차
차량최고속도	전철	120km/시간	-
	화물열차	90km/시간	현 정부선 수준(70~90km/시간)
운행시간	전철	05:30~12:00	혼잡시간 : 오전 07:40~08:40 오후 18:00~19:00
	화물열차	20:00~06:00	-

수인선 설계제원에 맞게 측정지점을 선정하여 다음과 같은 방법으로 측정하였다.

Table. 6 측정현황

현황	철도고가 높이 7m, 철로와의 이격거리 39m 유지, 기존방음벽 2.5m설치
측정지점	지상 1,3,5,10층 높이지점
열차통과량	상하행 각각 일일 76대 및 화물열차, 여객열차

Table. 7 소음도 실측결과(L_{eq}) 단위dB(A)

구분	L_{eq}				L_{max}	암소음	상행			하행		
	1층	3층	5층	10층			전철	화물	여객	전철	화물	여객
주간 1회차	57.8	54.2	54.1	58.4	79.4	50.2	3	1	1	4	2	-
주간 2회차	56.5	53.0	51.7	57.5	85.1	47.7	5	1	1	5	1	-
야간 1회차	53.0	48.4	49.8	55.4	78.6	44.5	4	1	1	4	-	1

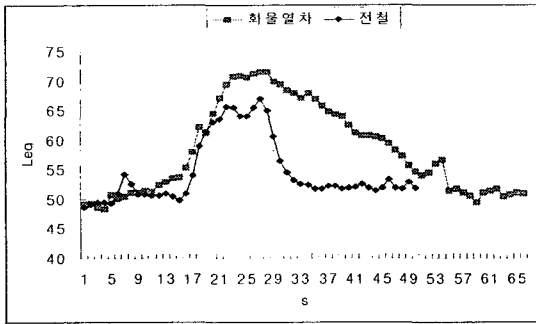


Fig. 2 소음실측 비교(화물열차vs철도)

실측 결과 주간 야간 모두 철도소음한도내의 소음도를 나타내었으며, 1층의 경우 다른층에 비하여 다소 높은 소음도를 보였는데, 이는 주택가로서 아이들의 노는 소리와 차량의 이동, 잡화상 등의 영향으로 보인다.

또한, Fig.2에서 보듯이 소음의 지속시간을 보면 화물열차가 전철의 2배정도 이며 소음도도 더 큰 것으로 나타났다.

(2) 예측방법⁽⁴⁾

1) 국립환경과학원 예측식

① 최고소음도 평균치(Lmax)

국립환경연구원에서 제시한 열차속도와 최고소음도 간의 관계식을 사용하여 최고소음도를 예측한 결과는 Table.8과 같다. 관계식에 의해 산출된 최고소음도와 실측치를 비교한 결과, 관계식에 의해 산출된 최고소음도가 더 큰 것으로 나타났으며, 본 예측에서는 최악의 상황에서의 영향을 예측하고자 관계식에 의해 산출된 최고 소음도를 적용하였다.

Table. 8 열차속도와 최고소음도의 관계식

구분	기준거리	관계식	상관관계	비고
전철	7.5m	42.81 logV + 6.96	77.8% ±3.5dB(A)	50m 레일 66~102km/시
		Lmax = 42.81 logV + 6.96 = 42.81 log 120 + 6.96 = 96.0dB(A)		
화물열차 (전가다궤화물열차)	7.5m	19.89 logV + 60.24	62.5% ±3.5dB(A)	20~65km/시
		Lmax = 19.89 logV + 60.24 = 19.89 log 90 + 60.24 = 99.1dB(A)		

② 열차 1대당 최고소음도 지속시간(Te)

열차 1대당 최고소음도 지속시간인 Te의 산정을 위하여 국립환경연구원에서 제시한 수도권 전철 및 중앙·영동·태백선 화물열차의 Te와 수인선의 속도와

열차길이를 기준하여 산정한 Te를 비교한 결과, 전철의 경우에는 모두 6초로 산정되었으나, 화물열차에 있어서는 다소 차이를 나타내는 바, 최악의 조건을 고려하기 위하여 차량최고속도를 기준하여 산정된 Te(20초)를 적용하였다.

Table.9 최고소음도 지속시간(Te) 비교

구분	전철	화물열차	비고	
문헌자료상의 Te	6초	8초	전철 : 수도권 전철 화물열차 : 중앙·영동·태백선	
속도와 열차길이를 산정된 Te	설계속도	6초	15초	전철 : 120km/h 화물열차 : 120km/h
	차량최고속도	6초	20초	전철 : 120km/h 화물열차 : 90km/h

2) 독일의 Schall03 예측식

Schall03 예측식은 SoundPlan의 모듈에 있는 철도 예측식을 이용하여 앞서 본 현황에 측정된 열차량등의 인자를 이용하여 예측하였다.

4. 연구 결과

예측식에 쓰인 열차운행횟수는 다음과 같다.

Table.10 열차운행횟수

구분	구분	전동차	화물열차	총
		운행횟수		
측정지역	1일 운행대수(회/일)	78	62	75
	주간 운행대수(06:00~22:00)	69	40	50
	야간 운행대수(22:00~06:00)	9	20	25

(1) 국립환경과학원예측식

앞서 도출한 Lmax, Te 및 수인선 설계제원상의 내용을 이용하여 수인선 운행에 따른 소음을 예측한 결과 주간에는 소음환경기준 중 주간은 만족하나 야간 소음은 초과된다. 한편 예측지역과 인접한 수인선 구간은 고가로 운행하는 구간으로 소음예측시 교량높이(15m, 5층 높이)를 감안한 예측을 실시하였으며, 공동주택 1층에서의 소음도는 교량높이에 의한 경로차 및 교량소음(7.1dB(A))을 보정하여 산정하였다

Table. 11 수인선 운행에 따른 소음예측

구분	주간				야간				철도소음 한도
	1층	5층	10층	15층	1층	5층	10층	15층	
NV-1	60.9	59.2	62.9	61.4	61.9	60.2	63.9	62.4	주간:70 야간:60

(2) SoundPlan 모델링에 의한 Schall03 예측 소음도 분석

열차운행 횟수를 감안한 상태의 층별 소음도를 소음예측프로그램을 이용하여 시뮬레이션 한 후, 국립환경예측식과 실측치와 비교하였다.

Table. 12 예측식 결과치들의 비교

구분	국립환경과학원 방음벽없는 경우		SoundPlan Shall03예측식				실측치	
			방음벽 무		방음벽(2.5M)		방음벽(2.5m)	
층	주간	야간	주간	야간	주간	야간	주간	야간
1	60.9	61.9	55.8	56.1	50.8	51.1	57.2	53.0
5	59.2	60.2	58.8	59.1	51.0	51.4	52.9	49.8
10	62.9	63.9	61.5	61.9	58.3	58.7	57.9	55.4
15	61.4	62.4	61.1	61.4	58.4	58.8		
20			60.4	60.8	58.5	58.8		
25			59.7	60.1	59.3	59.7		
30			59.1	59.4	58.9	59.2		

4. 결론

본 연구지역의 소음도가 철도소음한도에 만족하려면 방음벽의 경우 높이가 2.5m로 상하행선 모두 설치하여야 하는 것으로 나타났다. 이러한 방음벽을 설치하면 소음도는 주간 70dB, 야간 60dB을 하회할 것으로 보인다. 또한 측정지역에서의 실측치와 비교했을 경우, 'SoundPlan의 shall03에 의한 L_{eq} 산정식'의 경우 실측시 배경소음의 영향이 있었던 1층을 제외하고 주간에 0.4~1.9dB, 야간 1.6~3.3dB의 차이가 있었는데. 이는 예측프로그램의 오차 범위 $\pm 3dB$ 을 다소 상회하나 본 예측식에서는 주변에 도로소음이나 배경소음을 적용하지 않고 예측된 값이고 실제 유사지역에서의 측정시 도로소음이나 헬기, 아이들의 소리등 배경소음이 지속적으로 유입되어 실측치보다 다소 높은 소음도를 보였다. 특히 1층의 경우 예측치보다 6.4dB 높게 나왔는데 실제 측정시 소음계 앞에서 각각의 측정시 30여분 이상 아이들의 노는 소리와 기타 생활소음이 지속적으로 발생하였다.

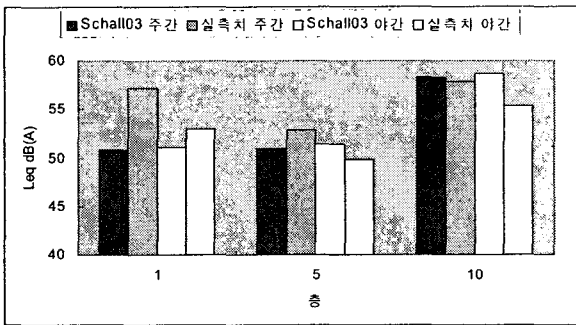


Fig. 3 방음벽 있을 경우에 실측치와 예측식의 비교

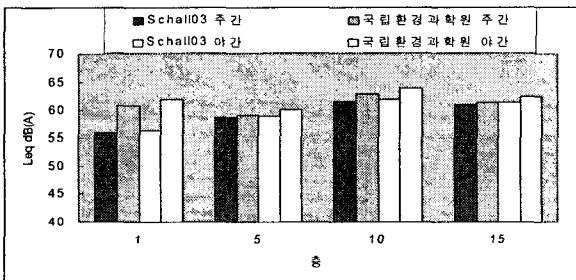


Fig. 4 방음벽 없을 경우에 국립환경과학원예측식과 독일의 Schall 03식의 비교

Table.12와 Fig.3,4에서 보듯이 국립환경과학원식과 Schall03식 실측치를 비교하여 보면 국립환경과학원식이 다소 높게 나오는 것을 볼 수 있다.

'국립환경과학원 예측식'의 경우 방음벽을 감안한 예측방법이 없어서 실측치와 단순 비교하기는 어려웠다. 이에 방음벽을 제외하고 'SoundPlan의 shall03에 의한 L_{eq} 산정식'을 이용하여 상호 비교해 본 결과 1층의 경우 5.1dB로 높은 차이를 보였으나 층수가 올라갈수록 줄어들어 15층의 경우 0.3dB의 차를 보였다. 그러나 국립환경과학원 예측식의 경우 15층 이상의 수음점에 대해서는 예측할 수가 없었다.

그리고, 이렇게 예측되거나 실측된 소음도를 보면 모두 철도소음한도 주간 70dB(A), 야간 60dB(A)을 하회하나, 실제적으로 열차가 아파트인근을 운행 될 경우에는 방음벽이 있음에도 상당한 소음도를 보여 주민들이 민원을 제기 하는 경우가 많이 있다. 이에 우리나라도 좀 더 많은 연구를 통하여 향후 국외적으로 쓰이고 있는 L_{max} 에 대한 구체적인 연구가 필요 하겠다.

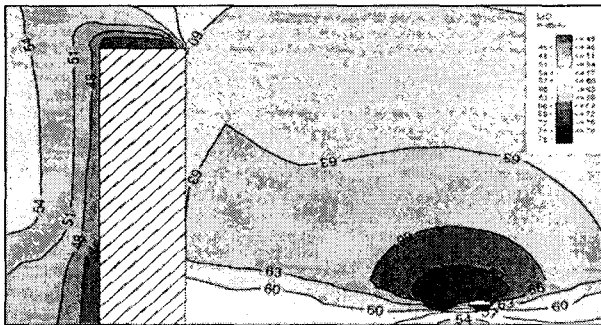


Fig. 5 SoundPlan의 Schall03예측식의 소음분포도

참고 문헌

- (1) A Study of European Priorities and Strategies for Railway Noise Abatement, EU Commission, Directorate-General for Energy and Transport
- (2) 한석호, "철도소음의 예측방법에 관한 연구", 선문대학교 석사
- (3) 주진수, 1997, "해외 각국의 철도소음 예측방법", 한

국소음진동공학회

(4) 한국철도시설공단, 2004, “수인선 오이도~인천간 복선전철 건설사업 환경영향평가서”

(5) 박영민, 2005, “도로변 공동주택의 층별 소음보정계수 산정에 관한 연구”, 한국환경정책·평가연구원