

철도건설사업의 주요 환경 영향에 관한 연구

이영준 이현우 박영민 이정호
유현석 이영수 최진권 윤미경



연구진

연구책임자 이영준

참여연구원 이현우 박영민 이정호 유현석 이영수

최진권 윤미경

산·학·연·정 연구자문위원

김채규 (국민경제자문회의 서기관)

박덕신 (한국철도기술연구원 선임연구원)

이양상 (한국철도시설공단 부장)

이재구 (한국종합기술개발공사 상무)

이창운 (교통개발연구원 연구위원)

장봉희 (한국철도시설공단 부장)

장서일 (서울시립대학교 교수)

조준호 (한국철도기술연구원 선임연구원)

내부 연구자문위원

노태호 (KEI 환경영향평가부 책임연구원)

최준규 (KEI 환경영향평가부 연구위원)

최진석 (KEI 정책연구부 책임연구원)

© 2004 한국환경정책·평가연구원

발행인 윤서성

발행처 한국환경정책·평가연구원

서울시 은평구 불광동 613-2

우편번호 122-706

전화 380-7777 팩스 380-7799

<http://www.kei.re.kr>

인쇄 2004년 12월

발행 2004년 12월

출판등록 제17-254호

ISBN 89-8464-112-X 93530

값 7,000원

서 언

지금 세계는 기상이변, 지구온난화, 산성비, 오존층 파괴, 급격한 서식처 감소와 멸종, 외래생물의 침입 등으로 전례 없는 환경변화를 겪고 있습니다. 선진국들은 개발과 에너지 소비로 인한 환경변화의 심각성을 인식하고 화석연료 소비의 비중을 줄이려는 노력을 경주하고 있습니다. 이러한 노력의 일환으로서 우리나라에서도 환경적으로 지속가능한 교통이라는 과제를 이행하고 한편으로는 동북아중심국가 정책을 뒷받침하기 위하여 교통정책과 철도산업구조에 대한 재편, 철도관련 환경저감기술에 대한 투자가 이루어지고 있습니다.

본 연구에서는 변화하는 교통정책의 흐름에 부응하고 늘어나는 철도사업 환경평가에 대처하기 위하여 철도 관련 정책 및 환경평가와 관련한 연구분야의 전반에 걸쳐 연구하였습니다. 또한 철도의 환경영향을 보다 합리적으로 예측·평가할 수 있는 방법론을 연구하고 철도의 환경친화성을 검증하기 위하여 노력하였습니다. 이번 연구는 철도사업의 환경평가에 대한 최초의 종합적인 연구로서 큰 의의가 있으나, 철도정책과 환경평가의 동향, 환경지표 분석과 도로와의 비교, 국내·외 환경평가 제도 및 사례분석, 평가기법과 제도의 개선 등 다양한 주제의 연구가 진행됨에 따라 연구내용이나 형태 등에서 통일성을 유지하기 어려운 점들이 있었습니다.

이러한 다양한 분야별 연구를 차질 없이 수행하고 연계성을 확보하기 위하여 전문가의 의견을 널리 구하였습니다. 본 연구 결과를 얻기까지 수고해주신 환경영향평가부의 연구진 여러분들과 연구내용에 대해 자문 및 자료를 제공해주신 산·학·연 전문가, 정부 부서의 담당자, 원내 자문위원들 모두에게 깊은 감사의 말씀을 올립니다.

2004년 12월

한국환경정책·평가연구원

원 장 윤 서 성

국 문 요 약

본 연구의 목표는 철도건설사업의 환경영향평가 개선을 위한 기반을 확립하고, 향후 친환경적 국가기간철도교통망 구축에 필요한 기초자료로 활용될 수 있는 토대를 마련하는 데 있다. 최근의 철도분야에 대한 정책적 재조명과 맞물려 철도사업은 그 숫자나 규모, 예상 등에서 크게 증가하고 있으며, 이에 따라 철도의 건설과 운영이 환경에 미치는 영향에 대한 연구의 필요성도 함께 부각되고 있다. 따라서 본 연구에서는 철도사업의 환경평가를 중심으로 건설 및 운영시 환경영향을 파악하고, 평가체계 및 평가방안을 전반적으로 연구하고자 하였다.

이러한 맥락에서 본 연구를 다음과 같이 진행하였다.

첫째, 교통수단의 일반적 환경영향을 파악하고, 철도와 도로를 에너지 효율성과 사회적 비용 등 환경비용 측면에서 비교하였다. 환경비용에 대한 평가에서 철도는 도로보다 우수한 것으로 확인되었으며, 이러한 철도의 친환경성에 관한 분석내용은 환경친화적 교통시스템 구축과 교통수요 관리, 배출가스 저감 등 측면에서 교통정책을 구현하는 데 철도투자를 장려하게 되는 근거가 되고 있다.

둘째, 국내 철도정책의 현황과 향후 철도정책의 방향과 과제, 철도망 구축에 관련된 계획현황, 철도산업관련 법개정과 구조개편 상황 등 철도사업의 시행동향과 전망을 파악하였다. 우리나라의 철도부문은 투자활성화를 통한 철도시설의 증가, 수송의 효율성을 높이기 위한 노선정비, 철도관련기관의 재편에 따라 전문성에 기초한 역할정립 등을 통하여 환경친화적 교통수단으로서 위상을 높일 것으로 기대되었다.

셋째, 철도사업에 대한 사전환경성검토와 환경영향평가 등 환경평가 체계의 특징과 시행상황을 조사하였다. 타당성조사, 기본계획수립 및 예정지역의 지정 등에 있어서 사전환경성검토를 시행한 사례는 없는 상태이나, 향후 전략환경평가에 따른 의사결정 시스템이 운영될 것으로 예상되었다. 또한 철도사업 환경영향평가는 2003년 이후 뚜렷한 증가세에 있으며, 이러한 증가 경향은 정부의 철도부문 투자정책 변화와

맞물려 한동안 지속될 것으로 예상되었다.

넷째, 철도와 도로사업에 있어 환경영향평가에 관련된 항목별 검토의견의 발생비율 및 환경지표에 대하여 비교·분석하였다. 특히 지표분석을 수행한 결과, 철도는 자연환경부문에 있어 도로보다 우수하였으나 생활환경부문(소음·진동)에서는 도로보다 우위에 있지 않은 것으로 평가되었다.

다섯째, 선진국의 철도사업 환경평가 체계를 파악하고 사례분석을 시행하여 시사점을 도출하였다. 우리나라의 철도사업에 있어서는 노선선정에 대한 기본계획 수립시 전략환경평가를 시행하고, 인허가기관에서는 평가항목·범위확정위원회(스코핑위원회)를 적극 운영하는 것이 철도사업의 환경평가에 수반되는 환경갈등을 사전에 해결하는 데 유용한 것으로 제안되었다.

여섯째, 철도사업의 환경영향에 대한 분석 및 저감방안 등에 관한 연구는 매우 뒤쳐져 있는 상태이므로, 생태계, 지하수, 토양, 소음·진동 등 4개 분야를 선정하여 철도사업 환경영향평가를 위한 일반적 연구현황과 저감방안, 향후 개선을 위한 연구방향 등을 도출하였다.

본 연구는 철도정책과 환경평가라는 틀에서 철도사업 시행동향, 연구현황과 전망 등을 종합적으로 살펴보고 철도사업의 환경평가 발전방향을 모색하였다는 데 의의가 있다. 그러나 단기간의 연구와 기존 연구자료의 부족 등 근본적인 한계를 현 단계에서 극복하기는 어려운 상황이어서 추후 중점적인 연구가 필요한 과제를 별도로 제안하였다.

이들 과제는 1) 철도사업 환경평가의 제도개선과 단계별 가이드라인 수립을 위한 연구, 2) 노선선정시 환경성을 고려할 수 있는 객관적 평가모델과 기법 및 지표 개발을 위한 연구, 3) 생태계와 생활환경 부문에서 모니터링 체계를 구축하고 조사방법을 표준화하기 위한 연구, 4) 지하수, 소음·진동 등 분야에서 환경기준을 설정하고 예측 기법을 발전시키기 위한 연구 등이다.

차 례

서 언

국문요약

제1장 서론	1
1. 연구의 배경 및 필요성	1
2. 연구 목표, 내용 및 범위	4
가. 연구목표	4
나. 주요 연구내용 및 범위	5
3. 연구보고서의 체계	6
제2장 육상교통의 환경영향과 철도정책	9
1. 육상교통의 환경영향	9
가. 교통수단의 환경영향 일반론	9
나. 도로와 철도 환경영향 비교	11
다. 환경성 관련 시사점	14
2. 국내 철도정책 분석	14
가. 현황	15
나. 문제의 원인	16
다. 정책변화의 필요성	17
라. 철도정책의 방향과 과제	17
3. 철도망구축에 관련된 계획현황 및 기본방향	19
가. 제4차 국토종합계획	19
나. 국가기간교통망계획, 교통시설투자계획, 교통시설특별회계 등	20
다. 21세기 국가철도망 구축 기본계획	22
라. 수도권 광역교통계획	26

제3장 철도사업의 환경평가 현황 및 환경영향의 특성	29
1. 환경평가 관련 법체계	29
가. 환경평가 추진체계	29
나. 사전환경성검토	31
다. 환경영향평가	33
라. 환경평가 추진절차	34
2. 환경영향평가 추진동향	38
3. 철도건설사업 환경영향평가지 환경영향의 분석	39
가. 철도건설 및 운영시 일반적 환경영향	40
나. 환경영향평가 관련 규정에 의한 주요 항목 및 평가방안	41
다. KEI 환경영향평가부의 검토의견 분석	43
라. 평가서 검토의 전망	48
4. 철도와 도로사업의 건설 및 운영시 환경영향 비교	48
가. 연구범위와 방법	49
나. 구조물 설치계획과 환경영향예측에 대한 지표조사 결과	49
다. 구조물 설치계획과 환경영향예측에 대한 지표간 비교분석	53
라. 지표분석결과의 시사점	56
제4장 외국의 철도사업 환경평가	59
1. 주요 국가의 환경평가 체계	59
가. 미국	59
나. 홍콩	61
다. 일본	63
라. 프랑스	66
마. 영국	69
2. 환경평가 사례	71
가. 미국의 철도노선 결정	71
나. 홍콩의 철도노선 결정 및 환경영향평가	78
다. 일본의 철도건설 환경영향평가	82

라. 프랑스의 철도건설 환경영향평가	85
마. 영국의 철도건설 환경영향평가	89
바. 사례분석의 시사점	92
제5장 철도사업의 효율적 환경영향평가를 위한 개선방안	97
1. 생태계 영향예측 및 저감방안	97
가. 서론	97
나. 철도사업이 생태계에 미치는 환경영향과 사례	97
다. 일반적 저감대책	104
라. 향후 연구 방향	108
2. 지하수 영향분석 및 평가방안	109
가. 서론	109
나. 철도터널 관련 지하수 영향 국외 사례분석	111
다. 국내 지하수 환경평가 사례분석	119
라. 지하수 환경평가 사례분석 결과	119
마. 철도건설사업시 지하수 관련 환경평가 체계 및 저감방안 제시	132
3. 철도부지의 토양오염 현황 및 저감방안	135
가. 개요	135
나. 철도부지의 주요 토양오염원 사례분석	136
다. 저감방안 수립, 대안 설정 및 향후 연구내용	141
4. 소음·진동 영향분석 및 평가방안	142
가. 서론	142
나. 철도소음의 전반적 특성	142
다. 국내·외 철도소음 환경기준	144
라. 국내·외 철도진동 환경기준	150
마. 국내·외 철도소음 예측모델	156
바. 철도 소음·진동 관련 환경분쟁	161
사. 향후 연구 방향	162

제6장 결론 및 제언	165
1. 과제의 요약 및 결론	165
가. 요약	165
나. 결론	170
2. 제언	171
참고문헌	175
<부록 1> 철도와 도로사업의 환경영향에 대한 지표분석 자료	181
<부록 2> 국외 철도소음 예측기법	190
Abstract	203

표 차례

<표 2-1> 교통 관련 환경영향	11
<표 2-2> 교통수단별 에너지 효율성 비교	12
<표 2-3> 유럽 17개국 교통 관련 평균 사회적 비용	13
<표 2-4> 국내 육상교통수단별 단위 환경비용	14
<표 2-5> 교통투자비 중 도로와 철도의 투자비율 추이	15
<표 2-6> 철도망 구축시 장래 철도지표 전망	24
<표 2-7> 제2단계(2003~2007년) 기간의 주요 추진사업	26
<표 3-1> 환경정책기본법시행령에 의한 사전환경성검토 구비서류 적용대상 행정계획	33
<표 3-2> 개별 법령에 근거하여 관계행정기관과 사전협의(사전환경성검토)대상인 행정계획	33
<표 3-3> 철도건설시 환경영향평가 대상사업의 범위, 평가서 제출·협의요청시기	34
<표 3-4> 연도별 철도건설사업 환경영향평가서(본안) 접수 현황	39
<표 3-5> 철도건설사업 환경영향평가서작성규정에 따른 주요평가항목	41
<표 3-6> 항목별 검토의견 발생빈도	46
<표 3-7> 철도와 도로 건설사업계획에 따른 구조물 현황과 환경영향예측	51
<표 4-1> SEHSR의 연도별 사업일정	72
<표 4-2> Centralia, VA에서 Charlotte, NC 구간의 9가지 대안노선	75
<표 4-3> SEHSR의 대안노선에 대한 항목별 세부조사내용	77
<표 4-4> Lok Ma Chau Spur Line의 연도별 사업일정	80
<표 4-5> Lok Ma Chau Spur Line의 수직적 대안노선에 대한 평가항목	81
<표 4-6> 호쿠리쿠 신간선의 연도별 사업일정	84
<표 4-7> 호쿠리쿠 신간선의 분야별 평가항목	85
<표 4-8> TGV의 연도별 사업일정	86

<표 4-9> TGV의 구간별 사업현황	87
<표 4-10> Thameslink 2000의 연도별 사업일정	90
<표 4-11> Thameslink 2000의 분야별 평가항목	91
<표 4-12> 호남고속철도 노선기본계획의 환경분야 정량화기법 적용항목	96
<표 5-1> 도로에 의한 생태계 단절 유형과 생태계에 미치는 주요 영향	99
<표 5-2> 지하수 영향평가 실시사례	119
<표 5-3> 3개소 터널계획구간에 관한 기본 개요	125
<표 5-4> 각 터널별 격자망 구성	126
<표 5-5> MODFLOW 모델링에 적용된 각종 입력자료	127
<표 5-6> 조사공의 모델링 시뮬레이션에 의한 수위강하량	131
<표 5-7> 토양오염 개연성이 높은 지역	139
<표 5-8> 국내 철도소음의 한도값	145
<표 5-9> 신간선 소음환경기준	146
<표 5-10> 신간선 소음환경기준 목표기간	147
<표 5-11> 독일의 교통소음 허용 기준치	149
<표 5-12> 차외 철도소음 기준치 (독일연방철도국)	149
<표 5-13> 기타 국가별 철도소음 기준 및 규제 현황	150
<표 5-14> 국내 철도진동의 한도	151
<표 5-15> 국제 표준화 기구의 건물에 대한 진동 허용기준	152
<표 5-16> 일본의 진동 레벨 보정치	153
<표 5-17> 수직 진동에 대한 일본의 진동 레벨 계산식	153
<표 5-18> 일본의 진동 레벨과 최대 속도와의 관계	154
<표 5-19> 독일의 KB치 산정식	155
<표 5-20> 건물 내 공해진동 KB 허용치	155
<표 5-21> 건물에 대한 독일의 진동 허용 기준	156
<표 5-22> 중앙환경분쟁 조정 위원회 분쟁 처리 상황	161
<부록표 1-1> 철도건설사업의 터널 및 교량 현황	181
<부록표 1-2> 고속도로건설사업의 터널 및 교량 현황	182
<부록표 1-3> 국도건설사업의 터널 및 교량 현황	183

<부록표 1-4> 철도건설사업의 절·성토 및 생태계 훼손 현황	184
<부록표 1-5> 고속도로건설사업의 절·성토 및 생태계 훼손 현황	185
<부록표 1-6> 국도건설사업의 절·성토 및 생태계 훼손 현황	186
<부록표 1-7> 철도건설사업의 소음 저감시설 현황	187
<부록표 1-8> 고속도로건설사업의 소음 저감시설 현황	188
<부록표 1-9> 국도건설사업의 소음 저감시설 현황	189
<부록표 2-1> 차량형식별 보정치	193
<부록표 2-2> 궤도구조에 대한 보정치	194
<부록표 2-3> 선로구조나 궤도구조의 종류에 대한 보정치	197

그림 차례

<그림 1-1> 연구보고서의 체계	7
<그림 2-1> 간선철도망 계획노선도	23
<그림 3-1> 철도건설사업의 환경평가 체계	30
<그림 3-2> 공공철도건설사업 시행절차	35
<그림 3-3> 고속철도건설사업 시행절차	36
<그림 3-4> 도시철도건설사업 시행절차	37
<그림 3-5> 삭도·궤도건설사업 시행절차	37
<그림 3-6> 연도별 환경영향평가 현황	38
<그림 3-7> 철도·도로사업의 항목별 검토의견 발생비율	44
<그림 3-8> 노선 1km당 구조물 설치계획	52
<그림 3-9> 노선 1km당 생태계에 대한 영향예측	52
<그림 3-10> 노선 1km당 소음저감시설 설치계획	53
<그림 3-11> 터널·교량연장과 절·성토량의 관계	54
<그림 3-12> 터널연장과 식생훼손면적의 관계	55
<그림 3-13> 절·성토량과 식생훼손면적의 관계	55
<그림 3-14> 터널연장과 방음벽연장의 관계	56
<그림 4-1> 미국의 환경영향평가 절차	61
<그림 4-2> 홍콩의 환경영향평가 절차	63
<그림 4-3> 일본의 환경영향평가 절차	66
<그림 4-4> 프랑스의 환경영향평가 절차	69
<그림 4-5> 영국의 환경영향평가 절차	71
<그림 4-6> 기존 노선을 중심으로 한 SEHSR의 대안노선	74
<그림 4-7> KCRC사에서 계획·건설중인 노선과 Lok Ma Chau Spur Line	79
<그림 4-8> Lok Ma Chau Spur Line의 수직·수평적 최적대안	82
<그림 4-9> 호쿠리쿠 신간선 노선도 (일부)	83

<그림 4-10> 프랑스 TGV 네트워크 노선도	87
<그림 4-11> AHP기법에 의한 평가항목의 계층구조 모식도	95
<그림 5-1> 중대한 영향 저감대책의 3단계	105
<그림 5-2> CHST 노선 예정지역(북측)의 지하수 대수층 분포	112
<그림 5-3> CHST 노선 예정지역(남측)의 지하수 대수층 분포	114
<그림 5-4> Los Angeles 중심부 Metro Rail 사업의 노선도	115
<그림 5-5> Los Angeles 지역 일대의 지질도	117
<그림 5-6> 사업노선 북서부 Hollywood 단층대의 횡단면도	117
<그림 5-7> 지하수유동모델링을 위한 환경평가의 흐름	120
<그림 5-8> 지하수유동모델링의 순서	124
<그림 5-9> 지하수유동모델링을 위한 격자망도 - 해룡터널	128
<그림 5-10> 지하수유동모델링을 위한 격자망도 - 발흥터널	128
<그림 5-11> 지하수유동모델링을 위한 격자망도 - 마래터널	129
<그림 5-12> 터널굴착 전·후 지하수 유동 등수위선도 - 해룡터널	129
<그림 5-13> 터널굴착 전·후 지하수 유동 등수위선도 - 발흥터널	130
<그림 5-14> 터널굴착 전·후 지하수 유동 등수위선도 - 마래터널	130
<그림 5-15> 토양환경평가 실시 절차	136
<그림 5-16> 도로와 철도를 포함하는 소음 해석지역 입력화면	160
<그림 5-17> 환경소음 해석 결과	160
<부록그림 2-1> 지표면 흡음에 의한 감쇠량의 계산 도표(독일)	195
<부록그림 2-2> 회절에 따른 감쇠량의 계산 도표(영국)	198
<부록그림 2-3> 음원이 부분적으로 차폐되는 경우의 취급방법(영국)	199

제1장 서론

1. 연구의 배경 및 필요성

21세기 무역경제의 큰 줄기는 보호무역주의에서 자유무역주의로의 전환과 함께 지역경제의 블록화로 요약될 수 있다. 자유무역주의는 GATT 이후 WTO 다자간 무역체제 방식을 통해 보호 무역주의를 극복해 왔으며, 개방적 지역주의를 표방하는 경제블록화 흐름은 미주자유무역지대(FTAA) 결성 예에서 보듯 세계화와 맞물려 더욱 가속화되고 있다.

지역경제 블록화는 세계 각 나라들이 홀로 세계화변화에 대응하는 것이 매우 어려운 일이라는 점을 인식해 우선 주변국 중에서 상호 이익이 합치되는 상대방을 구해 자유무역협정을 체결한 후 다시 이를 확대하는 방식으로 전개되고 있다. 앞으로 전 세계의 경제는 유럽연합(EU), 미주자유무역지대(FTAA), 아세안 자유무역지대와 최근 논의가 진행중인 한중일 자유무역지대가 결합된 아시아연합(Asia Union)등 3대 거대 경제 블록이 이끌어 갈 전망이다.

우리나라는 세계 시장의 4분의 1을 차지하는 중국 시장과 세계 최고 수준의 기술력을 가진 일본 사이에 있으나, 시장규모나 기술면에서 이들 이웃나라와 견줄 만한 수준에는 도달해 있지 않다. 제품을 만들 첨단 기술력도, 제품을 판매할 시장도 부족한 현실에서, 경제적이고 친환경적인 교통서비스를 제공하여 동북아를 이용하는 물류를 끌어들이는 일은 국가의 지속가능한 발전을 위해 반드시 필요한 일이기도 하다.

한반도의 지정학적 중심성을 활용해 동북아 물류유통의 허브로 구실하기 위한 사회간접자본 투자가 급속히 진행됨에 따라, 부산에서 광양에 이르는 다도해 벨트, 서해안 개발, 공항과 항만 건설, 경의선과 동해선 연결, 남북 직항로, 대북 경제·에너지 협력 등이 가시화되었다. 향후 부산, 광양, 인천 등 물류거점으로부터 시베리아횡단철도(TSR), 중국횡단철도(TCR) 등을 통해 유럽까지 물류와 여객을 연결하고자 하는 구

상도 현실화될 것이다.

동북아 중심국가 정책을 뒷받침하기 위해서는 1990년대 이후 이미 수용능력의 한계에 달한 교통시설을 근본적으로 개선하고, 교통혼잡비용과 물류비용을 감소시켜야 하는 숙제를 안고 있다. 지속적인 경제발전을 뒷받침하기 위하여 정부는 막대한 재원을 교통부문에 투자하고 있으며, 재원의 효율적인 활용을 위하여 교통체계효율화법과 이에 따른 국가기간교통망계획을 수립하고 있다. 국도급 이상의 도로는 고속주행이 가능하도록 신설되고, 기존의 간선철도는 전철화, 복선화되고 있다. 올해 초 개통된 고속철도(KTX)가 초기의 안전문제에도 불구하고 비교적 순조롭게 운영되고 있으며, 고속철도 개통에 따른 여객과 물류수송 체계의 변화도 예상된다.

국토개발과 물류·여객 운송체계의 변화, IMF이후의 경제 회복, 주말 레저 수요 등의 사회적 현상은 교통수요의 상승으로 이어지며 필연적으로 여러 가지 환경문제를 야기하고 있다. 특히 온실효과에 따른 기온과 해수면 변화, 화석연료 소비와 유가상승, 오존층 파괴, 대기 및 수질오염 등 세계적인 지구환경변화의 위기감이 고조됨에 따라 대중적이고 친환경적인 교통서비스, 안전하고 쾌적하며 신속한 교통서비스, 지속가능한 교통정책 실현 등에 대한 국민의 요구가 급격히 증가하고 있다.

1992년 리우환경회의가 개최된 이후 선진국들은 에너지소비, 기후변화, 대기오염의 심각성을 인식하면서 화석연료 소비의 비중을 줄이려는 일환으로 '환경적으로 지속가능한 교통(Environmentally Sustainable Transportation)' 프로젝트를 진행하고 있다. OECD를 중심으로 한 국제사회에서는 환경적으로 지속가능한 교통의 실현 수단으로서 도로교통개선, 교통수요감소, 대체연료사용, 화물수송효율화 등의 정책을 추진하고 있으며, 이를 위해 대기오염, 이산화탄소, 소음, 토지이용 등에서 저감목표를 세우고 있다.

우리나라의 육상교통은 90% 이상을 도로에 의존하고 있어 환경훼손은 물론 교통의 사회적 비용이 상대적으로 높기 때문에 지금과 같은 자동차 위주의 교통체계로는 사회의 지속가능한 발전을 이루기 어렵다. 현재의 개인편의적 교통체계는 대중교통으로 수요를 전환하고 에너지 소비가 많은 자동차 사용을 억제하며, 교통수단간의 수요분담율을 개선하는 등의 방향으로 교통정책의 변화가 진행되고 있다. 특히 철도는

광역·대량·고속 수송, 안전성, 정시성, 경제성, 에너지효율성 및 환경친화성 등에서 우수한 장점이 있어 철도교통을 중심으로 여객·화물운송의 수송분담율을 개선하는 방향으로 정책 수립이 장려되고 있다.

“21세기 국가철도망 구축 기본계획”에서는 주요 목표 중 하나로 환경친화적 교통 체계 구축을 선정하였으며, 각종 정책과 투자지원, 기술개발 등에 역점을 두고 있다. 도로교통 위주의 단점을 극복하기 위해 효율적이며 경제성 있는 철도·도로가 연계된 복합 교통수단으로 전환하기 위하여 2020년을 목표로 총연장 5,164km, 복선화율 78.4%, 전철화율 86.0% 등 목표를 설정하였으며, 철도의 화물·여객 수송분담율을 현재 10~20% 수준에서 20~30% 수준으로 개선하려 하고 있다. 또한 남북통일과 대륙 철도망 연결을 대비한 철도망구축이 점차 가시화되고 있으며, 지자체에서도 광역교통망 구축에 철도를 많이 계획하고 있는 등 철도의 사업 환경은 급격히 변화하고 있는 추세이다.

이러한 최근의 철도분야에 대한 정책적 재조명과 맞물려 철도건설사업이 그 숫자나 규모, 예산 등에서 크게 증가할 것으로 예상됨에 따라 철도의 건설과 운영이 환경에 미치는 영향에 대한 연구의 필요성도 함께 부각되고 있다. 철도환경에 대한 연구 투자는 “국가교통핵심기술개발사업” 등 정부의 기간연구사업에서 볼 수 있듯이 친환경철도소재개발, 통합관리시스템개발 등 Eco-Rail기술개발 분야에서 철도전문가에 의한 환경문제 개선방안이 주로 연구되고 있다. 철도의 환경관련 기술분야에서 환경문제를 저감할 수 있도록 근본적인 대처방안이 연구되는 것이 당연하겠으나, 수많은 철도건설사업이 동시에 시행되고 있는 현실에서는 환경친화적 노선의 결정과 자연환경에 대한 훼손의 저감, 생활환경의 악화 방지 등이 정부의 기본계획과 실시계획 승인 등 정책결정에도 반영될 수 있도록 환경전문가에 의한 기반연구가 필요하다고 하겠다.

우리나라에서 시행하고 있는 사전환경성검토 및 환경영향평가의 이원적 환경평가 체계는 개발사업이 인간을 둘러싼 환경의 보전에 미치는 영향을 고려하여 지속가능한 발전을 달성하기 위한 의사결정 지원수단으로 기능하고 있으며, 선진국에 비교해서도 시행경험이 풍부하여 환경정책분야의 중심적 시책으로 자리잡고 있다. 최근의

4 철도건설사업의 주요 환경영향에 관한 연구

환경평가 분야의 연구는 '환경영향의 합리적 예측평가를 위한 기법연구'(KEI, 2002)와 같은 환경영향평가에 관한 일반적 분석의 틀을 벗어나 대상사업별 평가기법(택지 및 산업단지, 도로, 골프장, 석산개발, 하천정비 등) 또는 항목별 평가기법(지형·지질, 생태계, 수질, 토양, 경관, 폐기물 등)이 다양하게 연구되는 추세이며, 철도건설사업에 대해서도 중점연구할 필요성이 제기되고 있다.

육상교통이자 선형사업이라는 점에서 철도와 도로 사업은 유사한 범주로 인식되고 있으나, 그 장단점과 사업특성이 서로 다르므로 도로와 구분되는 철도 고유의 환경적 특성을 연구할 필요가 있다. 그간 도로건설사업에 대해서는 환경친화적 도로설계기법(건설교통부, 2002), 생태통로(한국도로공사, 2003), 사후관리(이수재 등, 2004) 등 노선의 선정과 설계, 시공, 관리에 이르기까지 환경영향을 고려할 수 있도록 연구가 심도있게 진행되고 있는데 반해, 철도건설사업에 대해서는 운영시 소음저감, 오염지역의 복원 등의 일부 민감한 환경관리 분야에서 크게 벗어나지 못하고 있다.

본 연구에서는 철도건설사업의 환경평가를 중심으로 철도의 건설 및 운영시 환경영향을 파악하고, 평가체계 및 평가방안 등을 전반적으로 연구하고자 한다. 또한 본 과제를 통해 철도가 도로보다 친환경적이라는 단순한 인식에서 벗어나, 철도의 환경영향을 보다 합리적으로 예측하고 모니터링을 통하여 검증할 수 있는 방법론을 제시하여 철도분야 환경연구의 발전을 돕고자 한다.

2. 연구 목표, 내용 및 범위

가. 연구목표

본 연구의 목표는 철도건설사업의 전문적이고 특성화된 환경평가를 위한 기반을 확립하고, 향후 친환경적 국가기간철도교통망 구축에 필요한 기초자료로 활용될 수 있는 토대를 마련하는 것이다. 이를 달성하기 위하여 철도건설사업에 관련된 법제도

및 계획 현황, 환경영향평가 실태, 외국의 환경영향평가 사례 등을 분석하였다. 또한 철도건설시 고려해야 할 주요 환경영향을 분석·도출하여 기본적인 평가방안을 마련하고 주요 환경영향의 정책적 개선방안을 제시하고자 하였다.

나. 주요 연구내용 및 범위

본 연구에서는 먼저 철도사업의 환경친화적 성격을 규명하고, 철도사업 관련 주요 정책 현황을 파악하였다. 국가기간철도망구축에 관련된 계획현황 및 지표, 국가 교통망 구축에 있어 철도 관련 교통환경정책, 향후 환경평가가 예상되는 철도건설관련 사업계획 동향 등을 분석하였다.

철도사업에 관련된 환경평가 동향 분석에서는 사전환경성검토와 환경영향평가에 관련된 법체계, 환경부에서 제시한 주요 평가기준 등을 분석하고, 1996년 이후부터 환경영향평가 검토기관인 한국환경정책평가연구원에서 최근까지 진행한 환경영향평가 추진현황 및 철도건설사업에 대한 검토의견을 분석하였다. 또한 향후 사전환경성검토 및 환경영향평가가 예상되는 사업을 파악하였다.

철도건설 및 운영시 주요 환경영향요소 분석에서는 철도의 에너지소비와 환경문제에 관한 일반적 인식을 토대로 환경영향평가서 검토의견 및 연구자료, 국내·외 문헌 등을 분석하여 주요 평가항목을 도출하였으며, 이에 따라 지형·지질, 동·식물상, 소음·진동, 토양 등이 주요한 환경영향 관련 항목인 것으로 분석되었다. 이들 항목에 관하여 주요 환경영향을 정량·정성적으로 분석하였으며, 전문가 의견을 구하여 이번 연구에서 개선방안을 마련할 수 있는 중점 연구내용을 파악하였다.

또한 철도사업의 노선 선정과 건설시 및 운영시 환경영향의 저감 등에 관하여 외국의 사례분석을 시행하였다. 그 사례로는 미국의 고속철도, 홍콩의 도시철도, 일본의 신간선, 프랑스 TGV, 영국의 도시철도 등을 선정하였으며, 이들의 평가체계와 기법분석을 통해 시사점을 도출하고자 하였다.

철도사업의 효율적 환경영향평가를 위하여 환경영향이 가장 문제시되고 있는 4가지 분야(동식물 및 생태계, 터널 주위의 지하수 변화, 철도부지의 토양오염, 소음·진

등)에 대한 연구를 진행하여 개선방안을 모색하고자 하였다.

3. 연구보고서의 체계

본 보고서는 크게 6장으로 구분하여 작성하였다.

제 I 장 서론에서는 연구의 배경 및 필요성, 연구목표 및 내용, 연구보고서의 접근 체계를 포함하고 있다.

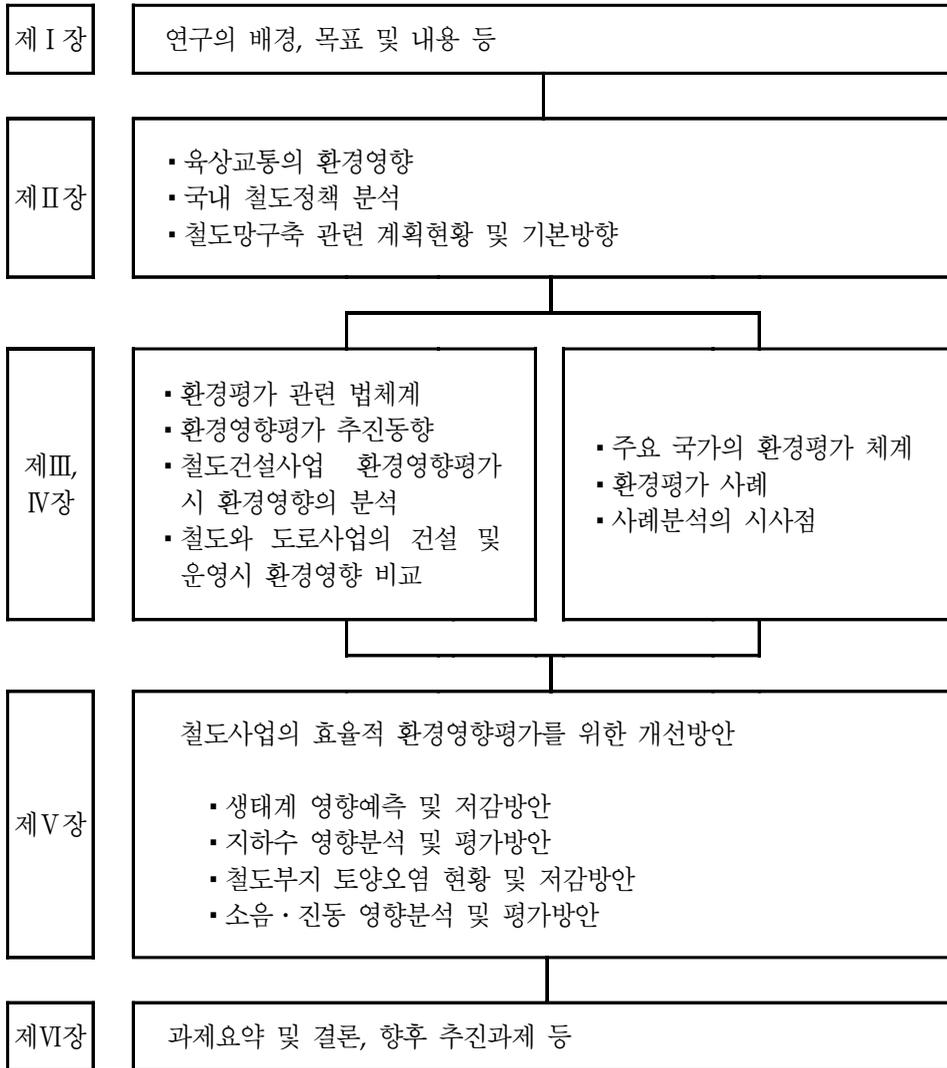
제 II 장에서는 철도관련 주요정책·사업계획 현황, 철도의 환경친화성, 교통정책의 문제점, 향후 철도건설 동향 등 철도 정책과 사업 환경을 다루고 있다.

제 III 장에서는 환경영향평가를 중심으로 환경평가 관련 법체계와 평가기준, 환경영향평가 추진현황 등을 제시하였다. 또한 철도에 관한 국내·외 문헌과 한국환경정책평가연구원의 자료 등의 분석을 통해 주요 환경영향 요인을 파악하였다.

제 IV 장에서는 선진국의 철도사업 환경평가체계 및 검토기법 현황을 파악하고, 몇몇 철도건설사업 사례를 분석하였다.

제 V 장에서는 철도건설사업의 환경영향평가에서 시급히 개선이 필요한 분야를 골라 개선방안을 연구하였다. 4가지 분야(동식물 및 생태계, 터널 주위의 지하수 변화, 철도부지의 토양오염, 소음·진동)에 대한 연구를 통해 개선방안을 논의하였다.

제 VI 장에서는 연구의 요약 및 결론은 제시하였으며, 본 연구를 추진하면서 나타난 연구의 한계와 이를 극복할 수 있는 향후 추진과제에 대하여 제시하였다.



<그림 1-1> 연구보고서의 체계

제2장 육상교통의 환경영향과 철도정책

1. 육상교통의 환경영향

교통부문을 분류할 경우 철도(지하철 포함), 도로, 해운, 항공 등으로 나눌 수 있다. 건설교통통계연보에 의하면 여객수송량(인·km)에서는 도로-철도-항공-해운의 순으로, 화물수송량(톤·km)에서는 도로-해운-철도-항공의 순으로 나타난다. 따라서 육상 교통수단인 도로와 철도는 교통부문에서 가장 높은 비중을 차지하고 있으며, 그만큼 육상교통을 이용하는 과정이 환경에 미치는 영향도 큰 것이다.

육상교통의 환경영향은 도로와 철도를 비교하는 형태로 우리에게 비교적 잘 알려져 있다. 본 장에서는 교통수단의 환경영향 일반론과 함께 도로와 철도간 환경영향을 에너지효율성과 환경비용을 통해 조사·비교하였다.

가. 교통수단의 환경영향 일반론

1) 대기오염

아황산가스, 질소산화물, 일산화탄소, 오존, 먼지(입자상물질) 등 자동차에서 배출되는 오염물질은 주로 인간에게 호흡기 계통의 질환과 폐기능에 장애를 주며 식물에게는 주로 잎의 고사, 이상낙엽, 개화장애 등의 피해를 입힌다. 이외에도 인체에 독성, 발암잠재성 및 생체축적 등을 일으켜 낮은 농도에서도 건강에 악영향을 초래할 뿐만 아니라 오존층 파괴와 광화학적 스모그현상 등을 일으킨다.

교통이용에 의한 대기오염 물질은 연료 자체의 특성으로 인해 발생하기도 하지만 불완전 연소로 인해 생성되기도 한다. 대기오염에 의한 재산상의 피해로는 농작물의 생산량 감소로 인한 수익의 감소, 인체의 호흡기 및 폐기능 장애로 인한 의료비의 추가 비용, 대기오염 피해를 줄이기 위한 방어비용의 지출 등을 들 수 있다.

2) 온실가스

대기중의 기체가 태양복사를 통과시키고 방출되는 적외선 복사를 흡수하여 열을 빠져나가지 못하게 함으로써 온도가 상승하는 현상인 「온실효과」를 발생시키는 물질을 온실가스라 한다.

온실가스에는 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(NO₂), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF₆) 등이 포함되며, 이중 CO₂가 전체 온실가스 중 80% 이상을 차지한다. CO₂는 주로 에너지 사용 및 산업공정에서, CH₄는 주로 폐기물, 농업 및 축산에서, NO₂는 주로 비료 사용에 의해 발생하고, HFCs, PFCs, SF₆ 등은 냉매 및 세척용 물질에서 발생한다.

현재 국내 온실가스 전체 배출량에서 수송부문이 차지하는 비중은 1995년 이래 약 20% 정도로 보고 있으며 수송부문에서 온실가스의 배출은 대부분이 도로에서 발생하는 것으로 알려져 있다.

3) 교통소음

일반적으로 소음이 인체에 미치는 영향을 구분하면 크게 생리적, 심리적 영향 등으로 나눌 수 있다. 소음의 생리적 영향은 신체적 기능장애와 연관되어 있으며, 심리적 영향은 주로 회화장애와 수면장애 및 단순한 짜증과 불쾌감 등 정신적 측면에서 고려된다. 이로 인한 정서불안과 스트레스 증가 등은 궁극적으로 생리적 장애로 발전될 수 있기 때문에 소음의 심리적 영향과 생리적 영향은 밀접한 관계를 갖는다. 소음에서 음압도의 크기가 심리적 영향에 일차적인 역할을 미치며, 지속시간은 소음에 대한 심리적 부담감을 결정하는 또 하나의 중요한 요소이다.

교통소음의 배출원은 자동차, 기차, 항공기 등이며 이들의 발생소음도는 매우 클 뿐만 아니라 피해지역도 광범위하다. 그 중에서도 자동차는 도로망의 확장과 더불어 차량대수의 급격한 증가로 인해 대도시의 주요 소음원으로 작용한다. 우리나라의 경우 도시의 상·공업지역과 주거지역까지 교통소음의 영향권에 있으며, 이제는 고속도로 등 여러 종류의 도로망 확장으로 인해 농촌에까지 교통소음의 영향권이 확대되고 있다.

도로교통소음은 주행자동차의 엔진음, 타이어 마찰음 및 배기음에 의하여 발생되며, 주행차량의 속도와 엔진회전수, 도로의 포장상태와 균배 및 운행차량의 하중 등에 따라 변하게 된다. 대형 트럭이나 버스 등 중량차에서 발생하는 소음은 승용차와 같은 경량차에 비해 크며, 동일 차량의 경우 발진시 또는 가속시 더 큰 소음을 발생한다. 또한 자동차 자체에 관계되는 요인인 중량, 속도 등과 주행면에 관계되는 요인인 포장구조, 평탄성, 교통류에 관계되는 요인인 자동차구조, 주행분포 및 지반특성에 의해 소음의 크기가 결정된다(환경부, 2001a).

철도에서의 주요 소음원에는 차륜과 레일사이에서 발생하는 전동소음(rolling noise)과 차체에서 발생하는 구동장치소음, 높은 운행속도로 인한 차체와 집전장치의 공력소음(aerodynamic noise) 및 구조물과 지반을 통하여 전달되는 저주파 소음 등이 있다(환경부, 2001a).

<표 2-1> 교통 관련 환경영향

원인	피해 대상	주요 영향
대기오염, 온실가스	인간	질병
	가축동물	성장장애
	경작식물	성장장애
	야생동·식물	종다양성
소음·진동	건물	부식
	인간	청각장애, 스트레스
	건물	균열
토지이용	인간	경관, 토지이용제한
	생태계	단절, 토양오염
기타 - 혼잡(연료소비 증가) - 사고(유해 물질)	인간, 건물, 동·식물	각종 피해

나. 도로와 철도 환경영향 비교

1) 에너지 효율

에너지 이용을 줄일 수 있다면 대기오염과 온실효과 역시 상당부분 감소시킬 수 있기 때문에 환경영향을 비교하는 데 있어 에너지 효율성에 대한 평가는 상당한 의미가 있다. 산업자원부(2001) 자료에 의하면 단위수송량에 근거하여 여객수송에서 택시의 에너지 소비는 철도의 약 16배, 버스의 약 3배에 이르며, 화물수송에서 도로의 에너지 소비량은 철도의 약 16배정도 이르는 것으로 산출된다. 버스의 단위수송량당 에너지소모량은 철도보다 약 6배 가까이 높게 나타난다(<표 2-2>). 따라서 다른 교통수단에 비해 철도의 에너지 효율성이 높음을 알 수 있다.

<표 2-2> 교통수단별 에너지 효율성 비교

구분	수단	단위수송량당 에너지소모 (kcal/인(톤) · km)	철도대비(배율)
여객	택시	1,192.24	15.7
	버스	415.43	5.5
	철도	75.97	1.0
화물	도로	1,674.21	15.8
	철도	105.98	1.0

자료: 산업자원부, 에너지경제연구원. 2001. 「에너지통계연보」 (1999년 기준 자료).

2) 환경비용

<표 2-3>을 보면, 육상교통에서 여객운송에 의해 발생하는 환경비용은 전체의 3분의 2이고, 화물에서는 3분의 1 정도를 차지한다. 여객의 경우 도로에서는 87Euro/천인 · km, 철도에서는 23Euro/천인 · km로 도로가 철도보다 약 4배, 화물의 경우 도로에서는 93Euro/천톤 · km, 철도에서는 19Euro/천톤 · km로 도로가 철도보다 약 5배 높게 산출되었다(INFRAS/IWW, 2000).

순수 환경부문의 비용은 여객수송에서 도로는 약 40Euro/천인 · km, 철도는 약 16Euro/천인 · km, 화물 수송에서는 도로 약 64Euro/천톤 · km, 철도 약 15Euro/천톤 · km로 철도 교통의 환경친화성을 입증하고 있다.

<표 2-3> 유럽 17개국 교통 관련 평균 사회적 비용

(단위: 백만Euro/년, Euro/천인(톤)·km)

수단	총비용	구분	비용	백만인(톤)·km	사고	소음	대기 오염	기후 변화	자연 및 경관	도시 영향	혼잡	기타	계
도로	30,474	여객	20,614	226,585	33.1	4.5	17.2	14.8	2.8	1.4	4.8	8.3	86.9
		화물	9,860	104,041	10.5	5.5	38.7	15.8	3.6	1.7	5.6	11.2	92.6
철도	604	여객	349	17,257	1.6	3.5	6.5	5.7	0.6	0.9	-	4.0	22.8
		화물	254	13,845	0.0	4.0	5.3	4.9	0.5	0.9	-	3.7	19.2

자료: Silvia Banfi et al. 2000. "Accident, Environment and Congestion Costs in Western Europe". External Costs of Transport. INFRAS/IWW 재구성.

<표 2-4>와 같이 국내 연구를 통해서도 철도와 도로교통의 환경비용이 비교·연구된 바 있다. 단위 수송량을 기준으로 환경비용의 차이를 도로와 철도로 구분하여 살펴보면, 여객의 경우 대기오염 비용은 도로에서 15.2원/인·km, 철도는 5.5원/인·km로 같은 양의 여객을 수송하더라도 철도보다 도로에서 대기오염으로 인한 비용이 약 2.8배 더 많이 발생하며, 온실가스 비용 역시 도로에서 철도보다 약 2.5배 더 많이 발생하는 것을 알 수 있다. 화물의 경우에는 단위(톤·km) 대기오염 비용은 도로에서 46.1원, 철도에서 10.0원으로 도로에서 4.6배 더 많이 발생하며, 온실가스 비용은 도로에서 22.0원, 철도에서 1.8원으로 도로에서 약 12배 높게 산출되었다.

연료소비에 의해 발생하는 대기오염과 온실가스로 인한 단위 외부비용은 여객과 화물 모두 철도에서보다 도로에서 더 높게 나타났다. 특히, 여객보다는 화물에서 연료 사용에 의한 두 수단의 환경비용 차이가 크게 나타나고 있다.

<표 2-4> 국내 육상교통수단별 단위 환경비용

구 분		대기오염	온실가스	소음
여객 (단위: 원/인·km)	도로	15.2	8.0	6.3
	철도	5.5	3.2	1.5
화물 (단위: 원/톤·km)	도로	46.1	22.0	6.3
	철도	10.0	1.8	1.5

자료: 김준순 등. 2002. 「육상교통수단의 환경성 비교 분석」. 한국환경정책·평가연구원.

다. 환경성 관련 시사점

교통부문의 환경오염문제를 해결하기 위해서는 주로 교통수단별 배출가스 규제와 에너지소비량의 저감 측면에서 대책을 마련하여야 한다. 우리나라에서 추진하는 환경친화적 교통정책은 에너지 효율이 높은 교통시스템 구축(대중교통시스템 구축 등), 자동차이용 수요 억제(교통수요 관리), 연료효율 제고 및 배출가스 저감을 위한 기술 개발, 배출가스 및 연료에 주어지는 직·간접적 규제수단 등으로 나눌 수 있다. 철도는 도로교통에 비해 에너지효율성 및 환경적 측면에서 확실한 비교 우위를 점하고 있으며, 이러한 내용은 교통시스템 구축과 교통수요 관리, 배출가스 저감 등 측면의 교통정책을 구현하는 데 철도투자를 장려하게 되는 근거가 되고 있다.

우리나라에서 철도의 역할이 도로에 비해 취약했던 이유 중의 하나는 투자평가 방법의 문제점을 들 수 있다. 철도의 장점인 안정성, 정시성, 저공해성 등의 항목은 평가시 고려되지 못하고 있어 동일 노선에서 철도와 도로 투자에 대한 평가를 시행하였을 때 초기 투자비가 큰 철도가 대부분 도로보다 열세에 놓이게 되었다. 기존 노선선정 평가기준에 사고비용, 환경비용 등을 적극적으로 고려한다면 철도사업 역시 경제성이 인정될 수 있을 것이다.

2. 국내 철도정책 분석

가. 현황

국내 교통시설은 선진국에 비해 양적 질적으로 크게 부족한 형편이며, 특히 철도는 더욱 열악한 실정이다. 또 경쟁시설인 도로와의 적정 역할 분담정도를 시사하는 도로와 비교한 철도의 수송분담율이 유럽의 1/2 수준으로 알려져 있다. 이와 같은 현상은 국내 철도시설의 연장이 부족할 뿐만 아니라 운행속도가 낮고 다수의 미연결구간과 노선별·구간별 용량차이로 운행이 비효율적인 데 원인이 있다.

여기에 지금까지 정부의 투자가 도로에 편중되어 철도가 더욱 위축되는 악순환 구조가 계속되었다.

※철도에 대한 저투자 → 서비스 저하(속도, 쾌적성, 접근성 등) → 철도이용 저조
→ 저투자

<표 2-5> 교통투자비 중 도로와 철도의 투자비율 추이

단위 : %

구분	1차 (‘62-‘66)	2차 (‘67-‘71)	3차 (‘72-‘76)	4차 (‘77-‘81)	5차 (‘82-‘86)	6차 (‘87-‘91)	7차 (‘92-‘96)	신1차 (‘97-2000)
도 로	17.2	52.0	51.6	47.7	46.7	79.6	57.8	64.6
철 도	60.6	28.7	29.4	21.7	12.1	10.1	22.3	14.5

주: 철도에는 고속철도투자비와 광역철도(98년부터) 포함.

도로에 치우친 교통정책의 결과는 교통혼잡, 교통사고, 환경오염, 물류비 증가 등으로 나타나고 있다. 좁은 국토에 많은 인구가 밀집된 고밀도 국가로 토지자원이 한정되어 있는 우리나라로서는, 계속 도로위주로 투자하여 육상교통체계의 서비스를 개선하겠다는 것은 불가능하며 바람직하지도 않다고 볼 수 있다.

나. 문제의 원인

국내에서 현재와 같이 철도가 낙후된 주요 이유는 '80년대 중반부터 급격히 진행된 자동차보급률 증가(Motorization), 정부의 편향된 투자정책, 철도자체의 대응력 부족 등을 제기할 수 있다. 다시 말해 서구 선진국들은 제2차 세계대전 이전에 충분한 철도망을 갖춘 상태에서 자동차 시대를 맞이한 반면 우리는 철도에 대한 충분한 기반이 마련되지 않은 상태에서 자동차를 일찍 받아들인 것이다. 게다가 정부의 투자 역시 도로교통 수요의 증가를 뒷받침하기 위하여 도로 위주로 이루어져, 현재의 투자평가 관행과 지침이 철도에 크게 불리하게 만들어진 원인을 제공하였다.

아직까지 철도사업에 대한 현행 투자평가지침은 교통수요와 편익은 도로에 비해 과소 평가되고, 비용은 과다 평가되어 철도가 도로와 공정경쟁이 불가능하도록 되어 있으나 최근 건교부와 철도청을 중심으로 이를 개선하려는 시도가 계속되고 있다¹⁾.

과거에는 철도의 수요추정이 교통혼잡, 공해, 사고로 인한 외부비용이 교통요금(이용자부담)에 제대로 반영되지 못하여 도로는 교통수요가 과다평가되고 철도는 상대적으로 과소평가되었으며, 비용의 추정에서도 도로, 철도, 공항, 항만 중 철도만 차량 구입비와 운행비를 포함시키는 불합리한 관행이 계속되었다. 편익에 대한 추정에 있어서도 철도에 유리한 시간가치, 사고감소, 환경편익 등이 제대로 평가되지 않거나 미평가되어 왔다.

그 결과 철도사업에 대한 경제성 분석시 많은 사업이 타당성이 없거나 낮은 것으로 나타나고 있어 투자불균형이 심화 되어왔던 것이 사실이다. 하지만 최근의 연구와 편람의 발간 등을 통해 향후 위에서 언급한 문제점들이 상당부분 해소될 것으로 보인다.

유럽에서는 교통투자의 중심이 도로에서 철도로 전환되었으며 독일, 영국, 프랑스 등 유럽 13개국은 도로투자액의 2.3배를 철도에 투자하고 있다. 유럽·일본 등 교통선진국은 철도사업의 다양한 편익을 반영하여 궁극적으로 철도 역시 다른 교통수단과 공정하게 경쟁할 수 있는 여건 조성하고 국민의 교통수단에 대한 다양한 선택권을 보장하고 있다.

1) 대한교통학회. 2003. 「철도투자평가편람(개정판)」. 사단법인 대한교통학회.

한편, 철도가 건설·운영된 지 100년이 지난 지금도 국가가 철도를 소유하고 운영하였기 때문에 이미 민영화된 버스, 항공 및 승용차와의 경쟁에서 취약한 경쟁여력을 갖고 있었던 것 역시 사실이다. 이와 같은 소유구조에 따른 철도의 구조적 취약성을 개선하기 위한 방안이 마련되고 있다.

다. 정책변화의 필요성

좁은 국토공간과 많은 인구, 한정된 자원의 제약 하에서 21세기의 변화하는 교통환경에 적극 대응하기 위해서는 철도의 역할을 증대시키는 적극적인 정책변화가 시도되고 있다.

첫째, 우리나라는 세계 최고의 고밀도 사회(교통수요 밀도도 거의 세계 최고) 구조를 가지고 있어서 교통수요가 계속 증가하고 남북 교류의 확대 및 통일 대비 등에 따라 효율적이고 통합적인 교통체계 구축이 필요하게 되었다.

둘째, 미래에 중요시되는 가치로서 환경, 안전, 에너지 소비 최소화 등을 설정하고, 환경친화적이고 안전하며 에너지 효율이 높은 교통체계 구축이 필요하게 되었다.

따라서 대량수송력, 고속성, 정시성, 환경친화성, 안전성에서 타 교통수단보다 우위에 있는 철도의 부흥을 통하여 우리 실정에 맞고 미래의 가치변화를 반영할 수 있는 한국적교통체계로의 전환이 요구된다.

이상과 같이 교통정책은 현재 그리고 미래의 교통문제와 환경문제를 동시에 해결하려는 정책대안으로 이해하여야 한다.

라. 철도정책의 방향과 과제

1) 외국의 교통/철도정책 동향

현재 유럽은 경제적, 생태적, 환경적 기준을 종합적으로 고려한 교통정책을 수립·시행하고 있다. 다시 말해 교통시설 투자평가 과정에서 사고비용, 환경비용 등을 적극적으로 고려하여 정부가 철도 적자분을 지원하면서도 높은 철도분담율을 유지하거나

철도분담율을 늘리려는 노력을 적극적으로 펼치고 있다. 결과적으로 철도의 투자가 대폭 늘어나 도로보다 철도에 훨씬 많은 투자(평균 2.3배)를 통해 철도의 경쟁력을 상승시키고 있다.

특히, 제86차 유럽교통장관회의(ECMT, 2002.5.29~30)에서는 지나친 도로 의존이 수송시스템 전반에 치명적인(Catastrophic) 결과를 초래할 것이라고 경고하고 철도수송을 늘리는 방향으로 교통수단간 수송분담조정(Modal Shift)이 이루어져야 한다는 점을 강조하고 유럽철도 발전에 대한 결의안을 채택하기도 하였다. 이와 함께 철도구조개혁/민영화 등을 통해 소유구조의 취약성을 보완하여 철도교통서비스의 생산성을 높이는 책임경영체제를 확립하였다.

2) 향후의 철도정책 방향과 과제

철도는 근본적으로 P2P(Point to Point) 서비스로 도로의 D2D(Door to Door) 서비스에 비해 접근성이 떨어진다. 이런 약점을 보완하기 위해서는 P2P 서비스의 장점을 최대화(대량수송에 의한 비용 절감, 속도 향상)하고, D2D 서비스와 연계할 수 있는 서비스 체계를 완성해야 한다. 이를 위한 장기적이고 체계적인 철도투자는 필수적이라 할 수 있다. 특히 철도를 고속화·전철화하고 도로교통과 연계할 수 있는 연계교통서비스는 향후 철도의 경쟁력을 높이는 핵심 사안이라 할 수 있다. 이와 같은 투자의 필요성은 철도의 서비스 수준이 낮은 상태에서는 아무리 철도의 중요성과 철도이용을 강조하더라도 철도이용이 늘어날 수 없다는 현실인식에서 시작되는 것이라 하겠다.

이를 위해 철도부흥의 시급성에 대한 공감대를 형성·확산하고 투자재원 배분시 철도에 우선순위를 두며 투자평가지침도 개정하여 철도의 중요성이 정책에 실질적으로 반영되어 철도투자가 되지 않는 악순환구조를 선순환구조로 빠른 전환이 필요하다.

※ 철도투자 확대 → 서비스 제고(속도, 쾌적성, 접근성 등) → 철도수요 증가 → 철도 재투자

궁극적인 철도정책의 목표는, 우리의 국토여건, 경제사회구조, 미래 가치 및 교통여건 변화, 그리고 환경문제를 종합적으로 고려하여 경제발전과 국민의 교통에 대한 욕구를 충족시킬 수 있는 방향으로 설정해야 한다. 이를 위해서는 교통수단 간(도로·철도간) 적정한 수송분담을 계획하고 이를 실현할 수 있도록 건전하고 다양한 교통수단이 필수적이며 이를 위해 철도의 역할을 재정립할 필요가 있는 것이다.

새로운 철도정책의 방향변화는 최근 건교부가 교특회계 시행규칙을 일부 개정하는 과정에서 철도 건설에 대한 교통세 배분비율 확대 등 철도에 대한 투자확대로 가시화되고 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이 국내 철도관련 정책은 일련의 방향전환을 맞이하고 있다. 특히 2003년 통과된 철도산업발전기본법, 한국철도시설공단법 등 국내 철도산업의 구조개편 과정에서 제정된 법률들은 철도의 투자, 건설 및 운영에서 각각 책임과 전문성에 기초한 역할을 정립하여 향후 철도부분의 투자 활성화, 건설기술의 발전과 철도서비스의 질적 향상 등이 가능할 수 있는 토대를 마련하고 있다. 이와 같은 현실은 향후 철도교통시설의 공급 증가를 빠르게 유도할 것으로 보인다. 이렇듯 새로운 철도정책을 근거로 철도의 역할이 변하고 철도가 국가 경제의 새로운 역동성을 갖게 된다면 우리나라 교통부분의 효율성이 증가됨은 물론 우리나라 교통부분이 지속가능한 교통, 다시 말해 환경친화적인 교통으로 거듭나게 되는 계기가 될 것이다.

3. 철도망구축에 관련된 계획현황 및 기본방향

가. 제4차 국토종합계획

국토종합계획은 국가 또는 지방자치단체가 실시할 사업의 입지와 시설규모에 관한 목표 및 지침이 될 수 있는 종합적이고 기본적인 장기계획이다. 제4차 국토종합계획(2000-2020년)은 과거 국토개발과정에서 누적되어온 국토의 불균형 개발, 환경훼손 등의 문제점을 해소하고 개발과 보전을 조화시킬 수 있는 국토관리방안을 마련하는

데 중점을 두고 있다. 환경에 관련된 주요 과제로서는 경제성장권의 과다한 집중현상으로 인한 교통과밀, 환경오염 등이 국가발전에 부담으로 작용하는 데 대한 대책을 마련하고, 환경오염심화로 인한 지구환경과 생태계 보전방안을 수립하는 등 환경오염의 예방을 통한 친환경적 국토관리가 제기되었다.

제4차 국토종합계획에 있어 교통분야의 주요 목표는 여객 및 화물교통수요와 수송수단별 특성을 균형있게 고려하여 교통시설간 수송분담율의 적정화를 도모하고 철도수송체계를 점차 강화한다는 것이다. 철도에 있어 본 계획의 주요 목표는 1) 고속전철 건설사업을 계획대로 추진하고 복선전철화 노선과 연계운영하며, 2) 철도노선의 개량 및 신설을 통해 철도의 수송분담율을 점차 제고하며, 3) 계획기간 전반기는 수요가 있는 기존선로의 직선화, 복(복)선화, 전철화로 수송능력을 향상시키고 후반기에는 철도망 신설을 강화한다는 것이다.

따라서 제4차 국토종합계획 중 철도관련 내용은 1960년대 이후 낙후된 철도인프라를 대폭 개선하는 데 주안점이 있다. 주요 지표로서 1) 영업연장을 3,118km(97년)에서 약 5,000km(2020년, 1.6배)로 증가, 2) 복선화율은 28.9%(97년)에서 80%(2020년, 2.8배)로 증가, 3) 전철화율은 21.2%(97년)에서 82%(2020년, 3.9배)로 확대 등이 제시되어 있다.

나. 국가기간교통망계획, 교통시설투자계획, 교통시설특별회계 등

교통체계효율화법은 교통정책에 있어서 종합적인 조정을 강화하여 도로, 철도, 공항, 항만 등 교통시설간의 효율적인 교통체계구축을 촉진하고 그 이용의 효율을 높이기 위하여 1999년에 제정된 법률이다. 이 법에 근거한 법정계획으로서 20년 단위의 '국가기간교통망계획'과 5년 단위의 '교통시설투자계획'이 수립되었다. 국가기간교통망계획은 대도시권광역교통관리에관한특별법에 의한 대도시권광역교통계획이나 기타 다른 법령에 의한 교통관련 계획에 우선하지만, 국토종합계획과 조화를 이루어야 되는 위치를 갖고 있다.

1999년에 발표된 국가기간교통망계획(2000-2019년)은 남북7개축, 동서9개축의 격

자형 고속도로망과 한반도를 종단하는 X자형 고속철도망을 골자로 하고 있다. 주요 내용으로는 1) 간선철도망구축, 2) 동북아 교통물류중심국가 건설을 위한 공항 확충, 3) 대형 중추항만 건설과 경쟁력 확보, 4) 남북 및 대륙연계 교통망 구축, 5) 첨단교통 기술개발, 6) 투자규모 및 재원확보에 관한 사항 등이다. 계획기간 중 사업비 규모는 총 334.6조 원이며, 정부재정에서 매년 13~16조 원을 부담하고 나머지는 민자유치를 통해 조달할 계획이다. 사업비의 집행계획은 도로 55.5%, 철도 28.1%, 항만 11.0%, 공항 4.2%, 물류시설 1.2% 등으로 구성되어 있다.

국가기간교통망계획 중 간선철도망 구축방안의 기본방향으로는 고속철도 신선과 연결하여 고속철도 차량을 운행할 수 있도록 선로개량 및 전철화하며, 2010년까지 기존선의 전철화, 복선화를 중심으로 개량하고 이어 2019년까지는 기존 간선철도 확충과 병행해 미연결 구간 신설 등 신규노선을 확충하는 것으로 계획하고 있다. 주요 사업으로는 주요 5대 간선(경부, 호남, 전라, 중앙, 장항선)과 경춘선, 경전선, 동해남부선 등의 간선철도 정비, 동해선 복선전철 건설, 남북철도망 연결, 산업철도 건설, 대도시권 광역전철망 정비 등이다.

교통시설투자계획은 국가기간교통망계획에서 정한 국가기간교통시설개발사업과 이와 연계되는 지방자치단체 소관 교통시설의 신설·확장 또는 정비사업 등을 효과적으로 추진하기 위해 수립되는 5년 단위의 중기투자계획이다. 교통시설투자계획의 주요 골자로는 교통시설특별회계법에 의한 교통시설특별회계의 각 계정간의 재원을 적정 배분하여 국가기간교통망계획을 집행하는 데에 있다. 건설교통부의 중기교통시설투자계획(2000-2004)에 따르면 총 99조원의 예산을 집행하되, 철도분야에서는 경부고속철 서울-대구구간 개통 등이 주요 사안이다.

교통시설특별회계법에 따라 교통세 세수의 85.8%가 교통시설특별회계에 전입되어 사용되며, 2004년도 기준으로 교통시설특별회계 전체 세입예산에서 교통세의 비율은 68%를 차지하고 있다. 교통시설특별회계는 최근까지도 도로(65.5%), 철도(18.2%), 항만(10%), 항공(4.3%), 광역(2%)의 교통계정으로 구성되었으며, 이들 중 도로 관련 배분비율이 과다하다는 지적이 많아 2004년 5월에 교통시설특별회계법 시행규칙 개정으로 전입금 중 도로가 차지하는 비율을 51~59%로 감소시키고, 그 대신에 철도·공

항·항만·광역(광역도로·광역철도)에 배분하는 비율이 탄력적으로 증가할 수 있게 되었다²⁾. 따라서 2003년까지 철도계정에서 도시철도를 포함한 배분비율은 18.2%였으나 2004년 개정으로 인해 철도계정과 도시철도계정을 합할 경우 철도배분비율은 20~30%로 증가하게 되었으며, 2004년도 철도계정 세수는 1조6744억 원에서 1조8400억~2조7600억 원으로 증가하는 효과가 발생하였다.

다. 21세기 국가철도망 구축 기본계획(2000~2020년)

1) 계획목표와 기본방향

21세기 국가철도망 구축 기본계획의 목표는 먼저 주요 간선 선로용량 부족과 교통 혼잡, 물류비 증가를 해결하기 위해 철도역할을 재정립하고, 장기적으로는 남북통일과 대륙철도망 연결을 대비한 철도망을 구축하는 것이다. 국가철도망의 중심이라 할 수 있는 간선철도망의 계획노선도는 <그림 2-1>에 제시하였다.

고속철도와 간선철도³⁾ 노선의 기본방향은 권역별 거점수송체계 구축으로 장거리 통행수요에 대처하고, 기계화 수립된 경부축과 호남축, 동서축은 장기적으로 모두 고속신선으로 단계적으로 구축하고, 기존 간선철도는 기본적으로 고속철도 신선과 연계하여 고속철도차량을 직접 운행할 수 있도록 선로개량 및 전철화하고, 동서간·남북간·주요도시간 미연결구간에 간선철도를 신설하고, 대량 고속수송수단의 연계수송망을 구축하는 것이다.

광역철도⁴⁾ 및 지선철도⁵⁾ 노선의 기본방향은 기존 방사형 광역철도망을 정비·확충하고, 위성도시간을 연결하는 환상형 철도망을 단계적으로 구축하고, 지선철도를

2) 건교부 보도자료. 2004. 교통세 배분비율 개정 - “철도, 항만에 대한 배분비율 확대”.

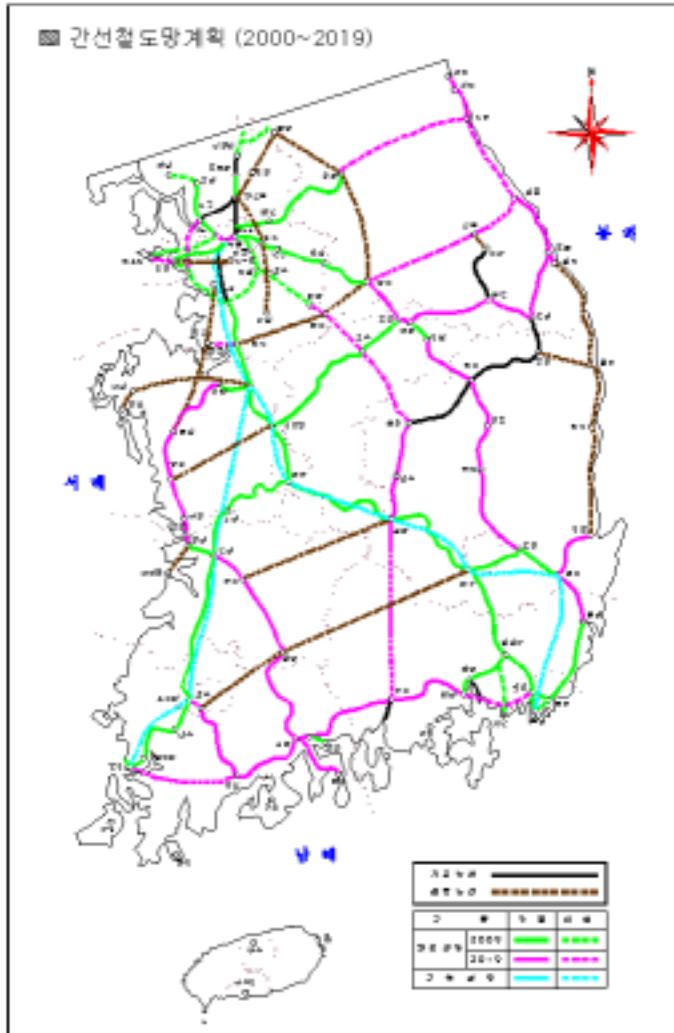
3) 간선철도: 도시 내 대량 교통수요를 처리하기 위한 철도의 유형으로, 수송상의 중요도가 가장 높은 철도를 뜻함(5대 간선철도 : 경부선, 호남선, 전라선, 중앙선, 장항선).

4) 광역철도: 일상적인 교통수요를 처리하기 위해 광역교통계획에서 지정 2개 이상의 시·도에 걸쳐 운행되는 도시철도 또는 철도로서 광역교통위원회의 심의를 거쳐 고시한 구간.

5) 지선철도: 수송상의 중요도가 가장 낮은 철도의 분류에 속함.

간선철도와 연계하여 인접 중소도시 연결체계를 구축하는 것이다.

또한 국외철도망의 기본방향으로는 남북통일에 대비하여 경의선, 경원선, 금강산선 등을 군사분계선까지 연장하고, TCR, TSR 등 아시아 대륙연결 철도망과 연계방안을 구상하도록 하였다.



<그림 2-1> 간선철도망 계획노선도(건설교통부, 중장기 철도망 확충 계획 2000-2019)

2) 철도망 확충방안

간선철도에 있어서는 철도망 확충과 수송능력 증대를 위하여 경부선, 전라선, 호남선, 중앙선, 동해남부선, 장항선, 경전선, 경춘선, 동해선, 남북철도망 등의 신선건설, 복선화, 전철화 방안을 단계적으로 계획하였다.

광역철도에 있어서는 수도권 및 대전·광주·부산권 등 대도시권 광역전철망 구축 사업을 단계적으로 추진 계획하였다.

산업철도망 확충을 위해 수출입화물의 철도수송을 위한 광영, 가덕, 서남권, 아산 등 항만에 인입철도 건설을 추진할 예정이다.

고속철도에 있어서는 서울-부산간 경부고속철도를 2010년까지 건설하여 경부선 수송능력을 2.8배 이상 증가시키고, 경부고속철도 완공 후 기존 경부선은 화물위주로 운영하여 화물수송능력을 증대시키도록 계획하였다. 또한 서해안축 개발에 대처하기 위해 서울-목포간 호남고속철도 건설을 장기적으로 검토·추진하도록 제기되었다.

상기 21세기 국가철도망 구축 기본계획에 따라 철도망이 계획대로 구축될 경우의 장래 철도지표 전망은 <표 2-6>에 제시하였다.

<표 2-6> 철도망 구축시 장래 철도지표 전망

구 분		1998년	2002년	2007년	2012년	2020년
연장(km)	추가	-	61.8	410.0	721.6	850.1
	누계	3,120.8	3,182.6	3,592.6	4,314.2	5,164.3
복선구간	추가	-	77.2	653.6	1,513.0	905.9
	누계	901.2	978.4	1,632.0	3,145.0	4,050.9
복선화율(%)		28.9	30.7	45.4	72.9	78.4
전철구간	추가	-	209.9	1,153.0	1,232.5	1,183.8
	누계	661.3	871.2	2,024.2	3,256.7	4,440.5
전철화율(%)		21.2	27.4	56.3	75.5	86.0
투자비 (억원)	추가	-	99,256	200,667	182,296	185,026
	누계	-	99,256	299,923	482,219	667,245

주: 투자비는 고속철도 제외 금액.

3) 단계별 사업계획

제1단계(2002년 이전)의 철도망 구축방향은 기존에 추진중인 사업의 완공으로 당면한 수송애로를 해소하고, 남북교류 활성화를 위한 남북철도 복원사업을 추진하는 것 등이었다. 원래 계획한 남북철도 복원사업은 경원선(신탄리-군사분계선), 경의선(문산-장단), 금강산선(금강산선) 등이었으나, 남북간 정치상황에 따라 2004년 현재 연결된 구간은 경의선과 동해북부선이다.

본 과제 수행시점인 2004년은 21세기 국가철도망 구축 기본계획의 제2단계(2003~2007년) 기간에 속한다. 제2단계의 철도망 구축방향은 주요 간선철도망 시설확충으로 국가기간철도망 골격을 형성하고, 고속철도 연계활용을 위한 기존철도 시설을 개량하고, 대도시권 교통수요 처리를 위한 광역철도망을 확충하는 것이다. 2단계 기간에 계획된 주요 추진사업은 <표 2-7>에 제시하였다.

제3단계(2008~2012년)의 철도망 구축방향은 교통수요 증가에 대비한 고속·대량 간선철도망을 구축하고, 남북·동서축의 기간철도망 확충으로 철도중심체계 기반을 구축하고, 대도시권 광역철도 및 물류수송을 위한 산열철도망을 지속적으로 확충하는 것이다. 또한 제4단계(2013~2020년)의 철도망 구축방향은 주요 지역간 수송체계를 확충하고 미연결구간을 연결하는 등 국가철도망 구축을 완성하는 것이다.

이들 계획기간에 고려한 주요 추진사업들 중 일부는 시기가 앞당겨진 것도 있으며, 일부는 뒤로 미루어지기도 하였다. 향후 철도의 수송분담율을 높이기 위해서는 시급성과 경제적 전망이 있는 사업들은 계획기간을 앞당기는 등 합리적 조정이 필요할 것이다.

<표 2-7> 제2단계(2003~2007년) 기간의 주요 추진사업

사업명	구간	연장(km)	사업비(억원)
<u>간선철도</u>			
진라선 개량	신리~동순천	122.6	10,881
장항선 복선전철화	천안~온양	16.5	4,264
장항선 개량	온양~군산	93.4	18,097
경부선 전철화	동대구~부산	117.4	4,687
경부선 전철화	조치원~동대구	197.3	3,598
경전선 복선전철화	마산~삼랑진	23.8	4,447
대구선 복선전철화	동대구~경주	70.2	12,982
중앙선 복선전철화	덕소~원주	76.8	16,869
중앙선 복선전철화	제천~도담	16.4	2,315
호남선 전철화	서대전~목포	250.6	6,516
영동선 전철화	동해~강릉	45.1	719
<u>광역철도</u>			
경원선 복선전철화	의정부~동두천	18.9	4,559
경의선 복선전철화	용산~문산	46.4	13,031
중앙선 복선전철화	청량리~덕소	17.8	4,961
부산 광역전철	부전~사상	7.2	1,450
대전 광역전철	대전~서대전	5.7	1,892
인천 국제공항철도	서울~영종도	61.5	32,400
<u>산업철도</u>			
가덕선 철도건설	삼랑진~가덕	38.5	5,466
서남권 산업선	일로~신외항	17.6	2,428

주: 조치원~동대구간 사업비는 경부고속철도 기존선 활용을 위한 사업에 포함되어 시행중인 대전~옥천간 21.2km, 신동~동대구간 18.0km는 제외된 금액임.

라. 수도권 광역교통계획(제2차 수도권광역교통5개년계획; 2004~2008년)

1) 계획의 배경과 성격

수도권의 급속한 성장과 신도시 개발에 따라 수도권 교통문제가 광역화되면서 효율적인 교통망 체계를 구축하기 위하여 1997년 대도시권광역교통관리에관한특별법이 제정되었다. 동법의 규정에 따라 제1차 수도권광역교통5개년계획 및 추진계획(1999~2003년)이 수립되고 2003년에 완료되었다. 또한 수도권 전체를 하나의 권역으로 하는 중장기적인 수도권 광역교통망계획(2001~2020년)에 따라 수도권교통정책의 방향이 제시되었다.

제2차 수도권광역교통5개년계획(아래, 2차 계획)에서는 제1차 계획의 추진실적, 수도권 광역교통망계획, 기타 교통관련계획 및 현안과제 등을 감안하여 개별사업의 투자우선순위를 분석하고, 이에 따라 계획기간의 대상사업을 선정하고 연차별 추진계획을 마련하였다.

2차 계획의 대상범위는 광역간선 교통망(간선철도망, 간선도로망), 광역교통시설(광역전철, 광역도로, 환승주차장, 공영차고지), 교통운영개선 등으로 구분된다.

2) 2차 계획의 계획목표와 기본방향

2차 계획의 계획목표는 수송분담구조의 개선, 교통시설의 확충, 대중교통운영개선 등 교통수요관리 등이다. 또한 기본방향으로는 교통수요 저감형 개발계획 지원, 순환방사형 광역교통망 구축, 다극분산형 공간체계에 적합한 교통체계 구축, 광역적 교통문제의 사전조정기능 강화 등이다.

계획의 목표에 있어 철도와 관련된 내용으로는 (1) 전철의 수송분담율을 2002년 23.6%에서 2020년 40%로 높이고, (2) 전철, 도시철도, 경전철 등의 수도권 전철망을 2020년 1,491km까지 확충하는 내용을 담고 있다.

3) 철도망 확충 관련 주요 추진사업

1차 계획기간 중 착공하여 계속 추진하는 사업으로는 총 11개 사업에 330.5km이며, 청량리~덕소간 중앙선 등 7개 광역전철, 덕소~도곡리간 중앙선 등 4개 일반철도이다.

2차 계획기간 중 착공예정인 사업으로는 6개 사업에 156.4km이며, 분당~강남간 신분당선 등 3개 광역전철, 소사-원시선 등 3개 일반철도이다.

2차 계획기간 내 기본계획사업으로는 인덕원~병점선 24.5km가 있으며, 기타 장기 구상사업으로 신공항~인천~남서울 구간 등 12개 사업에 286.5km가 있다.

2차 계획 시행에 따른 전망으로는 계획기간 중 수도권 전철망을 797.9km로 확장하고, 광역급행열차서비스를 통해 서울과 주변 도시간의 전철운행속도가 현재 30~35km/h 수준에서 50km/h 수준으로 제고될 것으로 기대하였다.

제3장 철도사업의 환경평가 현황 및 환경영향의 특성

1. 환경평가 관련 법체계

가. 환경평가 추진체계

우리나라의 환경평가 체계는 환경정책기본법에 근거한 사전환경성검토와 환경·교통·재해등에관한영향평가법에 근거한 환경영향평가로 크게 구분되며, 철도사업의 계획체계와 환경평가의 관계는 <그림 3-1>과 같다. 교통체계효율화법에 의한 국가기간 교통망계획, 교통시설투자계획과 같은 상위 계획에 대해서는 현재 환경분야가 직접 고려되고 있지 않으며, 앞으로 전략환경평가의 개념에 의한 접근이 필요한 부분이다.

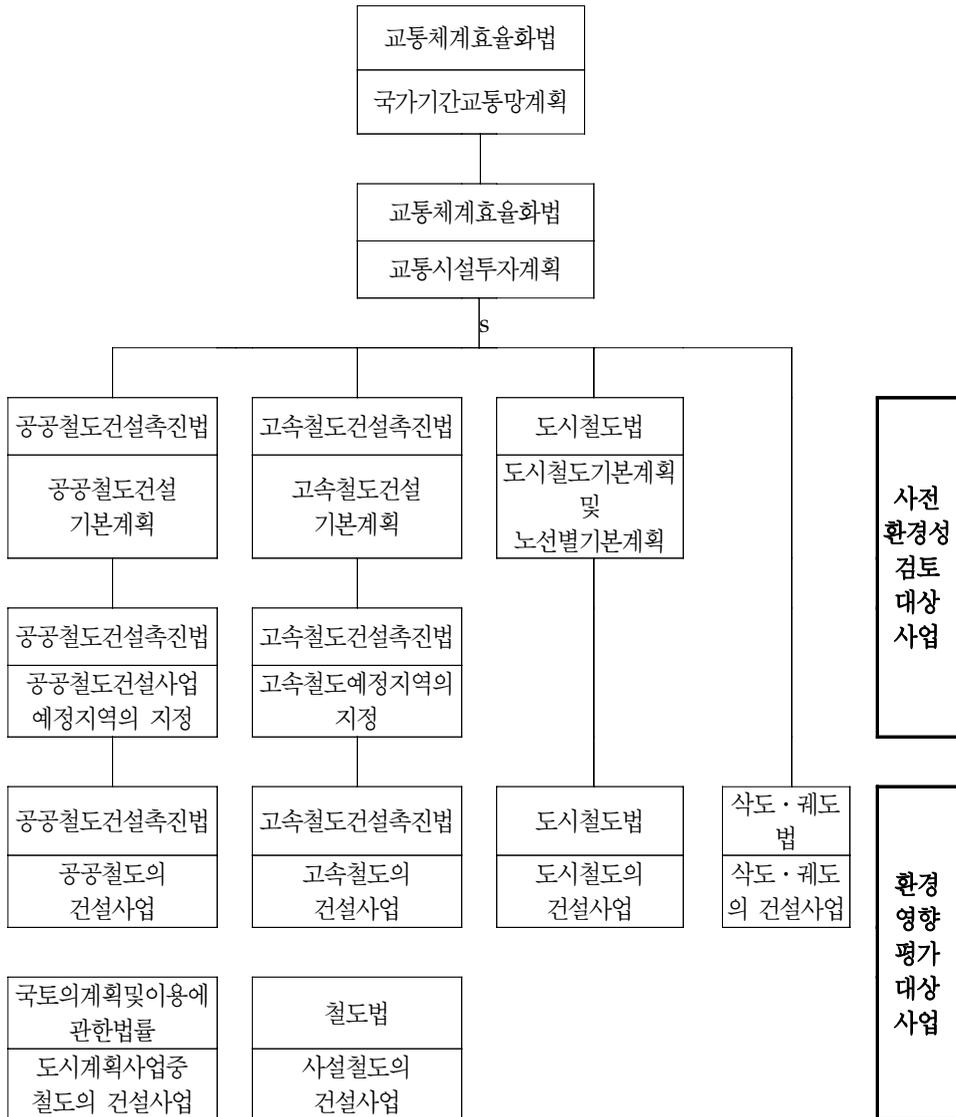
철도건설사업의 환경평가 체계를 이해하기 위해서는 먼저 철도에 대한 법적 분류와 개념을 이해할 필요가 있다. 철도는 레일이나 가선(架線) 위를 정해진 노선으로 운행하는 교통기관을 총칭하며, 여객과 화물 운송을 목적으로 한다. 좁은 뜻으로는 레일을 깔아놓은 선로를 말하기도 하는데, 공공철도, 고속철도, 도시철도, 삭도 및 궤도 등으로 구분되며 그 상세한 내용은 다음과 같다.

첫째, 공공철도란 철의 궤도를 부설하고 차량을 운전하여 여객과 화물을 운송하기 위하여 필요한 설비를 뜻하며, 단, 영업이 아닌 특수한 목적을 수행하기 위해 설비한 전용철도는 제외한다(철도법 제2조).

둘째, 고속철도란 열차가 주요구간을 시속 200킬로미터 이상으로 주행하는 철도로서 건설교통부장관이 그 노선을 지정·고시하는 철도를 말한다(고속철도건설촉진법 제2조).

셋째, 도시철도란 도시교통의 원활한 소통을 위하여 도시교통권역에서 건설·운영하는 철도·모노레일 등 궤도에 의한 교통시설 및 교통수단을 말한다(도시철도법 제3조).

넷째, 삭도란 공중에 설치한 빗줄에 운반기를 달아 여객 또는 화물을 운송하는 수단을 뜻하며, 궤도란 지상에 부설한 궤도에 의하여 여객 또는 화물을 운송하는 것을 말한다(삭도·궤도법 제3조).



<그림 3-1> 철도건설사업의 환경평가 체계

나. 사전환경성검토

사전환경성검토는 1993년 총리훈령에 의해 처음 제도화되고, 2000년 이후 환경정책기본법에 명문화되었다. 제도의 확장 발전을 통하여 현재 사전환경성검토는 46개 행정계획과 22개 개발사업에 대하여 시행되고 있으며, 철도와 관련해서는 공공철도건설촉진법에 의한 공공철도건설기본계획 및 공공철도건설사업예정지역의 지정, 고속철도건설촉진법에 의한 고속철도건설기본계획 및 고속철도예정지역의 지정, 도시철도법에 의한 도시철도기본계획 및 노선별 기본계획 등이 협의대상 행정계획이다.

철도건설사업은 대부분 타당성조사, 기본계획 수립, 예정지역의 지정, 실시계획 수립 등의 절차로 이루어지고 있다. 타당성조사는 건설기술관리법(시행령)상에 명시된 총 사업비 500억 이상의 공공건설사업에 대하여 시행되며, 이들 대규모 사업에 대해서는 사업 초기단계에서 입지, 재정, 교통, 환경문제 등에 대한 타당성조사를 실시하여 타당성이 인정되는 경우 당해 사업의 기본계획을 수립토록 하고 있다. 현재까지는 타당성 조사시 환경에 대한 배려가 미흡하였으나, 향후 대형국책사업, 공공사업 등의 사업 시행 결정에는 타당성조사단계에서 전략환경평가(행정계획에 대한 사전환경성검토를 포함)를 실시하는 방향으로 정책이 수립되고 있다. 대부분의 철도건설사업은 500억 이상의 대규모 개발사업이며, 따라서 향후 철도건설사업의 타당성 조사시 사전환경성검토 또는 그와 유사한 형태의 환경성검토 시행이 예상된다.

공공철도건설촉진법은 최근(2002년)에 개정되었으며, 이전에 사용하던 '공공철도의 건설·개발사업'대신 '공공철도건설사업'이라는 용어를 사용하여 차량기지의 건설과 역사의 신설·개량을 철도건설사업 범위에 포함시키고 사업추진을 원활하게 하였다. 공공철도건설기본계획의 주요 내용은 장래 철도교통수요 예측, 개략적인 노선 및 차량기지 등 배치계획, 공사내용·공사기간 및 사업시행자, 연차별 공사시행계획, 환경보전·관리에 관한 사항, 지진대책 등을 포함한다. 공공철도건설기본계획에서는 공공철도건설의 타당성에 관한 사항과 개략적인 노선의 지정, 다른 교통수단과의 연계수송 등에 관한 내용이 포함되어 있어 공공철도에 관한 환경적 측면을 사전에 고려하기 위해서는 기본계획단계에서 환경성을 검토하게 될 것이며, 현재까지는 환경성을

검토한 사안은 없었다.

고속철도건설기본계획은 고속철도건설지역의 특성, 교통상황 및 수요 예측, 고속철도 건설의 경제성·타당성, 개략적인 노선도, 다른 교통수단과의 연계수송체계의 구축, 지진피해경감대책 등에 관한 내용을 포함하여, 고속철도예정지역의 지정은 고속철도 건설을 위해 입지선정을 하는 것이다. 이들 고속철도건설촉진법에 의한 2개 행정계획에는 타당성분야, 노선 선정 등에 관한 내용이 포함되어 있어 환경적 측면을 사전에 고려하기 위해서 환경성을 검토하게 될 것이다.

도시철도법은 도시교통권역의 교통소통을 위하여 도시철도의 건설을 촉진하는 것을 목적으로 하며, 이 법에 의한 행정계획은 도시철도기본계획, 노선별 기본계획이 있다. 도시철도기본계획은 도시교통권역에서 도시철도를 건설할 필요가 있다고 인정할 때 10년 단위로 수립하는 중장기 계획이며, 해당 도시교통권역의 특성, 교통상황 및 수요 예측, 도시철도 건설의 경제성·타당성 평가, 개략적인 노선망, 건설지역의 도로교통대책, 다른 교통수단과의 연계수송체계구축 등이 포함된다. 도시철도 기본계획에는 타당성 분야와 개략적인 노선망 등에 관한 내용이 포함되어 있으며, 공공철도와 고속철도의 건설기본계획과 마찬가지로 환경성 검토가 요구된다.

도시철도의 노선별 기본계획은 도시철도기본계획에 반영되지 않은 도시철도를 건설하고자 할 때 수립하는 것으로 도시철도기본계획과 같은 수준에서 환경성을 검토하여야 한다.

이러한 사전환경성검토는 향후 전략환경평가로의 확대 시행 흐름과 맞물려 평가의 중복성을 해결하기 위한 문제를 안고 있다. 현재까지는 철도사업의 노선선정 등 사전환경성검토를 시행한 사례가 거의 없어 제도 시행의 문제점이 드러나지 않고 있으나, 타당성조사, 기본계획, 예정지역의 지정 등 행정계획은 연속적으로 이행되는 절차이기 때문에 매년 사전환경성검토와 같은 환경성 평가를 시행할 경우 사업의 효율성을 해치게 될 것이다. 따라서 타당성조사 또는 기본계획수립 단계에서 환경성을 평가한 경우 예정지역의 지정 등의 절차는 제외하거나 간소화하는 방안이 마련되어야 할 것이다.

<표 3-1> 환경정책기본법시행령에 의한 사전환경성검토 구비서류 적용대상 행정계획

구분	관계법령	행정계획
교통 시설의 건설	도시철도법	노선별 도시철도기본계획(제3조의2)
	고속철도건설촉진법	고속철도건설예정지역의 지정(제5조)
	공공철도건설촉진법	공공철도의 건설·개량사업 실시계획(제3조)주)

주: 공공철도건설촉진법과 동법 시행규칙(2003.2.27)에 따라 공공철도건설 실시계획에 대한 승인절차는 공공철도건설 기본계획 수립 및 공공철도건설 예정지역의 지정에 대한 승인절차로 개정되었음.

<표 3-2> 개별 법령에 근거하여 관계행정기관과 사전협의(사전환경성검토)대상인 행정계획

구분	관계법령	행정계획
철도의 건설	도시철도법	도시철도기본계획(제3조의2)
	고속철도건설촉진법	고속철도건설기본계획(제3조)

다. 환경영향평가

철도에 대한 환경평가는 대부분 실시계획의 승인에 앞서 환경영향평가 협의를 거치는 과정에서 진행되고 있으며, 그 절차는 평가서(초안, 본안)의 작성, 주민의견수렴, 환경부와 한국환경정책·평가연구원 및 전문가의 검토, 협의내용 통보와 이행, 협의내용 관리·감독 등으로 구성되어 있다.

환경영향평가대상사업은 길이 1km 이상(삭도·궤도의 경우 2km 이상)인 철도사업으로 규정되어 있으므로 대부분의 철도사업은 실시계획에 대한 환경영향평가를 거치고 있다. 평가서 제출시기 및 협의요청시기는 실시계획 인가 및 공사시행 전으로 규

정되어 있다 (<표 3-3> 참조).

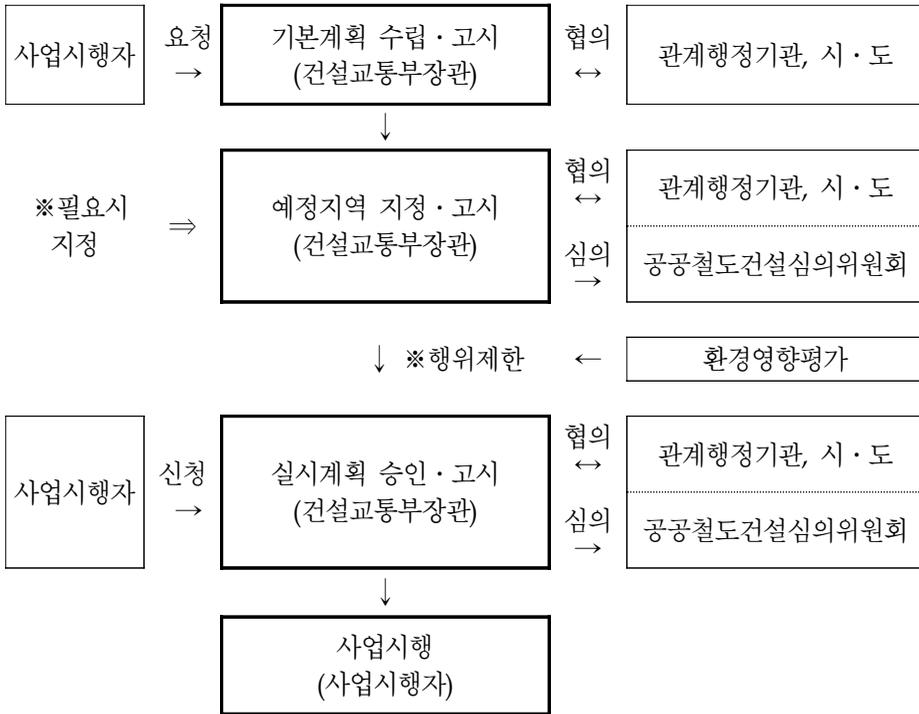
<표 3-3> 철도건설시 환경영향평가 대상사업의 범위, 평가서 제출·협의요청시기

구 분	사업 범위	평가서제출 또는 협의요청 시기
공공철도	철도법 제2조제1항·제2항 또는 국토의계획및이용에관한법률 제2조제6호의 규정에 의한 철도 건설사업중 길이 1km 이상인 것. 다만 철도법 제2조제2항의 규정에 의한 전용철도를 공장 내에 설치하는 경우에는 제외	국토의이용및계획에관한법률에 의한 도시계획사업으로 시행하는 경우에는 동법 제88조제2항의 규정에 의한 실시설계의 인가 전, 그 밖의 경우에는 공공철도건설촉진법 제3조의 규정에 의한 실시계획의 승인 전(사설철도의 경우에는 철도법 제6조의 규정에 의한 사업계획의 인가 전)
고속철도	고속철도건설촉진법 제2조제1호의 규정에 의한 고속철도 건설사업 중 길이 1km 이상인 것	고속철도건설촉진법 제7조의 규정에 의한 공사시행의 인가 전
도시철도	도시철도법 제3조제1호의 규정에 의한 도시철도 건설사업 중 길이 1km 이상인 것	도시철도법 제4조의3의 규정에 의한 사업계획의 승인 전
삭도·궤도	삭도·궤도법 제3조의 규정에 의한 삭도·궤도 건설사업중 길이 2km 이상인 것	삭도·궤도법 제7조의 규정에 의한 공사시행의 인가 전

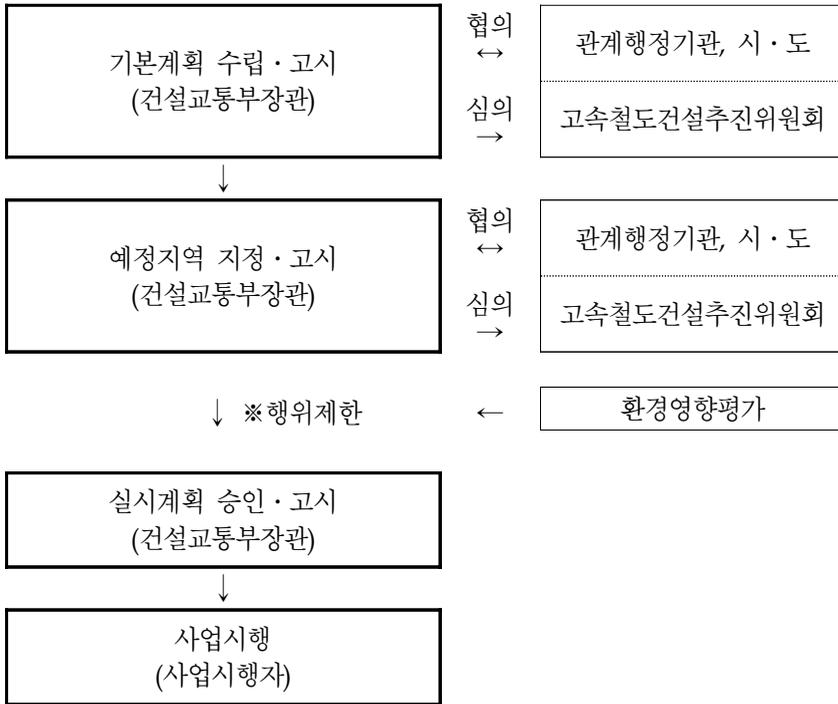
자료: 환경·교통·재해등에관한영향평가법 시행령. 별표1. 2004.

라. 환경평가 추진절차

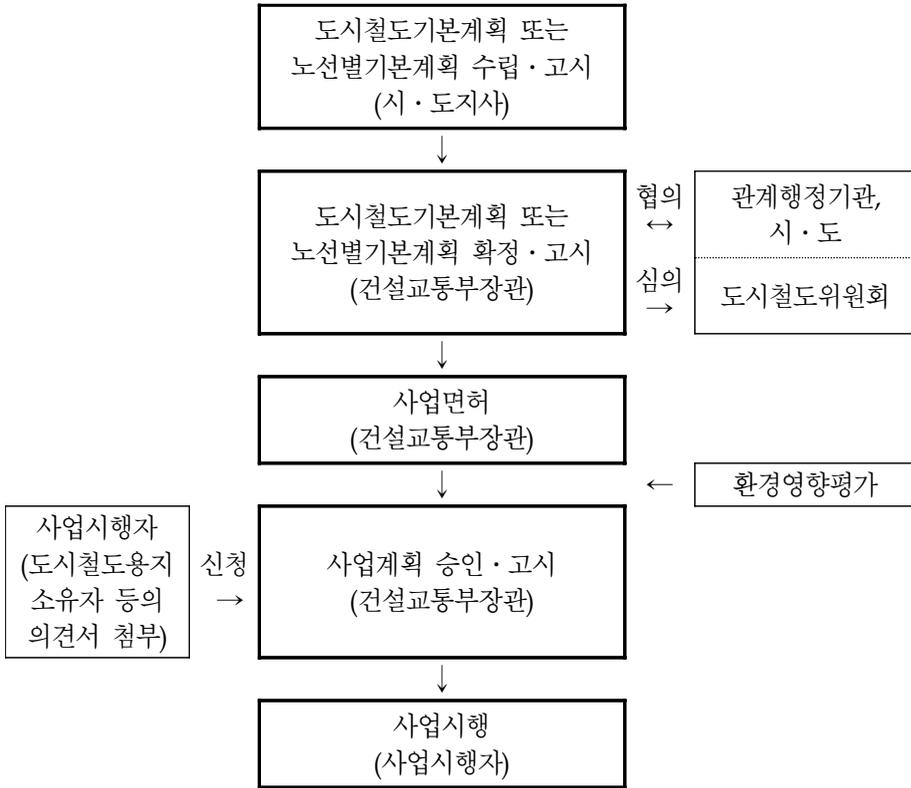
철도사업의 환경평가(사전환경성검토 및 환경영향평가) 추진절차는 <그림 3-2~5>와 같다. 공공철도, 고속철도, 도시철도 등은 관계행정기관과 협의시 환경부의 사전환경성검토를 받아야 한다.



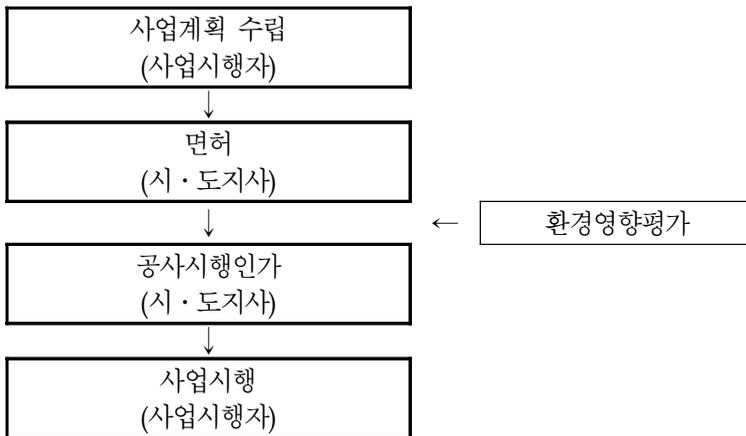
<그림 3-2> 공공철도건설사업 시행절차



<그림 3-3> 고속철도건설사업 시행절차



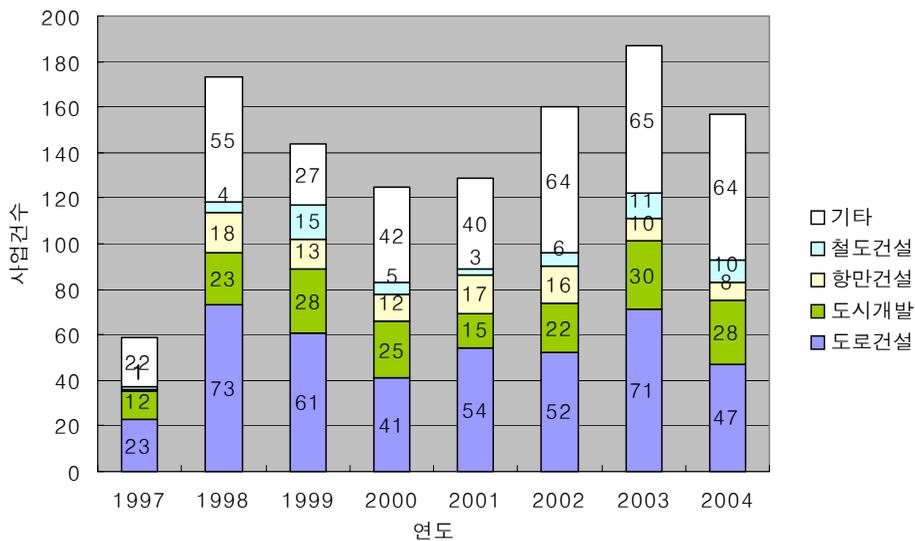
<그림 3-4> 도시철도건설사업 시행절차



<그림 3-5> 석도·궤도건설사업 시행절차

2. 환경영향평가 추진동향

환경영향평가는 해마다 120~180여건 정도의 사업을 대상으로 시행되어 왔으며(<그림 3-6>), 이들 중 단위사업으로는 도로건설사업이 가장 많은 수를 차지한다. 철도에 대한 환경영향평가는 한국환경정책평가연구원이 검토를 시행한 1997년 이후 2003년까지 총 45건으로서 검토 실적에 있어 도로, 도시개발 등에 비해서는 상대적으로 비중이 낮은 상황이다.



<그림 3-6> 연도별 환경영향평가 현황 (평가서 본안 접수일 기준)

주: 2004년도의 자료는 11월 현재까지의 접수현황임.

철도건설사업 환경영향평가의 연도별 현황은 <표 3-4>에 제시하였다. 철도건설사업 환경영향평가 건수는 1999년에 15건으로 최대였으며, 이후 2002년까지 감소하다가 2003년 이후 증가하는 경향을 나타내었다. 2004년(1-11월간 자료)에는 10건에 총연장 301.1km로서 뚜렷한 증가세에 있다. 최근의 철도건설사업 증가 경향은 철도부문

에 대한 정부의 투자확대 방침이나 지방자치단체의 경전철, 삭도 도입계획 등과 맞물려 한동안 지속될 것으로 판단된다.

2004년도 1-11월간 철도건설사업 환경영향평가서 10건의 목록으로는 죽전-수원간 복선전철 건설사업, 부산-김해간 경량전철 민간투자사업, 인천 도시철도 1호선 송도 연장사업, 부산 신항만 배후철도 건설사업, 수인선 오이도-인천간 복선전철 건설사업, 수인선 수원-한대간 복선전철사업, 경전선 진영-진주간 복선전철 건설사업, 서울지하철 7호선(온수-부평구청)연장 건설사업, 보성-임성리간 단선철도 건설사업, 부산신항 진입철도 건설사업 등이다. 이외에도 현재 환경영향평가가 수행되고 있어서 근간 환경영향평가서가 접수될 사업으로는 경전선 진주-광양간 노선개량, 동해선 포항-삼척간 단선철도 등의 대규모 간선철도 사업, 죽전-용인간 복선전철, 성남-이천-여주간 복선전철, 판교선 복선전철, 부산지하철 반송선 등의 광역철도 사업이 예상되고 있다.

<표 3-4> 연도별 철도건설사업 환경영향평가서(본안) 접수 현황

연도	사 업 수				총연장(km)
	공공철도	고속철도	도시철도	소계	
1997	1			1	6.30
1998	4			4	13.12
1999	13	2		15	307.60
2000	3	1	1	5	253.32
2001	1	1	1	3	3.75
2002	5		1	6	25.75
2003	8		3	11	124.58
2004	7		3	10	301.11

주: 2004년도의 자료는 1~11월간 접수현황임.

3. 철도건설사업 환경영향평가서 환경영향의 분석

가. 철도건설 및 운영시 일반적 환경영향

철도건설사업에 대하여 공사시 및 운영시 발생하는 일반적 환경영향을 다룬 문헌(오현제, 1993; BMZ, 1996; Carpenter, 1994)을 조사한 결과는 다음과 같이 항목별로 정리하였다.

지형·지질. 절토구간과 터널구간의 출입구 부분, 저지대의 성토, 교량건설 등 공사의 시행으로서 선형적인 변화에 의한 영향 발생. 토공작업실시로 비탈면 발생. 강우시 비탈면 토사의 유실 및 붕괴. 절토지역에서는 수침에 의한 산사태와 성토지역에서는 압밀침하. 터널공사시 지하수유출, 지반침하 등이 발생.

동·식물상. 공사시 절·성토에 따른 식생의 제거. 녹지의 감소에 따른 현존량 및 순생산량 감소. 야생동물의 서식지 차단. 소음·진동의 영향으로 인한 서식지 이동. 작업인부들에 의한 야생동물의 남획. 운영시 철도주변의 식생 관리 및 열차와 야생동물의 충돌 등의 영향.

토지이용. 절·성토구간에 의한 주민이동로의 단절, 농로의 차단, 지역간 단절. 역사 건설로 인한 역세권 형성. 폐철도부지에 대한 활용 및 관리계획.

대기질. 공사시 장비의 운행과 토사의 이동에 따라 대기오염물질의 배출에 따른 영향. 운영시 배기가스에 의한 영향 (디젤 엔진에서 배출되는 CO, HC, NO_x, SO₂, 매연속의 미세입자 등). 기타 관련요소로서 엔진의 하중 및 속도, 열차의 무게 및 속도, 연소 방법, 운행 방법, 유지 및 보수 관리, 연료의 질·역사의 시설난방에 의한 영향 등.

수질. 공사시 강우에 의한 토사유출. 교량 공사시 교각기초공사로 인하여 고행물질이 하천으로 유입하여 수계에 미치는 영향. 터널 공사시 지하수 발생으로 인한 영향. 폐수의 처리. 운영시 역사 이용인구에 의한 오수발생에 의한 영향.

소음·진동. 공사시 건설장비의 소음·진동에 의한 영향. 발파시 소음·진동에 의한 영향. 운영시 차륜과 레일사이에서 발생하는 전동소음(rolling noise)과 차체에서 발생하는 구동장치소음, 높은 운행속도로 인한 차체와 집전장치의 공력소음

(aerodynamic noise) 및 교량 등의 구조물과 지반을 통하여 전달되는 저주파 소음. 조차장 시스템의 자동화 등에 의한 소음.

나. 환경영향평가 관련 규정에 의한 주요 항목 및 평가방안

환경영향평가에서 다루는 평가항목은 기상에서 문화재까지 총 23개로 이루어져 있으며, 이들은 대상사업의 종별로 그 중요도가 다르게 취급된다. 환경부(1997, 2001c)에 따르면 철도건설사업의 환경영향평가에서 주로 다루어질 항목과 그 영향에 관한 내용은 지형·지질(절·성토, 사토 발생), 동·식물(주요 종·군락에 대한 영향), 대기질(공사시 비산먼지 발생), 수질(오폐수와 토사유출), 소음·진동(소음영향), 위락·경관(경관부조화), 교통(지역간의 차단) 등 7개 항목으로 조사되었다 (<표 3-5> 참조).

오현제(1993), BMZ(1996) 등에 의하면 철도사업의 공사시 및 운영시 주요 환경영향은 지형·지질, 동·식물, 토지이용, 대기질, 수질, 폐기물, 소음·진동 등 항목으로 정리될 수 있으며, 그 세부내용은 환경부(1997, 2001c)와 크게 다르지 않다.

<표 3-5> 철도건설사업 환경영향평가서작성규정에 따른 주요평가항목

구 분	대 상 사 업	주요평가항목	비 고
철도 (도시철도 포함)의 건설	1) 철도의 건설사업	지형·지질*, 동·식물,	* 지하 철도 해당 항목
	2) 고속철도의 건설사업	대기질*, 수질*	
	3) 도시철도의 건설사업	소음·진동*, 위락·경관,	
	4) 삭도·케도의 건설사업	교통	

자료: 환경부. 2001c. 「환경영향평가서작성등에관한규정」.

한편, 환경부(1997)의 ‘환경영향평가서 검토편람’에 의한 주요 검토사항과 항목별 세부 내용은 다음과 같다.

주요 검토사항. 절·성토에 따른 사토(토취)처리시 환경상 영향의 예측 및 저감대

책. 과다하게 절·성토되는 공사구간의 사면안정 및 사면녹화대책. 기반침하 방지대책. 특정야생동·식물, 천연기념물 등의 분포현황 및 보호대책. 사업구간이 녹지자연도 8등급 이상인 지역을 통과시 우회통과 또는 터널 또는 교량으로 통과하는 대책. 공사시 비산먼지 발생에 따른 영향예측 및 저감대책. 정거장, 차량기지 등 설치에 따른 오·폐수발생량 및 오·폐수처리계획. 하천변 및 과다한 절·성토 공사시 토사유출에 따른 영향예측 및 토사유출 방지대책. 정거장, 차량기지 등에서 발생하는 폐기물의 성상별 발생량 예측 및 수거 등 적정처리대책. 철도의 차중에 따른 소음예측식의 적정성 및 사업구간별로 일관성 유지 여부. 철로변의 주거지역 및 정온을 요하는 시설, 가축 등에 대한 소음·진동 영향예측 및 저감대책. 지역 간의 차단, 분리되는 지역에 대한 대책.

지형·지질. 학술적 가치 또는 보전 가치가 있다고 판단되는 지역의 지형·지질 정밀조사 및 조사지역의 보전 등 영향최소화 대책. 절·성토에 따른 사면 발생지역의 위치 및 주변경관을 고려한 법면처리대책. 공사구간별 절·성토량 예측시 발생하는 잔여토량 처리계획. 공사구간별 절·성토량 예측시 부족토량 공급계획. 사업구간 중 연약지반 분포지역과 지하수 과다유출지역의 정밀조사결과에 따른 방지대책.

동·식물상. 계획노선구간에 대한 생태전문가가 참여한 현존식생도, 녹지자연도 제시 및 임상이 양호한 지역의 보존대책 및 조경계획. 계획노선지역에 특정 야생동·식물, 천연기념물 등의 서식·분포현황 및 공사로 인하여 환경에 미치는 영향에 따른 보호대책. 공사시 불가피하게 훼손되는 지역의 임상이 양호한 수목 중 이식가치가 있는 수목은 정거장 및 주변지역 등에 이식. 하천을 횡단하는 교량설치지역 등의 공사시 수계생태계에 미치는 영향예측 및 적정 보호대책. 각 정거장 및 차량기지 건설지역의 차폐녹지대 조성계획.

대기질. 공사시의 대기오염물질 발생에 따른 영향예측 및 저감대책. 이용시의 대기오염물질발생량예측 및 그 저감대책.

수질. 하천횡단 교량건설 및 절·성토 공사시 토사유출이 하천, 농경지 등에 미치는 영향예측과 현지에 적용가능한 토사유출 방지대책. 터널굴착 및 과다한 절토시 지

하수매의 차단, 지하수 용출 등의 우려가 있으므로 지하수 변동에 따른 영향 및 그 대책 수립. 공사시 현장설치 골재제조설비, 현장 상주인력이 배출하는 오·폐수의 적정처리여부. 운영시 정거장, 차량기지 등에서 발생하는 오·폐수발생량예측 및 오·폐수처리계획.

폐기물. 공사시 사업장 일반 및 지정폐기물 발생량 예측과 처리대책. 정거장, 차량기지 등에서 발생하는 폐기물의 성상별 발생량예측 및 수거 등 처리대책.

소음·진동. 일반철도, 고속철도, 도시철도 등 주행철도의 특성에 따른 소음예측식의 적정성과 구간별 소음예측식의 일관성. 소음·진동 영향이 예상되는 철로변 주거지역 및 정온시설, 가축 등 분포현황. 터널굴착 및 과도한 절토 등 공사시 폭약사용, 기타장비 등에서 발생하는 소음·진동이 이격거리별로 주변 주거지역 및 정온을 요하는 시설, 가축 등에 미치는 영향의 예측 평가 및 적정대책. 환경기준 초과지역에 대한 방음·방진대책 및 그 저감효과 등의 적정성.

경관. 노선통과지역이 기존의 임상양호지역 또는 보호할 가치가 있는 지역을 통과하는지 여부. 노선주변지역과 경관이 조화될 수 있는 방안으로 교량설치, 방음시설설치, 사면처리 대책 수립.

주거·교통. 공사로 인하여 인근 주거지역 및 도로, 수로 등이 차단·분리되는 지역을 조사·예측하였는지의 여부와 통로BOX 등의 시설설치계획이 적정성. 각 정거장 주변에는 승객의 이용이 편리하도록 일정규모의 역세권 주차장을 확보하는 방안 등 계획.

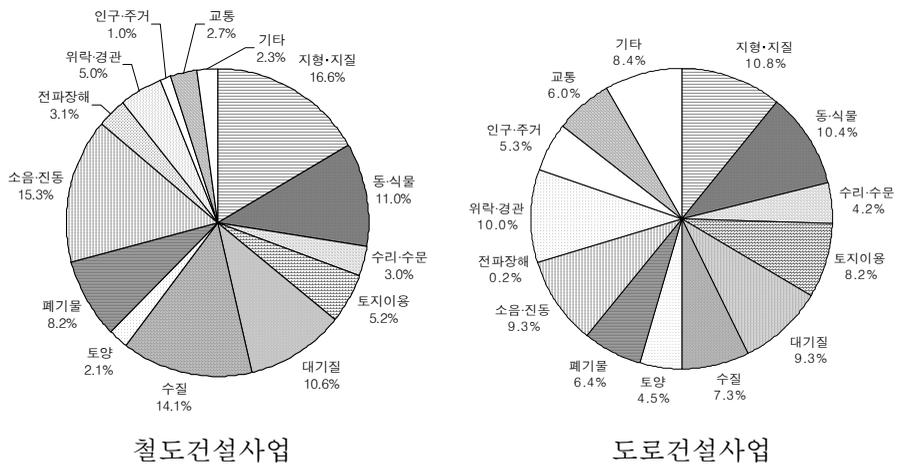
문화재. 문화재전문가나 관계학술기관이 참여한 계획노선구간의 문화재 및 유물·유적에 대한 조사실시여부와 그 결과에 대한 적정대책 수립.

다. KEI 환경영향평가부의 검토의견 분석

한국환경정책·평가연구원(KEI)은 환경영향평가법에 의한 검토기관이다. 철도와 도로 건설사업간 항목별 환경영향을 간접적으로 비교할 수 있는 방법으로서 KEI에서 환경부에 회신하는 환경영향영향평가서(초안, 본안, 보완)의 검토의견을 분석하였다.

철도건설에 대해서는 1997~2003년까지 45건의 철도건설사업에 대한 총 2,776개 검토의견을 통합한 자료이며, 도로건설에 대해서는 건설교통부(2002)의 “환경친화적인 도로설계기법 연구(1단계)” 보고서에 수록된 자료를 참고하였다.

도로건설사업의 경우 환경부에서 제시하는 주요 평가항목에는 철도에서 다루는 주요 평가항목에다가 수리·수문이 추가되었을 뿐이며, 도로와 철도의 평가서 검토시 동일한 검토요령을 따르도록 되어 있다. 그러나 실제 도로·철도의 검토의견 발생비율(<그림 3-7>)에 제시한 바와 같이 도로와 철도 건설사업은 환경영향평가지 다루어지는 항목과 내용에서 차이가 존재한다. 도로건설사업의 경우 많은 수(발생비율 5% 이상이 10개)의 항목에서 비교적 고른 빈도로 검토의견이 발생하는 것과 달리, 철도건설사업의 경우 비교적 적은 수(발생비율 5% 이상이 8개)의 항목에서 검토의견이 발생하므로 항목간 차이가 심하다. 특히 철도건설사업에서 중요하게 취급된 항목은 지형·지질, 동·식물상, 대기질, 수질, 폐기물, 소음·진동 등으로 나타났으며, 이는 도로건설사업에 비해 특정 분야에 환경영향이 집중되는 것으로 전문가들에게 인식 및 평가되고 있다는 것을 의미한다.



<그림 3-7> 철도·도로사업의 항목별 검토의견 발생비율

철도건설사업의 자세한 항목별 검토의견 발생빈도는 <표3-6>에 수록하였다. 또한 항목별로 발생빈도가 높은 검토의견의 내용(제목)도 정리하여 소개한다. 항목별로 발생빈도가 낮은 검토의견은 제외하였다.

<표 3-6> 항목별 검토의견 발생빈도

구 분	총계	초안	본안	본안1	본안2	본안3	
	발생빈도 (%)	발생빈도 (%)	발생빈도 (%)	발생빈도 (%)	발생빈도 (%)	발생빈도 (%)	
자연 환경	기상	10 (0.36)	10 (0.54)				
	지형 지질	461 (16.61)	319 (17.18)	84 (13.21)	40 (20.00)	15 (21.74)	3 (21.43)
	동식 물상	304 (10.95)	166 (8.94)	94 (14.78)	32 (16.00)	10 (14.50)	2 (14.29)
	해양 환경	5 (0.18)	4 (0.22)	1 (0.16)			
	수리 수문	83 (2.99)	56 (3.02)	18 (2.83)	6 (3.00)	2 (2.90)	1 (7.14)
	토지 이용	143 (5.15)	115 (6.19)	22 (3.46)	4 (2.00)	2 (2.90)	
생활 환경	대기질	295 (10.63)	213 (11.46)	51 (8.02)	22 (11.00)	9 (13.04)	
	수질	390 (14.05)	254 (13.68)	110 (17.30)	20 (10.00)	4 (5.80)	2 (14.29)
	토양	59 (2.13)	46 (2.48)	6 (0.94)	5 (2.50)	1 (1.45)	1 (7.14)
	악취	18 (0.65)	17 (0.92)	1 (0.16)			
	일조 장애	9 (0.32)	4 (0.22)	5 (0.79)			
	폐기물	228 (8.21)	155 (8.35)	53 (8.33)	12 (6.00)	5 (7.24)	3 (21.43)
	소음 진동	424 (15.27)	239 (12.87)	131 (20.60)	41 (20.50)	12 (17.39)	1 (7.14)
	전파 장애	85 (3.07)	53 (2.85)	17 (2.67)	8 (4.00)	6 (8.69)	1 (7.14)
	위락 경관	137 (4.931)	96 (5.17)	32 (5.03)	6 (3.00)	3 (4.35)	
	인구 주거	27 (0.97)	24 (1.28)	2 (0.31)	1 (0.50)		
사회 경제 환경	교통	76 (2.74)	70 (3.77)	6 (0.94)			
	문화재	22 (0.79)	16 (0.86)	3 (0.47)	3 (1.50)		
계	2776 (100)	1857 (100)	636 (100)	200 (100)	69 (100)	14 (100)	

지형·지질. 보존가치 및 특이 지형·지질 현황. 지질조사 및 지반안정성조사. 사면안정검토 결과 및 사면안정대책. 토취장 확보계획. 사토처리계획. 비옥토 발생량 및 활용방안.

동·식물상. 현황조사. 법적 보호동물 및 특정 야생동물 현황 및 보호대책. 동물이 동통로 설치계획. 토사유출 등에 의한 육수생태계 영향 및 저감방안. 훼손수목 현황 및 이식계획. 사후환경영향조사계획.

수리·수문. 교량설치계획. 홍수시 교량의 안전성. 수로 및 소하천 보전대책. 공사시 지하수 이용에 미치는 영향 저감 대책.

토지이용. 노선통과지역의 토지이용계획. 지역단절에 대한 저감대책. 폐노선활용 계획

대기질. 대기질 현황 측정. 토취장 개발에 따른 비산먼지 영향예측 및 저감방안. 건설장비에 의한 비산먼지 영향예측 및 저감방안. 디젤유압항타기 사용시 디젤의 영향예측 및 저감방안. 이용시 영향예측 및 저감방안.

수질. 수질현황측정. 공사시 토사유출 저감대책. 터널공사시 발생 폐수의 처리방안. 공사시 발생 오·폐수처리계획. 공사시 가배수로 및 침사지 설치계획. 터널굴착에 따른 지하수 유출 영향. 이용시 정거장에서의 발생 오·폐수처리계획.

토양. 지장물 분포 현황 조사.

폐기물. 생활폐기물 발생량 예측 및 처리계획. 건설폐기물 발생량 예측 및 처리계획. 임목폐기물 발생량 예측 및 처리계획. 건설장비에 의한 폐유 등 발생량 예측 및 처리대책. 이용시 폐기물 처리계획.

소음·진동. 공사시 영향예측 및 저감방안. 발파시 영향예측 및 저감방안. 운영시 영향예측 및 저감방안. 가설방음판넬 설치계획 및 설치후 소음도.

전파장해. 전파장해 현황 조사.

위락·경관. 경관변화예측. 대규모 절·성토 방지 대책. 터널갱문형식. 비탈면 복원계획. 방음벽 경관미화.

인구·주거. 상주 및 이용인구 예측. 주민의견을 적극 수렴하여 지역단절 대책 수립.

교통. 공사시 교통처리대책.

문화재. 문화재 현황 조사.

라. 평가서 검토의 전망

기존의 철도건설사업 환경영향평가 검토시 대기질, 수질, 폐기물 등 공사시 영향을 주로 다루는 항목들에서도 검토의견의 발생비율(총 32.9%)이 높았던 것과는 달리, 최근의 철도건설사업 환경영향평가의 주안점은 건설시보다 운영시 및 해체시 환경영향 관리에 관한 것으로 옮겨지고 있다. 중앙환경분쟁조정위원회가 설립된 이후 2004년 5월까지 처리한 환경분쟁 1,122건 중에서 소음·진동분야가 약 90%로서 대다수를 차지하며, 나머지는 대기, 수질오염, 해양오염 등에 관계된 것이다. 이들 중에 철도사업에 관계된 것은 약 1%의 소음·진동 관련 건으로서 낮은 비율을 차지하는 것으로 볼 수 있으나, 최근 고속철도 운영과 관련한 소음·진동 및 전파장해 민원, 공동주택 주변에서의 소음관련 민원 등 환경분쟁은 계속 증가할 것으로 예상된다. 또한, 최근 철도건설사업은 신규노선이 아닌 선형개량이 많은 부분을 차지하고 있으므로, 폐노선에서 오염토양의 처리문제가 대두되고 있다.

따라서 향후 철도노선의 건설에 대한 환경영향평가에 있어 노선선정에 관계된 항목들과 운영시부터 해체시까지 지속적 관리가 필요한 항목의 중요도는 높아질 것으로 예상된다. 그러나 환경부(2001) 별표규정의 대상사업별 주요평가항목 중에서 철도 건설에 대한 주요평가항목으로는 지형·지질, 동·식물, 대기질, 수질, 소음·진동, 위락·경관, 교통 등 7개 항목이며, 이는 기본적으로 도로건설의 환경영향평가서 검토와 동일하다. 따라서 환경부의 철도건설시 주요 평가항목에 대해서는 지하수, 토양, 전파장해 등을 추가시키고, 일부 항목은 삭제하는 방안을 고려하여야 할 것이다.

4. 철도와 도로사업의 건설 및 운영시 환경영향 비교

가. 연구범위와 방법

철도와 도로의 환경영향 차이를 직접 분석하기 위하여 철도, 고속도로, 국도 등의 건설사업에 대한 환경영향평가서(본안)를 조사하였다. 조사대상 개별사업의 선정시 철도와 도로사업간 노반폭원에 따른 환경영향 차이를 최소화할 수 있도록 복선철도 및 4차로 규모의 고속도로·국도사업을 연구대상으로 정하였다. 다만, 철도사업 중에서 도로사업과 비교하기 곤란한 차량기지·전동차사무소 등 면적사업과 훼손지역이 거의 없는 지하철 사업은 제외하였다. 본 연구의 지표로서는 각 사업별 환경영향평가서에 수록된 구조물 설치계획(터널과 교량의 수, 길이 등), 생태계에 대한 영향예측(절·성토량, 식생훼손면적, 자연림훼손면적, 수목훼손량 등), 소음저감시설계획(가설 방음판넬 및 방음벽 등의 방음시설 규모) 등을 정하였다.

상기 조건을 모두 만족하는 사업으로서 철도의 경우 1997~2003년간 45개 사업들 중 21개 사업, 고속도로의 경우 2000~2003년간 16개 사업들 중 10개 사업, 국도의 경우 2000~2003년간 38개 사업들 중 17개 사업을 선정하였다. 조사된 자료를 이용하여 사업별 지표조사 자료의 평균 및 분산 등을 분석하였다. 또한 철도, 고속도로 및 국도 사업간 지표조사 자료의 분포양상을 파악하기 위하여 분산분석(ANOVA)에 따라 95% 신뢰도 구간의 유의성을 확인하였으며 각 지표별로 Box Plot 그림을 작성하였다. Box Plot 그림에서 줄로 표시한 영역은 10~90% 백분율 구간으로서 10%미만과 90% 이상에 놓인 사업은 제외해 표시하였으며, Box 표시영역은 25~75% 백분율 구간으로서 Box를 가로지르는 선은 중간값(50% 지점)을 나타낸다.

나. 구조물 설치계획과 환경영향예측에 대한 지표조사 결과

철도의 터널 1개소당 평균길이는 도로에 비해 약 1.2배로서 약간 긴 것으로 조사되었다(〈표 3-7〉 참조). 철도가 도로에 비해 터널의 평균길이가 길 것으로 예상되었으나, 최근 고속도로 및 국도의 도로설계에서는 지형변화 저감과 직선화에 따른 고속운행, 안전성 등을 고려하여 장대터널을 많이 채택하고 있어서 철도와 큰 차이를 보이

지는 않았다. 다만, 교량 1개소당 평균길이는 철도가 고속도로, 국도에 비해 평균 1.6배, 2.0배 가량 긴 것으로 나타났다(<표 3-7> 참조). 철도 교량의 평균길이가 도로에 비해 큰 차이가 있는 것은 철도는 도로처럼 종곡선을 용이하게 변화시킬 수 없을 뿐 아니라, 하천을 따라 홍수시 수위를 고려한 제방과 각종 도로가 건설되어 있어 철도 노선이 이를 횡단할 경우 교량이 길어질 수밖에 없는 등 설계상의 특징으로 풀이된다.

일반적으로 철도는 도로에 비해 터널, 교량 등 구조물이 많이 적용되는 것으로 인식되어 있으며, 이러한 요인을 분석하기 위해 각 사업별 노선 1km당 터널연장과 교량연장을 조사하였다(<표 3-7>, <그림 3-8>). 노선 1km당 터널연장의 경우 철도는 고속도로와 큰 차이가 없었으나 국도에 비해 평균 2.5배 가량 긴 것으로 나타나 이러한 양상이 일부 확인되었다. 노선 1km당 교량연장에 있어서는 철도가 고속도로, 국도에 비해 평균 1.1배, 1.4배로서 긴 편이기는 하나 유의성은 없었다. 노선 1km당 터널·교량연장에 있어서는 터널만 비교한 경우와 유사한 양상이었다.

절·성토와 같이 지형에 미치는 영향(노선 1km당 절·성토량)에 있어서 철도는 고속도로 및 국도에 비해 적은 영향을 미치는 것으로 계산되었으며, 식생훼손, 자연림훼손, 수목훼손량 등에서 있어서도 철도가 도로에 비해 매우 우수한 것으로 나타났다(<표 3-7>, <그림 3-9> 참조). 특히 지형·지질 및 식생에 관한 영향에 있어 철도는 고속도로에 비해 평균 0.13~0.30배 정도로 매우 우수한 것으로 파악되었다. 철도는 교량 등 구조물의 길이, 차량(열차)간의 간격과 운행횟수, 주/야간 운행의 빈도차이 등에 있어 도로에 비해 운영시 상대적으로 생태계 단편화에 미치는 영향이 적을 것으로 판단된다.

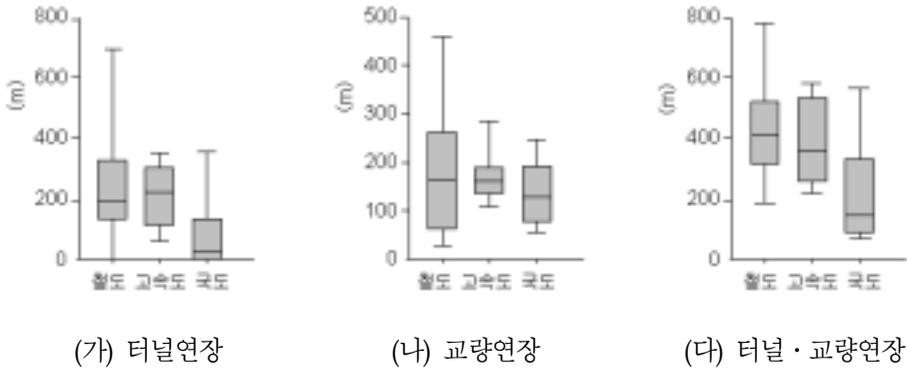
생활환경측면에서 철도와 도로사업의 주요 환경영향으로는 대기질 오염, 소음·진동, 지하수 변화, 토양오염 등을 들 수 있다. 이번 연구에서는 소음·진동에 대한 저감 방안으로서 일반적으로 적용되는 가설방음판넬과 방음벽의 길이, 면적 등을 조사하였다(<표 3-7>, <그림 3-10>). 공사시 설치하는 가설방음판넬에 있어서는 철도가 도로에 비해 많이 설치하는 것으로 나타났으며, 방음벽에 있어서는 통계상 유의성이 없었으나 일부 주거지를 통과하는 구간에서는 방음벽을 많이 설치하였다. 철도교통이 가지는 환경친화성은 소음측면에서는 상당히 취약하며, 일반 도로교통과 같이 일정한

소음도 분포를 가지는 것이 아니라 열차의 통과시 최대소음도가 매우 큰 특성이 있다.

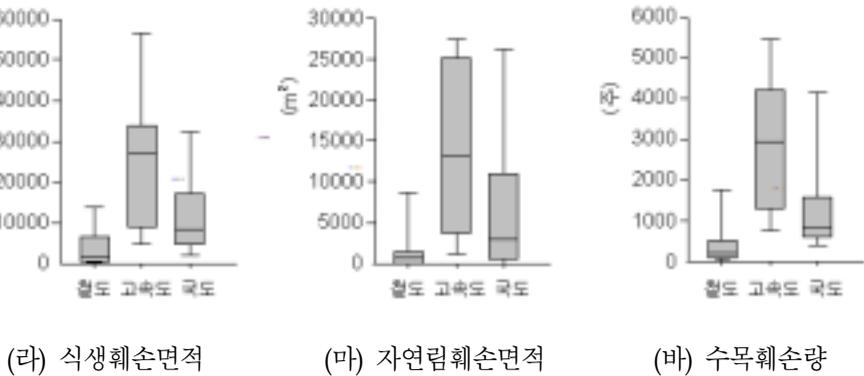
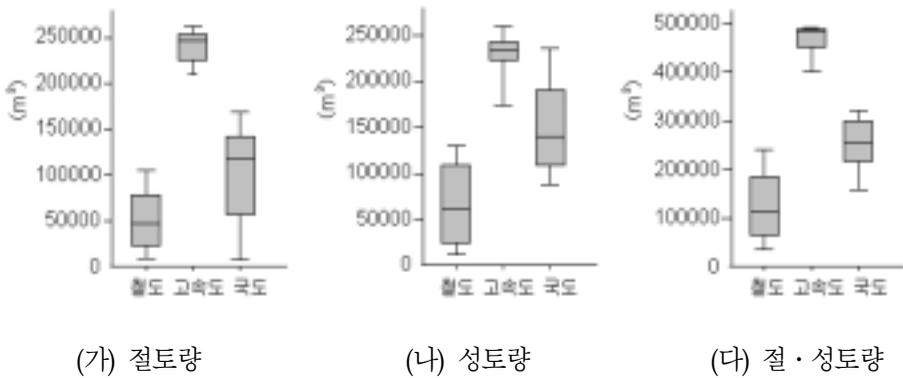
<표 3-7> 철도와 도로 건설사업계획에 따른 구조물 현황과 환경영향예측

구 분	철도 (n=21)	고속도로 (n=10)	국도 (n=17)	P값
터널, 교량 등 구조물 설치계획				
터널별 평균길이(m)	995	825	815	-
노선 1km당 터널수	0.30±0.22*	0.25±0.11	0.12±0.14	p<0.05
노선 1km당 터널연장(m)	251±228	212±99	100±142	p<0.05
교량별 평균길이(m)	228	146	115	-
노선 1km당 교량수	0.90±0.56	1.14±0.24	1.17±0.35	p=0.14
노선 1km당 교량연장(m)	183±152	170±53	135±65	p=0.42
노선 1km당 터널·교량연장(m)	434±200	383±133	235±192	p<0.05
생태계에 대한 영향예측				
노선 1km당 절토량(m³)	56,131±32,923	239,817±17,172	100,746±55,593	p<0.01
노선 1km당 성토량(m³)	68,095±55,740	228,536±24,181	150,578±57,742	p<0.01
노선 1km당 절·성토량(m³)	124,226±72,667	468,353±30,418	251,324±53,297	p<0.01
노선 1km당 식생훼손면적(m²)	3,668±4,258	25,377±16,082	12,314±10,785	p<0.01
노선 1km당 자연림훼손면적(m²)	1,841±3,162	13,987±10,513	7,617±11,744	p<0.05
노선 1km당 수목훼손량(주)	420±571	2,935±1,552	1,458±1,923	p<0.01
소음저감시설 설치계획				
노선 1km당 가설방음판넬연장(m)	245±174	113±52	162±101	p<0.05
노선 1km당 가설방음판넬면적(m²)	998±802	312±148	560±430	p<0.05
노선 1km당 방음벽연장(m)	246±220	181±107	135±98	p=0.13
노선 1km당 방음벽면적(m²)	825±986	499±297	352±309	p=0.11

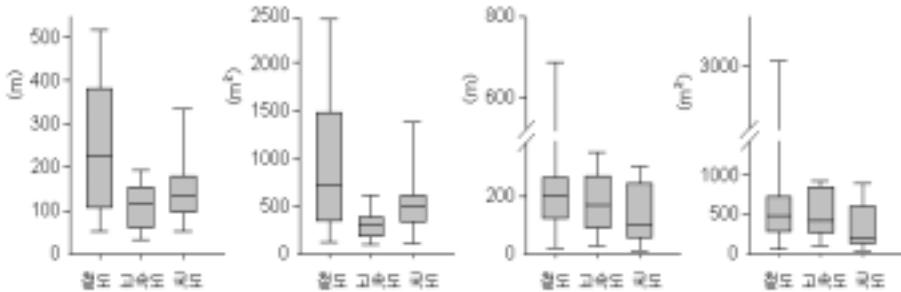
*평균±표준편차.



<그림 3-8> 노선 1km당 구조물 설치계획



<그림 3-9> 노선 1km당 생태계에 대한 영향예측



(가) 가설방음판넬연장 (나) 가설방음판넬면적 (다) 방음벽연장 (라) 방음벽면적

<그림 3-10> 노선 1km당 소음저감시설 설치계획

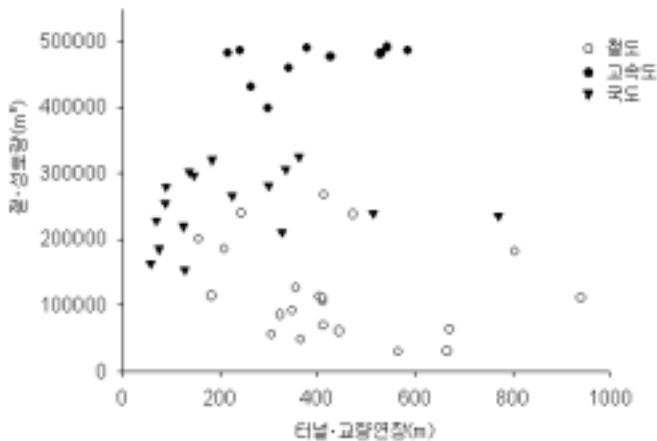
다. 구조물 설치계획과 환경영향예측에 대한 지표간 비교분석

터널·교량연장, 터널연장, 절·성토량, 식생훼손면적, 방음벽연장 등 5개에 대한 2차원 분석을 통하여 총 48개 사업의 분포양상을 분석하였다(<그림 3-11~14>). 터널·교량연장과 절·성토량간 비교(<그림 3-11>)는 터널과 교량 구조물을 많이 설치할 경우 절·성토량이 감소할 것이라는 가정 하에 수행되었다. 터널연장과 식생훼손면적간 비교(<그림 3-12>)는 터널을 많이 설치할 경우 식생훼손면적이 감소할 것이라는 가정 하에 수행되었다. 절·성토량과 식생훼손면적간 비교(<그림 3-13>)는 두 지표가 서로 비례할 것이라는 가정 하에 수행되었다. 또한 터널연장과 방음벽연장간 비교(<그림 3-14>)는 터널과 방음벽 길이는 서로 반비례할 것이라는 가정 하에 수행되었다.

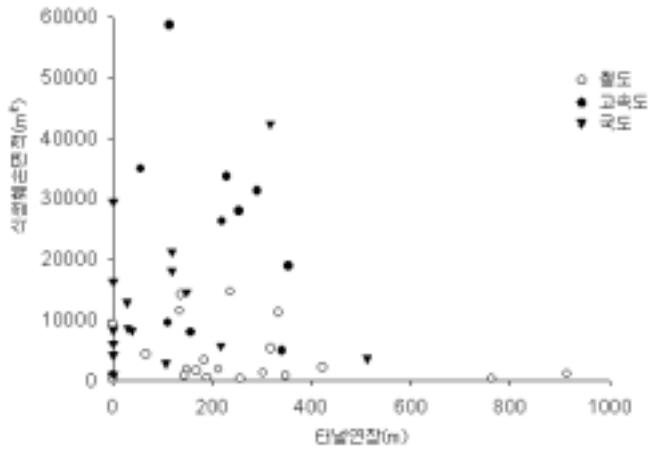
분석을 수행한 결과, 상기 가정과는 달리 이들 지표 사이의 상관관계는 뚜렷하게 드러나지 않았다(<그림 3-11~14> 참조). 터널·교량연장, 터널연장, 식생훼손면적, 방음벽연장 등에 있어서는 사업별 특성에 따라 변화가 많은 것으로 파악되었으며, 절·성토량이 철도, 고속도로, 국도사업의 특성을 비교적 잘 구분할 수 있는 것으로 판단된다.

철도사업의 경우 터널·교량 등 구조물의 길이와는 상관없이 대체로 절·성토량과 식생훼손면적이 적은 것으로 나타났으나, 고속도로사업의 경우 터널·교량을 많이 설치하더라도 절·성토량이 많고 식생훼손면적에서도 변화가 심한 것으로 나타났다(<그림 3-11, 13> 참조). 국도의 경우 터널·교량 등 구조물은 많이 설치하지 않았으나 고속도로에 비해 절·성토량이 낮은 것으로 나타났으며, 이는 국도사업의 비교적 적은 사업비와 낮은 설계속도로 인해 상대적으로 높은 지형적응성 등으로 풀이된다. 철도와 함께 국가기간교통망을 이루는 이들 고속도로, 국도사업의 환경성을 제고하기 위해서는 이러한 양상을 개선하여야 할 것이다.

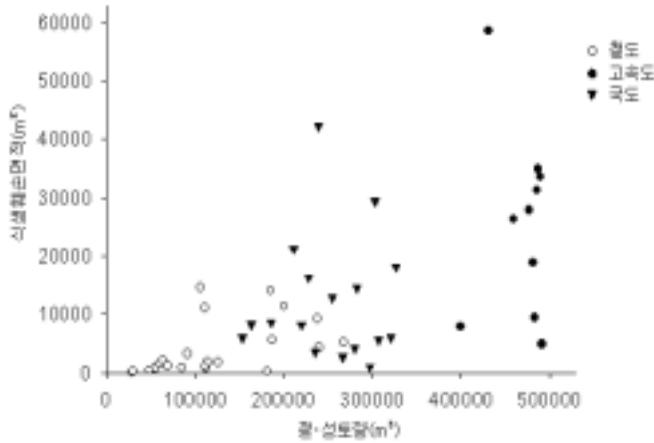
한편, 일부 철도사업은 대부분의 구간을 터널과 교량으로 설계하며, 이러한 사업의 경우 식생훼손면적, 방음벽연장 등은 수치가 매우 낮게 나타났다(<그림 3-12, 14> 참조). 사업구간에 산림이 적을 경우 성토가 많이 발생하더라도 식생훼손은 미약할 수 있으며, 산림이 많은 경우 터널연장을 높일 경우 식생훼손을 크게 감소시킬 수 있으므로 식생훼손면적 지표는 개별사업간 환경성을 비교하는 데 유용한 것으로 판단된다. 방음벽연장에 있어서는 일부 철도사업에서 매우 높게 나타났으며, 이는 민가 등 소음에 민감한 지역이 많은 지역을 통과하는 사업으로 확인되었다.



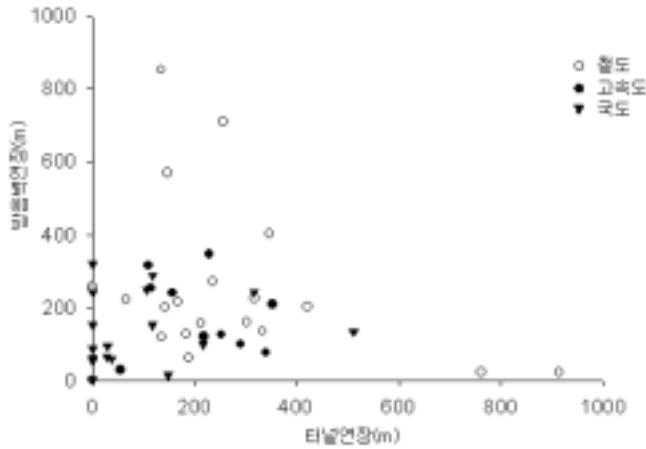
<그림 3-11> 터널·교량연장과 절·성토량의 관계



<그림 3-12> 터널연장과 식생훼손면적의 관계



<그림 3-13> 절·성토량과 식생훼손면적의 관계



<그림 3-14> 터널연장과 방음벽연장의 관계

라. 지표분석결과의 시사점

철도가 도로에 비해 여러 측면에서 환경친화적인 교통수단이라는 것이 일반적인 식이기는 하나, 공사시 및 운영시 자연·생활환경에 미치는 영향에 대해서는 아직 연구의 시작단계라고 볼 수 있다. 본 연구에서는 터널, 교량, 방음시설 등의 설치계획과 절·성토량, 식생훼손량 등의 영향예측치를 지표로서 분석하였다. 이러한 지표선정에 의한 조사자료는 철도와 도로사업이 주변 환경에 미치는 영향을 모두 반영할 수는 없지만, 교통수단에 의한 생태계의 단편화, 동물이동 단절, 식생훼손 등 주요 환경영향을 비교추정하는 데 유용할 것으로 사료된다.

본 연구는 기본적으로 환경영향평가서에 수록된 환경영향예측치를 비교한 것으로서, 실제 공사시 및 운영시 발생하는 환경영향과는 차이가 있기 마련이기 때문에 이를 보정하기 위한 연구를 수행하여야 할 것이다. 특히 철도 분야에 있어 환경영향예측과 결과를 비교할 수 있는 모니터링 연구(예, 동물의 이동과 교통사, 외래종의 유입, 터널의 지하수 변동이 생태계에 미치는 영향, 운영시 소음지도 작성 등)는 환경문제와 분쟁을 해결하는 데에도 반드시 필요한 것이나, 실제 연구된 실적은 거의 없는 형

편이다. 따라서 향후 철도가 환경친화적인 교통수단으로 거듭나기 위해서는 환경성에 있어 도로보다 비교우위에 있다는 일반적 인식에서 탈피하고 실질적인 모니터링 연구를 진행하여 관리대책을 수립하여야 할 것이다.

한편, 철도의 노선선정은 설계단계에서 가장 중요한 사항으로서 이후 사업시행시 발생하는 환경영향 특성을 기본적으로 결정하게 되나, 노선선정시 대개는 시공비용이나 지역 및 지형적 특징, 시공관리의 용이성 등을 고려하고 있다. 기존에 연구된 노선선정 평가모델(이동욱과 이태식, 2004)에서 환경성을 고려하고는 있으나, 환경성을 고려하는 데 필요한 지표들에 대한 연구는 제대로 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 연구에서 사용된 정량적 지표는 철도사업 계획시 노선선정을 위한 평가에 있어서도 환경성을 합리적으로 고려하는 데 활용될 수 있기를 기대한다.

제4장 외국의 철도사업 환경평가

1. 주요 국가의 환경평가 체계

가. 미국

1) 평가대상

미국의 환경영향평가는 토지이용에 관련된 사업뿐만 아니라 중대한 환경영향이 예상되는 정책이나 계획, 프로그램, 입법안에 대해서도 실시하고 있다. 모든 대상사업은 면제범주(Categorical exclusions)에 해당하지 않는 한 스크리닝을 위한 환경성평가서(EA)를 작성하여야 한다⁶⁾. 면제범주에 대한 해당사항은 각 사업별 주관기관의 규정에 명문화되어 있다. 일반적으로 면제되는 사업은 소규모이며 잠재적으로 심각한 환경영향을 가지지 않는 일상적인 사업들이지만, 저습지(wetland) 또는 멸종위기에 있거나 위협받는 종에 영향을 미치는 것과 같은 특정한 상황에 있을 때는 주관기관은 해당 사업을 면제범주에서 제외한다. 또한 면제범주에 해당하더라도 환경영향이 불확실한 것으로 판단하는 경우에는 주관기관에서 EA의 작성을 요구할 수 있다. 스크리닝 절차를 통하여 대상사업으로 인한 주요 환경영향이 없을 것으로 판단될 경우, 공공기관의 검토 및 의견에 따라 간단한 해명서(Finding of No Significant Impact, FONSI)를 작성하여 공표하고 사업을 실시한다.

2) 평가항목 및 범위

미국은 환경영향평가항목을 일률적으로 정하지 않고, 환경영향평가범위검토 과정인 스코핑(Scoping) 절차를 거쳐 대상지역과 평가항목을 결정한다. 스코핑 단계에서

6) US Council on Environmental Quality. 1978. Regulations for Implementing the Procedural Provisions of the National Environmental Policy Act, 40 CFR 1508.4.

는 우선 대상사업 및 다른 대안들에 관련된 환경영향을 간단히 목록화하고, 주요한 문제점이 무엇인지를 규명하기 위하여 신중하게 검토하도록 한다. 여기에는 평가에 참여하는 주관기관, 협조기관, 해당지역 주민, 사업자 등이 모두 참여하며, 자연적, 심미적, 역사적, 문화적, 사회적, 경제적 영향을 포함한 광범위한 항목에 대한 검토가 이루어진다.

3) 평가서 작성 및 검토

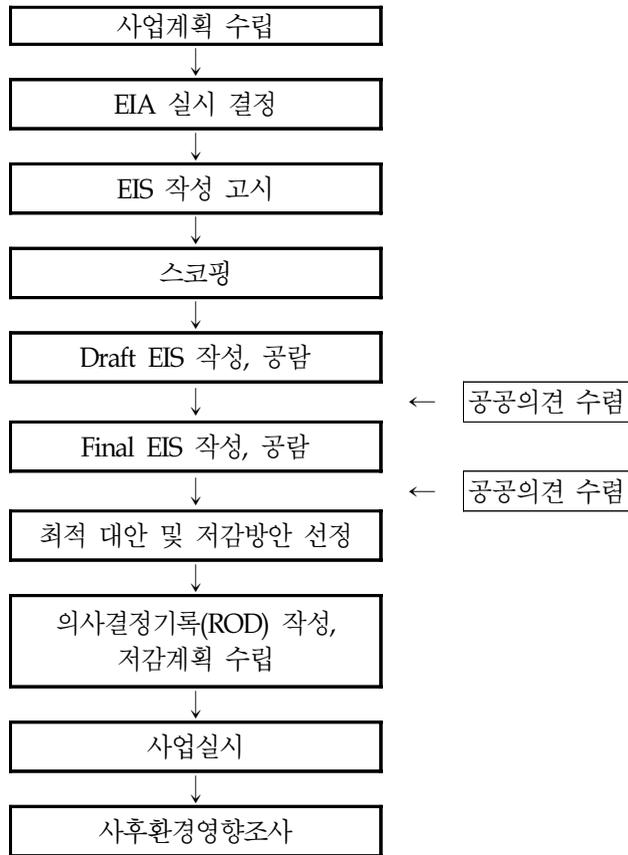
환경성 평가를 통하여 환경영향평가서의 작성이 필요하다고 판단되는 경우에는 평가서작성의향고지서(Notice of Intent, NOI)를 공지하고, 환경영향평가를 실시하여 환경영향평가서를 통해 그 결과를 분석하고 문서화해야 한다. 단, 광범위한 연방정부의 행위와 관련하여서는 통상의 EIS와 구분하여 PEIS (Programmatic EIS)를 작성하도록 하며, 이 경우 단계별 평가방식(Tiering)을 적용한다.

환경영향평가서의 작성 주체는 연방기관이며 개발사업의 주관부처가 환경영향평가의 주관기관이 된다. 환경영향평가서에 대한 검토는 주관기관뿐만 아니라 Environmental Protection Agency (EPA)와 같은 협조기관 및 지방정부, 기업체, 지역 주민이 함께 수행하여 공공의견을 수렴하도록 규정되어 있다.

환경영향평가서는 Draft EIS(초안)와 Final EIS(본안)를 단계적으로 작성하도록 하며, 각 단계마다 완성된 평가서는 주관기관이 공람 및 공청회 등의 공식적인 열람방식을 통해 공공의견을 취합한다. 사업의 규모가 크거나 논쟁의 여지가 있을 경우에는 공식적인 회의 등을 개최하도록 한다.

사업의 실시에 대한 최종 결정은 일반적으로 Final EIS의 내용을 바탕으로 하며, 최적 대안이 채택되면 사업자는 환경영향에 대한 저감계획을 수립해야 한다.

환경영향평가의 결과는 ROD (Record of Decision)를 통해 문서화하도록 하며, 여기에는 사업자가 선택한 대안이 어떤 것인지, 다른 대안에는 어떤 것들이 있었으며 어떠한 이유로 채택되지 않았는지, 그리고 저감방안에는 어떠한 것이 있는지를 기술하도록 한다(<그림 4-1> 참조).



<그림 4-1> 미국의 환경영향평가 절차

나. 홍콩

1) 평가대상

환경영향평가의 대상사업은 철도 및 도로와 그에 포함되는 정거장, 비행장, 항구, 매립지, 에너지 공급시설, 수자원 공급시설, 오수 처리시설, 폐기물 처리시설, 수송관, 수로, 채굴시설, 연료의 저장 및 수송시설, 농·어업, 공공시설, 관광·오락시설, 기타 개발사업 등으로 환경영향평가법(EIA Ordinance)에 규정되어 있다. 또한 면적 20ha 이상의 지역 혹은 인구 10만 명 이상이 거주하는 지역에 대한 도시개발사업이나, 현

재 및 향후 거주 인구가 10만 명 이상인 지역에 대한 재개발 사업의 경우는 환경영향 평가를 실시하여야하는 주요 대상사업으로 따로 규정하고 있다.

환경적 허가를 필요로 하는 철도관련 사업은 철도 및 이에 포함되는 역사의 건설, 삭도·케도 및 이에 포함되는 역사의 건설, 철도의 측선(대피선) 건설, 현존하거나 건설계획중인 정온시설로부터 100m 거리 이내에 신설되는 철도 정거장, 길이 800m 이상의 도로 및 철도 터널 건설, 길이 100m 이상의 도로 및 철도 교량 건설 등으로 사실상 대부분의 철도사업에 대하여 환경영향평가를 실시하고 있다.

계획 사업이 환경영향평가 대상사업에 포함된 경우에는 사업계획 내용과 전반적인 환경영향을 수록한 개요서(Project Profile)를 작성하여 제출·공람하도록 한다. Director of Environmental Protection (DEP)은 공공의견을 수렴하여 환경영향평가의 실시 여부를 결정하는데, 사업으로 인한 환경 영향이 미미할 것으로 판단될 경우에는 즉시 환경적 허가(Environmental Permit)를 할 수 있다.

2) 평가항목 및 범위

환경영향평가법에 의해 규정된 평가항목으로는 대기질, 소음, 수질, 폐기물, 생태계, 어장, 경관, 문화재, 공사시 및 운영시의 위험성 등이 있다.

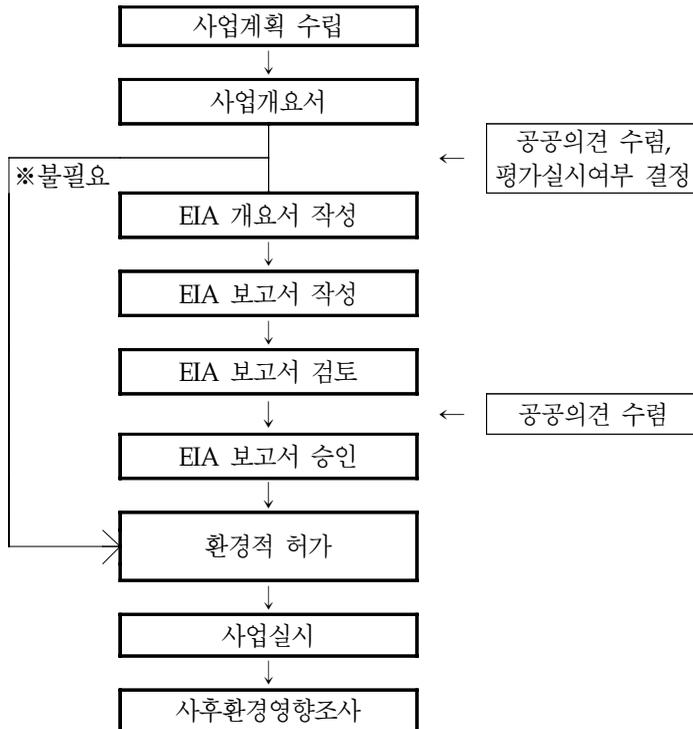
3) 평가서 작성 및 검토

홍콩에서는 환경영향평가서의 작성시 사업자가 사업실시 이전에 환경영향을 조사·예측·평가하도록 규정하고 있고, 환경영향평가서에 대한 검토는 홍콩의 정부기관인 Environmental Protection Department (EPD)에서 수행한다.

대상사업의 Project Profile을 검토한 결과 환경영향평가서를 작성할 필요가 있다고 판단될 경우에는 환경영향평가에 대한 간략한 개요서(EIA Study Brief)를 작성하도록 한다. 여기에는 사업의 특성과 사업으로 인한 환경영향뿐만 아니라 환경영향평가의 방법과, 주요하게 다루어져야할 문제점까지도 포함된다.

환경영향평가 보고서(EIA Report)는 개요서의 내용에 근거하여 작성하며, 사업으로 인해 발생하는 환경적 이점과 악영향, 사후환경영향조사 계획 등의 환경영향평가

결과를 상세하게 기록하도록 한다. 작성된 환경영향평가서는 제출·공람하여 공공의견을 청취한 후 의견을 수렴하여 Director가 승인 결정을 내리게 된다(<그림 4-2> 참조).



<그림 4-2> 홍콩의 환경영향평가 절차

다. 일본

1) 평가대상

국가에서 환경영향을 검토하는 환경영향평가의 대상 사업은 도로, 댐, 철도, 비행장, 발전소, 폐기물최종처분장, 택지, 공단 등 13종으로서 주로 공공사업이며, 민간이 주도하는 사업은 대부분 국가에 의한 평가대상사업이 아니라 도도부현의 조례에 따

른다. 국가에서 환경영향을 검토하는 사업은 규모에 따라 환경영향평가를 반드시 실시해야하는 제1종사업, 그리고 제1종사업에 준하는 규모(대략 75~80%) 이상인 사업으로서 평가실시여부를 미리 판정하는 제2종사업으로 구분된다.

제2종사업의 경우에는 사업의 내용 및 지역의 상황에 근거하여 인허가기관이 환경영향평가의 실시여부를 결정하고 있다. 사업자는 사업의 개요를 인허가기관에 제출하고, 인허가기관은 환경대신에 의해 규정된 환경영향평가 가이드라인을 기준으로 검토하며, 지역 상황을 잘 알고 있는 도도부현지사의 의견을 참고하여 환경영향평가의 실시여부를 사업자에게 통지하도록 절차를 마련하고 있다.

그러나 1997년 환경영향평가법을 제정하고 제2종사업의 스크리닝 절차를 마련한 이후 인허가기관이 환경영향평가 실시여부를 검토한 사례는 없었다⁷⁾. 그 사유는 1) 스크리닝 절차를 통해 환경영향평가를 면제받았을 경우 사업자는 사후의 사회적 비판이나 분쟁가능성을 염려하며, 2) 해당 사업이 인허가기관으로부터 환경영향평가 면제판정을 받더라도, 각 도도부현의 환경영향평가 조례에 의해 대부분 환경영향평가를 시행하여야 하기 때문이다. 따라서 사업자는 스크리닝 신청을 하지 않고 자발적으로 제1종사업과 동일한 환경영향평가를 시행하고 있다. 제2종사업보다 규모가 작아서 국가의 평가대상이 아닌 사업은 각 도도부현에서 조례로 환경영향평가 시행여부를 결정하고 있다.

제1종사업 중 철도와 관련된 대상사업에는 신간선 철도의 건설, 길이 10km 이상의 철도 및 궤도의 건설이 포함되며, 제2종사업에는 길이 7.5~10km의 철도 및 궤도의 건설이 포함된다.

2) 평가항목 및 범위의 결정

사업별 환경영향은 사업지역 주변의 생활환경이나 자연환경 등 지역의 특성에 따라서 다르므로, 환경영향평가를 실시하는 항목 또한 지역에 따라 변경할 필요가 있다. 따라서 환경영향평가의 항목과 방법은 지역주민, 지방공공단체 등의 의견을 수렴하여 계획하도록 하며, 이러한 환경영향평가의 진행방식에 관한 내용을 방법서에 기재

7) 일본 환경성 환경평가과장 Kajihara Shigemoto, pers. comm.

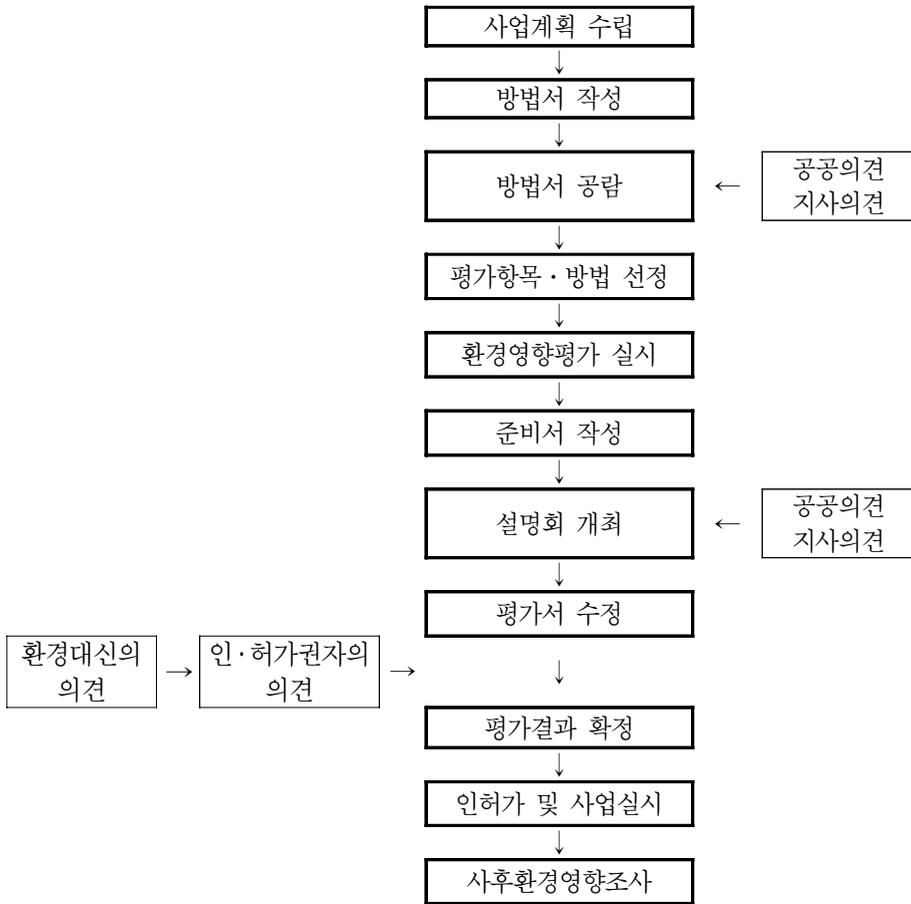
하도록 한다.

평가항목은 대개 환경구성요소의 유지, 생물다양성과 자연환경 보전, 사람과 자연의 만남, 환경부하, 역사문화유산 보전 등으로 크게 나뉜다. 세부적으로는 각 도도부현에서 정한 규정에 따라 다소 차이가 있으나, 대개 대기질, 소음, 진동, 악취, 수질, 지하수, 지형·지질, 지반, 토양, 동물, 식물, 생태계, 경관, 사람과 자연의 만남 활동장소, 폐기물, 온실효과가스, 문화재 등 20여 개의 항목이 있다.

3) 평가서 작성 및 검토

사업자는 환경영향평가를 어떻게 시행할지 방법서를 작성하여 해당 사업이 시행되는 지역의 도도부현지사에게 송부한다. 이와 함께 사업자는 방법서를 공람하여 주민 의견을 취합하고 의견의 개요를 작성하여 도도부현지사에게 송부하여 지사의 의견을 청취한다. 그리고, 이러한 의견을 참고하여 평가항목과 방법을 결정하고 환경영향평가(조사, 예측, 평가)를 시행한다.

사업자는 환경영향평가 시행 결과를 준비서(평가서 초안에 해당)로 작성하여 도도부현지사에게 송부하고, 공공의견을 수렴하기 위한 공람 및 설명회를 개최한다. 주민 의견을 취합하여 의견의 개요를 작성하고 이를 도도부현지사에게 송부하여 지사의 의견을 받도록 한다. 이를 바탕으로 사업자는 환경영향평가 시행 결과를 수정하고, 평가서(평가서 본안에 해당)를 인허가권자와 환경대신에게 제출한다. 환경대신은 의견을 인허가권자에게 제출하고, 인허가권자는 이 의견을 근거로 하여 사업자에게 의견을 제시한다. 사업자는 인허가권자의 의견에 따라 평가서를 보정하고, 이러한 최종 평가서는 인허가 심의에 이용하게 된다. 사업자는 필요에 따라서 최종 평가서를 도도부현지사, 시읍촌장, 인허가권자 등에게 송부하여 공람한다(<그림 4-3> 참조).



<그림 4-3> 일본의 환경영향평가 절차

라. 프랑스

유럽연합은 각 회원국의 개발사업에 대한 영향평가를 시행하도록 규정하고 있다. Directive 85/337/EEC⁸⁾의 부속서 I 과II에 따르면 유럽연합 회원국이 따라야 할 대상사업 범위는 농업, 임업, 수산업, 에너지, 공업, 교통, 폐기물 처리, 수자원 관리, 통

8) Council Directive 85/337EEC of 27 June 1985 on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment.

신, 관광, 도시계획, 기타 개발프로젝트 등이다. 85/337/EEC에서 부속서 I에 수록된 사업은 환경영향평가가 의무화되어 있으며, 부속서 II에 수록된 사업은 각 회원국의 자율적으로 대상사업을 선별하여 환경영향평가 시행 여부를 결정하고 있다. 또한 유럽연합은 85/337/EEC를 97/11/EC로 개정하면서 이행내용과 해당 사업행위의 규모 등을 구체화하였다. 97/11/EC에서는 부속서 III에 해당하는 경우에 대해서도 각 회원국은 대상사업 선별과정을 통해 다음 단계에 환경영향평가를 시행할지 여부를 결정하도록 되어 있다. 97/11/EC의 부속서 III는 사업의 입지가 환경에 대한 민감한 영향이 있을 수 있는 생태계 관련 지역들(습지, 연안, 산지, 국립공원, Directive 79/409/EEC⁹⁾와 92/43/EEC¹⁰⁾ 관련 지역 등)에 관한 것이다.

프랑스, 영국 등 유럽연합 회원국들의 평가대상사업은 기본적으로 상기한 유럽연합의 지령에 따르고 있다.

1) 평가대상

프랑스에서는 사업의 종류를 크게 공공사업, 공공기관의 인·허가 등을 필요로 하는 민간사업, 도시계획의 결정 등으로 나누고 있으며, 이것을 다시 그 영향의 중대성에 따라 환경영향평가 면제 대상사업, 간이환경영향평가 실시 대상사업, 환경영향평가 대상사업으로 구분한다. 환경영향평가 대상사업은 의무적으로 평가하여야 하는 사업, 일정한 기술적 규모를 넘어서는 사업(예, 500kW 이상의 수력발전소), 일정금액 이상의 사업(1,200만 프랑) 등 3종류로 다시 나눌 수 있다. 1988-1990년 사이에 연간 약 5천 건의 평가서가 작성되며, 이는 유럽연합 국가들 중 최고 수준에 달한다. 금액 기준으로 정하는 평가대상 규모는 6백만 프랑이었으나 1993년 이후 1,200만 프랑으로 강화되었다(Bond and Wathern, 1999).

철도와 관련해서는 역사 창설 및 용지확대 사업과 1억 프랑 이상의 철도건설 국가사업, 2500만 프랑 이상의 철도건설 지역사업이 환경영향평가 대상사업에 해당된다.

9) Council Directive 79/409/EEC of 2 April 1979 on the conservation of wild birds. (EU Birds Directive)

10) Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. (EU Habitats Directive)

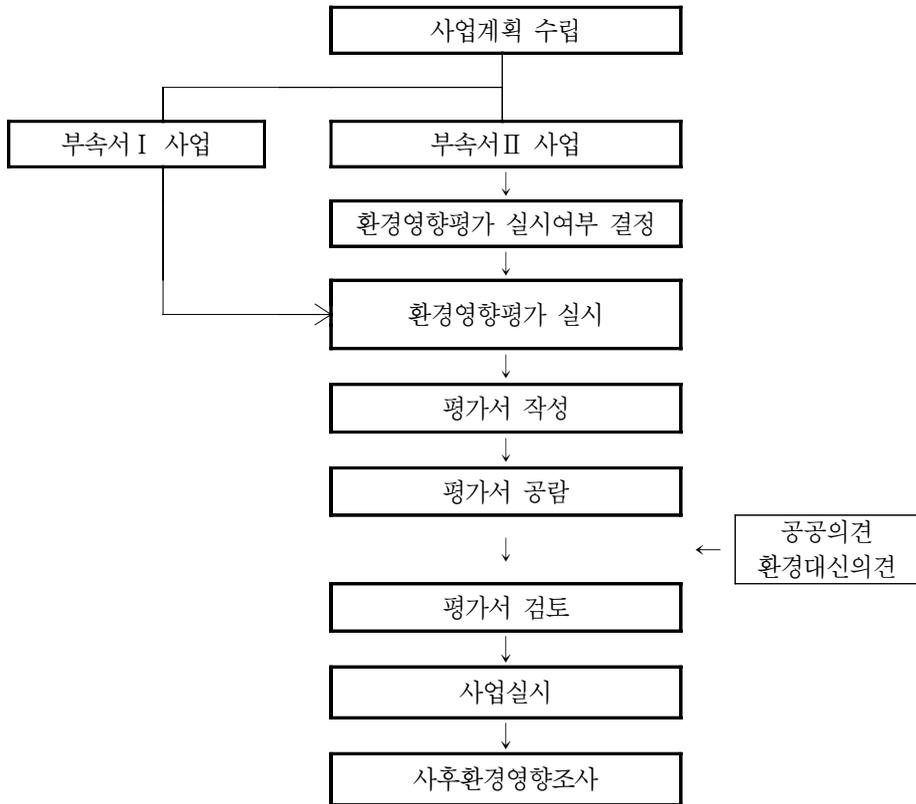
2) 평가항목 및 범위

환경영향평가 항목 및 조사범위에 대해서는 사업자, 민간컨설턴트, 여러 행정기관 등이 참가한 비공식적인 협의장소에서 결정된다.

환경영향평가 항목은 자연보호법에 의해 동물 및 식물, 풍경 및 경관, 토양, 물, 대기, 기상, 자연환경, 생물학적 균형, 개인의 재산 및 문화유산의 보호, 주변의 쾌적한 정도(소음·진동·악취·일조장해), 위생·안전 및 대중위생 등으로 규정되어 있다.

3) 평가서 작성 및 검토

사업자는 시행령에 따라 환경영향조사 혹은 간이 환경영향평가를 실시하고, 보고서를 인허가기관에 제출한다. 인허가기관은 공청회나 열람 등을 통하여 대중의 의견을 수렴하고, 환경대신의 의견을 참고하여, 사업의 인허가를 결정한다(<그림 4-4> 참조). 환경영향평가서에 대한 정부의 검토기관으로는 산업·환경·농업기술관리소가 있다.



<그림 4-4> 프랑스의 환경영향평가 절차

마. 영국

가) 평가대상

영국의 환경영향평가는 도시 및 지역계획 시스템에 통합되어 있다. EIA Planning Regulation¹¹⁾은 환경영향평가를 이행하도록 의무화하고 있으며, 각 지방정부별로 대상사업 및 이행절차가 문건¹²⁾으로 정해져 있다. 환경영향평가 시행여부는 영향평가

11) Town and Country Planning (Environmental Impact Assessment) (England and Wales) (Amendment) Regulations 2000.

12) England (DETR Circular 2/99), Wales (Welsh Office 11/99), Scotland (Scottish Executive Development Department 15/99), Northern Ireland

가 필요한 사업(Schedule 1 project), 환경에 영향을 미칠 수 있는 사업(Schedule 2 project) 등을 구분한다. Schedule 2에 해당하는 사업에 대해서는 사업의 입지가 환경에 민감한 곳(국립공원 등)인가, 개발행위에 의한 영향이 한계치를 벗어날 것인가 등을 검토하여 평가서 작성여부를 결정한다.

철도와 관련한 환경영향평가 대상사업에는 장거리 철도교통 운송용의 선로와, 승객운송에 사용되는 노면철도, 고가철도, 지하철, 로프웨이 등으로 길이 2,100m 이상의 철도건설 사업이 Schedule 1 project에 속하여 반드시 환경영향평가를 수행하도록 규정되어 있다.

대상사업이 Schedule 1 혹은 2에 해당하는 가에 대해서는 사업자가 판단하지만, 이 점에 대하여 인허가기관(지역계획청; LPA)에 견해를 요구할 수도 있다. 또한 사업이 Schedule 2에 속할 경우에는 인허가기관이 대상지역의 특성, 사업의 규모, 사업방법 등 여러 가지 기준을 통하여 분석하여 평가여부를 결정한다.

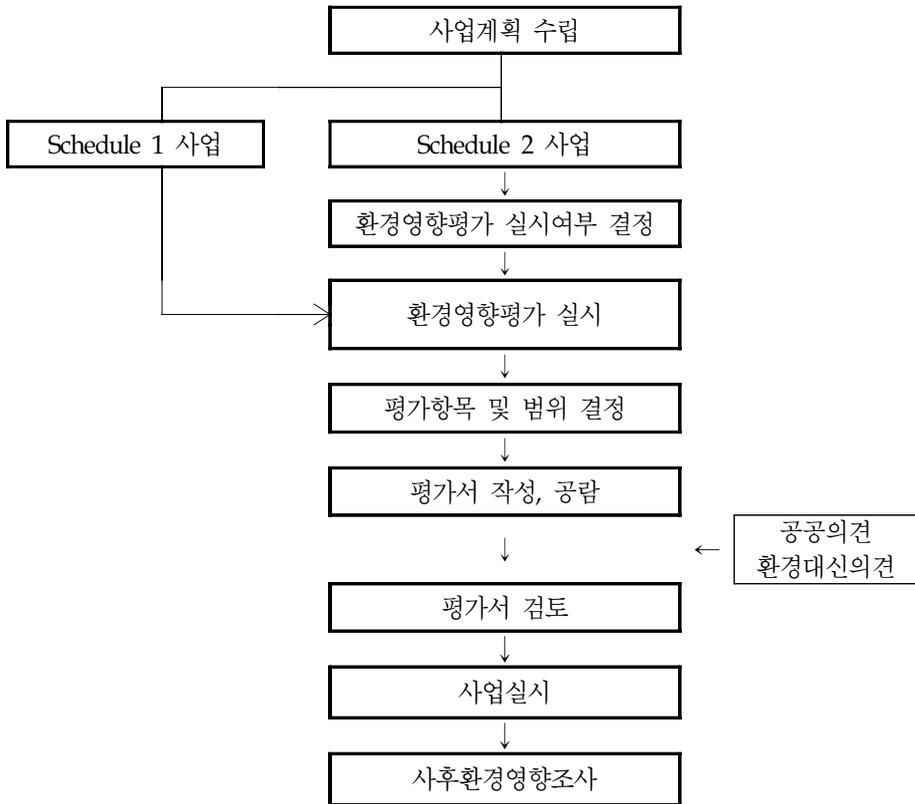
나) 평가항목 및 범위

환경영향평가 항목과 범위는 개발자가 인허가기관과 환경영향평가를 실시하기 이전에 충분한 협의과정을 거치도록 하고 있다.

환경영향평가 항목에는 인간, 동물, 식물, 토양, 물, 대기, 기후, 경관, 각 요소의 상호작용, 유형자산, 문화유산 등이 있다.

다) 평가서 작성 및 검토

환경영향평가서는 사업자가 작성하고, 환경영향평가서에 대한 검토는 환경관리평가원 등 정부기관에서 수행한다. 사업자는 환경영향평가서를 작성하여 인허가기관에 제출하고 공청회 또는 열람과정을 거쳐 공공의견을 청취한다. 인허가기관은 필요할 경우 사업자에게 추가적인 자료를 요청할 수 있으며, 공공의견과 환경대신의 의견을 참고하여 사업의 인허가를 결정한다(<그림 4-5> 참조).



<그림 4-5> 영국의 환경영향평가 절차

2. 환경평가 사례

가. 미국의 철도노선 결정 - Southeast High Speed Rail (SEHSR) Project

1) 사업 개요

본 사업은 1992년 United States Department of Transportation (USDOT)에 의해 계획된 전국 고속철도망 구축사업의 일부로써, 현재 장거리 여행을 위한 주요 교통수단인 항공기를 이용하는 승객들을 철도로 전환시킬 수 있는 경쟁적 운송수단을 제공

하기 위한 방안이다.

SEHSR project는 북동부의 Washington, DC에서 Richmond, VA와 Raleigh, NC를 지나 Charlotte, NC까지 약 500mile 거리를 평균 180km/h의 속도로 운행하게 되는 고속철도의 건설 및 운영 서비스에 대한 사업계획이다.

본 사업에 관한 계획이 수립된 후 2001년부터 2002년까지 1단계의 환경영향평가가 완료되었으며 주관기관으로부터 2단계 환경영향평가의 실시를 허가받아 2003년에 2단계 환경조사를 시작하였다. 2단계 환경영향평가서는 2005년에 완성될 예정이며 철도의 건설은 2010년 완공을 목표로 하고 있다(<표 4-1> 참조).

<표 4-1> SEHSR의 연도별 사업일정

연도	사업일정
1992	<ul style="list-style-type: none"> USDOT가 Washington, DC - Richmond - Raleigh - Charlotte에 이르는 Southeast Corridor를 포함하여 전국적으로 5개의 고속철도 건설을 지시
1998	<ul style="list-style-type: none"> VDRPT, NCDOT, FHWA, FRA가 SEHSR에 대한 환경영향평가를 협력적으로 수행하기 위하여 협약 체결
2001	<ul style="list-style-type: none"> Tier I Draft-EIS 완성
2002	<ul style="list-style-type: none"> Tier I Final-EIS 완성 FHWA, FRA가 2단계 환경조사 실시를 허가하는 내용의 ROD 출판
2003	<ul style="list-style-type: none"> Tier II EIS가 Petersburg, VA에서 Raleigh, NC까지의 구간(철도 신설 구간)에서 시작됨 주민의견청취를 위한 공청회 개최
2004	<ul style="list-style-type: none"> Tier II Draft EIS가 현재 작성되고 있어 연말까지 검토가 가능할 것이며, 동시에 공청회가 개최될 것임
2005	<ul style="list-style-type: none"> Tier II Final EIS 완성 및 ROD 출판
2010	<ul style="list-style-type: none"> 완공

환경영향평가는 North Carolina Department of Transportation (NCDOT)과 Virginia Department of Rail & Public Transportation (VDRPT)의 두 기관이 협력하여 실시하였으며, 평가서에 대한 검토는 Federal Highway Administration (FHWA)

와 Federal Railroad Administration (FRA)의 주관아래 United States Environmental Protection Agency (EPA) 등의 연방기관, CSX Transportation 등 4개 기업체 및 지역 주민, Northern Virginia Regional Commission (NVRC) 등의 지방정부가 협조하여 수행되었다.

2) 사업의 목적 및 필요성

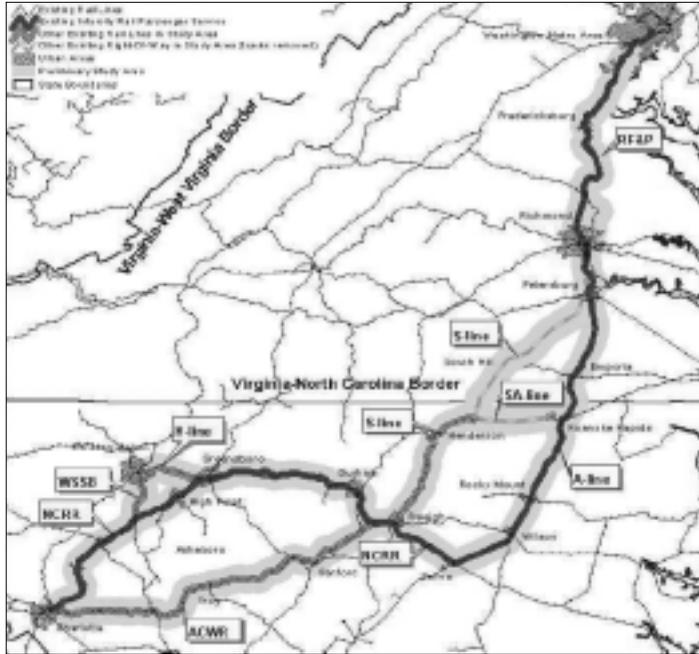
본 고속철도건설사업은 대중교통수단인 철도를 건설함으로써 일반 대중, 특히 노인이나 장애인 여행객을 확보하고, 항공기와 고속도로 및 기존 여객철도의 혼잡도 감소시키는데 그 목적이 있다. 철도건설사업을 통하여 철도교통망체계 구축함으로써 안전성 및 에너지 효율성이 향상되고, 배기가스 배출량 감소로 인해 대기질이 향상되며, 환경영향을 최소화하여 노선 내 전반적인 교통체계 효율성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

3) 환경영향평가

환경영향평가서의 작성과 관련하여 본 사업은 연방정부에 의해 계획된 광범위한 규모의 사업으로 인정되므로 단계별 평가방식을 적용하여 1단계 평가서(Tier I EIS)와 2단계 평가서(Tier II EIS)를 작성하도록 한다. Tier I EIS에서는 여러 가지 대안노선에 관하여 환경영향을 조사하고 이를 검토하여 최적 대안을 선정하는 일련의 과정을 수행하여야 하며, 대안노선에는 대상사업을 실시하지 않는 No-Action 대안을 반드시 포함하도록 한다. Tier II EIS에서는 선정된 노선에 대하여 인간과 자연환경에 대한 영향을 최소화하기 위한 계획이 구체화되며, 공사시와 운영시의 영향에 대해 상세한 조사가 이루어지게 된다.

○ Tier I Environmental Impact Statement

Tier I EIS에서는 <그림 4-6>에 나타나있는 기존 철도구간들을 중심으로 한 Alternative A~H, J의 9가지 대안노선과 No-build Option에 대하여 환경영향을 조사하였다.



<그림 4-6> 기존 노선을 중심으로 한 SEHSR의 대안노선

각각의 대안노선은 시점부인 Washington, DC에서 Centralia, VA까지 공통적으로 RF&P 노선을 지나며 Centralia, VA에서 Charlotte, NC까지는 다양한 방법으로 기존의 노선들을 연합하였다(<표4-2> 참조).

<표 4-2> Centralia, VA에서 Charlotte, NC 구간의 9가지 대안노선

대안노선	노선 구성
A	S-line + NCRR
B	S-line + NCRR + WS
C	S-line + ACWR
D	A-line + SA-line + S-line + NCRR
E	A-line + SA-line + S-line + NCRR + WS
F	A-line + SA-line + S-line + ACWR
G	A-line + NCRR
H	A-line + NCRR + WS
J	A-line + NCRR + ACWR

이와 같이 여러 가지 대안노선을 검토하여 노선을 선정하는 데 있어 기본적인 근거는 첫째, 인간과 자연환경에 대한 영향을 최소화하기 위해 기존노선과 철도용지를 최대한 활용하며, 둘째, 기존 노선을 활용함으로써 초기 투자자본을 최소화하고, 셋째, 지역간 철도여행시간을 단축하는데 있다.

각 대안노선은 공사 및 운영에 관련한 사항과 환경적 요소에 관한 사항 그리고 안전성에 관한 내용을 중심으로 한 10가지의 기준을 토대로 평가되었다. 각각의 평가기준의 내용을 살펴보면, 철도운영시 예상되는 연간 이용객의 수, 2025년 항공기 및 자동차로부터의 철도로 전환한 연간 이용자의 수, 자동차로부터 철도로 전환함으로써 발생하는 에너지 절감율, 건널목의 수, 대기질 평가에 대한 지표가 되는 질소산화물의 감소율, 철도를 이용한 평균 총 여행시간, 철도운영 수입에서 운영비를 뺀 흑자율, 자본비용 효율성 요소, 환경적 측면의 영향, 공사시 및 운영시 복잡성 요소 등이 포함된다.

Tier I EIS에서는 <표 4-3>에서 볼 수 있는 바와 같이, 대안노선의 평가기준과 관련하여 세부적인 조사항목들을 선정하고 이에 대한 정량적 평가를 실시하였다. 또한 No-build Option을 포함한 대안노선들의 평가결과는 각 항목별로 순위를 정하여 제시하였다.

- 최적대안을 선정하는 과정은 다음과 같이 단계적으로 진행되었다.
- Step 1. 정부기관과 주민의 의견을 받기 위해 Draft EIS 출판 및 배포
- Step 2. 중대한 결함에 대한 의견 검토 및 중요도 분석 (필요시 교정)
- Step 3. 대안 노선 검토 :
 - 전체적인 환경 요소
 - 목적 및 필요성 요소
 - 경제적 측면 분석
- Step 4. 위 요소들의 상대적인 순위 열거 및 정부기관의 의견에 대조한 검토
- Step 5. 최적대안 확정

<표 4-3> SEHSR의 대안노선에 대한 항목별

세부조사내용

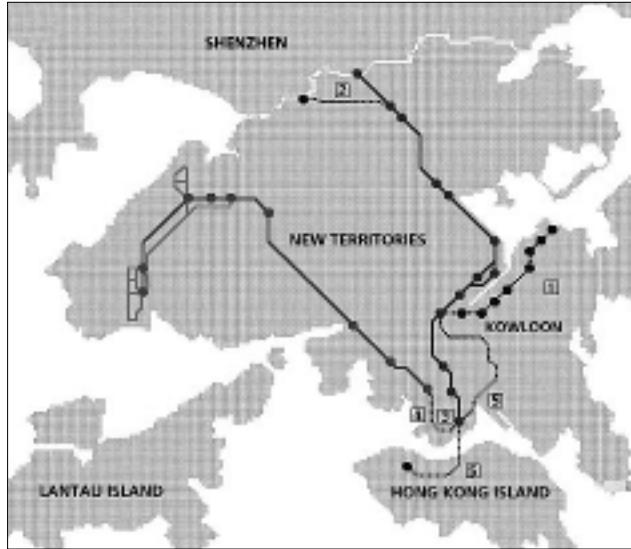
구분	항목	세부 조사내용	
운영적 측면		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 노선길이 ▪ 기존 철도선로 면적 ▪ 평균 총 여행시간 ▪ 평균 운행 속도 ▪ 에너지 절감량 ▪ 자본금 ▪ 2025년 연간 이용객 수 ▪ 2025년 수입 ▪ 2025년 운영비 ▪ 순이익(수입-운영비) 	
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 수역의 개수 ▪ 주요하천 횡단 횟수 	
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 영향을 받는 습지의 개수 	
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 범람원을 지나는 횟수 	
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0.5mile 이하의 광산 개수 	
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 위험물 매립 지역의 수 	
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 질소산화물 감소량 	
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 정온시설의 수 	
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1회 운행시 연료소비량 	
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 주요 경작지 면적 	
	영향적 측면	보호생물종	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 보호생물종의 수
		주요 하천	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 국가하천의 수
		지역사회	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 환경적으로 주요한 영향을 받는 지역의 수
환경적 형평성			<ul style="list-style-type: none"> ▪ 소수 집단의 인구 ▪ 저소득 가구 수
		토지이용	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 매입해야할 토지 면적 ▪ 재배치해야할 주택의 수 ▪ 재배치해야할 상점의 수
		교통	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 건널목의 개수
		문화재	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 국가적 유적지의 수 ▪ 역사학적 연구지역의 수
		공공이용시설	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 공원의 개수 ▪ 게임랜드 등의 공공이용시설 면적

대안 노선에 대한 평가 결과 Alt. A를 우선적으로 개발한 후 Alt. B를 연계적으로 개발하는 A-B 연합이 가장 적절할 것으로 판단되었다. A-B 연합 노선은 습지와 멸종 위기종 및 보호종에 대한 영향을 최소화할 수 있고, 연간 이용객 수와 항공기 및 자동차로부터의 전환 이용자 수가 대안 노선 중 최대일 것으로 예상된다. 또한 질소산화물 배출량의 감소 및 전체적인 에너지 사용량의 감소 정도와 운영비 흑자율이 우수할 것으로 보이며, 최상의 공공지원을 받을 수 있는 대안으로 평가되었다.

나. 홍콩의 철도노선 결정 및 환경영향평가 - Lok Ma Chau Spur Line Project

1) 사업 개요

Spur Line 건설사업은 1993년 5월 철도건설계획에 의해 제안되었으며, 홍콩의 East Rail을 Sheung Shui에서 중국 Shenzhen 접경의 Lok Ma Chau까지 연장하여 중국 대륙과 홍콩간 여객을 수송하는데 목적이 있다. 사업구간은 총 7.4km이며, 이 중 4.3km는 터널구간, 0.9km는 램프, 나머지는 교량구간으로 구성된다. 철도의 평균 운행 속도는 73km/h로 계획되었다. 본 사업의 계획노선은 <그림 4-7>에 나타낸 바와 같다.



<그림 4-7> KCRC사에서 계획·건설중인 노선과 Lok Ma Chau Spur Line
(‘2’)

본 사업의 계획은 1993년에 수립되었으나 Long Valley¹³⁾에 대한 환경적 문제로 반대의견이 많아, 1998년에 환경적 영향을 최소화하는 방향으로 계획이 변경되었으며, 이에 대한 Project Profile을 완성하고 공공의견을 청취하였다. 2001년에서 2002년까지 환경영향평가서를 완성하여 공공의견을 청취, 수립한 후 사업승인을 받아 2003년에 건설사업을 착공하였으며 2007년에 완공될 예정이다(<표 4-4> 참조).

환경영향평가는 사업자인 Kowloon-Canton Railway Corporation (KCRC; 九廣鐵路公司)에서 실시하였으며 Hong Kong Environmental Protection Department (EPD)에서 평가서를 검토하였다.

13) Long Valley : 약 33ha에 이르는 홍콩 최대의 담수습지로, River Beas의 북서쪽, River Sutlej의 동쪽에 위치하고 있다. 세계적인 멸종위기종을 포함하여 210종 이상의 야생 조류들이 서식하며 홍콩에서는 유일하게 이 곳 습지에서 도요류들의 번식이 이루어지는 것으로 알려져 있어 생태적인 가치가 매우 높은 곳이다.

<표 4-4> Lok Ma Chau Spur Line의 연도별 사업일정

연도	사업일정
1993	▪ 사업계획 수립
1998	▪ 사업계획 변경 ▪ Project Profile 완성 및 검토기관에 제출 ▪ 공공의견 수렴을 위한 공람
2001	▪ EIS 완성 및 검토기관에 제출
2002	▪ 공공의견 수렴을 위한 공람 ▪ 사업승인
2003	▪ 착공
2007	▪ 완공

2) Project Profile

Project Profile에서는 계획노선에 대한 수평적, 수직적 대안을 제시하고 각 대안에 대한 평가를 실시하여 평가결과를 토대로 최적 노선을 선정하였다.

수평적 노선에 대한 대안은 노선의 동쪽 종점부(Sheung Shui 지역)를 중심으로 한 5가지 대안(Northern Route, River Beas Route, Southern Route 1 & 2, Central Alignment)과 서쪽 종점부(Lok Ma Chau 지역)를 중심으로 한 3가지 대안(Alignment 1, 2, 3)으로 구성되었으며, 각각의 대안을 타건설계획, 토지이용, 철도의 안정성 및 운영의 문제, 기술적 요건 등에 기초하여 평가하였다.

수직적 노선에 대한 대안은 지하터널을 건설하는 방안, 지표면상에 철도를 건설하는 방안, 교량을 건설하는 방안 등 3가지 대안에 대하여 환경적·기술적 측면의 다양한 평가항목을 선정하고 평가를 실시하였으며, 이러한 평가를 통해 전반적으로 터널이나 교량을 건설하는 것이 지표면상에 철도를 건설하는 것보다 환경적 영향이 적다는 결과를 도출해냈다.

<표 4-5> Lok Ma Chau Spur Line의 수직적 대안노선에 대한 평가항목

분야	평가항목
환경적 측면	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 습지, 생태계 ▪ 운영시 및 공사시 소음 ▪ 수질 ▪ 경관 및 조망권 영향 ▪ 공사시 폐기물 ▪ 문화재 및 역사적 건축물
기술적 측면	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 배수 ▪ 기존철도 운영에의 영향 ▪ 경사도 제한 ▪ 안전성 문제

대안 노선에 대한 평가결과, 계획 노선의 동쪽 종점부인 Sheung Shui에서 Chau Tau까지의 구간은 Long Valley를 지나는 노선 길이를 최소화하기 위하여 Central Alignment가 최적노선으로 선정되었으며, 습지생태계의 영향을 최소화하기 위해 전체 구간을 터널로 건설하는 것이 가장 적합하다고 판단되었다.

Chau Tau에서 서쪽 종점부인 Lok Ma Chau까지의 구간은 Lok Ma Chau의 지반이 매우 연약하여 기술적 문제가 심각하고 이 일대의 Sam Po Shue 지역이 양어장으로 조성되어 있으므로, 이에 대한 영향을 최소화할 수 있는 Alignment 2안을 최적노선으로 선정하는 동시에 이 구간을 교량으로 건설하도록 하였다.

그 결과, 1993년 최초의 사업계획은 Long Valley를 교량으로 지나는 것이었으나, 본 Project Profile의 노선선정 단계를 통해 사업목표와 설계기준, 환경적 영향을 모두 고려한 노선으로 최종 변경되었다.



<그림 4-8> Lok Ma Chau Spur Line의 수직·수평적 최적대안

3) 환경영향평가

환경영향평가서에서는 계획노선 전반 및 터널 건설에 대한 세부적인 환경영향을 평가하였으며, 특히 Long Valley에 대한 영향을 최소화하는 방안을 각 항목별로 구체적으로 제시하였다.

수리·수문, 생태계, 어장, 대기질, 소음, 수질, 폐기물, 토양오염, 문화재, 경관 및 조망권, 건설 기술 및 장비, 토지이용 항목에 대한 환경영향을 조사, 예측하고 저감방안을 수립하였으며, 터널건설에 대해서는 Long Valley의 수리·수문 영향, 생태계, 어장, 대기질, 소음, 수질, 폐기물, 토양오염, 문화재, 경관 및 조망권 영향에 대하여 세부적인 환경영향을 조사하여 평가내용을 기록하였다.

본 사업에서 환경적으로 민감하게 다루어지는 Long Valley에 대해서는 Long Valley 지하부 터널건설의 환경적 영향을 최소화하기 위하여, 지하수 수위 저하를 방지 대책으로 Earth Pressure Balance Tunnel Boring Machine (EPB TBM)을 이용하도록 할 계획이다.

다. 일본의 철도건설 환경영향평가 - 호쿠리쿠 신간선 난에쓰 - 츠루가간 노선

1) 사업 개요

호쿠리쿠 신간선(北陸新幹線)은 도쿄도를 기점, 오사카시를 종점으로 하여 쇼에츠 신간선 타카사키역에서 분기하고, 나가노시, 토야마시, 오바마시 부근을 경과하는 연장 약 600km의 최고 설계속도 260km/h인 복선전철노선이다. 1997년 10월에 타카사키·나가노간이 개업하여 동계 올림픽의 대량 수송에 공헌했으며, 현재 나가노·토야마간(연장 약 170 km) 및 이수루기·카나자와간(연장 약 25km)에서 공사를 진행하고 있다. 나가노·토야마간은 인가(2001년 4월)부터 대체로 12년 남짓 후에 완성될 예정이다.

일본의 환경영향평가는 평가 항목 및 조사 방법에 대한 세부적인 규정이 행정구역에 따라 서로 다르기 때문에 본 신간선 사업에 대한 환경영향평가는 현 단위로 해당 노선구간에 대하여 따로 실시하고 있다.

여기에서는 호쿠리쿠 신간선 중 난에쓰(南越)에서 츠루가(敦賀)에 이르는 약 31.1km 구간에 대한 환경영향평가서의 내용을 다루고자하며, 이 구간은 행정구역상 후쿠이현(福井縣)을 통과하도록 설계되어 있다(<그림 4-9>).



<그림 4-9> 호쿠리쿠 신간선 노선도 (일부)

1996년에 사업계획을 수립하고 환경영향평가방법서를 완성하여 공람하였으며, 의견을 취합, 수립하여 2000년에 환경영향평가준비서를 완성하였다. 준비서에 대한 공공의견을 청취한 후 이를 수립하여 2001년에 환경영향평가서를 완성하였으며, 2002년에 환경성과 국토교통성의 의견을 수립한 최종 환경영향평가서를 국토교통성에 송부하고 공람하였다(<표 4-6> 참조).

환경영향평가는 일본철도건설공단에서 시행하였으며, 현지사 주관으로 환경영향평가의 방법서, 준비서, 평가서가 검토되었다.

<표 4-6> 호쿠리쿠 신간선의 연도별 사업일정

연도	사업일정
1996	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 사업계획 수립 ▪ 환경영향평가 방법서 완성 및 공람
1999	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 환경영향평가 방법서에 대한 의견청취
2000	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 환경영향평가 준비서 완성 및 공람 ▪ 환경영향평가 준비서에 대한 의견청취
2001	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 환경영향평가서 국토교통성에 제출 ▪ 환경영향평가서에 대한 환경성의견 수립
2002	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 환경영향평가서 국토교통성에 송부 및 공람

2) 환경영향평가

환경영향평가는 방법서, 준비서, 평가서의 단계로 진행되는데, 방법서에서는 사업 실시구역의 지역적 특성, 환경영향평가 항목과 각 평가항목에 대한 조사범위, 조사방법, 환경영향에 대한 정량적 예측 및 평가기법 등을 다루었다. 준비서에서는 방법서에 대한 공공의견과 지사의 의견, 그리고 이에 대한 사업자의 견해를 수록하였으며, 선정한 환경영향평가 항목 및 조사, 예측, 평가의 기법에 대한 이유와 환경영향평가의 조사결과 및 저감방안 등의 내용을 다루었다. 그리고 평가서에서는 준비서의 내용에 대한 요약과 함께 준비서에 대한 공공의견과 지사의 의견, 사업자의 견해 등을 기록하였다.

본 사업에 관한 환경영향평가에서는 환경의 자연적 구성요소의 양호한 상태를 보존하려는 측면과, 생물의 다양성 확보 및 자연환경의 체계적 보전에 관한 측면, 사람과 자연과의 풍부한 만남을 확보하려는 측면, 환경에의 부하량 정도를 예측하는 측면 등 4가지 관점에 의한 다양한 세부평가항목에 대하여 평가를 실시하였다(〈표 4-7〉 참조).

방법서와 준비서, 평가서에 대한 지사의 의견은 지역적 특성에 근거하여 매우 세부적으로 수록되어 있으며 각각의 의견에 대하여 사업자가 견해를 제시하도록 하고 있으며, 평가서에 대한 환경대사와 국토교통대신의 의견 또한 항목별로 상세히 언급되어 있다. 그리고 이러한 공공의견 및 사업자의 견해는 일반인들에게 공개되어 열람할 수 있도록 하고 있다.

〈표 4-7〉 호쿠리쿠 신간선의 분야별 평가항목

구분	분야	평가항목
환경구성요소의 유지	대기환경	분진, 소음, 진동, 미기압과
	수질환경	물의 탁함(지하수 제외), 물의 더러움(지하수 제외), 지하수의 수질 및 수위, 수자원
	토양환경	주요 지형 및 지질, 지반침하, 토양오염
	기타	일조 저해, 전파장해, 문화재
생물다양성·자연환경보전		동물, 식물, 생태계
사람과 자연의 만남		경관, 사람과 자연의 만남(위락경관)
환경에의 부하량		폐기물

라. 프랑스의 철도건설 환경영향평가 - TGV(La Train de Grand Vitesse)

1) 사업개요

프랑스 국영철도(SNCF: Societe Nationale des Chemins de Fer Français)는 일찍부터 간선철도망에서 상업운행열차의 최고속도를 계속 향상시켜 왔으나, 재래식 선로

조건 하에서는 속도향상에 한계가 있었다. 1960년대 파리-리용간 선로의 여객·화물 수송이 포화상태에 이르게 되면서 철도의 추가건설이 불가피하다고 판단되었다. 이에 철도수송이 타 교통수단에 대하여 경쟁력을 가지면서도 경제적 타당성을 갖기 위하여 고속철도의 건설을 추진하게 되었다.

1969년 SNCF가 파리~리용간 고속철도건설을 제안하여 1971년 고속철도건설을 추진키로 확정하였으며, 1971부터 약 5년 동안 기술정보·자료수집을 위한 주행시험을 실시하였다. 1976년 TGV차량개발이 완성됨으로써 파리~리용간 426km에 이르는 TGV동남선이 착공되었다. 1981년 TGV동남선 남부구간이 먼저 개통된 후 2년 뒤인 1983년에 북부구간이 완공됨으로써 전구간 개통되었다. 이어서 1985년과 1989년에 TGV대서양선과 북부선이 각각 착공되어 1996년 모두 개통되었다(<표 4-8, 9>, <그림 4-10> 참조).

<표 4-8> TGV의 연도별 사업일정

연도	사업일정
1969	▪ 파리~리용간 고속철도건설 제안
1971	▪ 고속철도건설 추진
1976	▪ TGV동남선 착공
1983	▪ TGV동남선 전구간 개통
1985	▪ TGV대서양선 착공
1989	▪ TGV북부선 착공
1990	▪ TGV대서양선 개통
1996	▪ TGV북부선 전구간 개통

<표 4-9> TGV의 구간별 사업현황

선 명	구 간	연장 (km)	최고속 도 (km/h)	착공 일자	개통 일자
동남선 (TGV Sud-Est)	Paris~St.Florentin	118	270	'76.3.	'83.9.
	St.Florentin~Lyon	299			'81.9.
	Lyon~Valence	121			'94.
대서양선 (TGV Atlantique)	Paris~Le Mans	181	300	'85.2.	'89.9.
	~Tours	101			'90.9.
북부선 (TGV Nord Europe)	Paris~Lille	333	300	'89.	'93.5.
	~Brussels				'93.9.
	~Calais				'94.11.
순환선 (TGV Junction Est)	동남선, 대서양선을 북부선에 연결	104		'88.	'94



<그림 4-10> 프랑스 TGV 네트워크 노선도

2) SNCF의 환경영향 대처방안

1996년 SNCF가 발표한 ‘Conclusions on the Environmental Issues’의 내용에 따르면 고속철도의 건설로 인해 발생하는 환경문제는 대개 조망권, 자연의/기존의 환경에 대한 변형 계획(수계, 동·식물, 보호지역과 관련한 내용), 토지개발(특히 농토), 지역 주민의 삶의 질(소음 등), 문화재 보존, 경관 등에 관련되어 있다. 이러한 관점에서, 환경영향의 연구를 위해서는 우선 보호동·식물과 관련된 지역에 대한 조사가 조기에 이루어져야 하고, 자연보호지역을 제외시키거나 환경적 영향을 줄이는 것을 목적으로 노선을 선정하여야 하며, 가능한 한 동·식물의 보호가 필요한 주요 지역을 보존하는 방향으로 연구하여야 한다. 또한 경관조사를 상세히 실시하도록 하며, 문화재 목록을 작성하여 발굴계획을 지원하도록 하여야 하고, 수리·수문에 영향을 주지 않도록 하기 위하여 지표수, 지하수 등 수역에 대한 조사가 상세히 이루어져야 한다.

SNCF는 철도건설로 인한 환경영향을 최소화하기 위하여 환경영향평가와 관련하여 보유하고 있는 전문인력 이외에도 지역 환경에 대한 전문가와 공공 또는 사설 컨설턴트 등의 외부자문을 두고 있다. 또한 자연의 평형을 유지하고, 기술적, 자연적 위험성을 악화시키지 않으며, 지역주민에 대한 피해문제에 초점을 두는 것을 목표로 하고 있으며, 특히 환경영향평가 항목 중 소음문제를 심각하게 고려하여 소음분석 방법과 소음저감방안, 방음벽, 예측방법 등에 대한 주요한 기초연구를 수행하고 있다.

3) 환경영향평가

환경영향을 조사하는 과정에서는 기상, 지형·지질, 수리·수문, 토양, 경관, 수계(수로망), 환경적으로 주요한 지점 등의 기본적인 지역 조사가 우선된다. 또한 공사로 인한 경관, 소음과 관련된 피해와 비산먼지나 흙으로 인한 오염 및 수질오염에 관하여 주요하게 다루도록 하며, 교통, 농업환경, 수질, 전파장해, 조류에 대한 전기적 피해, 운영시의 각종 사고의 위험성, 자연재해 등에 대해서도 예측, 평가하도록 한다. 특히 수자원과 관련한 환경영향에 대해서는 ‘water law’를 참고하여 전체적인 평가에서 세부적인 항목에 이르기까지 매우 상세히 검토하도록 하며, 지하수 보호, 음용수 공급 보존, 수로 보호, 수자원 보호 등의 사항에 초점을 두어 영향에 대한 저감방안을

제시하도록 한다.

환경영향평가서에서 주요하게 조사되어야 할 부분인 환경보호와 관련하여서는 억제, 저감, 보상의 수준에서 방안을 마련하도록 하는데, 이는 크게 adaptation measures와 specific measures 두 가지로 구분된다. 먼저 Adaptation measures에는 수직적·수평적 설계, 노선연장, 이전해야 할 토지면적의 확대 등 설계변경에 관련된 방법들을 포함되며, specific measures에는 소음방지대책, 지역의 도로나 통행로의 추가적 복구, 환경보호지역이나 환경적으로 민감한 지역에 대한 녹화, 시설 주변지역의 녹화, 녹지복원, 동물이동통로조성, 건설사업에 수반되는 구조물의 처리, 고고학적 조사와 굴착작업, 토지의 재분배와 보상문제 등이 해당된다.

마. 영국의 철도건설 환경영향평가 - Thameslink 2000

1) 사업 개요

Thameslink 2000 프로젝트는 기존의 Bedford와 Brighton을 연결하는 Thameslink 네트워크를 연장하는 철도건설사업이다. Thameslink 네트워크는 1988년에 완공되어 현재까지 활발하게 이용되고 있는 철도시설로써, 길이 240km의 노선에 51개의 역사가 배치되어 있으며 하루 이용승객이 12만 명에 이른다. 따라서 이러한 많은 수의 이용객을 수용하기 위하여 Thameslink 네트워크를 확장하는 Thameslink 2000을 계획하게 되었다.

본 사업의 목적은 첫째, Thameslink를 포함하여 런던의 출퇴근 서비스의 혼잡을 줄이고, 둘째, 지하철의 혼잡을 줄이고, 셋째, mail line과 지하철 사이의 연결을 용이하게 하며, 넷째, 영국 남동부 지역의 대중교통 접근성을 향상시키고, 다섯째, 고속철도인 Channel Tunnel Rail Link (CTRL)가 완공되었을 때 St. Pancras로부터 승객들을 분산시키려는 데 있다.

Thameslink 2000 프로젝트는 1997년에 교통및건설법(Transport and Works Act Order)에 근거하여 영국 철도청(Railtrack)에 의해 계획되었으며, 그 후 1999년까지 이에 대한 환경영향을 조사하여 평가서(ES1997/ES1999)가 작성되었다. 그러나 심의

결과 ODPM(the Office of the Deputy Prime Minister, 영국 부수상실)로부터 1) London Bridge 역, 2) Borough High Street 보호지역, 3) Blackfriars 역 등에 관련된 사항들을 중심으로 한 개선된 환경영향평가를 재 실시하도록 결정되었다. 이러한 결정에 의하여 ODPM의 요구조건에 맞는 환경영향평가를 실시하게 되었으며, 2004년에 환경영향평가서의 작성이 완료되었다.

철도의 건설은 철도사업의 규제감독기관인 Strategic Rail Authority와 철도건설업체인 Network Rail이 협력하여 실시하도록 하며 2011년에 완공되는 것을 목표로 하고 있다(<표 4-10> 참조).

<표 4-10> Thameslink 2000의 연도별 사업일정

연도	사업일정
1997	▪ 사업계획 수립
1999	▪ 환경영향평가서 제출
2000-2001	▪ Public Inquiry에 의한 평가
2002	▪ ODPM에 의한 평가결과보고서 제출 ▪ 환경영향평가 재 실시 결정
2003	▪ 새로운 환경영향평가 실시
2004	▪ 환경영향평가서 작성
2011	▪ 완공

2) 환경영향평가

본 사업의 초기 환경영향평가서인 ES1997/ES1999는 Public Inquiry의 심의를 거친 결과, 재정상의 목적에 부합되지 않고, 기술적·운영적 측면에 있어서 실효성이 없는 것으로 판단되었다. ODPM의 심의결과보고서에 따르면 새로운 환경영향평가서에서는 1) 문화재로 지정된 건축물의 현황과 London Bridge 역과 Borough High Street 보호지역, Blackfriars 역 등의 설계 변경, 2) 저감계획 강화, 3) 대상지역의 계획, 특히 London의 수도 대중교통대책 등의 개선, 4) 환경과 계획에 관한 법 혹은 지령 등의 개정, 5) 교통흐름의 변화나 토지이용의 변화 등에 근거한 조사가 이루어질 것을 요청

하고 있다. 특히 1999년 교통혼잡비용계획이 적용된 후 대기질 및 소음, 교통 등의 항목에 대하여 재조사가 필요할 것으로 예상하고 있다. 이에 따라 ES2004는 대상지역의 관계기관 및 English Heritage, Environment Agency 등 관련단체들과의 충분한 협의를 통하여 실시되었다.

환경영향평가서는 스코핑 및 방법론에 관련된 보고서와 대안노선에 관한 보고서, 주요환경영향에 관한 보고서, ES1997/ES1999와 ES2004의 변경 사항을 정리한 보고서 등 총 6개의 보고서로 작성되었으며, 주요 건설구간은 Farringdon의 노선과 지하역사 개선, Blackfriars의 노선과 지하역사 재건설, Borough Market 지역을 통과하는 교량 건설, London Bridge 역의 재개발, Bermondsey에 지상에서 지하로 연결되는 진입구간 건설, Tanners Hill Junction에서 London Bridge 역까지의 선로 건설 등이다.

환경영향평가항목은 크게 문화유산, 자연자원, 복리·위락의 세 가지 분야로 대표되며 이에 해당되는 세부항목은 <표4-11>과 같으며, 스코핑 결과 영향이 거의 없는 것으로 판단된 농경지와 전파장해에 대한 부분은 조사에서 제외되었다.

<표 4-11> Thameslink 2000의 분야별 평가항목

분야	평가항목
문화유산	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 고고학 ▪ 경관 및 건축문화재
자연자원	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 생태계 및 생물다양성 ▪ 지표수 ▪ 토양 및 지하수
복리·위락	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 대기질 (기상 포함) ▪ 소음·진동 ▪ 시각적 쾌적함 ▪ 교통 및 접근성 ▪ 지역사회 ▪ 사회경제적 측면

환경영향평가 결과 소음·진동 항목에 대한 영향이 특히 클 것으로 예측되었으며,

이에 따라 프로젝트 팀은 공사시 및 운영시의 소음·진동을 최소화하기 위하여 'specific guidance'를 마련하고 여기에 근거한 다양한 저감방안들을 제시하였다. 저감방안의 내용은 다음과 같다.

- 공사시의 소음·진동 저감방안
 - 작업 시간 및 단계의 적절한 배치
 - 축조물, 스크린, 방음벽 등 설치
 - 특정지역에서의 작업활동 제한
- 운영시 선로에서 발생하는 소음
 - 모든 선로의 연결부분을 하나로 접합시키고 불필요한 전환점과 교차점을 제거하는 등의 선로개조작업 실시
 - 소음을 저감시킬 수 있는 철로와 패드 사용
 - 방음벽 설치
 - 철로 관리체제 강화
- 운영시 지면과의 마찰에 의해 발생하는 소음
 - 선로 밑면에 부드러운 패드 설치
 - 탄력성이 있는 침목 사용
- 운영시 차륜에서 발생하는 소음
 - 곡선반경이 좁은 선로에 윤활제 사용
 - 전환점과 교차점에 대한 신중한 설계 및 위치지정
 - 소음을 저감할 수 있도록 특수 처리된 철로를 이용

마. 사례분석의 시사점

가) 평가체계

국가별 환경영향평가 대상사업은 그 나라의 규모와 자연환경, 자원, 사회적 조건과 산업화 정도 등에 따라 달라질 수 있으며, 대개 국가에서 시행할 경우 대규모 공공개

발사업을 대상으로 정하고 지방정부 또는 지방자치단체에서는 이보다 소규모이거나 민간사업에 대한 환경영향평가를 담당하고 있다. 철도의 건설사업은 거의 정부기관 또는 공공단체가 주관하는 공공사업으로서 환경영향평가 관련 대상사업이 명시된 대부분 국가에서 환경영향평가 대상으로 규정하고 있다¹⁴⁾.

사업자가 시행한 환경영향평가에 대한 결과보고서(환경영향평가서)는 사업승인에 관련된 부처 또는 지방자치단체에서 검토하게 된다. 외국에서 환경영향평가서에 대한 검토과정은 대부분 주관기관이 담당하고 환경부는 협조기관으로서 의견을 제시하는 제한적 역할을 담당하고 있으나, 우리나라의 경우 환경부에서 협의권을 행사하는 등 상당히 강력히 개입하고 있다.

나) 평가항목과 범위의 확정 (스코핑)

외국의 제도 및 철도사업 환경영향평가 사례에서 확인할 수 있듯이 환경영향평가 시 평가하는 항목의 종류와 그 내용의 기본적인 사항은 별로 다르지 않다. 그러나 미국, 일본, 프랑스 등 대부분의 국가에서는 당해 사업에 대하여 중점적으로 평가하는 항목과 범위를 스코핑을 통하여 자율적으로 결정할 수 있도록 하고 있다.

우리나라에서 2003년까지 시행하던 환경영향평가는 정해진 수의 항목(23개)에 대해서만 시행하였으며, 대상사업별 주요 평가항목이 환경영향평가서작성등에관한규정의 별표1에서 규정되어 있으나 실효성이 없었다. 그러나, 최근 환경부에서는 환경·교통·재해등에관한영향평가법을 개정하면서 스코핑 관련 규정을 마련하였다¹⁵⁾. 신설된 조항의 주요 내용으로는 1) 사업자는 환경영향평가서작성계획서를 승인기관의 장에게 제출하고, 2) 승인기관의 장은 평가항목·범위확정위원회를 개최하여 심의를 실시하며, 3) 평가항목·범위확정위원회는 지역주민의 의견을 들을 수 있으며, 4) 심의는 45일 이내에 완료하되 15일 범위 내에서 연장할 수 있도록 하고 있다.

14) 본 연구에서 수록한 국가 외에도 유럽연합, 네덜란드, 캐나다, 남아프리카공화국 등에서 철도사업을 평가대상으로 하고 있음. (참조: 환경부, 2004. 「환경영향평가 협의·관리 표준화 및 스크리닝제도 등 평가항목·대상별 평가내실화방안 연구」 중에서 평가대상사업 선정의 적정성 검토 및 개선방안)

15) 법 제29조의 3~7항(2003. 12. 30신설) 및 동법 시행령 제25조의 2~6항(2004. 6. 29신설).

상기 스코핑제도를 반영하여 평가를 시행할 경우 각종 이해단체 등과의 합의를 유도하고, 공공의 의견을 수렴해서 환경영향평가 시행 이전에 평가항목, 범위 등 평가시행방법에 대한 제반사항이 미리 결정되기 때문에 사후에 조사부실 및 사회적 갈등으로 인한 문제가 제기될 가능성을 줄어드는 등 매우 긍정적으로 작용할 수 있다.

다) 노선기본계획 수립에 대한 전략환경평가

철도건설사업에 대해 환경성을 평가하는 단계는 1) 노선기본계획 수립을 평가, 2) 결정된 노선에 대해 환경영향을 저감하기 위한 대책과 기술을 적용하기 위한 평가 등 두 단계로 크게 구분할 수 있으며, 이들에 대하여 각각 보고서를 작성·공람하고 의견을 듣게 된다. 이들 두 단계 중에서 노선을 선정하는 노선기본계획단계는 철도사업이 주변 환경에 미치는 영향을 거의 결정하는 단계로서 가장 중요한 평가시점이라고 할 수 있다.

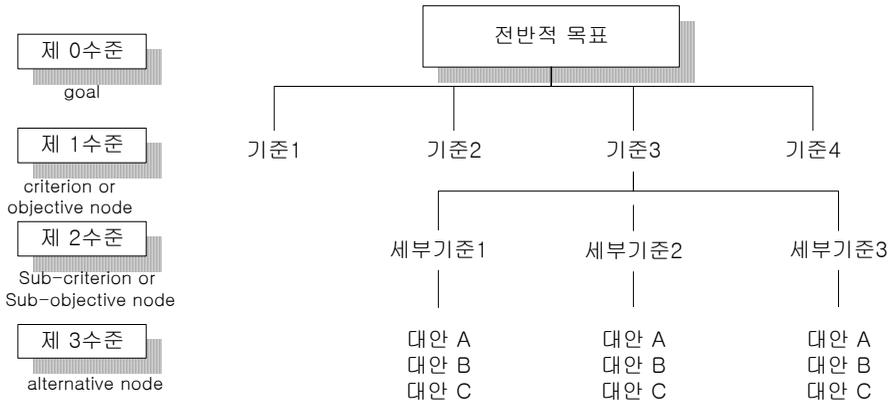
미국, 홍콩, 일본, 프랑스, 영국 등 본 과제에서 확인한 외국의 경우에는 노선계획단계에서 환경성을 함께 고려하여 노선선정에 대한 평가를 시행하고 있다. 우리나라의 경우 각종 철도사업의 노선기본계획 수립 및 예정지역의 지정 등 행정계획 수립시 사전환경성검토를 시행하게 되어 있으나, 사전환경성검토가 2000년 이후 본격적으로 시행되고 있으므로 아직 사전환경성검토를 위해 환경부의 의견을 들은 사례는 아직 없었다. 그러나 철도와 같은 국책사업을 차질없이 시행하기 위해서는 환경분쟁에 미리 대처할 수 있도록 전략환경평가 개념을 도입하여 노선선정시 경제성, 시공성, 사회문화적 영향 등과 함께 환경성을 함께 고려하는 것이 거스를 수 없는 대세이다.

건설교통부에서는 최근 호남고속철도의 노선기본계획을 수립하기 위하여 노선선정시 환경성을 함께 고려한 전략환경평가를 시행하고 있다¹⁶⁾. 노선대안으로는 서울시점부에서 2개 노선대안, 천안아산에서 익산 사이에 3개 노선대안을 설정하였다.

호남고속철도 노선대안에 대한 평가를 위하여 다기준의사결정(Multi-Criteria Decision Making) 방법 중에서 계층화분석법(AHP; Analytic Hierarchy Process)을

16) 건설교통부. 2003a. 「호남고속철도건설 기본계획 조사연구 용역: 환경조사」. p.296.

이용하고 있다. 계층화분석의 시행단계로는 1) 계층구조의 설정, 2) 전문가조사 (Expert Survey), 3) 가중치설정, 4) 대안별 점수 산정, 5) 최적대안 선정결과 검토 및 일관성검증 등의 단계를 거쳐 평가를 시행하고 있다¹⁷⁾. 이들 분석에 사용된 검토항목의 계층구조에 대한 모식도는 <그림 4-11>에 제시하였다.



<그림 4-11> AHP기법에 의한 평가항목의 계층구조 모식도

검토항목으로는 교통 및 사업성측면, 정책적 측면, 기술적 측면, 환경, 문화재 등 5개 분야의 대분류 항목을 선정하였다. 그 하위의 20여 개 중분류 항목으로는 교통수요, 사업비, 경제성, 재무성, 지역경제효과, 관련계획 일치성, 지역의 사업추진의지, 지역균형개발효과, 철도기술, 시공기술, 지형, 동·식물상, 토지이용, 수리·수문 및 수질, 소음·진동, 경관, 문화재의 이격거리, 문화재 경관 및 상징성 등을 선정하였으며, 세부적으로는 50개 소분류 항목을 설정하여 평가하고 있다¹⁸⁾.

호남고속철도 노선기본계획에 대한 전략환경평가에서 대분류 환경분야에 대한 정량화기법 적용항목은 다음 <표 4-12>에 제시하였다.

17) 이춘원, 김임순. 2004. AHP기법을 적용한 전략환경평가: 호남고속철도 기본계획을 중심으로. 한국환경영향평가학회 추계학술발표회 자료집 「환경영향평가와 전략환경평가의 도입방안」.

18) ibid.

<표 4-12> 호남고속철도 노선기본계획의 환경분야 정량화기법 적용항목

중분류	소분류	검토기준
지형	절토/성토	20m이상 절토 및 10m이상 성토구간
	특이지형	특이지형 유무 및 통과 개소수
동·식물상	법적보호종 서식지	법적보호종 서식유무 및 서식지역의 수
	녹지축 단절	녹지축 단절지역 발생연장
	녹지자연도	녹지자연도 7등급이상 훼손통과 구간
토지이용	보존/보호지역	보존 및 보호지역 통과 개소수
	지역단절	지역단절구간 개소수
	철거가옥	철거가옥수
수리·수문 및 수질	상수원보호	상수원보호구역 통과 개소수
	하천/호소	하천/호소 횡단 총 연장
소음·진동	환경기준	목표연도에 환경기준을 초과하는 가구수
경관	경관위해성	경관영향을 받는 조망지역(마을, 도로)의 수
	경관변화구조물	경관변화를 유발하는 구조물(터널, 교량)의 수

자료: 건설교통부, 2003a. 「호남고속철도건설기본계획 조사연구 용역: 환경조사」.

호남고속철도 노선기본계획에 대한 전략환경평가는 국내 철도사업의 환경영향평가 수준을 진일보시킨 사례이다. 향후 환경영향의 정량화에 사용된 검토기준과 평가기법 등에 대한 연구가 지속적으로 수행된다면 철도분야만이 아니라 타 사업에 대해서도 참조하여 적용할 수 있을 것이다.

호남고속철도의 노선기본계획 수립을 위한 환경평가에 있어서는 전문가집단에 의해 평가항목과 평가방법, 범위 등이 선정되었다. 향후 타 사업에 있어서 노선기본계획 등 계획(plan) 수준의 전략환경평가를 시행할 경우 전문가집단이 평가항목과 평가방법을 일차적으로 선정하되 평가항목·범위확정위원회의 심의절차를 함께 이용하는 것이 효율적인 방안으로 판단된다. 다만 평가항목·범위확정위원회는 환경영향평가에만 제도화되어 있고 아직 시행한 사례도 없으므로, 앞으로 환경영향평가기위원회의 심의사례를 늘리는 한편 계획단계까지 평가항목과 범위를 확정하기 위한 심의를 확대적용할 수 있도록 규정을 마련하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

제5장 철도사업의 효율적 환경영향평가를 위한 개선 방안

본 장에서는 생태계, 지하수, 토양, 소음 등 4개 항목에 대하여 철도사업에 의한 환경영향을 예측하고 저감방안을 모색하였다. 이들 항목은 가급적 철도사업의 환경영향을 특징지을 수 있는 내용을 가진 것으로 선정하였으며, 환경영향이 적지 않더라도 사업과 유사한 방식의 예측·저감기술이 적용될 수 있는 항목들(예; 토지이용, 수질, 폐기물 등)은 제외되었다. 또한 이들 항목의 선정시 제3장의 환경영향 특성에 대한 분석자료, 자문회의 개최를 통한 의견수렴, 연구진 내부 워크샵 등을 활용하였다.

1. 생태계에 대한 영향예측 및 저감방안

가. 서론

철도, 도로 등 육상교통이 자연환경에 주는 영향은 식물과 동물에 대한 직접 훼손, 서식지 훼손, 생태계 단절과 생물서식공간의 단편화 등 생태계에 대한 영향 등을 들 수 있다. 이러한 영향은 시간적 경과와 함께 지역 생태계 전체로 확대해 가고 최종적으로는 생태계 균형이 무너지는 경우도 있다. 본 연구에서는 철도사업이 동·식물 및 생태계에 미치는 영향을 구분·정리하고, 생태계가 문제시된 여러 사례를 알아봄으로써 향후 실효성있는 저감대책을 마련할 수 있는 연구의 기초자료를 제공하고자 한다.

나. 철도사업이 생태계에 미치는 환경영향과 사례

1) 동·식물 서식(생육)지 훼손과 토지이용의 변화

철도 건설시에는 많은 적든 건설에 필요한 토지가 필요하게 된다. 그것은 철도용지 뿐만 아니라 공사용 임시도로와 자재보관장소 등에 사용되는 것도 있으며, 사면발생으로 인한 추가훼손지역도 있다. 이런 토지에 생육하고 있던 식물들은 건설로 인해 대부분 훼손되게 되며, 이동성이 높은 포유류, 조류 등을 제외한 대부분의 동물들도 사멸하게 된다.

철도사업으로 인한 지형변화 및 식물훼손지역 등 직접적인 영향에 대해서는 본 연구서의 제3장에서 상세히 수록하였다. 지표설정에 있어 동물 서식 및 식물 생육에 직접 영향을 미치는 토지이용의 변화를 정량적으로 분석하고자 하였으며, 노선 1km당 토지이용면적의 변화는 평가서에 수록된 자료가 없어 산정되지는 않았으나 노선 1km당 절·성토량 및 식생훼손면적, 자연림훼손면적 등은 파악할 수 있었다. 노선 1km당 절·성토량은 평균 124,226m³, 식생훼손면적은 평균 3,668m², 자연림훼손면적은 평균 1,841m² 등이었다.

상기 분석에 사용된 총 21개 철도사업 등의 자료는 부록에 수록하였다. 이러한 자료는 철도사업과 도로사업의 환경성을 비교하는 데에도 이용될 수 있을 뿐만 아니라, 철도의 개별사업간 환경영향을 서로 분석·비교하고 신규 사업의 노선설계가 자연환경에 미치는 영향을 평가하여 환경친화적 철도사업 설계를 유도하는 데 이용할 수 있을 것이다.

2) 생태계 단편화

생태계 단편화는 개체군의 단편화와 개체수의 감소로 이어진다. 개체에 대한 영향이 겹쳐 쌓이면 종의 유지가 불가능할 정도로 개체수가 감소하며, 그 생물종은 그 지역에서 생존하는 것이 불가능하게 된다. 하나의 종이 그 지역으로부터 소멸되면 그것에 의존하여 생활하는 생물에도 영향을 미친다. 그래서 먹이사슬에 연결되어 있는 생물에 잇달아 영향을 미쳐 시간 경과와 함께 영향이 확대해 간다.

철도사업이 생태계 단편화에 미치는 영향에 관해 상세하게 조사한 자료는 확인되지 않았다. 생태계 단편화로 인한 영향은 선형사업의 종류(철도, 도로, 파이프라인, 송전선로 등)에 따라 강도의 차이는 있을 수 있으나 기본적인 내용은 동일할 것으로 예

상된다. 철도와 비교되는 육상교통수단인 도로의 경우 생태계 단절 유형과 주요 영향은 <표 5-1>과 같으며, 이러한 단절 유형과 영향의 기본적 내용은 철도의 경우에도 거의 유사할 것으로 사료된다.

<표 5-1> 도로에 의한 생태계 단절 유형과 생태계에 미치는 주요 영향

단절 유형	토목공학적 형태	생태적 특성	생태계의 주요 영향
산 : 산	대절토부	극상림이나 우수한 임상이 많음	산림생태계 단절
산 : 평지	편사면, 성토부	동물상이 비교적 우수	양서·파충류와 소형 포유동물의 서식지에 영향
산 : 하천	편사면, 매립	동물들의 이동이 있음	양서·파충류와 수달의 이동에 영향
평지 : 평지	성토부	동물의 이동로가 불분명	양서·파충류의 서식지 단절
평지 : 하천	교량	수변부 생태계	수변부 생태계 훼손
하천 : 하천	교량	수생 생태계	수생 생태계 교란

자료: 한국도로공사, 2003. 「생태통로 설계기준과 주변 부대시설 조성방안에 관한 연구」.

철도사업에 의해 영향을 받을 것으로 예상되는 동물군은 육상이동성이 강한 포유류, 양서류, 파충류 등이라고 할 수 있으며, 일부 종은 선로아래에 만들어진 통로를 효과적으로 이용하기도 하지만 일부 종은 심각한 영향을 받을 수 있다. 이와 같이 선형사업에 의한 생태계 단편화는 일부 동물종의 이동에 근본적인 영향을 주게 된다. 일부 선형사업에 있어 생태계 단편화에 대한 구체적인 사례는 다음과 같다.

생태계 단편화가 동물개체군에 미치는 영향에 관한 고전적인 연구로서 알라스카 북부의 유전 개발사업에서 파이프라인 건설이 순록의 이동에 미치는 영향에 관한 것이 있다(Hinman, 1974). 25% 미만의 순록이 램프와 파이프라인 밑의 통로를 이용하여 통과했으며, 나머지 대부분은 파이프라인을 지나가지 않는 것으로 나타났다. 순록 무리가 파이프라인을 통과하는 것은 경험에 따라 순응도가 높아질 수 있다는 증거도 있었으며, 그 외에 무리별 성비와 나이, 곤충에 의한 영향, 계절 등에 의해서도 영향을

받았다.

직접적인 훼손이 적더라도 일부 동물종의 이동은 선형사업에 의한 영향을 받는 경우가 있다. 2002~2003년도에 환경영향평가가 시행된 765kV 울진-신태백 송전선로 건설사업(제1구간)은 강원도 삼척시 가곡면 일대의 험준한 산악지대를 통과하게 계획되었는데, 이러한 송전선로는 대략 지상에서 60~100m 이상의 공중을 지나는 것이었다. 생태계에 대한 환경영향을 저감하는 방안은 대부분 송전탑 공사시 공사설비를 진입도로가 아닌 특수공법(삭도, 모노레일, 헬기)을 이용하여 운반하는 것이었으며, 저감이 필요한 지점을 골라 효과적으로 적용할 수 있었다. 그러나 이러한 공중 송전선로와 송전탑 설치에 의하여 발생할 것으로 예측된 주요 환경영향은 공사시 및 운영시 산양서식지 단편화에 관한 것이었다. 산양(환경부 지정 멸종위기종)은 그 생태상 매우 조심성이 많은 동물이기에 송전선로에 의해서도 상당 기간동안 이동에 지장을 받으며, 가곡면 일대 산양개체군의 크기 추정치를 감안하였을 때 개체군의 존립에 영향이 있을 수 있고 이는 남한에서 산양 종보전과 관련 있는 것으로 산양전문가들에 의해 평가되었다. 결국 이를 저감하기 위한 최선의 방안으로서 사업자(한국전력공사)는 산양이 이동가능한 서식지를 최대한 원형대로 유지할 수 있도록 일부 선로를 북쪽으로 이동 배치하는 대안을 채택하였으며 현재 상당한 수준의 사후모니터링을 시행하고 있다.

3) 동물 교통사

동물의 생활·행동권 내에 철도와 같은 선형 시설이 설치될 경우에는 생활·행동권이 분단된 결과로 인해 물, 먹이, 번식 등의 장소에 접근하기가 곤란하게 될 수 있다. 서식지가 분단되었지만 동물은 생활사를 통하여 필요한 자원과 서식조건을 찾아서, 텃세권을 유지 또는 새로운 세력권을 가지기 위해서도 이동을 해야 하고 때에 따라서는 철도와 같은 선형 구조물을 횡단하게 된다. 또한 비행장과 같이 넓은 공활지를 이용하는 교통수단의 경우 이러한 지역을 선호하여 생활하는 야생동물이 증가하고, 비행기의 이착륙 및 운행시 철새이동을 비롯한 조류, 비행장 주변의 야생동물 등에 대한 영향이 발생한다. 이때 운영중인 교통수단에 의한 사망사고를 동물 교통사라

고 할 수 있다.

교통수단의 종류에 관계없이 한 지역에서 동물의 교통사를 결정하는 요인으로는 근본적으로는 (1) 교통수단의 운행강도(예, Vehicle miles of Travel)와 (2) 동물 개체군의 크기(개체수)라고 볼 수 있다. 이들 두 가지 요인이 증가할수록 동물의 교통사도 빈발한다고 생각되지만, 동물의 교통사를 결정하는 데에는 다른 요인들도 함께 작용하게 된다. 이러한 요인들로는 (3) 서식처 단편화의 형태, (4) 대상 동물의 종류와 행동범위, (5) 야생동물 충돌에 대한 운전자 교육, (6) 유도웬스 등 동물이동 보조시설물 관리, (7) 주변 서식지(숲 등) 가장자리에서 교통로간의 거리, (8) 교통수단과 교통로 자체의 유인성(구조, 조명 등), (9) 교통로의 입지(개발지, 농촌 등) 등이 있다.

동물 교통사는 자동차, 트럭, 기차, 비행기, 배 등 모든 교통수단에 의해 발생할 수 있다. 미국의 경우 교통수단에 의한 동물 교통사를 비교적 상세히 모니터링 및 연구하고 있는데, 이들 모니터링 자료는 비행기와 조류 등 야생동물간 충돌, 도로교통수단과 야생동물간 충돌 등 2분야로 크게 나누어 볼 수 있다(US EPA, 1999).

미국 연방비행청(FAA)은 1965년 이후 비행기에 의한 동물 교통사를 매년 모니터링하고 있다. 1991년부터 1997년까지 7년 동안 비행기에 의한 동물 교통사는 2,060건(1991년)에서 3,145건(1997년)(평균 2,421건/년)으로서 매년 증가하였으며, 이 기간동안 비행기와 동물의 충돌 때문에 비행기 파손 4건에 사망자 70명도 함께 기록되었다. 총 16,949건의 교통사 중에서 갈매기, 검정지빠귀, 캐나다기러기 등을 포함한 조류가 97%로 대다수를 차지하며, 나머지는 포유류 또는 일부 파충류였다. 비행기에 동물이 충돌한 사고는 실질적으로는 통계치보다 훨씬 많은 수의 충돌이 있을 것으로 예상되고 있다(US EPA, 1999).

미국의 고속도로안전정보시스템(HSIS)은 캘리포니아를 비롯한 8개 주의 고속도로에서 동물교통사를 모니터링하고 있다. 1985년부터 1991년까지 일리노이, 메인, 미네소타, 유타, 미시간 등 5개 주의 교통사에 대한 통계치를 보면, 이 기간동안 21,479건(1985년)에서 36,332건(1991년)(평균 29,760건/년)이며 매년 증가하였다. 주마다 종 구성에는 차이가 있지만 통계상 가장 흔하게 교통사를 일으키는 종은 사슴이며, 이 사고는 미시간주에서 99.7%, 미네소타주에서 90% 이상이였다. 또한 고미기여서 사슴의

이동이 활발한 11월에 교통사가 가장 빈발하였다. 미국의 경우 고속도로를 포함한 도로에서 교통수단에 의한 동물 교통사는 적어도 1백만 개체/일 이상일 것으로 예측하고 있다(US EPA, 1999).

한편, 이번 연구에서 파악한 각종 연구자료에 있어서 철도노선에서 동물 교통사를 모니터링한 사례는 확인되지 않았다. 다만, 미국 서부에서 초기 철도에서는 동물 교통사를 막을 수 있는 웬스 같은 보조시설을 설치하지 않았고, 이 시대의 철도 운행은 사냥꾼들보다 야생동물에 미치는 영향이 더 컸다고 보고되어 있다(Carpenter, 1994).

철도노선은 운영시 교통수단의 운행강도 측면에서 낮은 수준으로 나타나며, 이 때문에 도로에 비해 철도노선의 동물 교통사를 낮게 예상하게 된다. 그러나 동물 교통사는 교통수단의 운행강도 뿐만 아니라 동물 개체군의 크기를 비롯한 여러 요인들에 의해 영향을 받기 때문에, 일부 우수한 서식지를 지나는 철도노선에 대해서는 동물 교통사를 모니터링할 필요가 있다. 모니터링에 의한 결과가 있어야 동물 교통사에 대한 대책을 세우고 철도의 친환경성을 높이는 데 구체적 자료가 될 수 있다.

교통수단이 동물의 교통사에 미치는 환경영향의 실태를 파악하고 대처하는 문제에 있어서 우리나라에서는 이제 도로사업 분야에서 모니터링을 시작한 단계에 있으며, 따라서 새로운 연구치가 나올 때마다 동물의 교통사가 증가하는 것처럼 보이고 있고 이를 언론에서 보도하는 상황이다. 그러나 우리나라에서 동물 교통사에 대한 모니터링은 실시된 지 오래되지 않아 연도별 추계에 의한 실질적 변화를 반영했다고 보기는 어려우며, 점차 모니터링이 체계화되고 모니터링 구간도 늘어나면서 동물 교통사를 확인하는 기회가 증가되는 것을 반영한 것으로 보인다.

4) 수생태계에 대한 영향

철도사업이 수생태계에 미칠 수 있는 환경영향은 (1) 구조물 설치로 인한 강의 흐름과 제방의 안정성 변화, (2) 강의 이설, 습지의 단편화 또는 축소, (3) 물의 흐름에 따른 수위 변화, (4) 수질의 변화, (5) 건설시 식물상, 동물상, 생육(서식)지의 교란 등이 파악되었다(Carpenter, 1994). 우리나라의 경우 각종 개발로 인해 상대적으로 심한 환경영향을 받고 있는 강과 습지에 대한 영향은 수생태계에 대한 영향중에서 가장

중요한 부분이다. 미국에서는 각 주별로 교통수단의 건설과 습지의 소실, 새로운 습지(대체지)의 창출 등을 교통수단의 환경성을 평가하는 주요 환경지표로 이용하고 있다(US EPA, 1999).

내륙습지는 희귀 동식물의 서식지뿐만 아니라 습지에 서식하는 높은 생물다양성으로 인해 중요한 생태계 중의 하나이다. 습지의 단편화 내지 축소는 양서류와 같이 생활사중 습지를 이용하여야 하는 동물군에 대한 영향이 클 뿐만 아니라 종다양성에 미치는 영향을 크게 발생시킨다. 이들 습지 가운데 중·고층습원은 우리나라에서 희소성이 높은 유형이며, 대표적으로는 대암산 용늪과 정족산 무제치늪, 지리산 조개골늪 등을 들 수 있다.

우리나라에서 철도가 습지에 미치는 환경영향은 호수, 하천 및 수변(하천유역) 습지, 하구 등 다양한 지역에서 발생한다. 예를 들면, 낙동강 하천 및 수변습지인 화포습지(경전선), 군사분계선 북측의 기수호인 감호(동해선), 낙동강 하구 철새도래지(부산-김해간 경전철), 탄천생태계보전지역(서울 지하철3호선) 등이 있다. 그러나 정족산 무제치늪 등 중·고층습원에 대하여 철도 터널 굴착으로 인한 지하수 수위변동이 미치는 영향은 사회적으로 심각한 논란거리이다.

터널굴착이 산지 능선에 분포하는 중·고층습원의 수문에 미치는 영향은 크게 암반지하수와 습지 지표수간의 수체의 연결성, 습지의 수문학적 동태 등을 파악하여야 해결할 수 있는 문제이다. 일본의 사례를 들어보면(현대건설, 2003), 후쿠시마현 요코도 터널은 화산쇄설물 지대에 위치한 소규모 습지(다엔습지, 750m²)의 직하부를 지나 는 터널로서, 습지와 연계된 단층대를 통과시 파쇄대 주변 누수로 인해 지하수위가 저하되는 것으로 예측되었다. 이때 지하수위 변화량은 암반수위가 터널계획고까지 20m, 습지주변수위는 64cm, 이탄층 수위는 25cm 가량 저하되며, 예측된 습지수위 저하를 최소화하기 위해 Pilot터널과 시멘트밀크그라우팅을 저감공법으로 채택하였다.

철도사업이나 터널이 습지에 미치는 환경영향에 대해서는 향후 충분한 사례연구와 모니터링을 통해 구체적으로 파악되기를 기대한다.

5) 선로 주변의 변화

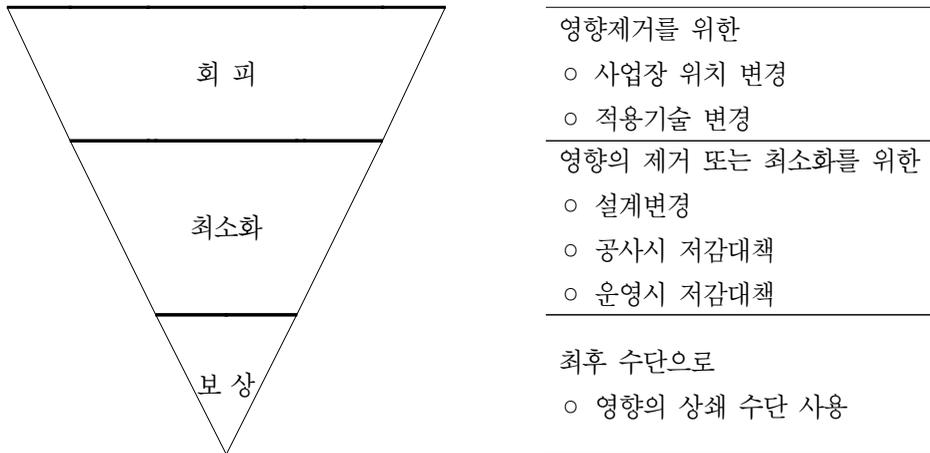
새로운 선로가 개설되면 선로운영을 위한 인위적 관리가 지속적으로 이루어지며, 선로주변의 초본과 목본식물을 계속 정리한다. 이러한 빈약한 환경에서는 선로를 따라 귀화종, 원예종, 도시형 종 등이 침입하게 된다. 전체적으로는 종수가 증가할 수 있으나 그 지역에 지금까지 서식하고 있던 생물의 종수가 감소하며, 새로운 종의 침입이 증가하여 결과적으로 기존 생태계의 균형에 변화가 발생하게 된다.

폐선로에서는 식생이 다시 발달하게 되는데, 천이 초기에는 선로의 자갈 토질에 잘 적응하여 뿌리를 내릴 수 있는 식물이 우세하게 나타난다(Carpenter, 1994). 우리나라의 경우 오래된 폐선로에서 식생의 천이에 관한 연구사례는 확인되지 않았으나, 외국의 연구사례와 근본적인 상황은 크게 다르지 않을 것이다.

다. 일반적 저감대책

인간에 의해 심어진 식생은 인간사회 주변에 흔하게 널려 있다. 그러나 이러한 인간에 의해 만들어진 녹지는 한번 훼손된 후에 만들어졌을 뿐만 아니라 다양한 미소생육환경을 제공하기 어려운 단순함에 있어 보호가치가 있는 종, 희귀종 등의 생육에는 대개 부적절하다. 오래된 숲을 식재를 통해 재현하는 것은 근본적으로 가능하지 않으며, 환경평가는 이러한 재생하기 어려운 지역에서 토지이용변화를 최소화하는 방안을 가장 효율적인 저감방안으로 채택하고 있다. 따라서 철도사업과 같은 선형사업의 경우에도 오래된 자연상태의 생육지, 종다양성이 높은 장소 등에 대한 보전방안이 우선시되는 것이다.

철도사업 계획 및 설계시 주요 동·식물상과 생태계에 대한 저감대책은 노선계획 선정시 주로 고려하여야 할 적극적 저감(회피)에서부터 영향의 제거 또는 최소화, 불가피한 경우의 보상대책보상 등으로 단계적으로 구분할 수 있다 (<그림 5-1>).



<그림 5-1> 중대한 영향 저감대책의 3단계

1) 현황조사 관련

동·식물상과 생태계에 대한 현황조사는 철도 노선계획의 선정에서부터 건설시, 운영시 모니터링까지 지속적으로 수행하게 된다. 적절한 현황조사가 바탕이 되어야 보호·보전대상을 회피하고, 영향을 최소화할 수 있게 대책을 수립하고 설계·시공할 수 있다.

또한, 생태계에 대한 영향은 식생의 소멸이나 동물의 행동권 축소 등으로 곧바로 나타나는 경우도 있지만, 조금씩 장기간에 걸쳐 누적되는 수도 많다. 생태계의 변화가 단기적으로는 적더라도 장기적으로 많이 될 가능성도 있으므로 장기적인 관점을 가지고 모니터링 등 생태계를 배려할 수 있는 계획을 수립하여야 한다.

철도사업 환경영향평가지 현황조사에 대해서는 김지영 등(2002)의 ‘환경영향의 합리적 예측 평가를 위한 기법 연구’에 종합적인 연구내용이 수록되어 있으며, 한국 환경정책·평가연구원 홈페이지(www.kei.re.kr)의 도로건설사업 사전협의서 및 환경영향평가서 동·식물상 항목 작성방법도 참고할 수 있다.

2) 노선계획의 선정시 환경영향의 회피

철도 노선을 계획하는 데 있어 가장 기본적인 수법은 현황조사 및 관련 자료를 이

용하여 생물의 분포상황을 파악하고 가장 영향이 적은 노선을 채택하는 것이다. 일반적으로 녹지자연도 8등급이상 및 생태자연도 1등급지역, 녹지보전지역, 자연생태계보호지역, 특정야생동식물보호지역, 해양생태계보호지역 등의 자연생태계 보전대상지역, 기타 자연성 및 종다양성이 높고 보호대상종의 주된 생육(서식)지가 있을 경우 최대한 우회하는 등 회피할 수 있는 노선을 선정한다.

하천과 습지에 대한 영향을 최소화할 수 있도록 우회노선을 채택한 사례로는 부산신항 배후철도 건설사업을 들 수 있다. 부산신항 배후철도 건설사업은 가덕신항만 건설에 따라 한국철도시설공단이 배후철도를 건설하는 사업이며, 사업시행자는 한국철도시설공단이다. 본 사업은 1999년 예비타당성 조사, 2000년 기본계획 수립, 2001~2002년 기본설계 등을 거쳐 2002년 12월 환경영향평가서 작성을 위한 조사를 시작하여 2004년에 평가서를 제출하였다. 당초 평가서(초안)에는 노선이 단일안으로 계획되었으나, 관계기관의 환경영향 검토 및 주민공청회 등의 절차를 거치는 동안 하천이설과 습지에 대한 영향, 주민들의 신설역사이전 요구 등의 문제가 제기되었다. 사업자는 이러한 의견을 받아들여 하천이설과 습지통과에 따른 생태계 영향저감 및 역사이전 등 노선을 변경할 수 있는 주요한 환경영향을 비교할 수 있도록 2개의 대안을 추가하여 환경영향평가를 계속 시행하고, 선호안(기본계획안)을 추가된 대안 2개중 하나로 변경하여 평가서(본안)를 작성하였다.

3) 구조물설계와 환경영향의 최소화

계획노선이 부득이 자연환경이 풍부한 지역을 통과하지 않으면 안될 경우에는 자연환경에 대한 영향을 최소화하기 위해 설계시 종적, 횡적 선형과 구조물 도입방안을 합리적으로 설정하여 환경변화의 면적과 강도가 최소화되도록 하여야 한다.

일반적으로 광범위하게 대절토가 발생하는 삼림구간에서는 가능한 터널구조를 채용하고 터널연장도 길게 확대하며, 성토가 다량 발생하는 구간에서는 가능한 고성토를 피하고 교량구조를 채용하여 개조 변경을 적게 할 수 있다. 또한 산림에서 터널입·출구를 선정할 때에도 공사시 진입도로 설치로 인한 부가적인 영향, 계곡 수계의 교란과 변형, 임상이 우수한 곳의 훼손 등을 고려하여 전체적인 영향을 최소화할 수

있다. 강과 수변부, 습지 등을 통과하는 교량의 경우 가능한 한 경간을 길게 하고, 습지 주요지점에 교각을 피하며, 전체적으로는 장대교량으로 설계·시공하는 것이 바람직하다.

이러한 터널과 교량 등의 구조를 채용하는 것은 생태녹지축의 보전을 위하여 필요한 대책이기도 하다. 터널과 교량 설계는 식생의 파괴를 최소화함과 더불어 야생동물(너구리, 멧돼지, 고라니 등)의 이동로 단절을 피할 수 있다.

터널과 교량 외에도 동물이동통로는 동물의 교통사와 서식지 단절로 인한 영향을 완화할 수 있다. 야생동물 이동통로는 대상동물군에 따라서 선호하는 이동통로의 유형이 달라진다. 대체로 포유류 중에서 우제류(멧돼지, 고라니, 노루)는 육교형 생태통로, 너구리, 오소리, 족제비 등은 육교형과 박스형 생태통로, 양서·파충류는 생태배수로, 육교형과 박스형 생태통로 등으로 알려져 있다(한국도로공사, 2003).

동물이동통로의 실효성을 높이기 위해서는 먼저 전문가에 의한 현장조사를 통하여 통로 설치위치를 결정하고, 이용대상종을 분석하고, 통로의 종류를 결정하고, 통로와 부대시설을 건설하고 사후모니터링을 통해 문제점을 보완해나가게 된다. 도로사업의 경우 동물이동통로의 설계형식과 규모, 부대시설(유도웬스, 탈출로가 있는 측구, 동물 출현예상지점의 주의표지판 등)에 관해서는 비교적 많은 연구자료가 있다(예, 동신기술개발, 1999; 건설교통부, 2003b; 한국도로공사, 2003; 환경부, 2003b). 그러나 철도사업의 경우 동물의 교통사에 관해 모니터링이 이루어지지 않았고 동물이동통로의 효용성에 관해서도 파악된 자료가 거의 없는 형편이다. 본 연구의 한계이기는 하나 향후 철도사업의 특성을 고려한 동물이동통로 설치방안에 대하여 연구성과가 있기를 기대한다.

4) 불가피한 영향의 보상

불가피한 영향에 대한 보상대책을 강구하는 단계의 저감방안이며, 노선 조정과 설계변경 등을 통해서도 해결되지 않은 영향에 대한 저감대책이다. 구체적으로는 영향 지역의 환경을 재생 또는 복원하는 것, 다른 장소에 훼손된 것과 동등한 가치를 가진 것을 대체하는 방법이 있다.

계획된 장소를 이용하고 다른 장소에는 훼손된 것과 동등한 가치를 가진 것으로 대체하는 방법으로는 습지 상실에 대한 보상대책을 들 수 있다. 미국에서는 습지 상실이 불가피할 경우 동등한 가치를 가진 습지를 복원하거나 또는 새로운 습지를 조성하여 국가의 습지 총량을 유지하도록 "No Net Loss" 정책을 시행하고 있다. 이러한 습지에 관한 정책에 따라 사업자는 양적인 측면(습지의 면적)과 질적인 측면(습지의 가치와 기능)에서 사업시행 이전과 동등한 수준 이상을 유지하여야 한다. 미국의 Federal Aid Highway Program에 의해 1996~1998년 사이에 도로건설로 상실된 습지는 4,537에이커, 보상된 습지는 10,815에이커로서 6,278에이커의 습지가 증가하였다 (US EPA, 1999). 사업시행 후 습지면적이 증가함으로써 양적인 측면은 충족하였으나, 습지의 가치와 기능에 대한 판단에 대해서는 확립된 장치가 없기 때문에 이러한 보상을 통한 습지훼손의 저감대책에 대해서는 여전히 논란의 여지가 있다.

라. 향후 연구 방향

제3장과 본 장에서는 철도사업이 동·식물상과 생태계에 미칠 수 있는 환경영향을 파악하고, 환경영향평가서 분석과 정량적 지표 설정을 통하여 도로사업에 비해 철도사업에서 가중 또는 저감될 수 있는 영향을 비교분석하였다. 그러나 철도사업이 자연 환경에 미치는 환경영향에 관해서는 기존에 연구된 자료가 많지 않았으며, 상당 부분은 대비되는 육상교통수단인 도로에서 연구된 자료에 의존하였다. 또한 현재로는 철도사업에 대한 조사자료가 충분하지 않아 도로에 대하여 적용하는 저감대책을 적용할 경우 예상되는 차이점은 충분히 파악할 수 없었다.

향후 동·식물상과 생태계 부문에서는 철도사업에 의한 영향을 충분히 파악할 수 있도록 중장기 모니터링을 시행하고, 이러한 기초자료가 모여야 철도사업의 친환경성을 제고할 수 있는 실질적인 방안이 마련될 것이다. 또한 철도사업의 설계 등 특성을 파악하고 이러한 부분이 생태계 단절에 미치는 영향을 예측하며, 운영시 동물의 교통사와 동물이동통로의 실효성을 파악하고, 이동통로로서 작용할 수 있는 저감방안을 마련하는 등 기본적인 연구를 수행하여야 할 것이다. 터널의 지하수 변동이 상

부 식생과 습지 등을 포함한 생태계와 식물의 생리활성에 미치는 영향, 외래종 침입의 영향과 저감대책, 폐노선에서의 천이경향 등 부가적인 연구도 필요한 것으로 사료된다.

2. 지하수 영향분석 및 평가방안

가. 서론

국내 환경영향평가 실시의 근거가 되는 환경·교통·재해등에관한영향평가법 및 동법 시행령의 규정에 의하면, 철도법, 도시철도법 및 고속철도건설촉진법상에 명시된 모든 철도건설사업 중 총길이 1km 이상인 경우에 있어서는 사업계획 또는 실시계획 승인 이전에 철도건설 공사 및 운영시 발생할 수 있는 모든 환경적 영향에 관하여 환경영향평가를 실시하게 되어 있다.

그간 시행되어 왔던 철도사업 관련 환경영향평가에서는 철도교량 및 구조물 공사시 수질환경 악화 및 소음·진동 영향, 철도차량 운행시 대기질 악화 등이 주요 평가 대상이었으나, 최근에는 상기와 같은 기본적 평가항목에 더불어 계획노선 구간 내의 생태환경적 변화, 역사 및 정비창 운영시 토양오염, 터널 굴착시 지하수 유출 등 다양한 분야의 항목들이 영향평가의 대상으로 포함되고 있는 실정이며, 그의 중요성은 갈수록 증가하고 있다. 특히 철도터널 굴착에 따른 지하수 유출 및 그로 인한 주변 환경영향에 대한 평가는, 그 범위 및 수행 방법, 수행 결과에 대한 판단 결정이 비교적 명확히 이루어지는 평가 항목이므로, 2003년 이후 실시된 철도건설사업 환경영향평가 전반에 걸쳐 터널지하수 유출에 대한 영향평가가 수행되고 있는 실정이다.

철도관련사업에서 터널 지하수 관련 환경평가는, 공사시 터널지하수 유출과 그에 따른 지하수변동이라는 특수성으로 인해, 역사 입지 및 노선 선정이 완료된 초안 단계 시작되는 경우가 대부분이며, 특히 지하수 변동에 대한 환경평가는 터널 굴착으로 인한 계획노선 주변 생활용 지하수의 수량 변화 예측을 주목적으로 하며, 지하수량

변화 예측은 수치해석적 지하수유동모델링 방법을 사용한다.

그러나, 상기의 평가방법은 산악터널과 같은 암반굴착공법이 적용되는 터널 구간이 계획된 노선에 한정되어 시행중이며, 도심지 지하철과 같은 완전개착구간이나, 지하수 사용 현황 추정이 실질적으로 불가능한 노선에 대해서는 실시하지 않고 있다.

또한, 터널공사에 따른 지하수위 및 지하수량 변동에 대한 법적-제도적 판정기준이 객관적으로 설정되어 있지 않은 상태이므로, 환경평가결과 지하수량 변동이 우려할 만한 수준에 도달하였다 하더라도, 이를 제도적으로 규제할 수 있는 방법은 현실적으로 부재하다고 할 수 있다.

터널 굴착에 따른 지하수 유출에 관한 국외 연구는 1960년대 말 이후부터 북유럽 및 일본의 도로터널, 에너지 저장용 또는 방사능폐기물 처분용 터널 등의 굴착 사례 등을 비롯하여 다수의 연구가 현재까지 진행되고 있으나, 주로 대수층-터널 구간의 지하수 유동 메카니즘 규명 및 지하수의 터널 내 유출 방지를 위한 최적의 공학적 설계공법 제시 등이 주된 연구 결과이며, 철도건설사업 지하수 환경영향평가 및 의사결정에 관련된 연구 보고 및 문헌자료는 거의 찾아보기 힘든 실정이다. 국내의 경우, 고속철도의 도입 및 초장대터널 굴착, 그로 인한 다양한 환경영향이 관심의 대상이 되고 있으며, 터널지하수 유출로 인한 고산 습지 생태환경 영향성 등은 이미 사회적으로 논란의 대상이 된 적이 있으므로, 향후 이러한 분야에 대한 환경과학적 연구 성과 및 환경평가 측면에서의 개선점 등은 크게 증가할 것으로 사료된다.

본 장에서는 철도건설사업시 터널 굴착에 따른 지하수 영향 분석 및 환경평가와의 연관성을 목적으로 하고 있으며, 다음과 같은 내용의 연구가 수행되었다.

- 철도건설사업시 터널지하수 환경 영향 관련 국외 사례 분석
- 터널 굴착시 지하수의 유출과 그로 인한 주변 지역 지하수환경의 영향에 관한 평가 방법(지하수유동모델링) 및 결과 분석 과정, 실제 평가 사례 분석
- 각 평가 사례의 예측 결과에 따른 최종 환경영향 유무 의사결정 및 환경영향 저감을 위한 저감방안 설정
- 향후 철도터널 관련 지하수 환경영향평가에 관한 전망 및 대책 제시

나. 철도터널 관련 지하수 영향 국외 사례분석

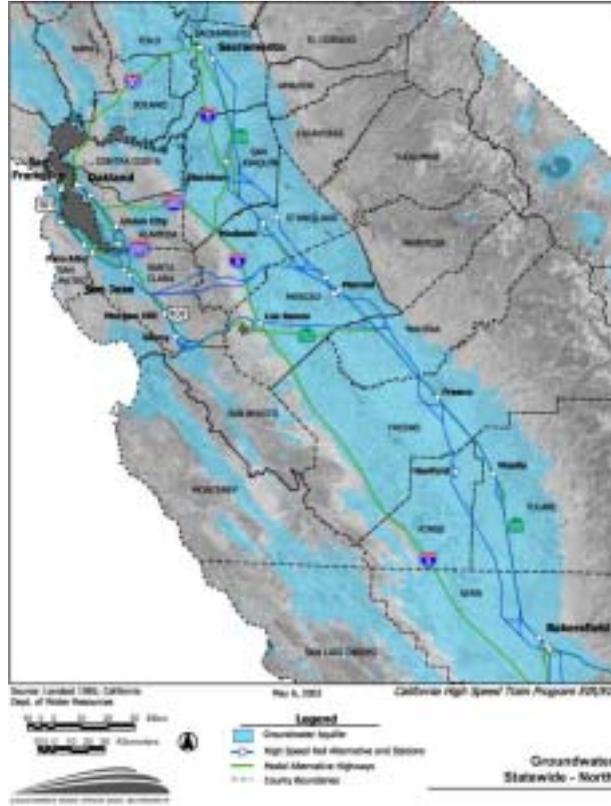
1) California High-Speed Train System

본 사업은 미국 캘리포니아주 서부의 지상 및 항공 교통량 폭증 및 교통혼잡 해소, 태평양 연안 거대도시간 효율적 교통 연결 및 교통 서비스 강화, 항공편과의 연계 강화, 도시간 여행시간 단축 등을 목적으로 시작되었으며, 1996년 미국 캘리포니아 주 의회가 설립한 캘리포니아 고속철도국(California High Speed Rail Authority)의 주관 하에 총 연장 1,127km, 최고 시속 322km의 고속철도 건설을 목표로 하고 있다. 본 고속철도는 캘리포니아 중서부 연안 대도시 2곳(San Francisco와 Sacramento)을 출발점으로 하여, 중남부 중소도시(San Jose, Merced, Fresno, Bakersfield) 및 Los Angeles 일대 위성도시(Burbank, Riverside, Anaheim, Irvine)를 거쳐 최남부 San Diego를 종착점으로 하고 있다.

본 철도건설사업에 관한 환경영향평가서 초안은 캘리포니아 고속철도국 및 연방철도청이 공동으로 작성하여 2004년 1월 20일 최종 완성되었으며, 캘리포니아 고속철도국 인터넷 홈페이지에 게재되어(<http://www.cahighspeedrail.ca.gov>) 일반에게 공개되었다. 본 평가서 초안은, 노선입지가 확정된 후 공사시 및 운영시 환경적 영향만을 평가하는 국내 평가서 초안과는 달리, 노선 구간별 사회·경제적 환경 영향, 소음 및 진동 문제, 노선 내 역사 유물 및 고고학적 중요 유적, 자연보전구역에 미치는 영향, 수자원에 미치는 영향 등을 노선 선정 이전 상위 계획 단계에서 정성적으로 평가하고, 그에 따른 영향의 최소화를 위해, 노선 소구간에 대하여 총 100여 개가 넘는 대안노선을 제시하고 이를 상호 비교하는, 일종의 사전환경성검토의 성격을 띠고 있다.

캘리포니아 태평양 연안 지역은 지질학적으로 매우 불안정한 지진활성대 내에 포함되어 있고 연간 강수량이 평균 500mm 이하인 건조 기후를 나타내기 때문에, 대규모 토목사업 시행시 지질재해 및 지반안전성, 수자원 영향 등이 매우 중요한 환경적 이슈로 대두되며, 본 고속철도사업에서도 예외는 아니다. 본 평가서 초안에서는 총 사업노선을 5개 구간으로 구분하여, 각 구간에 분포하는 하천 및 범람원의 수 및 면적, 지하수 대수층 면적, 개별 수자원의 수질, 노반 부설 및 터널 굴착에 따른 토사

유출과 수질 영향 등을 주로 지리학적 전산 자료를 이용하여 평가하였다.



<그림 5-2> CHST 노선 예정지역(북측)의 지하수 대수층 분포

<그림 5-2, 3>는 사업노선 전 구간에 분포하는 지하수 대수층의 면적을 GIS 자료를 이용하여 도면상에 명시한 것이다. 두 그림에서, Bakersfield~Los Angeles 구간 및 Orange County~San Diego 구간을 제외한 모든 사업노선이 비교적 부존량이 풍부한 지하수 대수층을 통과하는 것으로 나타남에 따라, 해당 구간에 대한 노반 공사 또는 역사 신설 등에 있어서 절토로 인한 지하 대수층 지하수원 영향, 터널 예정 구간에서 터널 굴착에 따른 대수층 지하수 유출 영향은 노선 선정에 있어서 중요한 고려 사항 중 하나가 되었다. 또한, 해당 구간이 대부분 지형 구배가 거의 없는 평지로 구성되어 있기 때문에, 절·성토 및 개착에 의한 노반 부설이 고속철도 노반 형태의 대부분을

차지할 것으로 예상되는 바, 대수층 천부 지하수원이 영향을 많이 받을 것으로 판단되었다. 따라서, 캘리포니아 고속철도국은 이와 같은 지하수 영향에 관한 저감방안으로 다음과 같은 사항을 제시하였다.

- 지하수 함양 및 침투 시스템에 관한 각 대안노선별 잠재적 영향 가능성 평가
- 철도공사에 따른 천부 지하수 유출을 확인할 수 있는 노선 지역의 확인
- 지하수의 함양 및 배수에 관한 상세한 현장조사
- 기타 지반공학적 연구 자료와 연계한 지하수 영향 분석 실시

앞서 언급한 것처럼, 본 철도사업에 관한 평가서 초안은 국내의 환경영향평가 절차에 대비하여 볼 때, 전략환경평가 또는 사전환경성검토 단계에 해당되는 사안을 기술하고 있어, 공사시 및 노선 운영시 발생하는 상세한 환경적 영향을 초안 단계에서 도출하는 국내 통합영향평가법의 개념에는 적용하기 다소 어려운 점이 있다. 그러나, 향후 국내 철도건설 사업에서도 노선 선정에 관한 상위 계획 단계에서의 환경성 검토가 수행된다면, 본 캘리포니아 고속철도 사업의 환경영향평가 초안은 환경평가 보고서의 작성 기법이나 세부적 평가 방법, 수행 내용 등에 있어서 충분히 벤치마킹의 대상이 될 수 있는 사업으로 판단된다.



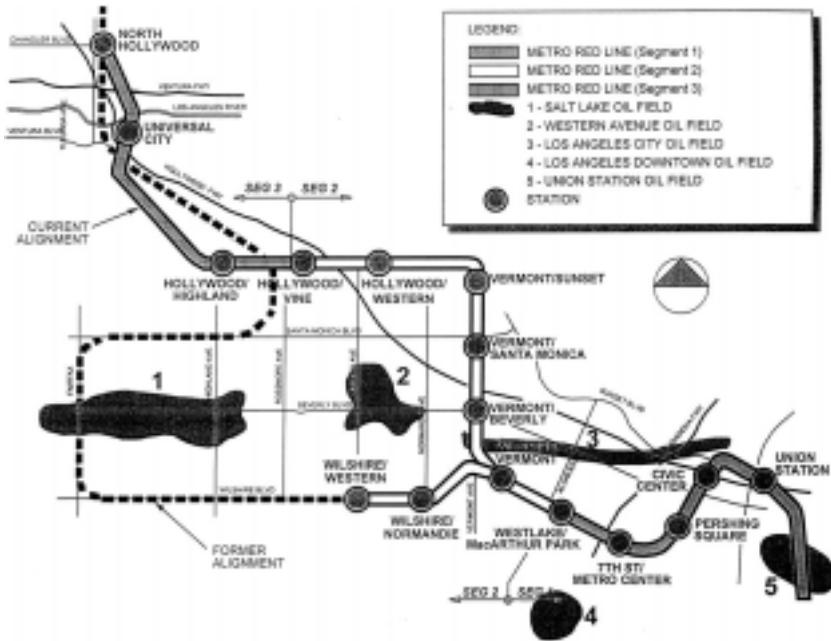
<그림 5-3> CHST 노선 예정지역(남측)의 지하수 대수층 분포

2) Los Angeles Metro Rail Project

본 철도사업은 1953년 Los Angeles County 내 Long Beach와 San Fernando Valley 를 잇는 모노레일 건설을 포함한 쾌속열차시스템 개발 타당성 검토에서부터 시작되 었으며, 수십 년 간의 논의를 거쳐 1980년 경량 열차 및 일반 철도, 연계 버스 노선을 혼합한 총 연장 480km의 쾌속열차시스템이 승인되었다. Stirbys 등(1999)은 상기의 쾌속열차시스템 중, Los Angeles 북서부 North Hollywood를 기점으로 중심가 Union Station까지 총연장 37km(16개 역)의 일반 철도(Metro Rail)에 대한 지질학적, 지반공 학적, 수리지질학적 연구를 실시하였다. 대략적인 노선도는 그림에 도시되어 있다. Metro Rail은 1981년 기본설계가 시작되었고, 본격적인 공사는 1986년부터 3단계로

구분되어 실시되었으며, 1993년~98년 사이에 전 구간이 모두 완성되어 현재 운영중에 있다.

본 철도사업은 37km 전구간에 대하여 직경 6m의 TBM을 이용한 굴착 방식을 채택하였기 때문에, 지표를 개착하여 굴착장비를 인입하고 복공판을 덮는 등의 지표 개변 및 교통 혼잡 문제는 거의 없었으나, 장기적인 터널 공사로 인해 발생하는 지질 재해, 지하수 오염 및 지표면 건축물의 영향 등이 주요 이슈로 대두되었다. 실시설계시 대두된 주요 환경 영향은 다음과 같은 것이 있다.



<그림 5-4> Los Angeles 중심부 Metro Rail 사업의 노선도

가) 지진 활동도 및 단층 분포

Los Angeles는 태평양 연안의 대규모 활성 단층인 San Andreas 단층에 매우 인접하고 있어서, 리히터 진도 3 이상의 지진이 매년 수백 차례 발생하는 바, 지상 및 지하 구조물 공사시 지진 발생 가능성 및 내진 설계에 만전을 가해야 하며, 본 철도사업도 예외는 아니었다. 또한 <그림 5-5, 6>에 도시되었듯이, 사업 구간 내 약 8m 규모의

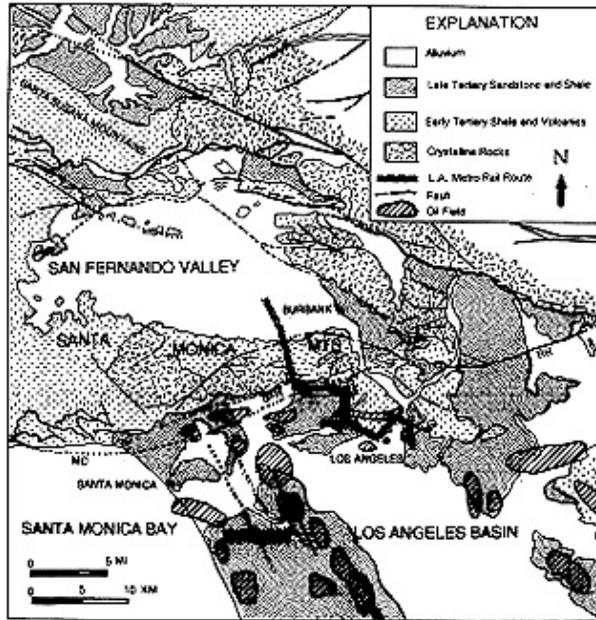
단층대가 통과하며, 터널 경로에 따라 단층 연약대의 잠재적인 붕괴 가능성이 매우 높은 것으로 조사되었다.

나) 기체상 유출로 인한 지하 봉락 및 터널 대기질 오염

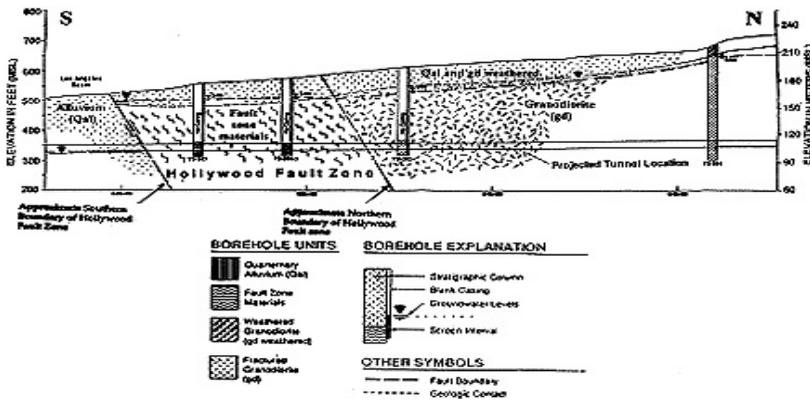
Los Angeles 지역의 지표 하부 곳곳에는 가연성 메탄 및 독성 황화수소가 가스상으로 응축되어 지하 공극을 채우고 있으며, 본 철도사업 터널 경로에도 조사결과 대규모 가스층이 존재하고 있어, 적절한 환기시스템이 마련되지 않을 경우 응축 가스의 폭발 가능성 및 굴착시 터널 봉락이 예측되었다.

다) 폐쇄 유정 영향

19세기 말부터 시작된 Los Angeles 중심가에서의 유전 개발은 10년을 지속하지 못하고 20세기 초 종료되었으나, 1000여 개가 넘는 유정이 적절한 폐공조치 없이 현재 까지 방치되고 있으며, 본 철도사업 노선에서도 2곳의 폐쇄 유전지대를 통과하게 되어 있는 바(<그림5-4>), 터널 굴착에 따른 가스 폭발 및 작업 인원의 질식, 굴착 장비의 파손이 우려되었다.



<그림5-5> Los Angeles 지역 일대의 지질도



<그림 5-6> 사업노선 북서부 Hollywood 단층대의 횡단면도

라) 터널 굴착에 따른 오염 지하수 이동
 폐쇄 유전지대 주변의 지하수는 고농도의 TPH 및 황화수소로 크게 오염되어 있으며, 터널 역시 이러한 유전지대를 통과하게 되어 있어, 굴착시 오염 지하수의 유출이

예상되며, 유출 지하수의 처리가 제대로 이루어지지 않을 경우 방류 하천인 Los Angeles River의 오염이 크게 우려되었다. 또한 산악지형 터널 통과시 지하수 유출로 인한 지하수원 고갈에 대해 적절한 방지대책이 필요한 것으로 분석되었다.

상기와 같은 지하수 환경의 영향을 최소화하기 위하여 수많은 조사 및 분석이 수행되었고, 최종적으로 다음과 같은 구체적 저감대책이 수행되었다.

- 치밀한 지진과 및 단층 활성도 분석을 통해 사업노선 내 지진 위험성이 가장 높은 구간을 선택하고, 해당 터널 구간에 대해서는 터널 라이닝의 보강, 굴착 직경의 확장(정상구간은 3.0m, 지진예측 구간은 4.3m로 설정) 및 비원형 터널 단면 채택 등의 대책을 실시설계에 반영하여 사업을 시행

- 가스상 물질 부존 구간에서는 터널 굴착시 25mm 두께의 고밀도 폴리에틸렌 (HDPE) 막으로 케이싱하여, 유독 가스상의 터널 내 침투를 원천 봉쇄하고, 가스상 농도에 따라 자동적으로 변환되는 특수 환기시스템을 도입하여 터널 굴착 및 운영시 사용

- 터널 굴착 이전에 폐유정을 조기 발견하기 위해서, 터널 막장부에서 60m 길이의 수평공을 천공하여 전극을 삽입한 후 자력계를 작동하여, 유정 굴착시 사용했던 금속성 케이싱의 위치를 파악한 후 이를 제거

- 프리그라우팅을 통해 폐유전지역 인근의 지하수 유출을 최소화하고, 유출된 오염지하수는 전량 차집하여 현장에서 처리한 후 방류함

본 철도사업은 1) 활성 지진대 상부에 터널 굴착이 실시된다는 점, 2) 도심 내 폐유전 잔존이라는 보기 드문 특수성으로 인해 터널 굴착시 유류로 극심하게 오염된 지하수가 유출된다는 점, 3) 가연성 가스상의 지하 하부 부존으로 인해 터널 굴착 공사시 폭발 및 인명 질식 등의 사고 위험성이 매우 높은 점 등, 일반적인 철도터널 공사에서 흔히 관찰되지 않는 환경 영향이 대두되는 바, 국내 철도사업의 환경평가에 적용가능한 항목의 도출에는 다소 어려움이 있을 수도 있다. 그러나, 지하수 유출량 최소화를

위해 프리그라우팅을 전 구간에 대하여 본선터널 굴착 이전에 실시한다는 점과, 유출 지하수를 오염 성상에 알맞게 적정 처리하여 작업 현장 외부로 배출한다는 점은 국내 철도사업 관련 터널공사와 비교하여 볼 때 시사하는 바가 크다.

다. 국내 지하수 환경평가 사례

2003년 이후 환경영향평가가 실시되었던 14건의 철도건설사업 중 암반터널구간에 대한 지하수 유출 및 그에 따른 지하수 영향평가를 실시한 경우는 <표 5-2>와 같다.

이들 7건의 지하수 영향평가 사례들 중 본 과제의 취지 및 세부 연구 내용에 가장 부합되는 것으로 판단되는 2건의 영향평가(전라선 성산~여천간 철도개량사업, 전라선 여천~여수간 철도개량사업)에서 터널지하수 유출 관련 환경평가 사례를 분석하고, 평가 결과에 따른 저감방안을 제시하였다.

<표 5-2> 지하수 영향평가 실시사례

사업명	사업시행기관
전라선 성산~여천간 철도개량사업	철도청
전라선 여천~여수간 철도개량사업	철도청
경전선 동순천~광양간 복선화사업	철도청
경부선 옥천~지탄간 및 황간~추풍령간 선형개량사업	철도청
호남선 신도~개태사간 선형개량사업	철도청
죽전~수원간 복선전철 건설사업	철도청
인천국제공항철도 2단계구간 건설사업	인천국제공항철도(주)

라. 지하수 환경평가 사례분석 결과

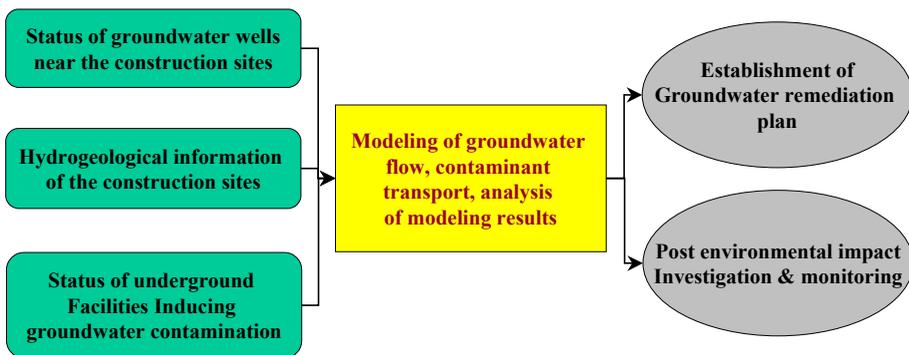
1) 지하수 환경영향평가 개요

환경영향평가 대상 사업 중 다음에 해당되는 사업은 기본적으로 지하수 영향평가

를 필수적으로 시행하고 있다.

- 암반터널 굴착이 계획된 도로 및 철도건설사업
- 골프장 조성사업
- 대규모 원유 및 석유류의 지하저장시설 건설사업
- 폐기물 매립지 조성사업
- 그 외 지하수를 500~1,000m³/day의 규모로 용수 사용을 계획하는 사업(택지, 산업단지, 발전시설, 온천 등)

상기와 같은 사업에서 지하수 수자원의 영향평가는, 사업부지 주변에 지하수 수자원을 주 용수공급원으로 의존하는 취락 및 농업지구가 존재하며, 해당 사업의 공사 또는 운영시 지하수 사용으로 인해 취락 및 농업지구 용수공급에 영향을 줄 경우에 실시하게 된다. 일단 어떤 사업에서 지하수 영향평가를 실시해야 될 것으로 결정되면 다음과 같은 과정을 거쳐 평가에 관한 의사결정을 실시한다.



<그림 5-7> 지하수유동모델링을 위한 환경평가의 흐름

우선 조사단계에서 필수적으로 수집되어야 하는 자료는 1) 사업지구 인근 농업 및 생활용수용 관정의 사용현황(관정의 수, 1일 사용량, 용도, 지하수위 등), 2) 시추공 현

장시험 등을 통한 사업지구 부지의 수리지질학적 자료(수리전도도, 저류계수, 증발산량, 강수량, 함양량, 지하수 유출량, 하천 분포 등), 3) 지하수 오염을 유발할 수 있는 지하 매설물(지하유류 및 유해화학물질 지하저장시설, 불법 매립 폐기물)의 분포 현황 등이 있다. 조사 자료의 분석 및 평가는 지하수 흐름 및 용질이동에 관한 수치해석적 모델링 기법을 통하여 수행되며, 모델링 실시 결과에 따라 대체용수원 확보, 오염 지하수의 정화, 사후환경영향조사 등의 저감방안을 수립하게 된다. 따라서, 적절한 모델링 기법의 선정 및 모델링 결과 해석은 비단 철도건설사업뿐만 아니라, 지하수 수자원과 관련된 모든 영향평가에서 가장 중요한 수행 단계라 할 수 있다.

2) 지하수유동모델링 기본 원리

지하수를 보유하고 있는 대수층의 함양량은 강수, 증발산, 관정으로부터의 양수, 기저유출 등으로 인하여 지하수가 연중 지속적으로 이동하며 외형적으로는 수위변화로 나타난다. 따라서 적정채수량이나 포획구간이 일정하지 않고 제반 수문 조건과 지하수위 변화에 따라 변화한다. 그러므로 물수지 분석에서 가장 큰 변화 요소인 강수량의 연간 변화량 중 갈수기 끝 시점에서, 주변환경에 피해를 주지 않고 오염유발 가능성 없이 취수할 수 있는 채수량을 적정채수량이라 한다. 그리고 오염물질과 관련된 포획구간은 오염물질이 취수정으로 유입될 수 있는 지표범위구역을 말한다. 영향범위는 자연수위가 양수의 영향으로 수위강하를 일으키는 지역을 말하며, 포획구간보다는 상당히 넓은 범위가 해당된다. 영향범위와 포획구간은 취수량과 강수량, 증발산량, 기저유출량 등 함양에 영향을 미치는 대수층의 지하수 유출입량에 따라 그 범위가 달라진다.

철도건설사업시 터널지하수 유출에 관한 환경영향은 해당 터널 및 터널 인근 배수구역을 포함한 지역에 대한 지하수유동모델링을 수행하여, 그 결과를 분석한 후, 터널 굴착으로 인해 주변에 분포하는 가용 지하수 관정의 지하수위 저하에 미치는 영향 정도를 판단하는 것으로 그 수행절차가 이루어지고 있다. 따라서, 평가대상이 되는 터널 주변에 생활용 또는 농업용 관정의 분포 및 사용 현황, 지하수위 등의 기본 정보는 필수적으로 갖추어져 있어야 하며, 터널 중심부를 기준으로 300m 이내에 이격된

지하수 관정의 지하수위 영향을 중심으로 평가한다.

3) 모델링 프로그램의 선정 및 개요

지하수 영향평가를 위한 지하수유동모델링에는 이론의 과학적 타당성과 현장 적용성이 높은 것으로 인정되어 일반 지하수 전문 연구기관은 물론 미국 지질조사소(United States Geological Survey)에서도 가장 활용도가 높은 MODFLOW를 사용하였다. 지하수유동모델링은 대수층의 지질학적 조건과 지하수의 흐름 등의 자연상태를 수식으로 표현하고 수치해석을 통해 결과를 산출하는 것으로서, 입력자료의 정확도에 따라 그 분석결과의 신뢰성이 좌우되므로, 현장조사에서 얻어지는 모든 정확한 분석과 입력, 이에 대한 검증이 필수적이다.

지하수 모델링의 정의에 대하여는 많은 이론이 있지만 국제 모델링센터(IGWMC)에서 정의한 바에 의하면 "Non-Unique, simplified, mathematical description of an existing ground-water system, coded in a programming language." 즉 대수층 구조와 지하수 유동현상을 가능한 여러 가지 수학적 수식으로 단순화시켜 모델로 묘사하고 이를 컴퓨터 프로그래밍 한 것으로서 대수층의 경계조건, 수리상수, 지하수 유출입 조건 등을 코드로 입력하여 대수층의 반응이 분석될 수 있도록 한 것이다.

최근 컴퓨터분야 기술의 발전과 더불어, 예를 들면 Workstation 용 OA인 Unix 체계의 발전과 Fortran 90 같은 고급언어의 개발에 힘입어 지하수 모델링 기법의 기능과 역할이 크게 향상되고 있다. 또한 그래픽 기능 같은 후처리 기법도 급속하게 발전하여 지하수 모델링 분석결과에 신뢰도를 증가시켰다.

지하수 모델링은 대수층 조건과 흐름 등의 자연상태를 수식으로 표현하고 컴퓨터에 의해 계산하는 것으로서 입력자료의 정확도에 따라 그 분석결과의 신뢰성이 좌우되므로 현장조사에서 얻어지는 모든 정확한 분석과 입력이 선행되어야 하고 이에 대한 검증이 필요하다.

지하수 수문모델 구축을 위해서는 먼저 실제 대수층 구조를 이해하고 유역경계와 지하수 수문사의 대규모 경계조건을 알아야 한다. 이르기 위해서는 현장 조사를 실시하고 이를 그대로 도면에 옮기는 실내작업을 시행한다.

기초적인 모델구조가 형성되면 대수층 수리계수와 기타 토양자료, 기상자료 등의 모든 조사자료들을 검토하고 종합하여 수학적 모델로서 현장의 대수층을 그대로 묘사할 수 있도록 현장자료를 입력한다.

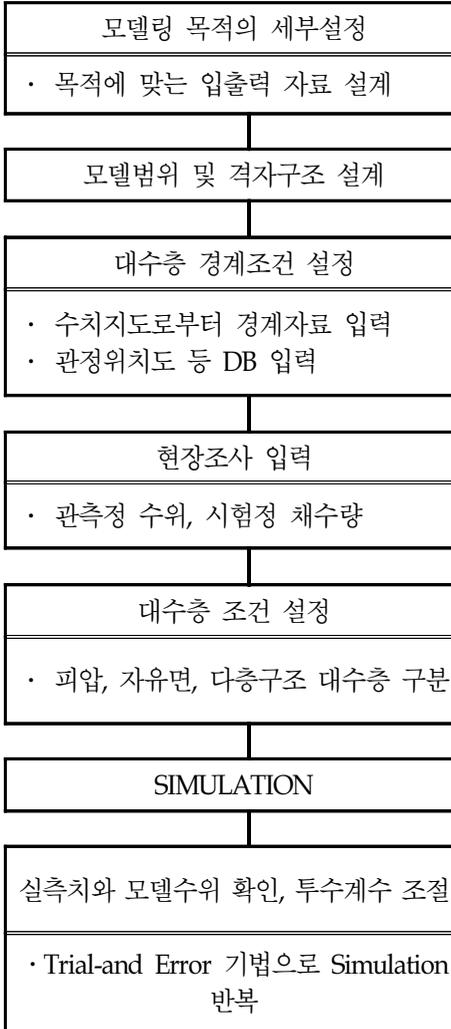
현장자료 중 대수층 시험자료는 양수정, 관측정 같은 일부 작은 면적을 대표하는 값으로서 넓은 모델지역 전체를 대변한다고 할 수 없다. 따라서 평형상태 Simulation에서 투수량계수를 미지수로 하고 기타 자료는 조사된 값을 입력한 후 출력되는 수위와 관측수위가 맞을 때까지 투수량계수를 지역적으로 조금씩 바꾸어 가고 최종적으로 두 수위값이 일치되는 상태의 투수량계수를 이후 모델 분석시 이용하게 된다.

이 과정을 검증과정이라 하며 모델 구축에서 가장 중요한 부분이다. 이렇게 하여 평형상태에서 만족할 만한 모델을 구축하였다 하더라도 이 경우는 조사당일 한 시점에서 대수층의 유입량과 유출량이 일정하다는 평형상태를 분석한 것이므로 다시 비평형상태 분석을 하여야 한다.

비평형상태에서는 1년간의 장기 수위관측자료를 이용하여 강우량의 변화에 따른 장기간의 수위변화를 역시 관측수위와 모델의 계산값이 일치되도록 재검증을 하여야 한다. 이렇게 하여 2차 검증이 끝나면 완전한 모델이 구축되었다고 할 수 있으며, 이 모델을 이용하여 조건별 미래를 예측할 수 있다.

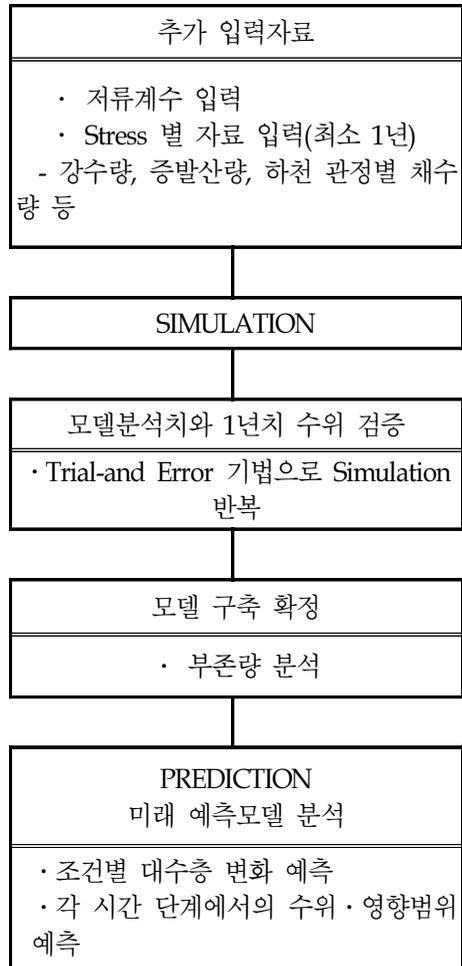
STEADY STATE SIMULATION

Newton 제2법칙
 유입량 = 유출량
 저류변화가 없다



TRANSIENT STATE SIMULATION

시간에 따른 저류변화
 유입량 = 유출량 + 수위변화
 저류량 변화



<그림 5-8> 지하수유동모델링의 순서

4) Simulation 결과

본 보고서에 적용된 평가 사례는, 2003년도에 실시된 전라선 성산~여천 구간 철도 개량사업(총길이 23.5km)과 전라선 여천~여수 구간 철도개량사업(총 길이 10.28km) 내 계획된 6개소의 터널예정구간 중 3개소의 터널에 대한 지하수 유출 해석 결과에 관한 것이며, 각 터널의 연장 및 위치, 본포지질 등의 정보는 <표 5-3>에 수록하였다.

<표 5-3> 3개소 터널계획구간에 관한 기본 개요

구 분	해룡터널	발흥터널	마래터널
위 치(시점부)	익기[현]155km560	익기[현]158km366	익기[현]181km660
연장(km)	2,379	1,414	1,923
굴착공법	NATM	NATM	NATM
지하수 유출량 (m ³ /min)	1.97	1.17	1.60
지 질	백악기 응회암류 화산쇄설성 퇴적암	백악기 응회암류 화산쇄설성 퇴적암	안산암류

5) 격자망 설정(Grid Installation)

조사 지역에 대한 모델링은 그 주변 일대의 지형적 특성과 수리 지질학적 특성을 고려하였고, 계산의 신속성과 정확성을 기하기 위하여 다음과 같이 구성하였다.

현장 주변 지역을 포함하여 터널 구간을 중심으로 격자의 수를 설정하였으며, 터널 통과구간의 격자는 세립격자로 다시 구분하여 격자를 구성하여 <표 5-4>에 각 터널 별 격자망 구성을 나타내었다.

<표 5-4> 각 터널별 격자망 구성

구 분	격자망 구성	
해룡터널 (L=2,396m)	전체 크기	2,600m×2,000m
	셀의 수	192×55
	셀의 크기	13m×10m~130m×100m
발흥터널 (L=1,416m)	전체 크기	2,000m×1,500m
	셀의 수	157×54
	셀의 크기	15m×10m~75m×100m
마래터널 (L=1,923m)	전체 크기	2,100m×1,400m
	셀의 수	184×58
	셀의 크기	6m×5m~60m×50m

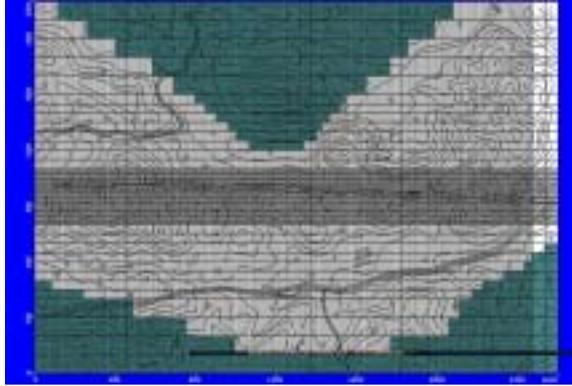
모델 구축을 위해 먼저 해당 터널 및 인근 실제 대수층의 유역경계와 지하수 수문사의 대규모 경계조건을 파악하고, 현장시험 등을 통하여 얻은 대수층 수리상수(수리전도도, 저류계수 등)와 기타 토양자료, 기상자료, 터널 유출량 등의 조사자료들을 검토하고 종합하여 수학적 모델로서 현장의 대수층을 그대로 묘사할 수 있도록 프로그램에 현장자료를 입력한다. 본 논문에서 수행된 3개소의 터널 및 주변 대수층 지하수 유동모델링에 필요한 입력자료는 <표 5-5>에 수록하였다.

<표 5-5> MODFLOW 모델링에 적용된 각종 입력자료

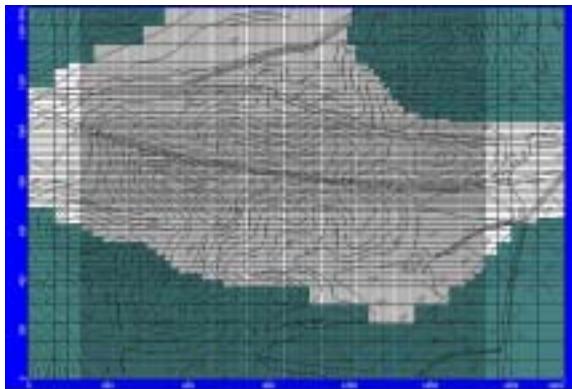
입력인자	해룡터널	발흥터널	마래터널
대수층의 형태	자유면대수층 1층구조		
초기수위	굴착 전 각 시추공에서 측정한 수두를 이용하여 작성한 PM map의 수위		
수리전도도 (cm/sec)	1.08×10 ⁻⁴	1.08×10 ⁻⁴	1.07×10 ⁻⁵ ~9.76×10 ⁻⁷
저류계수	0.02	0.02	0.02
증발산량 (mm/year)	422.3	422.3	503.6
함양량 (mm/year)	211.1	211.1	126.9
공극률	0.3	0.3	0.1

6) 모델링 수행 결과

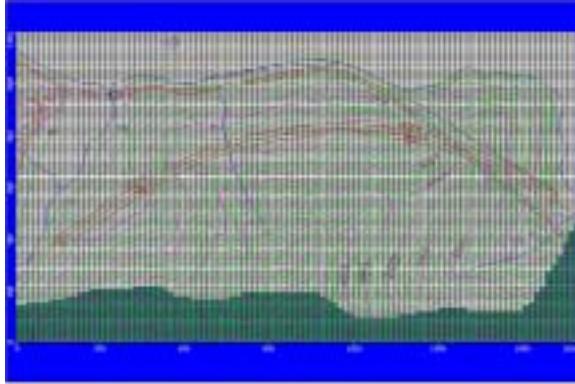
현장 주변 지역을 포함하여 터널 구간을 중심으로 격자의 수를 설정하였으며, 터널 통과구간의 격자는 세립격자로 다시 구분하여 격자를 구성하여 <그림 5-9~11>에 도시된 바와 같이 계획노선 내 모델링 적용 대상인 3개소의 터널별 격자망 구성을 나타내었다. 모델링 적용구간 내에서 집수유역을 벗어나는 지역은 지하수 유동에 직접적인 영향을 미치지 않으므로 지표수 분수령으로 Inactive Cell로 지정하였으며, 유역내의 격자는 Active Cell로 지정하였다.



<그림 5-9> 지하수유동모델링을 위한 격자망도 - 해룡터널

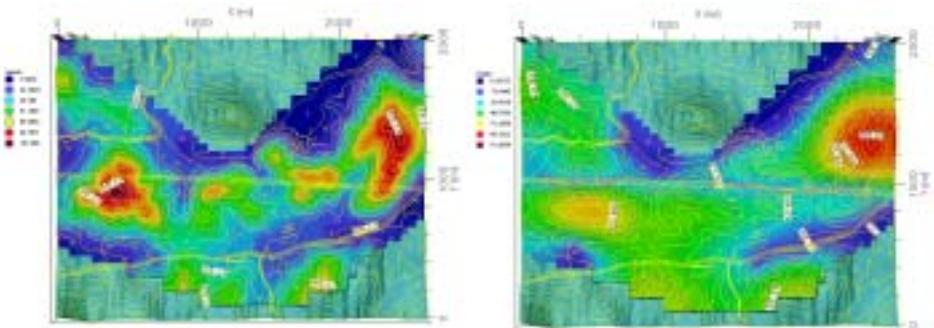


<그림 5-10> 지하수유동모델링을 위한 격자망도 - 발흥터널

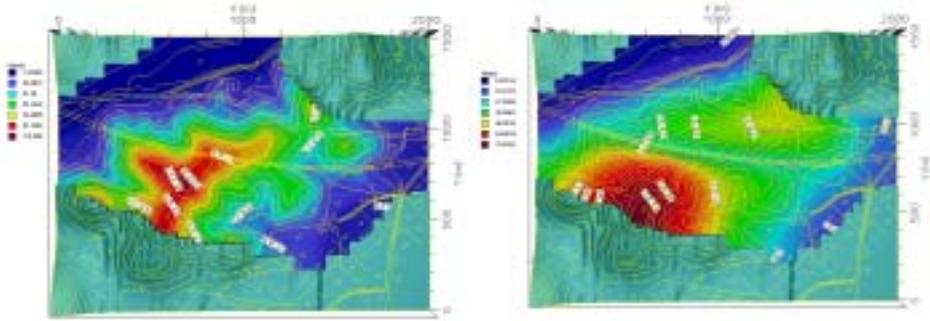


<그림 5-17> 지하수유동모델링을 위한 격자망도 - 마래터널

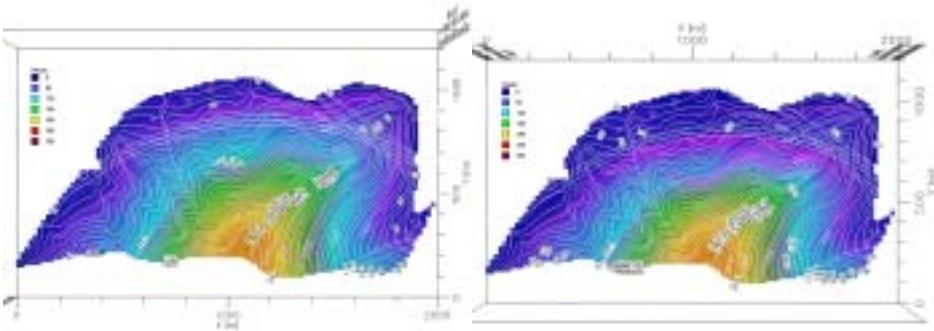
MODFLOW를 이용한 지하수유동모델링에는 격자망 내 지하수 이동 현상이 유역 경계조건과 평형을 형성하여, 완전히 안정화된 시점에 도달한 경우를 구현하는 정류 상태(Steady-State) 흐름 모델링과 일정한 시간간격을 두고 지하수 흐름의 변화를 계산하는 부정류상태(Transient State) 흐름 모델링으로 구분된다. 본 논문에서는 지하수의 터널 유출과 대수층 내 흐름을 비평형상태로 가정하고, 터널 굴착 전후 일정 시점을 기준으로 지하수 유동을 예측하는 부정류상태 모델링을 실시하였다. 모델링 수행 후 산출된 터널 굴착 전후의 지하수 유동 등수위선 분포는 <그림 5-12~14>에 도시하였다.



<그림 5-12> 터널굴착 전(왼쪽) · 후(오른쪽) 지하수 유동 등수위선도 - 해룡터널



<그림 5-13> 터널굴착 전(왼쪽) · 후(오른쪽) 지하수 유동 등수위선도 - 발흥터널



<그림 5-14> 터널굴착 전(왼쪽) · 후(오른쪽) 지하수 유동 등수위선도 - 마래터널

<그림 5-12, 13>과 <그림 5-14>를 비교해서 볼 때, 해룡터널 및 발흥터널 구간에서는 터널 굴착 전의 경우, 지하수 흐름 분포는 모델 적용 구간의 지형 분포와 매우 유사하며 구간 내 최고 지하수위는 103~119m(EL)의 분포를 나타냄을 알 수 있다. 그러나 터널 굴착 후 계획구간 횡단면을 따라서 지하수위가 급격하게 하강하여 최대 18~53m의 지하수위 하강 현상이 예측되어, 본 구간 내 포함된 지하수 관정의 지하수위에 영향을 주는 것으로 판단된다. 그러나 마래터널 구간의 경우, 터널굴착 전-후를 비교하여 지하수위 강하량은 최소 0.2m에서 최대 5.2m로 예측되어, 터널 굴착 및 지하수 유출로 인한 주변관정의 영향은 거의 없는 것으로 판단된다. 각 터널 3개소의 시점부, 중앙부, 종점부에 대한 지하수위 강하량 예측결과를 <표 5-6>에 정리하였다.

상기와 같은 모델링 결과에서 터널 굴착에 의한 지하수위 강하량은 각 계획터널 구간의 수리지질학적 인자의 차이에 의해서 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 마래터널 구간의 경우, 다른 2개소의 터널과 지질학적인 조건이 상이하다. 마래터널 구간의 구성암석인 안산암류는 치밀하고 선구조 발달이 일반적으로 미약하기 때문에, 터널 굴착시 암반균열 연결성에 따른 지하수 유출 가능성은 타 2개소 터널 구성암체에 비해 통계적으로 적은 편에 속한다. 또한, 대수층의 성질을 대표하는 수리전도도 및 공극률의 크기는 타 2개소의 터널구간에 비해 수리전도도의 경우 약 10~100배, 공극률의 경우 3배정도 작은 값을 갖는다. 이는 터널 굴착으로 인하여 터널 공동의 수두가 급격히 하강하면, 대수층 내 지하수 유속이 10배 이상 빠르고 수분을 함유할 수 있는 공극이 3배 이상 높은 2개소의 터널에서 지하수의 유출이 훨씬 높게 나타날 수 있음을 증명한다.

<표 5-6> 조사공의 모델링 시뮬레이션에 의한 수위강하량

구 분	계획고 (EL.m)	지하수위		
		터널 굴착전(EL.m)	터널 굴착후(EL.m)	수위 강하량(m)
해룡터널	시점	27~37	24~27	3~10
	중앙	35~46	26~28	9~18
	종점	28~35	25~28	3~7
발흥터널	시점	28~40	26~32	2~8
	중앙	79~87	30~34	49~53
	종점	27~35	25~29	2~6
마래터널	시점	23~27	20~25	0.2~1.7
	중앙	68~75	63~72	1.8~4.8
	종점	50~80	44~75	1.1~5.2

7) 문제점 해결 및 방지대책 제시

철도터널 굴착과 터널지하수 유출에 따른 지하수 환경평가 모델링 사례 분석 결과, 2개소의 터널 주변 일부 구간에서 급격한 지하수위 하강이 예측되어, 터널예정구간에

서 300m 이내에 위치한 가용 지하수 관정의 경우 용수 공급 및 사용에 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 따라서, 이에 대한 저감방안으로 다음과 같은 조치를 제시하였다.

- 터널계획구간 주변 300m 이내의 지하수 관정의 1일 이용량 및 관정 규모에 대한 정밀조사 실시

- 10m 이상의 지하수위 하강이 예측되는 관정에 대해서는 대체 용수공급원(상수도 또는 지하수위 하강 영향반경 외곽부외의 신규 관정 설치)을 확보

- 실제 터널 굴착시 터널 유출량 및 주변 관정의 지하수위의 지속적인 모니터링을 실시

마. 철도건설사업시 지하수 관련 환경평가 체계 및 저감방안 제시

지금까지 언급된 철도건설사업시 지하수 영향에 관한 현황, 국내·외 사례 분석, 터널지하수 유출에 대한 지하수 유동 모델링 결과 등을 바탕으로, 철도노선 선정 및 공사, 운영시에 발생할 수 있는 각종 지하수 관련 영향 및 고려하여야 할 사항을 추출하고 그에 따른 저감방안을 제시하고자 한다.

1) 노선선정시 지하수 영향

국내 철도건설사업 환경평가는 시점부-종점부 간 노선이 이미 확정된 상태에서 시작하며, 여러 가지 노선 대안을 놓고 각 대안노선별 환경적 영향에 관한 상위개념의 환경평가는 아직 시행되지 못하고 있다. 이는 도로사업과 달리 철도노선 자체가 가지는 선형적 특징(운행차량 총길이에 따른 노선 곡률반경 제한 등)과 산지 지역을 다수 통과해야 하는 지형적 특성이 주원인으로 판단된다. 따라서, 철도사업의 현행 환경평가 운용 상황에서는 노선선정에 다른 지하수 영향을 고려하는 것이 불필요할 수 있으나, 향후 국가 철도교통망 구축 상위계획 수립시 노선입지 선정 과정에서 필요할 수도 있는 환경성 평가(전략환경평가) 중 지하수 영향에 대한 평가 기법 연구에 중요한 설정 기준으로 적용될 수 있을 것이다.

· 대안노선 내 터널 굴착 또는 개착 총 길이를 먼저 파악하여야 한다. 국내의 경우, 지하수 부존이 주로 심부 암반 내 집중되어 있고, 토양층 내 존재하는 천부 지하수는 용수공급용으로 부적합한 지역이 많으므로, 노선 전체가 교량 또는 성토로 인한 노반 부설로 계획되었다면, 노선 선정에 따른 지하수 환경적 영향은 환경영향평가시에도 고려하지 않아도 된다.

· 터널 예정 구간에 대한 지하수 부존량 및 함양량, 수계 분포 관정 이용에 의한 지하수 이용 총량, 지하수 오염 유발시설의 분포 현황, 보존 가치가 우수한 지형 및 지질구조를 구체적으로 조사하여, 터널 굴착 또는 개착시 지하수 유출 및 오염물질의 이동 경로, 지형 및 지질 변형 가능성을 각 대안노선에 따라 정성적으로 추정한다. 이를 근거로 터널 굴착에 따른 지하수 영향 현장 상세 조사의 필요 유무를 결정할 수 있으며, 노선입지 결정 후 실제 환경영향평가 단계에서 지하수 영향 조사를 실시한다.

2) 공사시 지하수 영향

철도건설사업 실제 공사시 발생할 있는 지하수 환경적 영향은 터널굴착에 따른 지하수 유출이 가장 대표적이다. 터널 굴착시 지하수 유출 영향평가의 실제 수행 과정은 바. 항에 자세하게 기술되어 있으므로, 본 항에서는 생략하기로 하며, 환경영향평가시 고려하여야 할 사항 및 수행 절차, 저감 방안 등을 추출하여 보았다.

· 온천법 제9조 제1항의 규정을 적용, 터널 굴착 예정 구간에서 이격거리 300m 이내에 분포하는 모든 지하수 관정에 대한 이용현황(위치, 관정 굴착 심도, 1일 채수량, 용도, 지하수위) 및 지하수오염 유발시설 현황(지하유류탱크 및 유해화학물질 지하저장시설, 불법 매립 폐기물)을 조사한다.

· 시추공 현장시험 등을 통한 사업지구 부지의 수리지질학적 자료(수리전도도, 저류계수, 증발산량, 강수량, 함양량, 지하수 유출량, 하천 분포 등)를 충분히 획득하여, 터널 예정 구간 지하수 영향조사의 기본 입력 자료로 사용한다.

· 수치해석적 지하수유동모델링을 통하여 터널굴착 예정 구간 내 지하수 관정의

지하수위 하강량을 정량적으로 예측하고(세부적인 모델링 과정은 라. 항 참조), 지하수위 하강량이 해당 지하수 관정 이용에 지장을 주는 것으로 나타날 경우 그에 따른 구체적 저감방안을 수립한다.

- 지하수-암석 상호화학반응으로 인해 산성 지하수가 유출되는 터널 구간에서는, 산성 지하수의 생성 기작 및 이동 시간, 오염 범위 등을 구체적으로 예측하고, 그에 따른 저감방안을 수립한다.

- 터널 굴착 후 암반 지하수의 유출시 해당 사업지구의 지질학적 특수성으로 인해 지하수-암석 상호 화학반응에 의한 강산성 지하수의 유출이 우려되는 구간에 대해서는, 유출 지하수를 전량 차집하여 중화 처리 후 방류

상기와 같은 환경영향평가 실시 이후 제시할 수 있는 저감방안은 다음과 같은 것이 있다.

- 관련법상 지하수오염유발시설에 해당되는 시설은 공사시 모두 철거
- 터널 굴착시 지하수 유출을 최소화 할 수 있는 공법의 사용(프리그라우팅 등)
- 영향을 받는 주변 관정에 대해서는 대체 용수원을 확보 제공
- 산성 지하수의 유출이 우려되는 구간에 대해서는, 유출 지하수를 전량 차집하여 적정 pH로 중화 처리 후 방류

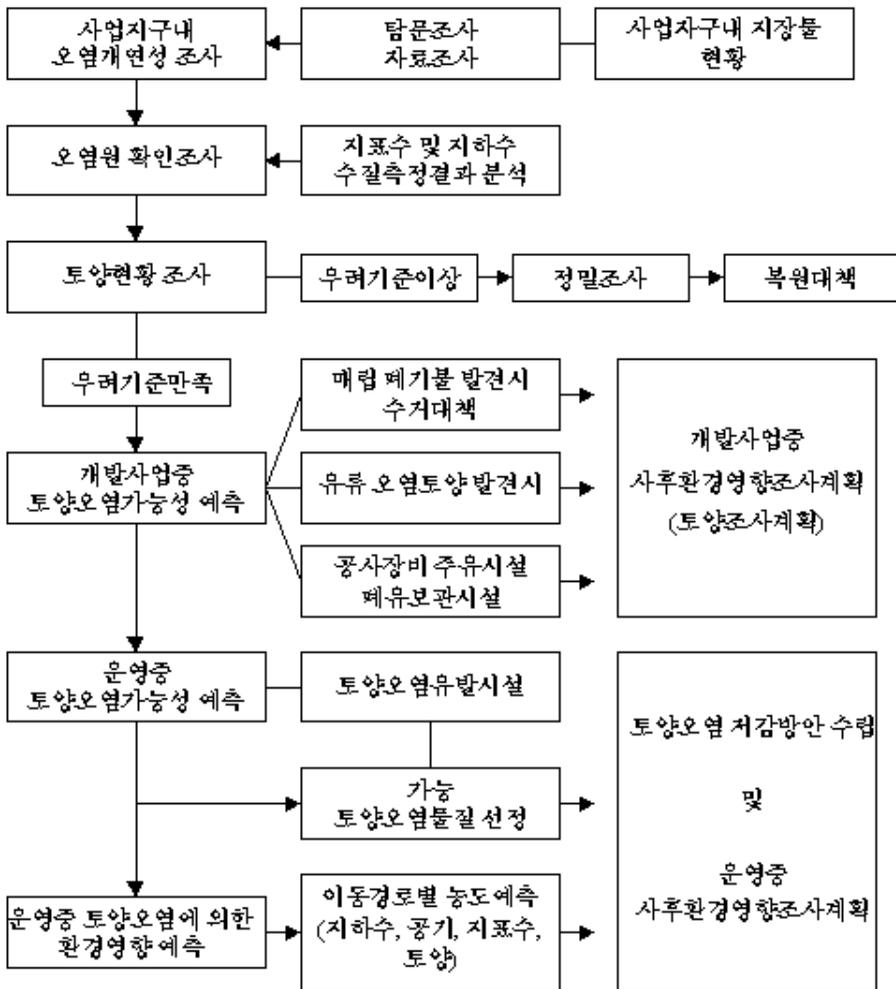
현행법상 터널 굴착 또는 기타 건설사업으로 인한 지하수 수자원 이용에 영향이 있을 경우, 이의 저감방안에 대한 특별한 환경기준은 아직 설정되지 못한 상황이므로, 철도터널 굴착과 관련된 지하수 환경의 영향평가는 해당 건설사업 개개의 경우에 따라 적용되는 저감방안 기준이 달라질 수 있는 게 현 실정이다. 차후, 철도터널 굴착으로 인한 지하수 유출 평가 사례 자료가 축적되고, 그에 대한 집중적인 연구 및 평가에 필요한 모델링 기법이 발전하면, 향후 모든 철도사업에 범용으로 적용할 수 있는 평가기준이 설정될 것으로 전망되며, 이에 대한 연구도 지속적으로 이루어져야 한다.

3. 철도부지 토양오염 현황 및 저감방안

가. 개요

철도건설사업시 토양오염에 관한 환경평가는 아직까지 큰 중요성을 보유하고 있는 평가항목으로 간주되지 못하고 있는 실정이다. 이는, 토양환경평가가 오염 유무 파악을 위주로 한 평가를 실시하므로, 해당 사업의 입지적인 조건을 근본적으로 결정할 수 있는 환경적 요소로서는 다소 비중이 떨어지기 때문이다. 그러나, 오염된 토양은 다시 복원하는 데 상당한 양의 시간과 재정적 부담이 소요될 뿐만 아니라, 오염토양 복원의 주체 결정에 있어서, 신규 사업자와 이전 토지 사용주와의 소모적인 갈등이 발생할 소지가 있는 평가항목이라 할 수 있다.

토양환경평가는 무엇보다도 개연성을 기본 염두에 두고 시작해야 하는 평가방법이다. 건설사업 예정부지 내의 토양질 현황이 매우 양호하다 하더라도, 토지이용 현황 및 지장물 조사 등을 통해 각종 토양오염 유발시설에 의한 토양오염의 가능성이 높다고 판단될 경우, 보다 정밀한 조사를 거쳐 필요하면 저감방안을 수립하는 등의 절차를 거치게 된다. 그림 <5-15>에 토양환경평가 실시 절차에 관한 순서를 표현하였다. 우선적인 단계로서, 사업부지의 토양질 현황을 파악하기 이전에 자료 및 현장 탐문을 통한 부지 내 토양오염 개연성을 먼저 확인한 후 오염 개연성이 높은 지점을 선정하여 토양질 분석을 실시하여야 한다. 토양질 분석결과, 환경정책기본법상 토양오염 우려기준을 초과하는 항목이 발견될 경우, 정밀조사를 거쳐 오염원에 대한 복원대책 수립 여부를 결정하게 된다. 이후 공사시 및 운영시 발견될 수 있는 토양오염은, 해당사업의 토지이용계획과 병행하여, 설치 시설물의 종류, 운영 특성 등을 고려한 저감대책을 수립하고, 필요시 사후환경영향조사계획을 수립하여야 한다.



<그림 5-15> 토양환경평가 실시 절차

나. 철도부지의 주요 토양오염원 사례분석

그간의 철도사업 관련 토양환경평가 실시 결과, 노선의 입지, 노반 및 역사 공사시 철거 지장물 및 토사유출에 의한 토양오염 개연성은 높지 않은 것으로 분석되었다. 이는, 충분한 수의 토양질 분석결과를 확보하고, 공사 또는 노선 운영시 발생할 수

있는 토양오염에 대한 조사계획 및 저감대책을 합리적으로 수립할 경우, 사업 진행에 따른 토양환경의 영향을 최소화할 수 있을 것으로 판단된다. 본 절에서는 철도건설사업과 관련된 토양오염 사례를 주용 오염원별로 구분하여 분석하였다.

1) 중금속에 의한 철도부지 토양오염

철도노선 공사 자체가 해당 지역 토양의 중금속 오염을 유발하는 사례는 아직까지 없는 것으로 보고되고 있다. 토양이 중금속으로 오염되어 환경기준치를 초과하는 데는 상당한 시일이 소요되는 것이 일반적인 사실인 만큼, 단시간에 실시되는 건설공사에서 해당 부지 토양의 중금속 오염은 기대하기 어려운 것이다. 철도부지의 토양오염은 공사 후 시설 운영의 측면과 매우 관련이 깊은데, 환경영향평가와 관련된 운영시 토양 중금속 오염원은 다음과 같은 것이 있다.

- 열차 운행시 레일-차륜간 마찰과 그로 인한 금속입자의 비산에 의한 오염

열차의 차륜과 레일은 모두 철 및 비철금속의 합금으로 구성되어 있고, 고속 운행시 마찰에 의한 금속입자 비산은 철도 노반 전 지역에서 흔히 발생할 수 있는 현상이다. 아직까지는 이러한 금속입자의 비산 및 토양표면으로의 낙진으로 인한 오염 사례는 없으며, 토양측정망 결과 토양환경보전법상의 환경기준치보다 훨씬 하회하는 중금속 함유량을 보인다.

그러나, 철도노선 운영이 장기화되고, 객차 운영 회수가 많아질수록 이러한 형태의 오염원은 그 잠재성이 커질 확률이 높은 만큼, 비산금속입자에 의한 철도용지의 환경평가 및 관리 방안을 수립하는 것도 바람직하다 하겠다. 이창균 등(2003)은 충남 지역의 토지 용도에 따른 토양오염 실태를 조사한 결과, 철도용지에서의 카드뮴, 납, 구리의 토양 내 함량이 일반 농업지역 또는 산업단지 지역보다 2배 이상 높게 검출된 것을 확인하고, 장기적인 관점에서 철도용지 토양의 정기 검사 지점 및 회수 증가를 제안하였다. Mielke 등(2002)은 미국 루이지애나주 New Orleans 인근 미시시피강 삼각주 퇴적물에서의 망간 함량이 500mg/kg 이상 검출되었고, 이들 망간 금속 입자는 상당량이 열차 차륜-레일간 마찰로 인한 비산 및 퇴적물 함유에 의해서 기인된 것으로 밝

혀져, 적절한 조치를 취하지 않을 경우, 미시시피 삼각주 지하수 대수층의 망간에 의한 대규모 오염이 예상되었다.

2) 유류에 의한 철도부지 토양오염

철도건설 및 노선 운영에 있어서 주요한 토양오염의 발생은, 역사 또는 정비창의 운영시 유류 및 유해화학물질의 누출에 의해 발생하는 경우가 대부분이며, 이에 대한 토양오염 개연성은 매우 높다는 것이 금번 연구에서 확인된 바, 향후 이에 대한 구체적인 환경영향평가 방안을 시급히 강구해야만 한다. <표 5-7>은 토양오염 개연성이 높은 각종 시설 및 지역을 조사한 것이며, 여기에 철도 정비창이 포함되어 있다.

<표 5-7> 토양오염 개연성이 높은 지역

-
- 공장 배출가스 진행방향
 - 과거 혹은 현재 폐기물 적재지역 또는 인근지역
 - 불법폐기물 투기 및 매립지역
 - 고철야적지역
 - 토양오염 유발시설 지역
 - 제조공장 주변
 - 유류저장탱크
 - 소각장주변
 - 제련소 주변
 - 철도, 자동차 및 기계 정비창
 - 하폐수처리 슬러지 적재지역
 - 화학물질저장탱크
 - 민간 또는 군사격장 주변
 - 폐광산 주변
 - 축사
 - 도금공장 주변
 - 하천으로 연결된 하수배출구 주변 토양
 - 소규모 제조공장 밀집지역의 경우 오염의 개연성이 높을 것으로 사료됨
 - 토양오염이 확인될 경우 하수집수구역 내 시설물 중 오염물질배출원 존재 가능
 - 토양오염이 확인될 경우 하수도의 진행방향에 따라 주변토양오염가능성
 - 지하수 수질 검사 및 하천수질 검사 결과 기준 초과시 주변 오염원 조사
 - 특히 TCE, PCE의 지하수 수질검사 결과 기준치를 초과시 주변 오염원에 대한 중점적 조사 필요
-

2001년도부터 시작된 서울, 부산, 대전 소재 철도정비창에 대한 토양오염도 조사결과, 2곳의 정비창에서 중금속 및 유류의 농도가 우려 및 대책기준을 초과하는 것으로 분석되어, 2002년 해당 정비창 부지의 토양 및 지하수에 대한 정밀조사가 실시된 바 있다. 정밀조사 결과, 중금속류로는 구리 및 납의 함량이, 유류의 경우 TPH의 농도가 부지 여러 곳에서 우려기준을 초과하는 것으로 나타났다. 이와 같은 토양오염의 주요 원인은 다음과 같은 것을 들 수 있다.

- 기관차 연료 급유시 낙유에 의한 오염
- 기관차 및 객차의 장시간 정차시 차륜 윤활유의 낙유로 인한 선로주변의 오염
- 급유시설 배관으로부터의 누출에 의한 오염
- 정비창 유지관리 작업 중 폐기물의 매립으로 인한 오염

상기 오염원에 관하여 복원을 실시하기 전에, 충분한 현황조사를 통하여 오염운(plume)의 범위를 설정하여야 한다. 오염운의 범위는 오염대상물질의 우려기준에 따라 다소 차이가 있을 수 있으며, 토양오염물질의 이동은 지하수의 이동과 일치하는 것을 감안하면, 오염지하수의 정밀조사 및 지하수 오염운의 범위 역시 파악되어야 한다.

3) 침묵에 의한 오염

레일과 레일 사이를 지지하는 침묵에는 그 사용 연한을 확장시키기 위해 다량의 방수 및 방부제를 투입하게 된다. USEPA(1999)의 자료에 따르면, 미국 전역의 철도레일 침묵에서 누출되는 방수·방부성분(대부분 Coal Tar에서 추출된 Creosote 또는 무기적으로 합성된 $ZnCl_2$)의 지하 침투로 인해 토양 및 지하수가 오염되고 있는 것으로 나타났다. coal tar creosote는 가수분해가 대단히 어려운 DNAPL이며, 국제암연구센터(IARC) 및 연방환경청(EPA)에서 지정하고 있는 발암성 물질 중 하나이므로, 소량이라도 인체 투여는 불가한 화학물질로 알려져 있다.

또한, 사용기간이 상당히 오래된 폐침묵에는 열차에서 낙유된 윤활유 성분이 장기간 침착되어 있기 때문에, 적절한 처리 없이 폐침묵을 야적 방치할 경우, 또다른 유류에 의한 토양오염을 유발할 수 있다고 판단된다.

국내의 경우, 최근 부설되는 대부분의 철도 노반은 레일 연결 지지대 목재에서 콘크리트 구조물로 전화하고 있는 실정이라, 향후 시행되는 신설 철도사업에 있어서는 폐침묵에 관한 언급은 불필요한 것으로 판단된다. 그러나, 선형개량사업의 경우, 기존 노선이 폐선되기 때문에 많은 양의 폐침묵이 발생할 수 있고, 이러한 폐침묵의 처리 여부에 대해서는 아직까지 특별한 평가 기법이 설정되어 있지 않아, 언급 자체가 실시되지 않고 있는 실정이다. 따라서, 철도사업 중 폐노선 및 폐역사가 지장물로 발생

하는 개량사업에 대해서는 폐침묵에 대한 환경영향 여부를 토양환경평가 지침에 중요 사안으로 고려하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

다. 저감방안 수립, 대안 설정 및 향후 연구내용

토양환경평가를 실시한 결과 오염토양의 복원에 대한 대책이 마련되어야 할 것으로 판단될 경우, 저감대책으로 해당 사업장의 오염토양 복원대책을 수립하여야 한다. 오염토양의 복원은 1) 복원기술의 선정, 2) 복원 정화작업 실시, 3) 사후 모니터링의 3가지 단계로 구분된다. 토양오염 부지의 오염토양 복원을 위한 복원기술은, 해당 사업장의 운영 특성 및 복원비용적 측면에서 경제성이 우수한 기술을 선정하여야 하는데, 보통의 경우 2~3가지의 기술이 복합적으로 사용되고 있다. 철도정비창과 같은 사업장은 수십 구간의 선로가 이미 부설되어 있고, 부설 선로를 통한 열차의 왕래가 잦기 때문에 복원작업에 상당한 위험성이 따르므로, 작업면적을 많이 차지하지 않으면서 단기간에 많은 오염면적을 정화할 수 있는 복원기술을 선정하여야 한다. 이에 대해서는 향후 더 자세히 연구되어야 할 것이다.

오염토양 복원에 앞서, 신규 철도건설사업시 정비창 및 역사의 신설이 예정되어 있을 경우, 토양 및 지하수 오염을 사전에 예방하는 것이 토양환경평가에 있어서 가장 중요한 저감방안이라 할 수 있다. 사전 예방의 기본적인 대책으로는 공사시 및 운영시 정기적인 토양질 분석 모니터링을 들 수 있다. 토양질 모니터링에서는 오염개연성이 높은 지점 선정, 토양질 분석 심도 결정 및 모니터링 기간 결정 등을 면밀히 검토하여 실시하여야 하는데, 특별한 유류누출 사고가 아닌 이상, 철도건설과 관련된 토양 오염은 상당히 장시간에 걸쳐 발생하는 것이 일반적이므로, 보다 장기적인 관점에서 모니터링 계획을 수립하여야 할 것이다.

지금까지의 토양환경평가의 초점은 주로 유류 및 중금속으로 오염된 역사 시설 및 차량 시설 부지의 토양에 대한 평가에 집중된 것이 사실이다. 차후의 연구에서는 오염대상물질을 좀더 확대시킬 필요가 있을 것으로 판단되는 바, 광물자원(석탄 및 석회석 등)을 주 수송화물로 취급하는 산업철도 역사의 토양에 관한 자료조사 및 분석

을 실시하고, 상기 철도의 개량사업시 환경평가에 관한 저감방안 및 대안을 도출하도록 할 것이다. 또한, 최근 구미 각 국에서 관심사로 부각되고 있는 자연재해 또는 공사로 인한 토양유실의 환경적 문제점과 관련하여, 본 연구에의 적용성 여부를 검토하여 볼 필요가 있다. 아울러, 이미 폐기처분된 철도노선 부지 및 역사 부지의 조사 및 오염 현황 자료 등을 수집·분석하여, 이에 대한 환경평가 저감대책을 수립하고, 향후 부지 활용방안에 관해서도 논의해 보도록 할 것이다.

4. 소음·진동 영향분석 및 평가방안

가. 서론

철도에 의한 소음·진동 저감을 위해서는 철도 신설 및 개량 시에 환경기준(안)에 맞는 건설을 할 수 있도록 계획단계부터 노선설정 및 저감계획을 수립하여야 한다. 그렇지만 현재 우리나라는 1994년 11월 21일 총리령 제 474호로부터 공포된 철도 소음·진동 한도만을 제시하고 있을 뿐, 철도에 관한 환경기준 및 규제기준을 가지고 있지 못한 실정이다. 고속철도가 개통되고 국가적으로 철도수송 분담율의 증가를 꾀하는 요즘, 고속철도를 포함한 철도의 소음·진동 문제는 점진적 증가가 예상된다. 이미 중앙환경분쟁위원회에 고속철도의 소음·진동 문제가 접수 되어있는 상황이며, 이러한 문제들을 근본적으로 대처하기 위해서는 철도소음 환경기준의 설정이 필요하며, 철도관련 환경영향평가 기법의 개발이 필수적이라 하겠다. 또한 운영시 발생할 수 있는 각종 소음·진동 문제의 사전 예방 및 효과적 대처를 위하여 소음·진동의 현황을 실시간으로 알 수 있도록 하는 상시 모니터링 시스템 제도를 적극 도입하는 방안에도 대해서도 검토해야 한다.

나. 철도소음의 전반적 특성

최근 교통기술의 발달과 전국도의 효율적 활용을 목적으로 도시간 또는 도심 내 철도건설 및 계획이 활발히 진행되고 있다. 건교부에서 발표한 국가기간 교통망 계획(2000-2019)에 의하면 그동안 도로위주의 정책으로 상당부분 소외되어 온 철도분야에 많은 정책적 지원이 예상된다.

이와 같은 철도교통은 그 대량수송 능력뿐만 아니라 정시성, 안전성 그리고 무엇보다도 환경친화성은 널리 알려진 사실이며, 이러한 장점으로 인해 그 기술 발전 및 수요는 더욱 가속화되리라 예상된다.

그러나 철도교통이 가지는 환경친화성은 소음측면에서는 상당히 취약하며, 일반 도로교통과 같이 일정한 소음도 분포를 가지기 보다, 열차 통과전후에 소음도 차이가 거리에 따라 차이를 보이지만 암소음 대비 30dB 이상 소음도 차이를 보이는 경우도 있다.

이와 같은 소음은 노출된 사람에게 불쾌감을 주며, 심할 경우 혈압상승, 맥박증가, 말초혈관 수축, 호흡회수 증가, 위 수축운동 감퇴, 혈당도 상승의 신체적 변화 외에 대화 곤란 및 정서적 불안 등으로 인한 심한 스트레스를 유발한다. 또한 야간의 경우 철도소음 등에 의해 수면방해를 일으키며, 철도소음으로 인해 인근 부동산의 가치하락도 일으키게 된다.

이러한 철도 소음에 대하여 기하급수적으로 늘어나는 민원 및 국민의 요구에 의해 1990년대부터 국가 및 공공복지 차원에서 관심을 가지고 관련 연구 및 기술개발이 추진되어오고 있다.

철도소음과 관련된 소음대책은 크게 두 가지로 대별될 수 있다. 소음을 발생시키는 원인을 찾아 근본적으로 소음발생 원인을 제거하는 일차적인 방법과 소음이 수음점에 도달하는 경로를 차단하는 이차적인 방법이다. 소음대책은 앞에서 나온 두 가지 방법 중 일차적으로 소음발생 원인을 제거하는 것이 가장 효과적이고 근본적인 대책이 될 수 있다. 그러나 이를 위해서는 원인규명 및 철도차량의 설계변경 등 많은 노력과 시간, 비용 등이 요구되며 동시에 기술적인 문제로 그 한계가 있다. 따라서 발생된 소음으로 인한 수음점에서의 소음을 예측하고 전파경로를 효과적으로 차단함으로써 수음점에서의 소음을 줄이는 이차적인 소음대책이 필수적이며, 국내·외에서 일반적

으로 사용하고 있는 방법이다.

소음의 전파경로를 차단하는 소음대책을 효과적으로 수립하기 위해서는 무엇보다도 수음점에서의 정확하고 효율적인 소음예측이 요구된다. 철도운행소음은 대기를 통해서 직접 전파되거나 지표면에서의 반사를 통해서 또는 여러 장애물에서의 반사와 회절을 거친 후 수음점에 이르게 된다. 흔히 대기 중으로 발산되는 경우 음에너지의 손실은 거리에 따른 기하학적인 감쇠와 대기 중의 습기, 풍속, 기온차 등에 의해 발생하며, 지표면에 의한 음에너지의 손실 즉 초과감쇠는 지표면의 상태에 의존하게 된다. 따라서 철도소음의 전파는 소음원으로서의 차량의 특성과 대상지역의 지형과 기후, 지표면 그리고 음향학적으로 중요한 장애물이나 건물 등의 영향을 받는다.

철도소음의 예측과 관련하여 크게 두 가지의 방법이 시도되고 있다. 하나는 소음의 전파이론과 소음원의 특성을 DB로 구축하여 지형의 특성을 디지털 정보로 변환하여 그 전파를 기하음향학으로 해석한 전용 해석 프로그램을 이용하는 방법이고 다른 하나는 소음원의 특성과 전파이론 그리고 측정 데이터에 기초한 예측 식을 개발하여 소음을 예측하는 방법이다. 주로 유럽에서는 고속철도와 관련하여 철도소음 예측 프로그램을 개발하여 판매하고 있으며, 일본 및 우리나라에서는 예측 식에 기초한 용이한 소음 예측을 수행하고 있다. 이러한 두 방법은 장단점을 가지고 있으며, 가장 중요한 장단점은 음향학 이론에 근거한 소프트웨어를 이용한 소음 예측의 경우 소음원에 대한 정확한 DB 구축과 소프트웨어상의 정확한 모델링의 가정 아래 정확한 소음 예측 및 시뮬레이션이 가능하다는 점이나, 모델링에 소요되는 시간이 많이 걸리며, 소프트웨어를 구입하는 비용 등이 든다. 후자의 경우 소음 예측을 위한 비용 및 시간이 거의 소요되지 않지만, 정확도 측면에서 약간의 오차를 포함한다는 단점이 있다.

이와 같은 두 가지 방법 중 철도소음에 대한 정확한 예측 및 저감시설 설계 데이터 확보를 위한 예측 전용 프로그램 개발은 시장성 대비 비용이 과다하고 개발기간이 긴 점을 고려하여 접근하여야 된다.

다. 국내·외 철도소음 환경기준

1) 국내 기준

우리나라의 경우 소음 환경기준이 1978년 7월 1일 제정되었으나 이 소음 기준은 철도 소음, 항공기 소음 및 건설작업 소음에는 적용되지 않는다. 철도에서 발생하는 소음으로 인한 피해를 방지하기 위하여 1994년 11월 21일 총리령 제 474호로부터 공포되어 2001년 1월 1일부터 적용하게 되었다. 공포일 이후에 준공되는 철도는 2010년 1월 1일부터의 한도를 적용하게 되는데 <표 5-8>은 국내 철도 소음 한도값을 나타낸 것이다.

<표 5-8> 국내 철도소음의 한도값

대상지역	한도 [Leq, dB(A)]			
	2001년 1월 1일 ~ 2009년 12월 31일		2010년 1월 1일 부터	
	주간 (06:00~22:00)	야간 (22:00~06:00)	주간 (06:00~22:00)	야간 (22:00~06:00)
<ul style="list-style-type: none"> 주거지역, 녹지지역, 준도시지역중 취락지구 및 운동, 휴양지구, 자연환경보전지역, 학교, 병원, 공공도서관의 부지경계선으로부터 50미터이내 지역 	70	65	70	60
<ul style="list-style-type: none"> 상업지역, 공업지역, 농림지역, 준농림지역 및 준도시지역중 취락지구 및 운동, 휴양지구외의 지역, 미고시 지역 	75	70	75	65

- 주: 1) 대상지역의 구분은 국토이용관리법에 의하며, 도시지역은 도시계획법에 의한다.
 2) 정거장은 적용하지 아니하며, 철교는 2010년 1월 1일부터 적용한다.
 3) 총리령 제474호 소음진동규제법시행규칙 중 개정령의 시행일(1994년 11월 21일)이후 준공되는 철도에 대하여는 2010년 1월 1일부터의 한도를 적용한다.
 4) 대상지역은 교통소음·진동의 영향이 미치는 지역을 말한다.

위의 철도소음 한도값을 보완하여 철도소음 환경기준으로 제안된 안은 2001년 환경부에서 주관하고 한국 소음진동학회에서 수행한 “항공기 및 철도소음의 환경기준 설정에 관한 연구”에 제시되어 있다. 현재의 총리령으로 발표된 철도소음 한도값의 문제점으로는 한도값만을 설정해 놓았을 뿐 목표를 달성하지 못하였을 때 규제기준 등이 설정되지 못하였다는 점이다. 또한, “한도”라는 표현의 모호성으로 인하여 “환경기준” 또는 “규제기준” 그 어느 쪽의 범주에도 속하지 못하여 철도소음이 한도를 달성하지 못하였을 때 규제, 보상 및 개선이 원활히 진행되지 못하고 있는 실정이며, 이러한 부분에 대한 개선(철도소음 환경기준의 설정 등)이 시급한 상황이다.

2) 일본 신간선 철도 소음 환경 기준

일본의 신간선은 1964년 처음 개통되었으며, 1975년 일본공해대책 기본법 제9조 규정에 근거한 소음에 관한 환경조건에 명시되었다. 신간선 소음환경기준은 ‘환경기준’과 ‘목표달성’으로 나누어져 있으며, 지역 유형에 따라 <표 5-9>과 같이 정한다.

가) 환경기준

유형에 따른 지역의 구분은 지방자치 단체장이 정한다. 지역 I 은 주로 주거용으로 이용되는 지역이고, 지역 II는 상공업으로 이용되는 등 지역 I 이외의 지역으로서 생활환경보전이 필요하다고 인정되는 지역이다.

<표 5-9> 신간선 소음환경기준

지역유형	소음기준치
I	70 dB 이하
II	75 dB 이하

상기 환경기준은 다음과 같은 방법으로 측정 평가하여 결정한 값이다.

첫째, 신간선 열차 상·하행선 구별없이 연속적으로 20회의 통과 열차 각각에 대해서 피크소음도를 측정한다.

둘째, 측정은 옥외 1.2m 높이에서 수행하되 측정점은 해당 지역의 신간선 철도 소음을 대표할 수 있다고 생각되는 지점이외에 신간선 철도소음이 실제로 문제가 되는 지점도 선정한다.

셋째, 측정시기는 특수한 기상조건 하에 있는 시기나 열차가 통상속도 이하로 운행한다고 생각되는 시기를 피해서 선정한다.

넷째, 평가치는 상기 1)항에서 구한 피크소음도중 상위 반수의 값을 산술평균한 값으로 한다.

다섯째, <표 5-8>의 환경기준은 오전 6시부터 밤 12시까지의 신간선 철도소음에 대해서 적용된다.

나) 목표달성

관계행정기관과 관련지방 공공단체의 협력으로 신간선 연변지역의 구분에 따라 다음 <표 5-9>에 제시된 목표기간 내에 환경기준을 달성하고 유지하도록 노력해야 한다. 이 경우 소음방지 시책을 종합적으로 강구하여도 해당 목표기간에 환경기준을 달성하기가 힘든 구역에 대해서는 주택의 방음공사 등을 실시하여 환경기준의 달성시와 동일한 수준의 주택 내부소음을 유지할 수 있도록 한다. 또한 환경기준 달성의 노력과 관계없이 목표기간 내에 달성이 가능해진 지역에 대해서도 이것이 유지되도록 한다. <표 5-10>의 b지역 중 “가”지역은 지역유형 I 에 해당하는 지역이고 “나”는 기타 지역이다.

<표 5-10> 신간선 소음환경기준 목표기간

신간선 철도 연변지역의 구분	목표달성기간		
	기존 신간선 철도	공사중인 신간선 철도	신설 신간선 철도
a 80dB 이상지역	3년 이내	개통즉시	
b 75~80dB 지역 (가)	7년 이내	개통후 3년 이내	개통 즉시
c 70~75dB 지역 (나)	10년 이내	개통후 5년 이내	

자료: 한국고속철도건설공단. 2001. 「시운전시 궤도 노반시설물의 성능검증(II)-소음분야」.

일본의 신간선 환경기준과 우리나라 철도소음 한도의 가장 큰 차이점은 철도소음 측정 방법에 있다. 우리나라 철도 소음 한도는 등가소음도인 Leq를 사용하지만 일본 신간선 철도의 소음기준은 연속적으로 20회 측정한 피크치의 상위 10개 산술평균을 사용하고 있다. 철도는 수음지점에 순간적으로 큰 소음을 발생하는 운송수단이므로 등가소음도뿐만 아니라 우리나라도 일본처럼 순간적인 피크 소음도에 대한 고려가 필요하다고 판단된다.

3) 독일의 철도소음 환경기준

독일은 연방공해방지법에서 도로 및 철도소음을 다루고 있으나 특히 철도에 대해서는 철도의 특수성을 고려하고 있다. 이에 따라 연방정부의 법령에서는 소음 발생 한계치를 정할 때 철도의 특수성을 고려에 넣도록 규정하고 있다. 이 법령에 의거 연방 정부는 관계 단체의 의견을 청취한 후 다음과 같은 조치를 결정할 권한을 갖으면서 이를 위한 연구회를 설치하였다.

- 소음방지를 위해서 넘어서는 안되는 한계치 및 공해발생과 공해 영향정도의 조사 절차
- 소음방지를 위한 도로와 철도에 대한 시설건설과 관련된 기술적인 필요조건
- 방음대책의 종류 및 범위

이 연구회의 활동결과 철도소음과 도로소음을 총괄하는 “도로 및 철도에 의한 교통소음 방지법” 이 현재 제정되어 있다. 이 법은 공공도로와 철도 및 시내 전차에 모두 적용되며, 소음 허용 기준치는 <표 5-11>과 같다.

<표 5-11> 독일의 교통소음 허용 기준치

지역 유형	환경기준 [dB (A)]	
	낮 (6:00~22:00)	밤 (22:00~6:00)
순수 혹은 일반 주거지, 소규모 집단 주택지	65	55
도시 중심지역, 혼합지역, 특별주거지역	70	60
사업지역, 공업지역	75	65

자료: 한국고속철도건설공단. 1995. 「고속철도 환경소음기준 및 진동기준에 대한 연구」.

이 같은 연방정부 차원의 소음규제에 대응하여 독일연방 철도국은 독자적인 철도소음 기준치를 <표 5-12>과 같이 설정하고 있다. <표 5-11>이 환경 기준치라면 <표 5-12>의 기준치는 소음원에 적용되는 일종의 배출허용기준이다. 이 기준은 발라스트 처리된 결함이 없는 궤도를 운행하는 열차로부터 25m 거리, 1.2m 높이에서 측정된 소음을 말한다.

<표 5-12> 차외 철도소음 기준치 (독일연방철도국)

철도 종류	열차 속도(km/h)		
	60	120	160
급행열차	80	90	95
쾌속철도용 ET420형	75	80	-
지하철	75	-	-
쾌속지하철(터널구간)	(90)	-	-
시내철도	75	-	-

자료: 한국고속철도건설공단. 1995. 「고속철도 환경소음기준 및 진동기준에 대한 연구」.

4) 기타 각 나라의 철도소음 기준 및 규제 현황

<표 5-13>에서 보는 바와 같이 각 나라의 철도소음 평가기준은 기본적으로 등가소음도인 L_{eq} 를 사용하며 덴마크, 노르웨이, 스웨덴 등의 나라에서 피크치인 L_{max} 를 병

행하여 소음기준으로 사용하고 있다. 순간적으로 큰 소음을 발생하는 철도소음의 경우에는 피크치인 L_{max} 를 병행하여 사용하는 것이 바람직하다고 판단되며, 특히 고속철도가 운행되는 현재의 국내 상황을 고려한다면 더욱 더 필요하다고 판단된다.

<표 5-13> 기타 국가별 철도소음 기준 및 규제 현황

국가명	평가량	기준치/규제치(dB)	평가방법	평가대상	적용성격
영국	Leq	68(06-24) 63(24-06)	계산	신설선 개량선	기준초과시 대책필요
네덜란드	Leq	신설 : 60 기존선 : 65	계산	모든 철도	기준초과시 대책필요
오스트리아	Leq	65-70(06-22) 55-60(22-06)	계산	신설선 개량선	기준초과시 대책필요
덴마크	Leq(24h) Lmax	Leq(24h) : 60 Lmax : 85	계산	신설선 원칙 (기존선 지침)	개발승인의 판단 기준
노르웨이	Leq(24h) Lmax	Leq(24h) : 55-60 Lmax : 70-80	계산	신설선	기준초과시 대책필요
프랑스	Leq	60-65(08-20) 3세대 기준	계산	TGV	기준초과시 대책필요
스웨덴	Leq(24h) Lmax	Leq(24h) Lmax 신설 : 60 50 개량 : 70 55 기준 : 75 60	측정 계산	신설선 원칙 (기존선 지침)	개발 승인의 판단 기준

자료: 환경부. 2001a. 「항공기 및 철도소음의 환경기준 설정에 관한 연구」.

라. 국내·외 철도진동 환경기준

1) 국내 기준

국내 철도 진동 한도는 철도 소음 한도와 마찬가지로 1994년 11월 21일 총리령 제 474호로부터 공포되어 2001년 1월 1일부터 적용하게 되었다. <표 5-14>은 철도 지역에서의 주간 및 야간에 대한 진동레벨 허용 한도를 보여주고 있다. 철도 주변에서 주

거지역의 야간 진동에 대한 한도는 60dB(V), 일반지역인 경우 65dB(V)이다. 건물에서의 주파수대별 진동 허용범위는 16Hz에서는 약 55dB, 31.5Hz에서는 약 60dB, 63Hz에서는 약 70dB이다.

<표 5-14> 국내 철도진동의 한도¹⁹⁾

대 상 지 역	한 도 [dB(V)]			
	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)
<ul style="list-style-type: none"> 주거지역, 녹지지역, 준도시지역 중 취락지구 및 운동·휴양지구, 자연환경보전지역, 학교·병원·공공도서관의 부지경계선으로부터 50미터 이내 지역 	65	60	65	60
<ul style="list-style-type: none"> 상업지역, 공업지역, 농림지역, 준농림지역 및 준도시지역 중 취락지구 및 운동·휴양지구의 지역, 미고시지역 	70	65	70	65

- 주: 1) 대상지역의 구분은 국토이용관리법에 의하며, 도시지역은 도시계획법에 의한다.
 2) 정거장은 적용하지 아니하며, 철교는 2010년 1월 1일부터 적용한다.
 3) 총리령 제474호 소음·진동규제법시행규칙중개정령의 시행일(1994년 11월 21일) 이후 준공되는 철도에 대하여는 2010년 1월 1일부터의 한도를 적용한다.
 4) 대상지역은 교통소음·진동의 영향이 미치는 지역을 말한다.

현재의 총리령으로 발표된 철도진동 한도값의 문제점으로는 철도소음 한도와 마찬가지로

19) 진동레벨은 감각보정회로(수직)를 통하여 측정된 진동가속도레벨의 지시치를 말하며, 단위는 dB(V)로 표시한다. 진동가속도레벨의 정의는 $20 \log(a/a_0)$ 의 수식에 따르고, 여기서 a는 측정하고자 하는 진동의 가속도실효치(단위 m/sec²)이며, a₀는 기준진동의 가속도실효치로 10⁻⁵ m/sec²으로 한다[소음 진동공정시험방법(진동편)(환경부 고시 제2000 - 31호)].

가지로 한도값만을 설정해 놓았을 뿐, 목표를 달성하지 못하였을 때 규제기준 등이 설정되지 못하였다는 점이다. 현재 국내의 진동관련 분쟁 신청은 거의 찾아보기 힘든 실정이나, 일본 환경청 조사를 참고했을 때, 고속철도 주변으로 철도 진동 관련 분쟁의 발생 우려가 있다.

2) 국제 표준화 기구 진동 기준(ISO)

<표 5-15>는 국제 표준화 기구의 건물에 대한 진동 허용기준치를 나타낸다. 진동수 범위 1~80Hz에서 건물 용도별 진동 허용 범위의 최대 가속도를 나타낸다. 이 때 각각의 가속도 진폭은 감각적으로 보정된 Overall 실효값(rms)이다.

<표 5-15> 국제 표준화 기구의 건물에 대한 진동 허용기준

지역구분	시간구분	연속진동가속도진폭	충격가속도진폭
병원 수술실 등	낮	0.0036(51dB)	0.005(54dB)
	밤	0.0036(51dB)	0.005(54dB)
주거지	낮	0.072/t0.5(57dB)	0.072/n0.5(60dB)
	밤	0.005(54dB)	0.01(60dB)
사무실	항시	0.14/t0.5(63dB)	0.2/n0.5(66dB)
공장 작업장	항시	0.28/t0.5(69dB)	0.4/n0.5(72dB)

t : 진동 폭로 시간(t < 100-해당 폭로 시간(초) 사용, t ≥ 100-100초 사용)

n : 충격 진동 횟수(n < 100-해당 진동 횟수 사용, n ≥ 100초-100회 사용)

3) 일본의 진동 기준

일본의 진동레벨은 가속도를 기준으로 모든 주파수 성분을 고려한 평균 강도를 유효치(rms)로 측정한 다음, 이를 dB치로 환산한 단일 지표를 사용한다. 이때 기준 가속도 레벨은 10-5m/s²을 적용하며 <표 5-15>에 나타난 인체 감각 보정치를 주파수 성분에 따라 가감한다. 일본에서는 이를 ‘진동레벨’로 부르고 있는데, 명확한 이해를 위해서는 ‘보정 가속도 평균 레벨(Weighted overall acceleration level in dB)’이라고 해야

적합하다.

<표 5-16> 일본의 진동 레벨 보정치

주파수(1/1 옥타브 밴드 중심주파수(Hz))	보정치 (dB)		비고
	수직진동	수평진동	
1	-6	3	$L_{aj} = L_a + \Delta$
2	-3	3	
4	0	-3	▪
6.3	0	-7	
8	0	-9	L_{aj}
16	-6	-15	
31.5	-12	-21	
63	-18	-27	

▪ : 보정 가속도 레벨(dB)

$$L_a$$

▪ : 비보정 가속도 레벨(dB)

90 -21 -30

△

▪ : 보정치(dB)

자료: 서울특별시지하철공사. 1993. 「지하철시설물 진동영향에 관한 세미나」.

<표 5-17>에서는 수직 성분에 대한 주파수 성분별 보정 가속도 레벨 계산식을 나타내었는데, 이는 일부 문헌에 소개되어 있는 것처럼 기준 가속도 레벨을 $10^{-5}m/s^2$ 로 주파수 성분에 따라 달라지는 것이 아니라, 단지 해당 보정치를 dB로 환산하는 식 자체에 반영한 것으로 보아야 한다.

<표 5-17> 수직 진동에 대한 일본의 진동 레벨 계산식

중심 주파수(Hz)	$L_{aj} (dB) = 20\log(a/a'_0)$	비 고
1 ~ 4	$a'_0 = (2/\sqrt{f}) a_0$	a, a_0, a'_0 : 가속도 유효치(rms), m/s^2 단위 $a_0 = 1 \times 10^{-5} m/s^2$
4 ~ 8	$a'_0 = a_0$	
8 ~ 90	$a'_0 = (f/8) a_0$	

자료: 서울특별시지하철공사. 1993. 「지하철시설물 진동영향에 관한 세미나」.

이러한 보정 가속도 레벨은 원칙적으로 1~90Hz의 주파수 성분에 한하여 적용 가능한 것임에 유념할 필요가 있다. 이는 일본의 공해 진동 기준이 인체가 민감하게 반응하는 1~80Hz의 진동 성분을 기준으로 하는 국제 표준 기구(ISO)의 연구 성과를 인용하고 있기 때문이다.

보정 가속도 레벨과 최대치(peak) 속도의 상관 관계식을 <표 5-16>으로부터 구해 보면 <표 5-18>과 같다. 일본에서는 일반적으로 70dB을 공해 진동 허용치로 하고 있다.

<표 5-18> 일본의 진동 레벨과 최대 속도와의 관계

중심주파수(Hz)	진동레벨-최대치 속도 환산식	비 고
1 ~ 4	$L_{aj} \doteq 20 \log V + 30 \log f + 47$	L_{aj}
4 ~ 8	$L_{aj} \doteq 20 \log V + 20 \log f + 47$	
8 ~ 90	$L_{aj} \doteq 20 \log V + 71$	<ul style="list-style-type: none"> ▪ : 일본의 진동레벨(dB) ▪ V : 최대 속도(mm/s)

자료: 서울특별시지하철공사. 1993. 「지하철시설물 진동영향에 관한 세미나」.

4) 독일의 철도 진동 기준

독일은 한국, 일본과는 다르게 dB 단위의 진동 레벨을 사용하지 않고 KB치라고 불리는 척도를 사용하여 국가기준(DIN 4150; part2)으로서 공해진동을 규제하고 있다. <표 5-19>에서는 KB치 계산식을 나타내고 있는데, 진동의 평가치는 유효치(rms)가 아니라 최대치(peak)를 기준하고 있음에 특별히 유의할 필요가 있다. 한편 <표 5-20>에서는 지역 및 시간대별 KB 허용치를 나타내었다. <표 5-21>에는 건물 형식에 대한 최대 진동 속도(mm/sec) 허용치를 나타내었다.

<표 5-19> 독일의 KB치 산정식

구분	KB 치	비 고
가속도	$KB = \frac{a \cdot [\alpha / \sqrt{1 + (f / 5.6)^2}]}{\beta}$ <p>a : 진동 가속도, m/sec² α : 보정상수, 20.2, 1/(m/sec²)² β : 보정상수, 0.13, 1/(mm/sec²)²</p>	<p>· f : 진동 주파수 진동의 주기성에 관계없이 최대치(peak)를 기준 한다. 정현 진동에 한하여 유효치(rms)를 측정 한 경우는(보정 상수 α, β, γ에 를 곱한 값을 적용한다.</p>
속도	$KB = \frac{v \cdot [\beta f / \sqrt{1 + (f / 5.6)^2}]}{\beta}$ <p>v : 진동 속도, mm/sec</p>	
변위	$KB = \frac{w \cdot [\gamma f / \sqrt{1 + (f / 5.6)^2}]}{\beta}$ <p>w : 진동 변위, mm γ : 보정상수, 0.80, 1/(mm/sec²)</p>	

자료: 독일철도진동 국가기준 DIN 4150. 1975.

<표 5-20> 건물 내 공해진동 KB 허용치

구 분	지 역 적 용	시간대	KB 허용치	
			연속진동*1	충격진동*2,*4
1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 깨끗한 주택가 ▪ 보통 주택가 ▪ 주말 별장지 ▪ 도시 변두리 	낮	0.2 (0.15)*3	4 *3
		밤	0.15 (0.1)*3	0.15
2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 대단위 마을 ▪ 혼합지역 ▪ 중심지역 	낮	0.3 (0.2)*3	8 *3
		밤	0.2	0.02
3	상업지역 (사무실 지역 포함)	낮	0.4	12 *3
		밤	0.3	0.3
4	산업지역	낮	0.6	12
		밤	0.4	0.4
5	특별지역	낮	0.1~0.6	4~12
		밤	0.01~0.4	0.15~0.4

- 주: 1) 정상 진동(steady-state-vibration) 및 중간의 단속 시간에 무관히 2시간 이상에 걸쳐 간헐적으로 반복되는 진동
- 2) 하루 3회 이내의 발파진동
- 3) 일주일에 2회 이내의 발파진동의 경우, 낮 시간에 한해 발파가 오전 6~7시 및 오후 1~3시의 시간대를 피하고 사전 경고와 함께 시행된다면 제 1,2지역에 대하여 3지역의 허용치 적용가능
- 4) 파일 항타, 건물 폭파 해체 진동 등 짧은 시간에 한정되어 주간에 영향을 미치는 진동에 대해서는 충격 진동에 대한 구조물 손상 기준 허용치(DIN 4150; part3 참조)의 2배를 초과할 수 없다.

자료: 독일철도진동 국가기준 DIN 4150. 1975.

<표 5-21> 건물에 대한 독일의 진동 허용 기준

등 급	I	II	III	IV
건물 형식	문화재 (역사적으로 오래된 건물)	주택, 아파트, 상가 (작은 균열이 있는 건물)	주택, 아파트, 상가 (균열이 없는 양호한 건물)	산업시설용 공장 (철근콘크리트로 보강된 건물)
최대진동속도 (mm/sec)	2.0	5.0	10.0	10.0~40.0

자료: 독일철도진동 국가기준 DIN 4150. 1975.

독일 진동의 평가치는 유효치(rms)가 아니라 최대치(peak)를 기준하고 있다. 철도 진동 역시 철도가 운행되는 순간에 큰 값을 나타내는 경향을 보이므로, 국내 철도 진동 한도 및 철도 환경기준(안)도 최대치를 병행하는 방안을 고려해야 할 것이다.

마. 국내·외 철도소음 예측모델

1) 국내 철도소음 예측모델

현재, 국내의 환경영향평가지 가장 일반적으로 사용되어지고 있는 철도소음예측식은 <사업장 소음의 방지대책에 관한 연구(II, III) 1993-1994, 국립환경연구원>에 제시된 다음의 수식이다.

* 철도소음예측식(dB(A))

$$Leq = Lmax + 10 \times \text{Log}(n \cdot Te/T) - 15 \times \text{Log}(ra)$$

여기서 Lmax : 개별열차 통과시의 평균최고 소음도, dB(A)

n : 관심대상 시간당 열차의 통과대수(대/시)

Te : 열차1대당 최고소음도 지속시간(5sec)

T : 관심대상시간(3600sec)

ra : 기준거리에 대한 예측거리의 비

(선로중앙에서 예측지점까지의 거리/레일중앙에서 7.5m거리)

위의 식은 철도소음실측치에 의한 경험식의 형태로서, 소음예측모델의 특성상 제시된 지 10년이 넘었으며, 주위 환경의 변화, 철도주행방식의 다양성, 선로의 개량 등으로 인하여 새로운 모델로의 개선이 필요한 상태이다. 또한 위의 식은 표고가 같은 지상에서의 거리에 따른 철도소음도를 나타낼 수 있는 수식으로서 최근 문제시되는 철도주변 공동주택에서의 소음예측에는 직접 사용하기 곤란하다는 문제점도 내포하고 있다. 현재는 이격거리의 차 혹은 도로소음 층별보정치를 사용한 소음예측을 실시하고 있으나, 철도소음과 도로소음의 전반 특성상 이러한 보정치들은 상이한 전 반특성을 나타내리라 판단된다. 따라서 보다 개선된 철도소음예측모델의 개발이 선행되어야 하며, 새로운 철도소음 예측모델이 개발되면, 아파트 등 공동주택에서 사용 가능하도록 개선하여 환경영향평가시에 보다 현실적으로 사용되어 질 수 있도록 발전시켜야 할 것이다.

국내에서 철도 소음에 대한 연구는 주로 1990년 이후 한국표준과학연구원, 국립환경연구원, 한국철도기술연구원 등과 같은 국공립 연구 기관을 중심으로 수행되어 왔다. 최근에는 환경소음에 대한 관심도 증가와 함께 경부 고속철도의 건설로 인해 고속전철소음의 기준치 정립 및 소음 저감 관련 연구와 기존선 철도의 효율적 소음저감 방안에 대한 연구가 활발히 수행되고 있다.

철도소음관련 국내에서 수행된 연구는 크게 ① 일반 개활지나 교량부를 통과하는 철도 주변주거지역에 대한 민원 예방차원에서의 계측에 의거한 소음 실태 조사와 평가, ② 기존 철도와 고속철도 등의 소음 발생도에 대한 실험 및 해석, ③ 효율적 환경영향 평가와 방음대책수립을 위한 옥외 전파 소음의 해석, ④ 고속철도 소음의 기준치 정립, ⑤ 회절 효과만 갖는 재래형 방음벽 또는 음의 간섭 효과와 회절 효과를 갖는 간섭형 방음벽의 설계 및 성능 평가, ⑥ 교량과 같은 고가 구조부를 통과하는 경우 고체음 저감을 위한 발라스트 매트나 슬리퍼 패드 등을 이용한 고가 하부 소음과 진동 저감 방안, ⑦ 저소음 차륜 개발 등으로 구분할 수 있다. 한편, 철도 차량 제작사를 중심으로 고체음 방사 효율이 낮고 흡음 및 차음 성능이 높은 저소음 차체 재료 개발

을 위한 연구가 수행된 바 있다.

특히 철도소음 예측과 관련하여 국립환경연구원에서 1993-1994년에 사업장 소음의 방지대책에 관한 연구(Ⅱ, Ⅲ)에서 새마을, 무궁화, 통일호 열차 및 전기여객열차와 전철에 대하여 주로 거리와 속도의 함수로 최대소음도 및 등가소음도를 예측하는 모델을 제시한 바 있다. 그러나 이 예측모델의 경우 국내 철도소음 예측을 위한 선구자적 연구이나 철도소음을 너무 단순화하여 모델을 구성하므로 그 실용성 및 정확도 측면에서 오차를 많이 내포하고 있다. 그 이후 이와 같은 예측모델을 구축한 사례가 국내에는 없고 현재까지도 이 모델을 이용하여 철도환경소음을 예측하는 경우가 많으나, 예측모델이 가지는 한계로 인하여 그 예측결과에 대한 신뢰성이 떨어지는 형편이다. 새마을 열차에 대한 예측 식을 다음에 나타내었다.

$$L_{\max} = 21.76 \log v + 47.74 \quad dBA$$

유선형 새마을

등가소음도 예측식

$$L_{eq} = \overline{L_{\max}} + 10 \log(2n/T) - 15 \log R_a \quad dBA$$

여기에서 L_{\max} 는 개별열차 통과시의 평균 최고소음도, n 은 열차대수, T 는 관심대상 시간(sec), R_a 는 기준거리에 대한 비이다.

또한 철도소음 예측프로그램을 이용한 철도환경소음 예측분야에서는 한국철도기술연구원이 프랑스 CSTB 사에서 개발한 Mithra를 이용하여 국내 기존선 및 전동차의 환경소음을 예측하기 위한 음향파워 DB를 구축하여 국내 실정에 맞도록 연구한 바가 있으며, 범용 환경소음해석 소프트웨어로써 덴마크 B&K사에서 판권을 가지고 있는 Enpro가 국내 대학에서 개발되기도 하였으나 아직 그 활용실적은 미미한 상태이다.

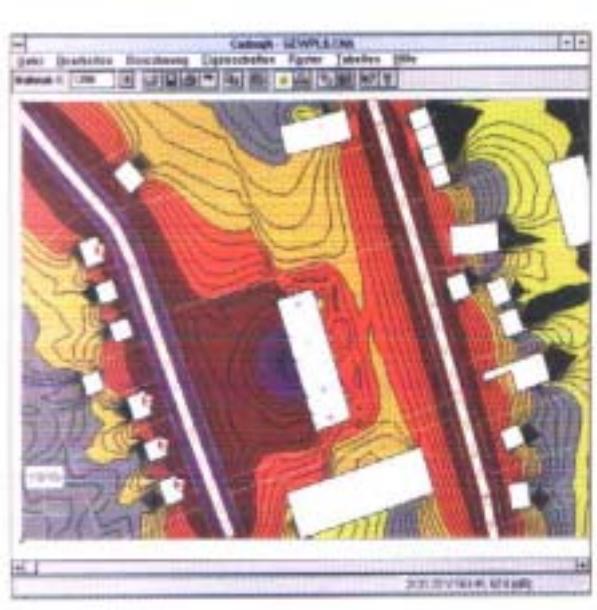
2) 철도소음 예측기술의 국외 동향

철도소음 예측기술은 철도 선진국인 프랑스, 독일, 일본 등을 중심으로 발전되어 왔다. 이러한 예측기술은 고도의 이론적 배경과 많은 측정 경험을 바탕으로 개발될 수 있으며, 최근 고속철도 시스템과 같이 철도 시스템의 판매시 필요한 설계도구로써 개발되거나, 도시 전체의 환경소음을 예측 분석하여 도시계획 및 설계를 위해서 사용되어 왔다.

유럽의 경우 주로 철도를 포함한 도로 및 공장에서 발생한 소음의 전파해석을 위해 기하음향학에 기초한 음향해석 이론을 바탕으로 개발되었다. 그 대표적인 소프트웨어로는 프랑스에서 개발한 Mithra(CSTB 개발), 독일에서 개발된 Cadina(Datakustik 개발), Sound Plan 등이 있다. <그림 5-16>과 <그림 5-17>에는 Cadina/A를 사용하여 철도를 포함한 환경소음 예측을 위한 모델링 화면과 환경소음 해석에 의해 얻어진 소음도 분포 그래프의 예를 나타낸다.



<그림 5-16> 도로와 철도를 포함하는 소음 해석지역 입력화면



<그림 5-17> 환경소음 해석 결과

이와 같이 우리나라의 열악한 예측기술과는 달리 철도선진국에서는 나름대로 많은 측정과 분석을 통해 예측식을 잘 활용하고 있다. 참고적으로 국외 국가들의 철도소음 예측기법을 <부록 2>에 첨부하였다.

바. 철도 소음·진동 관련 환경분쟁

중앙환경분쟁조정위원회는 설립된 '91. 7. 19부터 '04. 5. 31까지 총 1,412건을 접수하여 1,122건을 처리(재정, 조정, 중재합의)하였으며, 184건은 자진철회로 종결되었고, 106건은 현재 처리중이다(<표 5-22>).

<표 5-22> 중앙환경분쟁조정위원회 분쟁 처리 상황

구분	소음·진동	대기	수질오염	해양오염	기타	계
분쟁건수	964	98	47	8	5	1122
백분율(%)	85.9	8.7	4.2	0.7	0.5	100

자료: 중앙환경분쟁조정위원회, edc.me.go.kr.

<표 5-22>에서 보는 바와 같이 처리된 1,122건 중 소음·진동으로 인한 피해 964건(85.9%), 대기오염 98건(8.7%), 수질오염 47건(4.2%), 해양오염 8건(0.7%), 기타 5건이다. 처리된 1,122건 중 374건이 중앙환경분쟁조정위원회 홈페이지에 조정사례로 제시되어있으며 이중 335건(89.6%)이 소음·진동 분쟁 사례이며 335건 중 12건(3.5%)이 철도관련 분쟁사례이다.

철도관련 분쟁사례는 크게 공사시와 운영시로 나눌 수 있는데 철도 공사 관련 민원이 9건, 철도 운영 관련 민원이 3건이다. 한편 철도관련 분쟁사례 중 고속철도 관련분쟁이 5건, 지하철 관련 분쟁이 1건, 일반철도 관련 분쟁이 6건이다.

위에서 살펴본 바와 같이 현재 철도관련 분쟁은 소음·진동 전체 분쟁건수의 3.5% 정도이지만 최근 고속철 건설 및 운영과 관련하여 증가하는 추세이다. 2004년 4월에 고속철도 운영시 소음·진동 관련 분쟁조정이 이미 신청된 상태이고, 철도관련 분쟁은 고속철을 중심으로 증가할 전망이다.

이러한 철도 관련 문제를 해결하기 위한 방안으로는 현재 총리령으로 발표된 국내 철도 소음·진동 한도값을 철도 소음·진동 환경기준으로 설정하고 현실적인 규제 및 보상 방안을 검토해야 할 것이다. 한편으로는 철도 주변의 정온시설을 파악하고, 철도소음·진동을 상시 모니터링 함으로써, 중·장기적인 철도소음·진동 저감방안을 추진하는 것은 물론, 운행시 발생할 수 있는 각종 소음·진동 문제에 대해 즉각적으로 대처하여야 할 것이다.

사. 향후 연구 방향

우리나라 철도는 100년이 넘는 역사를 가지고 있음에도 불구하고 기술발전이 미약

했었다. 그러나 경부고속전철의 개통 및 한국형고속전철기술개발과 각 지자체의 지하철 건설, 경량전철에 대한 도입시도 등 철도에 대한 많은 관심과 지원이 이루어지고 있으며, 이런 경향은 철도가 가지는 정시성, 안전성 그리고 환경친화성의 장점에 기인한다.

철도소음은 환경친화적인 철도이미지에 배치되는 분야로써 국외에서는 오래 전부터 많은 기술개발을 통하여 그 저감대책 등이 연구되고 시도되어왔다. 우리나라도 이러한 문제점을 해결하기 위한 다각적인 노력을 기울여야 할 것으로 판단되며 다음의 사항에 대한 연구 및 개선이 요구된다.

첫째, 현재의 철도소음 한도값을 보완하여 철도소음 환경기준을 설정할 필요가 있다. 앞에서 살펴본 바와 같이 현재의 한도값은, “한도”라는 표현의 모호성으로 인하여 “환경기준” 또는 “규제기준” 그 어느 쪽의 범주에도 속하지 못하여 철도소음이 한도를 달성하지 못하였을 때 규제, 보상 및 개선이 원활히 진행되지 못하고 있는 실정이다. 환경기준의 설정이 무엇보다 중요하고 시급한 상황이지만, 이는 다각적이고 정확한 연구가 바탕이 되어야 하겠다.

둘째, 새롭게 설정될 환경기준에 피크치를 고려하는 방안을 검토할 필요가 있다. 철도소음은 운행 특성상 순간적으로 큰 소음을 발생하기 때문에 철도소음기준에 피크치의 고려는 필요한 사항이다. 철도소음에 피크치를 고려하는 국외의 기준 및 사례를 참고하고, 심도있는 연구를 통하여 국내실정에 맞는 피크치를 적용하는 방법을 모색한다면, 철도로 인한 소음문제를 해결하는데 많은 도움이 될 것으로 판단된다.

셋째, 기존의 철도 소음·진동 예측모델을 개선하여 현재 상황에 맞고, 계획 단계에서부터 적용가능한 예측모델을 개발하는 것이다. 우리나라의 철도소음 예측식을 보다 정확하고 실제적으로 개선·개발하기 위해서는 선진국의 예측식이 가지는 특성을 앞에서 분석 검토한 바와 같이, 차량종류를 포함한 차량편성(기관차, 객차, 편성열량 수), 레일특성, 방음벽 유무, 속도, 이격 거리 및 지표특성 등을 고려하는 예측식의 개발이 요구된다. 또한 예측식의 개발과 더불어 기하음향학에 기초를 둔 예측프로그램을 개발하기 위한 열차의 음향파워 및 지향성 정보를 포함한 소음원 특성 규명이 향후 요구되며 이러한 원천기술의 확보를 통해 철도소음 저감을 위한 체계적인 시도

가 가능하리라 예상된다.

넷째, 철도 소음·진동 관련 분쟁의 사전 예방 및 효과적 대처를 위한 상시 모니터링 시스템 도입 방안을 검토해야 할 것이다. 앞에서 살펴본 바와 같이 증가하는 철도 소음·진동문제에 효과적으로 대처하기 위해서는 지속적인 모니터링 기법 및 시스템 도입이 효과적이라 판단된다.

제6장 결론 및 제언

1. 과제 요약 및 결론

가. 요약

1) 과제의 목표 및 접근 체계

본 연구과제의 목표는 철도건설사업의 환경영향평가 개선을 위한 기반을 확립하고, 향후 친환경적 국가기간철도교통망 구축에 필요한 기초자료로 활용될 수 있는 토대를 마련하는 것이다. 이를 달성하기 위하여 철도건설사업에 관련된 법제도 및 계획 현황, 환경영향평가 실태, 외국의 환경영향평가 사례 등과 함께 시사점을 분석하였다. 또한 철도건설시 고려해야 할 주요 환경영향을 분석·도출하고 이를 보다 합리적으로 예측하고 모니터링을 통하여 검증할 수 있는 방법론을 제시하고자 하였다.

2) 육상교통수단의 환경영향과 철도정책 변화의 흐름

교통수단의 환경영향으로는 일반적으로 교통의 이용과정에서 발생하는 환경영향을 주로 다루고 있으며, 대표적으로는 대기오염, 온실가스효과, 교통소음으로 인한 환경영향을 들 수 있다. 육상교통수단(도로와 철도)의 환경영향을 비교함에 있어 에너지 효율과 사회적 비용을 이용하였다. 단위수송량당 여객수송에서 택시와 버스의 에너지 소비는 각각 철도의 약 16배와 6배에 이르며, 화물수송에 있어 도로의 에너지 소비는 철도의 약 16배 정도에 이르는 것으로 산출되었다. 또한 철도보다 도로에서 대기오염으로 인한 사회적 비용이 2.8배(여객), 4.6배(화물) 높게 발생하며, 온실가스 비용 역시 철도보다 도로에서 2.5배(여객), 12.2배(화물)로서 큰 차이를 보이고 있다. 이와 같이 철도는 에너지 효율 및 사회적 비용과 같은 이용비용에 대한 평가에서 도로보다 매우 우수한 것으로 산정되었으며, 이는 환경비용을 고려할 경우 건설비용에서 비교 열세인 철도사업의 경제성이 도로사업보다 높게 인정될 수 있을 수 있다는

것을 의미한다. 이러한 철도의 친환경성에 관한 분석내용은 환경친화적 교통시스템 구축과 교통수요 관리, 배출가스 저감 등 측면에서 교통정책을 구현하는 데 철도투자를 장려하게 되는 근거가 되고 있다.

국내 철도관련 정책은 일련의 방향전환을 맞이하고 있다. 제4차 국토종합계획은 철도분야에 있어 고속전철의 건설 추진 및 복선전철화 노선과의 연계운영, 철도노선의 개량 및 신설을 통한 철도의 수송분담율 제고 등을 목표로 하고 있으며, 2020년까지 영업연장 5,000km, 복선화율 80%, 전철화율 82% 등을 달성해야할 수치로 제시하고 있다. 또한 최근 건교부가 교특회계 시행규칙을 일부 개정하는 과정에서 철도 건설에 대한 교통세 배분비율을 크게 확대하는 등 투자지침에 있어 변화도 나타나고 있다.

철도산업의 구조개편에 있어서는 2003년에 철도산업발전기본법, 한국철도시설공단법 등 법률들을 통과시키고, 이를 통하여 철도의 투자, 건설 및 운영에서 각각 책임과 전문성에 기초한 역할을 정립하고 향후 철도부분의 투자 활성화, 건설기술의 발전과 철도서비스의 질적 향상 등이 가능할 수 있는 토대를 마련하고 있다. 이와 같은 현실은 향후 철도교통시설의 공급 증가를 빠르게 유도할 것으로 예상된다.

3) 철도사업의 환경평가 동향

철도건설사업은 대부분 타당성조사, 기본계획 수립, 예정지역의 지정, 실시계획 수립 등의 절차로 이루어지고 있다. 타당성조사, 기본계획수립 및 예정지역의 지정 등 계획단계에 대한 환경평가에 있어서 현재는 기본계획 수립시 사전환경성검토를 시행하도록 규정되어 있으나 아직 시행사례는 없는 상태이다. 향후 타당성조사단계에 있어서는 지속가능한 발전과 전략환경평가적 측면에서 경제성, 사회성과 함께 환경성을 함께 고려해 의사결정에 반영할 수 있도록 제도의 운영이 강화될 것으로 예상되며, 기본계획의 수립 및 예정지역의 지정 등에 있어서도 사전환경성검토를 실시하는 방향으로 환경평가가 진행될 전망이다.

환경영향평가는 해마다 120~180여건 정도의 사업을 대상으로 시행되어 왔으며, 이들 중 철도건설사업은 1997년 이후 2004년 11월까지 총 55건이 평가 및 검토되었다. 2003년 이후 철도사업 환경영향평가의 검토는 그 건수 및 노선 총연장에 있어 뚜렷한

증가세에 있으며, 이러한 증가 경향은 정부의 투자확대에 따른 대형 간선철도의 건설, 광역지자체의 도시철도 건설 등과 맞물려 한동안 지속될 것으로 예상되었다.

4) 환경영향평가서를 이용한 철도와 도로사업의 주요 환경영향의 비교분석

철도사업의 환경영향은 도로사업에 대비하여 에너지효율성이나 환경오염에 대한 사회적 비용 등 경제적 가치로서의 비교분석이 널리 알려져 있다. 그러나 환경영향평가에 적용하기 위해서는 경제적 가치에 대한 연구보다는 자연환경 및 생활환경분야의 실질적인 계획지표를 활용하여 개별 사업들의 환경성을 비교 평가할 수 있는 연구가 활용성이 더 높다. 따라서 본 연구에서는 도로사업에 대비하여 철도사업에 대한 환경영향평가서 검토의견 및 평가서를 활용한 환경지표를 선정해 분석하였다.

검토의견 발생비율에 있어서 도로사업의 경우 많은 수(발생비율 5% 이상이 10개)의 항목에서 비교적 고른 빈도로 검토의견이 발생하는 것과 달리, 철도사업의 경우 지형·지질, 동·식물상, 대기질, 수질, 폐기물, 소음·진동 등 일부 항목에 집중되어 있었다. 이는 철도사업의 경우 도로건설사업에 비해 특정 항목에 환경영향이 집중되는 것으로 전문가들에게 인식 및 평가되고 있다는 것을 의미한다.

향후 철도노선의 건설에 대한 환경영향평가에 있어 노선선정에 관계된 항목(지형·지질, 동·식물상, 문화재 등)과 운영시부터 해체시까지 환경오염 및 민원발생 등 지속적 관리가 필요한 항목(소음·진동, 토양, 전파장해 등)의 평가 및 검토시 중요도는 높아질 것으로 예상되었다. 또한 기존에 높은 비중을 나타내었던 대기질, 수질, 폐기물 등 항목에서는 공사시 저감방안을 주로 다루었으나 사업자의 환경관리 개선을 통하여 충분히 저감이 가능하기 때문에 중요도는 낮은 것으로 사료된다.

또한, 본 연구에서는 철도와 도로사업 환경영향평가서에 수록된 터널, 교량, 방음시설 등의 설치계획과 절·성토량, 식생훼손량 등의 영향예측치를 환경지표로 선정하여 분석하였다. 이러한 지표분석 결과에 있어서 철도는 특히 자연환경부문에 있어 도로보다 우수한 것으로 평가되었으며, 생활환경부문에서 철도는 소음·진동 저감을 위한 설비를 비교적 많이 운영하는 등 도로보다 비교우위에 있지 않은 것으로 확인되었다. 또한 이러한 지표선정에 의한 조사자료는 철도와 도로사업이 주변 환경에 미치

는 영향을 모두 반영할 수는 없지만, 교통인프라 구축시 생태계의 단편화, 동물이동 단절, 식생훼손, 소음공해 등 주요 환경영향을 비교추정하는데 유용할 것으로 사료되었다.

5) 외국의 철도사업 환경평가와 시사점

철도 선진국이라 할 수 있는 미국, 영국, 프랑스, 일본, 홍콩 등 5개국에 있어 철도사업 환경평가 운영체제와 절차 등을 파악하였으며, 각 국가별로 대표적인 철도사업(고속철도, 도시철도 등)을 1개씩 선정하여 분석하였다. 이들 국가에서 철도사업은 환경영향평가 의무시행 대상사업으로 분류되어 있었으며, 노선선정 단계에서부터 사업자가 자발적으로 환경성 및 경제성, 사회성 측면을 종합적으로 평가하는 것으로 나타났다. 또한 이들 국가에서는 당해 사업에 대하여 중점적으로 평가하는 항목과 범위를 스코핑을 통하여 자율적으로 결정할 수 있도록 하고 있었다.

우리나라의 철도사업에 있어서도 노선기본계획 등의 수립시 전략환경평가, 스코핑 등을 적절히 이용하는 것이 사후의 환경분쟁과 사업시행 지연을 어느 정도 예방할 수 있다는 점에서 적극적으로 도입하여야 할 것으로 판단된다. 건설교통부에서는 호남고속철도건설 기본계획에 있어 노선선정시 환경성을 반영하고 그 결과를 바탕으로 사전환경성검토 협의를 할 수 있도록 전략환경평가를 진행하고 있으며, 이러한 사례는 철도건설사업의 환경평가를 진일보시킬 수 있는 모범적인 사례로서 평가되었다. 또한 환경·교통·재해등에관한영향평가법 개정(2003년 12월) 및 시행령 개정(2004년 6월)에 따라 인허가기관이 평가항목·범위획정위원회를 구성하여 환경영향평가서 작성계획서에 대한 심사를 할 수 있도록 규정이 마련되었으며, 이러한 스코핑제도가 적절히 시행된다면 노선기본계획 등 계획단계의 전략환경평가에 까지 확장 적용하는 것이 제도 발전을 위해 바람직한 방안으로 보인다.

6) 주요 항목별 환경영향평가 개선방안

최근 철도사업에 대한 환경영향평가는 그 규모 및 건수에 있어 증가하는 추세이지만, 동일한 육상교통수단인 도로사업의 연구개발에 비해 철도사업의 환경영향에 대

한 분석 및 저감방안 등에 관한 연구는 매우 뒤쳐져 있는 상태이다. 본 연구에서는 건설 및 운영시 주요한 환경영향이 발생하는 생태계, 지하수, 토양, 소음·진동 등 분야에 있어서 전반적인 연구 현황과 저감방안, 향후 개선을 위한 연구방향 등을 도출하고자 하였다.

생태계 분야에서는 동식물 서식지 훼손과 토지이용의 변화, 생태계 단편화, 동물 교통사, 수생태계 및 선로주변 생태계의 변화 등이 주요한 환경영향으로 파악되었다. 또한 이들에 대한 일반적 저감대책으로는 충실한 현황조사를 바탕으로 둔 노선선정 및 장기적 모니터링, 저감방안이 고려된 설계, 불가피한 영향에 대한 보상대책 등이 논의되었다. 또한 철도사업이 생태계에 미치는 영향에 대한 모니터링 조사를 통한 연구, 생태계 단절 등 환경영향을 분석할 수 있는 지표 및 지수에 대한 연구와 노선기본계획의 수립시 활용 등 연구방향을 제시하였다.

지하수 분야에서는 철도 터널의 건설시 지하수의 유출과 그로 인한 주변지역 지하수 환경의 영향에 관한 평가방법, 지하수유동모델링 등 결과분석과정, 국내외 사례분석 등을 제시하였다. 또한 철도건설사업시 지하수 영향에 관련하여 환경평가지 고려하여야 할 사항과 저감방안을 논의하였다. 그러나 지하수에 대해서는 특정한 환경기준이 설정되어 있지 않아 저감방안의 실효성을 평가할 수도 없는 상황이므로, 향후 지하수 평가에 대한 사례가 축적되고 모델링기법을 발전시킬 수 있는 연구가 진행된다면 모든 철도사업에 적용할 수 있는 지하수 평가기준의 설정도 기대할 수 있는 것으로 전망된다.

토양 분야에서는 철도부지 토양오염의 현황과 저감방안 등을 분석하였다. 오염원으로서 노선운영의 장기화에 따른 중금속 오염, 역사 또는 정비장에서 유류 및 유해물질의 누출, 침묵에 의한 오염 등이 파악되었으며, 각 오염원별 토양오염 연구사례가 제시되었다. 저감방안으로서 가장 효율적인 것은 사전예방을 위한 공사시 및 운영시 정기적인 토양질 모니터링인 것으로 파악되었다. 향후 연구에서는 기 폐기처분된 철도부지의 오염현황을 분석하고 이에 대한 저감대책과 부지활용방안 등을 검토하는 것이 필요한 것으로 논의되었다.

소음·진동 분야에서는 국내외 철도소음·진동 환경기준, 철도소음예측기술의 국

외 동향, 소음예측모델의 개발전망, 소음관련 환경분쟁 현황 및 향후 환경기준을 설정 및 개선하는 데 따른 문제점을 논의하였다. 향후 철도 소음·진동 분야의 개선을 위해서는 분쟁의 사전예방 및 대처를 위한 상시모니터링 시스템이 도입되어야 하며, 적절한 환경기준을 설정하는 한편 계획단계의 환경평가부터 저감시설의 설치계획에 이르기까지 적용할 수 있는 예측모델 개발에 관한 연구가 수행되어야 하는 것으로 파악되었다.

나. 결론

본 과제의 수행을 통하여 철도사업의 정책과 환경평가의 변화 흐름, 주요 환경영향과 지표, 국내의 환경평가사례, 그리고 생태계, 지하수, 토양, 소음·진동 등 분야에서 환경영향의 현황과 저감대책, 개선을 위한 방안 등이 논의되었다.

철도사업은 도로사업에 비해 에너지효율성이나 환경오염에 대한 사회적 비용 등 경제적 가치뿐만 아니라 지형·지질, 동·식물상 및 생태계 등 자연환경에 대한 영향 측면에 있어서도 우위에 있는 것으로 밝혀졌다. 그러나 소음·진동으로 인한 영향에서는 철도가 도로보다 비교우위에 있지 않은 것으로 확인되었다. 이러한 조사연구의 결과로 볼 때 일부 연구결과는 철도사업에 대한 투자비중을 높이는 정부의 정책방향을 지지하는 논거 중 하나로 적용될 수 있을 것으로 생각되며, 한편으로는 환경관리적 측면의 저감이 필요한 분야 등 연구가 미진한 분야가 대단히 많으므로 철도사업의 친환경성을 제고할 수 있도록 연구개발에 힘을 실어야 할 때이다.

철도사업 환경평가의 발전을 위해서는 노선선정에 관계된 항목(지형·지질, 동·식물상과 생태계, 문화재 등)과 운영시부터 해체시까지 환경오염 및 민원발생 등 지속적 관리가 필요한 항목(소음·진동, 토양, 전파장해 등)에 대하여 연구개발 및 평가를 강화하여야 할 것으로 조사되었다. 또한 생태계, 지하수, 토양, 소음·진동 등 4개 분야에 대해서는 환경평가관련 연구현황, 예측기술과 저감대책, 개선에 필요한 사항 등을 파악하였다. 이들 분야에 있어서는 특히 환경영향의 사전예방과 저감 및 관리를 위한 모니터링이 반드시 필요한 것으로 파악되었다.

철도사업 환경평가의 제도적 발전을 위해서는 타당성조사, 노선기본계획, 예정지구의 지정 등에 있어 전략환경평가를 본격 도입하고, 실시계획에 대한 환경영향평가를 강화하여야 할 것으로 제안되었다. 세부적으로는 평가대상 및 범위 확정을 위한 전문가 그룹의 육성과 주민·지자체·전문가 등의 의견 수렴, 인허가기관의 평가항목·범위확정위원회(스코핑위원회) 운영 등이 필요하다. 이러한 제도 개선의 효과로서는 보다 과학적인 환경평가가 가능하여 환경영향예측의 불확실성을 축소할 수 있으며, 공공의견수렴을 강화하여 환경갈등을 최대한 사전예방할 수 있고, 환경부의 사전환경성검토 및 환경영향평가서 검토·협의기간 단축이 기대된다.

2. 제언

본 연구는 철도사업 전반에 걸쳐 정책, 환경평가제도와 동향, 국내외 사례, 환경평가 관련 연구현황과 전망 등을 종합적으로 살펴봄으로써 철도사업의 환경평가 발전 방향을 모색하였다는 데 의의가 있으며, 그 성과로써 철도가 도로에 비해 여러 측면에서 환경친화적인 교통수단이라는 것을 개략적으로 확인하기도 하였다. 그러나 연구범위에서 한정하였듯이 기존의 현황자료 및 외국사례의 분석을 통한 연구방법론이 가지는 근본적인 한계를 현 단계에서 극복하기는 어려운 상황이다.

따라서 향후 철도사업의 환경친화성을 제고하기 위해서는 계획수립 및 시행, 사후관리 및 제도운영 분야에 이르기까지 지속적인 관심을 두고 개선방안이 도출되어야 하며, 이를 위하여 특히 다음과 같은 부문에서 환경평가의 발전을 위한 연구사업이 시행되어야 할 것이다.

첫째, 철도사업의 전략환경평가와 환경영향평가간의 환경평가 연계체계를 강화하고, 환경평가 시행시 효율성을 높이기 위한 제도개선 및 평가가이드라인 수립을 위한 연구를 진행하여야 한다. 세부 연구내용으로는 스코핑제도의 운영(평가항목·범위확정위원회, 환경영향평가서작성계획서의 작성 및 공공의견의 수렴, 스코핑 이후의 환경영향평가 절차 간소화, 스코핑가이드라인 작성), 전략환경평가와 환경영향평가

시행을 위한 가이드라인 개발, 단계별 환경평가 효율화를 위한 차별화 방안, 항목별 평가방안과 저감방안, 각종 저감기술 등이 다양하게 포함되어야 할 것이다. 도로사업이나 택지개발사업에 있어서도 환경영향평가 제도개선 및 환경영향평가가서 작성 가이드라인 분야에 있어 축적된 연구경험을 가지고 있으며(예, 건설교통부, 2003b; 한국토지공사, 2004), 이러한 종류의 연구는 사업별 환경평가를 기본적으로 향상·발전시키는 데 반드시 필요한 연구이다.

둘째, 노선기본계획에 대한 전략환경평가 시행 및 환경평가제도의 발전을 위하여 노선선정 평가에 활용할 수 있는 객관적 평가모델과 기법을 개발하는 연구를 수행하여야 한다. 이를 위해서는 기존에 연구된 노선선정평가모델(이동욱과 이태식, 2004), 호남고속철도 기본계획을 위한 노선선정평가(건설교통부, 2003a) 및 철도선진국의 노선선정 평가모델 등을 종합하여 연구·발전시키고, 세부 평가기준 설정 및 가중치에 대한 객관성을 함께 확보하기 위한 조사연구도 반드시 수행되어야 할 것이다. 세부 평가기준에 있어서는 본 연구에서 사업간 환경성을 비교하는 데 효용성이 입증된 환경지표를 적용하는 것도 바람직할 것으로 사료된다.

셋째, 환경영향의 사전예방과 저감 및 관리를 위하여 동·식물상과 생태계, 지하수, 토양, 소음·진동 등 환경영향이 높은 것으로 파악된 분야에서 상시 모니터링할 수 있는 연구를 시행하고 모니터링 체계를 구축하여야 하며, 모니터링 체계 확립을 위해 사전에 표준화된 모니터링 방안을 확립하여 조사자가 바뀔 때마다 일관성이 없는 조사결과를 양산하는 것을 방지하여야 한다. 특히 동·식물상과 생태계에 있어 철도사업 시행 이후 전혀 모니터링을 시행하지 않고 있으나, 철도사업이 선형사업이라는 측면에서 생태계 단절과 외래종의 유입으로 인한 변화 등에 대하여 모니터링의 필요성이 높다. 또한 지하수 변동, 토양오염, 선로변 소음·진동 등 생활환경 부문에 대해서도 모니터링 시스템을 구축하여야 한다. 이러한 모니터링 자료는 사업자가 환경영향을 저감하고 분쟁을 해결하기 위한 기초자료로 활용할 수 있을 뿐만 아니라, 철도와 도로사업간의 환경영향을 서로 비교·분석함으로써 철도사업의 환경성을 높이기 위한 효율적인 저감방안 수립에 활용될 수 있을 것이다.

넷째, 지하수, 소음·진동 등 분야에서는 환경기준을 설정하기 위한 연구와 함께

환경영향을 합리적으로 예측·평가할 수 있는 기법과 그 적용방안에 대한 연구를 수행하여야 한다. 지하수 및 소음·진동 분야는 환경기준이 설정되어 있지 않은 공통점이 있어 사업자가 사전에 실효성이 높은 저감방안을 수립하기 어려우며, 향후 예측할 수 없었던 환경문제에 대해서도 마땅한 대처능력이 부족한 것이 현실이다. 충분한 사례연구를 통하여 적절한 환경기준을 설정하고, 예측의 실현성이 높은 예측식이나 모델링기법을 확립하고, 이를 적용할 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하다.

그간 우리나라의 철도사업은 대부분 공공사업으로서 철도청에서 시행하였으나, 신설노선이 많지 않았기 때문에 환경문제에 대해서는 대체로 기존 구간의 환경관리와 사후대처에 머물러 있었다. 최근 철도청에서 철도건설 및 유지보수 업무를 이관함에 따라 사업자가 한국철도시설공단으로 바뀌게 되었으며, 환경문제에 대처할 수 있도록 조직도 개편하였기 때문에 연구투자가 활발해질 것으로 예상된다. 또한 철도정책의 변화 흐름에 따라 철도사업이 양적으로 증가하고 있기 때문에 향후 다양한 환경갈등을 발생시킬 것으로 예상되며, 이에 사전 대처하기 위해서는 사업자와 연구기관, 관련 부처 등이 적극 참여하여 철도사업의 환경영향을 연구할 수 있는 연구투자를 촉진하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 강연수 외. 2002. 「국가교통핵심기술개발사업」. 교통개발연구원.
- 강영현 외. 2003. 「자동차 운행시 터널에서 발생하는 대기오염물질의 저감방안」. 한국환경정책·평가연구원.
- 건설교통부. 2002. 「환경친화적인 도로설계기법 연구(1단계)」.
- _____. 2003a. 「호남고속철도건설기본계획 조사연구 용역: 환경조사」.
- _____. 2003b. 「환경친화적 도로건설 가이드라인」. 제3장 동식물상.
- 권영중, 장원재. 2003. 「신도시건설에 따른 교통대책 수립방향 연구」. 교통개발연구원.
- 김길창, 신민호. 1997. “일본의 철도환경 방재기술 개발 동향”. 「철도기술정보」 2월호:4-5.
- 김동욱. 2004. 「환경영향평가」. 도서출판 그루.
- 김연규, 배춘봉. 2000. 「국가기간교통망의 효율적 구축방안」. 교통개발연구원.
- 김준순 외. 2002. 「육상교통수단의 환경성 비교분석」. 한국환경정책·평가연구원.
- 대한교통학회. 2003. 「철도투자평가편람(개정판)」. 사단법인 대한교통학회.
- 동신기술개발. 1999. 「자연과 공생을 목표로 하는 도로건설 - Eco-Road Handbook」. (일본 (財)道路環境研究所, 1995년 간행물 번역). p.158.
- 산업자원부. 에너지경제연구원. 2001. 「에너지통계연보」.
- 새국토연구협의회. 2002. 「2002년도 새국토연구협의회 연구자료집」.

- 서선덕 외. 2001. 「한국철도의 르네상스를 꿈꾸며」. 삼성경제연구소.
- 서울특별시지하철공사. 1993. 「지하철시설물 진동영향에 관한 세미나」.
- 송영일 외. 2002. 「사전환경성검토제도의 개선방안」. 한국환경정책·평가연구원.
- 오현제. 1993. “고속철도가 환경에 미치는 영향”. 「한국소음진동공학회」 3(2): 113-126.
- 이동욱, 이태식. 2004. “최적철도노선 선정을 위한 VE/LCC 평가모델 개발”. 「한국철도학회논문집」 7: 215-222.
- 이성원. 2002. 「한국 및 일본의 교통부문 환경정책 비교 분석」. 교통개발연구원.
- 이재립. 2003. 「대중교통활성화를 위한 법제도 정비방안 연구」. 교통개발연구원.
- 이창균 외. 2003. “토지용도에 따른 토양오염 실태 및 특성에 관한 연구 - 충남지역을 중심으로 -”. 「대한환경공학회 추계학술연구발표회 논문집」.
- 이춘원, 김임순. 2004. “AHP기법을 적용한 전략환경평가: 호남고속철도 기본계획을 중심으로”. 「한국환경영향평가학회 추계학술발표회 자료집 -환경영향평가와 전략환경평가의 도입방안-」.
- 전일수 외. 2001. 「21세기의 교통 - 전망, 비전과 전략」. 교통개발연구원.
- 정승우. 2003. 「토양오염물질의 물리·화학적 특성과 이동성에 따른 환경영향평가 방안」. 한국환경정책·평가연구원.
- 정우성 외. 2002. 「철도 오염자갈의 복원방안에 관한 기초연구」. 한국철도기술연구원.
- 철도청. 1995. 「철도환경백서」.

- _____. 1999. 「21세기 국가철도망 구축 기본계획」.
- _____. 2002. 「서울철도차량정비창에 대한 토양오염 정밀조사 및 평가보고서」.
- _____. 2003a. 「전라선 성산~여천간 철도개량 환경영향평가서」.
- _____. 2003b. 「전라선 여천~여수간 철도개량 환경영향평가서」.
- 한국고속철도건설공단. 1995. 「고속철도 환경소음기준 및 진동기준에 대한연구」.
- _____. 2001. 「시운전시 궤도 노반시설물의 성능검증(II) -소음 분야」.
- 한국도로공사. 2003. 「생태통로 설계기준과 주변 부대시설 조성방안에 관한 연구」.
- 한국철도기술연구원. 2001. 「철도선진화를 위한 환경정책 구축」.
- 현대건설주식회사. 2003. 「경부고속철도 제13-4공구 노반신설 기타공사 지반조사 보고서」. p.83, 94.
- 홍갑선. 2002. 「지속 가능한 교통체계 전략수립 연구」. 교통개발연구원.
- 환경부. 1997. 「환경영향평가서 검토편람」.
- _____. 1999. 「각종 영향평가제도의 통합방안에 관한 연구」.
- _____. 2001a. 「항공기 및 철도소음의 환경기준 설정에 관한 연구」.
- _____. 2001b. 「환경영향평가 관련 규정집(고시·훈령·예규 등)」.
- _____. 2001c. 「환경영향평가서작성등에관한규정」.
- _____. 2001d. 「환경영향평가의 객관성 확보를 위한 절차 개선 연구」.
- _____. 2003a. 「전략환경평가제도 도입에 관한 연구」.

- _____. 2003b. 「환경친화적 계획기법 및 운용방안 개발에 관한 연구」.
- _____. 2004. 「환경·교통·재해등에관한영향평가법」.
- Kuboda Hiroshi. 2002. (백남욱, 장경수 편역) 철도공학핸드북. 도서출판 골든벨.
- 加來治郎. 1996. “鐵道騒音の豫測手法の現況”. 「騒音制御」 20(3):11-16.
- 高速鐵道研究會. 2003. 「新幹線 - 高速鐵道技術のすべて」. 山海堂.
- 森藤良夫ほか. 1996. “在來鐵道騒音の豫測評價手法安について”. 「騒音制御」 20(3)
- 石井聖光 子安 勝ほか. 1980. “在來線高架鐵道からの騒音豫測手法安について”. 「騒音制御」 4(2)
- A. F. Stirbys et al. 1999. “Los Angeles metro rail project - geologic and geotechnical design and construction constraints”. *Engineering Geology* 51:203-224.
- Bond, A. J. and P. Wathern. 1999. “Environmental Impact Assessment in the European Union”. pp.223-248. In, *Handbook of Environmental Impact Assessment*. Vol.2. Petts J. (ed.). Blackwell Sci. Oxford.
- Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ). 1996. *Environmental Handbook (Vol.1): Introduction, Cross-sectoral Planning, Infrastructure*.
- Carpenter, T. G. 1994. *The Environmental Impact of Railways*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, England.
- Christopher Wood. 1995. *Environmental Impact Assessment*. Longman Group Ltd., England.
- CHSTA and FRA. 2004. *Draft Program Environmental Impact Report/ Environmental*

Impact Statement for the proposed California High-Speed Train System.

C. J. M. Van Ruiten. 1988. "Dutch Railway Noise Prediction Schemes". *Journal of Sound and Vibration* 120(2).

Glasson, J., Therivel, R., and Chadwick, A. 1994. *Introduction to Environmental Impact Assessment (2nd Edition)*. UCL Press. England.

Hinman, R. 1974. "Impact of oil development on wildlife populations in northern Alaska". Proceedings. *Annual Conference of Western Association of State and Game and Fish Commissioners* Vol.54.

ISO Geneva. 1996. ISO 9613-2. *Acoustics - Attenuation of Sound During Propagation Outdoors - Part II : General Method of Calculation*.

Lindeke, S. 1999. "Environmental Reporting". *Rail International*. July/August:37-40.

Mielke, H. W., Gonzales, C. R., Powell, E., Shah, A., and Mielke, P. W. 2002. "Natural and Anthropogenic Processes That concentrate Mn in Rural and Urban Environments of the Lower Mississippi River Delta". *Environmental Research*. Sec. A90. pp.157-168.

Mifune, N., Nozawa, H., and Endo, S. 1999. "Environmental Issues in Railway". *Quarterly Report of RTRI* 40(4):191-195.

Molinero, J., Samper, J., and Juanes, R. 2002. "Numerical modeling of the transient hydrogeological response produced by tunnel construction in fractured bedrocks". *Engineering Geology* 64:369-386.

Silvia Banfi et al. 2000. *Accident, Environment and Congestion Costs in Western Europe*. External Costs of Transport. INFRAS/IWW.

SNCF. 1996. "Conclusion on the Environmental Issues".

USDOT Federal Railroad Administration. 1998. *High-speed ground transportation noise and vibration impact assessment*.

US Environmental Protection Agency. 1998. *Student Text for Principles of Environmental Impact Assessment Review*.

_____. 1999. *Indicators of the Environmental Impacts of Transportation*. Updated 2nd Ed. p.189.

<인터넷 자료>

일본 호쿠리쿠 신간선 환경영향평가, <http://www.erc.pref.fukui.jp/info/assess/eia15pr.html>.

일본 환경영향조사가이드, <http://assess.eic.or.jp/nyumonj/index2.htm>.

Hong Kong Sheung Shui to Lok Ma Chau Spur Line Environmental Impact Statement, http://www.epd.gov.hk/eia/register/report/eiareport/eia_0712001/Index.htm.

US Southeast High Speed Rail Corridor Environmental Impact Statement, <http://www.sehsr.org>.

UK Thameslink 2000 Environmental Statement, http://www.networkrail.co.uk/engineering_projects/tl2k/tl2k.htm.

<부록 1> 철도와 도로사업의 환경영향에 대한 지표분석 자료

<표 1-1> 철도건설사업의 터널 및 교량 현황

사업명	총연장 (km)	터널 개수	터널 연장 (m)	교량 개수	교량 연장 (m)	터널·교량 연장(m)
강릉역 이설	7.24	0.69	302	1.93	110	412
경부고속 대구연결	3.53	0	0	1.42	473	473
경부고속 대전남부	4.58	0.22	66	1.97	177	243
경부선 경산-청도	9.19	0.22	148	0.65	35	183
경부선 대전-옥천	5.63	0.53	143	0.71	164	307
경부선 옥천-지탄	7.72	0.39	136	1.04	72	208
경부선 청도-삼랑진	10.89	0.37	189	0.73	177	366
경원선 월계-녹천	1.46	0.68	134	2.05	23	156
동해남부선 일광-울산	36.75	0.33	236	0.63	175	411
양산 ICD인입	3.90	0	0	0.77	323	323
영동선 동백산-도계	17.77	0.06	914	0.17	26	940
전라선 동순천-광양	23.25	0.34	184	0.86	165	349
전라선 산성-주생	9.29	0.11	168	0.54	276	444
전라선 성산-여천	23.52	0.17	212	0.51	144	356
전라선 여천-여수	10.28	0.19	762	0.29	43	805
중앙선 덕소-용문	41.54	0.36	347	0.19	56	403
중앙선 용문-간현	28.41	0.39	422	0.84	249	671
중앙선 제천-도담	15.87	0.69	333	0.50	78	411
중앙선 판대-남원주	10.26	0.29	256	1.36	410	666
호남 내륙화물기지 인입	3.75	0	0	1.07	566	566
호남선 신도-개태사	5.60	0.18	318	0.71	95	413

주: 각 항목의 자료는 노선 1km에 대하여 환산한 수치임.

<표 1-2> 고속도로건설사업의 터널 및 교량 현황

사업명	총연장 (km)	터널 개수	터널 연장 (m)	교량 개수	교량 연장 (m)	터널·교량 연장(m)
고창-장성간 고속도로	17.10	0.18	290	1.29	295	585
기계-신항만간 고속도로	24.17	0.12	56	0.87	185	241
목포-광양간 고속도로(보성-광양)	31.31	0.35	353	0.93	176	529
무안-광주간 고속도로	41.62	0.22	157	1.44	141	298
서울-춘천간 고속도로	62.10	0.34	229	0.84	150	379
전주-광양간 고속도로(구례-순천)	41.20	0.32	340	1.19	203	543
전주-광양간 고속도로(임실-구례)	38.68	0.18	219	0.90	122	341
전주-광양간 고속도로(전주-임실)	37.38	0.45	253	1.20	174	427
중부내륙 고속도로(여주-양평)	13.80	0.22	114	1.30	149	263
평택-음성간 고속도로(안성-음성)	31.34	0.13	110	1.47	106	216

주: 각 항목의 자료는 노선 1km에 대하여 환산한 수치임.

<표 1-3> 국도건설사업의 터널 및 교량 현황

사업명	총연장 (km)	터널 개수	터널 연장 (m)	교량 개수	교량 연장 (m)	터널·교량 연장(m)
거제시관내 국대도 (신현-일운)	15.16	0.13	188	1.06	209	327
고령-성주간 국도	31.69	0.09	29	0.88	46	75
구미시관내 국대도 (구포-덕산)	14.28	0.35	511	0.77	259	770
김제시관내 국대도 (홍사-연정)	10.26	0	0	2.14	58	58
대산-석문간 국도	13.85	0.07	28	1.16	60	88
마산시관내 국대도 (우산-귀곡)	8.20	0.37	316	0.49	198	514
목포시관내 국대도 (삼향-삼호)	14.50	0	0	1.38	184	184
무주안성 국대도	5.93	0	0	1.52	89	89
별교-주암간 국도	27.59	0.22	148	1.12	151	299
상주시관내 국대도 (현신-사벌)	8.80	0	0	1.14	128	128
안산시관내 국대도 (매송-안산)	8.42	0.24	118	1.19	243	361
온산-두왕간 국도	6.50	0	0	1.23	146	146
전주시 국대도 (용정-춘포)	7.60	0	0	1.05	136	136
진동-마산간 국도	7.99	0.13	106	1.38	120	226
철원서면 국대도	6.90	0	0	0.87	69	69
청주내덕-청원북일간 국도	13.40	0.07	37	1.27	88	125
하동-완사간 국도	14.73	0.34	217	1.22	117	334

주: 각 항목의 자료는 노선 1km에 대하여 환산한 수치임.

<표 1-4> 철도건설사업의 절·성토 및 생태계 훼손 현황

사업명	절토량 (m ³)	성토량 (m ³)	절·성토 량(m ³)	식생훼손 면적(m ²)	자연림 훼손면적 (m ²)	수목 훼손량 (주)
강릉역 이설	88,478	111,850	200,328	11,430	11,050	2,286
경부고속 대구연결	108,691	129,265	237,956	9,186	9,186	467
경부고속 대전남부	116,753	122,938	239,692	4,291	1,402	451
경부선 경산-청도	55,480	55,783	111,263	1,036	0	96
경부선 대전-옥천	44,590	10,612	55,201	719	533	214
경부선 옥천-지탄	48,443	43,381	91,824	3,244	1,296	311
경부선 청도-삼랑진	23,673	25,528	49,201	450	18	29
경원선 월계-녹천	97,163	14,002	111,165	11,143	0	1,329
동해남부선 일광-울산	44,442	41,066	85,488	853	823	159
양산 ICD인입	20,043	40,500	60,543	1,475	0	120
영동선 동백산-도계	23,037	5,767	28,804	61	0	3
전라선 동순천-광양	45,835	80,421	126,256	1,816	860	170
전라선 산성-주생	47,471	65,192	112,663	721	721	113
전라선 성산-여천	65,209	116,466	181,676	215	215	32
전라선 여천-여수	11,966	18,387	30,353	214	58	25
중앙선 덕소-용문	47,931	16,074	64,005	2,142	1,541	110
중앙선 용문-간현	78,433	35,538	113,971	1,806	824	203
중앙선 제천-도담	77,725	107,437	185,162	14,142	7,146	587
중앙선 판대-남원주	29,820	237,427	267,247	5,217	1,759	485
호남 내륙화물기지 인입	3,034	66,067	69,101	1,232	1,232	271
호남선 신도-개태사	100,554	86,286	186,839	5,636	0	1,368

주: 각 항목의 자료는 노선 1km에 대하여 환산한 수치임.

<표 1-5> 고속도로건설사업의 절·성토 및 생태계 훼손 현황

사업명	절토량 (m ³)	성토량 (m ³)	절·성토량 (m ³)	식생훼손 면적(m ²)	자연림 훼손면적 (m ²)	수목 훼손량 (주)
고창-장성간 고속도로	225,422	260,173	485,595	31,331	27,373	3,747
기계-신항만간 고속도로	261,835	224,970	486,805	34,893	24,846	5,544
목포-광양간 고속도로 (보성-광양)	251,538	229,904	481,442	18,887	18,328	2,534
무안-광주간 고속도로	230,995	168,333	399,327	7,886	4,322	1,123
서울-춘천간 고속도로	247,214	242,303	489,517	33,596	1,272	4,189
전주-광양간 고속도로 (구례-순천)	249,133	241,988	491,120	4,862	6,626	790
전주-광양간 고속도로 (임실-구례)	223,113	236,298	459,411	26,295	26,156	2,434
전주-광양간 고속도로 (전주-임실)	256,289	220,335	476,624	27,892	7,916	4,251
중부내륙 고속도로 (여주-양평)	207,736	222,895	430,631	58,631	20,797	3,361
평택-음성간 고속도로 (안성-음성)	244,895	238,162	483,057	9,493	2,234	1,378

주: 각 항목의 자료는 노선 1km에 대하여 환산한 수치임.

<표 1-6> 국도건설사업의 절·성토 및 생태계 훼손 현황

사업명	절토량 (m ³)	성토량 (m ³)	절·성토량 (m ³)	식생훼손 면적(m ²)	자연림 훼손면적 (m ²)	수목 훼손량 (주)
거제시관내 국대도 (신현-일운)	105,541	105,541	211,082	21,247	20,996	1,803
고령-성주간 국도	66,872	118,706	185,578	8,677	2,963	748
구미시관내 국대도 (구포-덕산)	138,655	96,639	235,294	3,585	3,039	707
김제시관내 국대도 (홍사-연정)	3,899	159,552	163,450	8,371	234	838
대산-석문간 국도	143,832	110,847	254,679	12,881	10,397	857
마산시관내 국대도 (우산-귀곡)	192,683	46,341	239,024	42,308	46,839	8,446
목포시관내 국대도 (삼향-삼호)	117,241	203,448	320,690	6,012	6,012	663
무주안성 국대도	129,292	150,546	279,838	4,199	0	490
별교-주암간 국도	153,412	128,717	282,129	14,556	9,271	1,731
상주시관내 국대도 (헌신-사벌)	19,318	134,091	153,409	6,045	0	954
안산시관내 국대도 (매송-안산)	159,616	166,496	326,112	18,135	12,910	3,031
온산-두왕간 국도	96,481	200,513	296,994	946	946	170
전주시 국대도 (용정-춘포)	7,645	295,123	302,767	29,493	0	1,401
진동-마산간 국도	46,865	219,640	266,505	1,766	1,101	604
철원서면 국대도	121,971	106,029	228,000	16,270	11,683	1,169
청주내덕-청원북일간 국도	80,954	138,875	219,828	8,190	1,881	532
하동-완사간 국도	128,398	178,724	307,122	5,648	1,222	634

주: 각 항목의 자료는 노선 1km에 대하여 환산한 수치임.

<표 1-7> 철도건설사업의 소음 저감시설 현황

사업명	가설방음판넬 길이(m)	가설방음판넬 면적(m ²)	방음벽길이 (m)	방음벽면적 (m ²)
강릉역 이설	227	734	160	491
경부고속 대구연결	343	1,356	257	610
경부고속 대전남부	231	729	221	638
경부선 경산-청도	614	2,710	568	1,513
경부선 대전-옥천	137	641	200	447
경부선 옥천-지탄	127	601	118	236
경부선 청도-삼랑진	72	331	61	129
경원선 월계-녹천	527	1,394	852	3,666
동해남부선 일광-울산	385	1,565	270	704
양산 ICD인입	475	2,505	249	747
영동선 동백산-도계	85	306	21	42
전라선 동순천-광양	133	510	126	475
전라선 산성-주생	377	1,415	214	645
전라선 성산-여천	135	400	155	438
전라선 여천-여수	13	25	31	68
중앙선 덕소-용문	331	1,712	401	1,687
중앙선 용문-간현	228	1,077	202	715
중앙선 제천-도담	141	387	134	339
중앙선 판대-남원주	453	2,275	710	3,345
호남 내륙화물기지 인입	48	144	0	0
호남선 신도-개태사	67	134	225	389

주: 각 항목의 자료는 노선 1km에 대하여 환산한 수치임.

<표 1-8> 고속도로건설사업의 소음 저감시설 현황

사업명	가설방음판넬 길이(m)	가설방음판넬 면적(m ²)	방음벽길이 (m)	방음벽면적 (m ²)
고창-장성간 고속도로	112	346	98	367
기계-신항만간 고속도로	173	444	29	78
목포-광양간 고속도로 (보성-광양)	137	369	209	463
무안-광주간 고속도로	187	618	239	596
서울-춘천간 고속도로	149	323	346	892
전주-광양간 고속도로 (구례-순천)	103	247	76	199
전주-광양간 고속도로 (임실-구례)	50	162	120	348
전주-광양간 고속도로 (전주-임실)	65	202	125	302
중부내륙 고속도로 (여주-양평)	121	310	253	842
평택-음성간 고속도로 (안성-음성)	30	103	315	905

주: 각 항목의 자료는 노선 1km에 대하여 환산한 수치임.

<표 1-9> 국도건설사업의 소음 저감시설 현황

사업명	가설방음판넬 길이(m)	가설방음판넬 면적(m ²)	방음벽길이 (m)	방음벽면적 (m ²)
거제시관내 국대도 (신현-일운)	94	322	287	1,079
고령-성주간 국도	153	529	93	201
구미시관내 국대도 (구포-덕산)	128	514	134	268
김제시관내 국대도 (홍사-연정)	181	363	0	0
대산-석문간 국도	136	440	64	128
마산시관내 국대도 (우산-귀곡)	176	566	241	595
목포시관내 국대도 (삼향-삼호)	100	387	319	822
무주안성 국대도	175	545	151	298
별교-주암간 국도	135	428	13	31
상주시관내 국대도 (헌신-사벌)	464	1,857	53	160
안산시관내 국대도 (매송-안산)	135	679	151	550
온산-두왕간 국도	94	188	86	172
전주시 국대도 (용정-춘포)	61	151	61	121
진동-마산간 국도	243	728	247	631
철원서면 국대도	300	1,272	242	638
청주내덕-청원북일간 국도	19	47	58	93
하동-완사간 국도	154	508	98	195

주: 각 항목의 자료는 노선 1km에 대하여 환산한 수치임.

<부록 2> 국외 철도소음 예측기법

1. 일본

일본의 경우 1980년에 石井, 子安 등에 의하여 제안된 재래선 고가철도로부터의 소음 예측수법안(加來治郎, 1996)이 있어서 환경영향평가의 분야 등에서 광범위하게 사용되었다. 森藤 등이 보고한 재래 철도소음의 예측 평가수법(森藤良夫, 1996)은 1995년 12월에 일본 환경청이 공표한 신설 및 대규모 개선시의 소음지침에 대응하는 것으로 내용적으로는 石井 등의 수법을 답습하였어도 새로운 음원의 도입이나 전동음, 구조물음 등의 주음원의 파워 레벨의 값을 얻었다. 또 지침에 있어서 평가량으로써 채용한 등가소음 레벨을 구하기 위하여 여러 열차의 단발소음폭로레벨과 열차수로부터 계산하는 방법을 제시하였다.

열차 주행음의 음원을 유한 길이의 선음원으로 근사한다. 여기에서 선음원이라는 것은 무상관(uncoherent) 점음원이 직선상에 연속적으로 균일하게 분포하는 것을 나타낸다. 선음원 요소로부터 방사되는 음향파위는 지향성을 가진다고 가정한다. 방사 지향성을 인자 $\cos^n \theta$ 로 나타낸다. 여기에서 θ 는 음의 방사방향과 음원요소를 포함하는 선음원 직교면이 이루는 각이다. 따라서 선음원 요소 단위 길이로부터 각도 θ 의 방향 단위 입체각으로 방사되는 음향 파워는 $J_0 \cos^n \theta$ 이다. 여기에서 n 은 적당한 정수이다. 지향성을 가지지 않는 경우 $n=0$ 이다. 철도의 주행음에 대해서는 통상 $n=2$ 가 적당하다고 판단되어 이 값을 채용한다.

단위길이 음원 요소로부터 방사된 음의 인텐시티는 음원요소로부터의 거리가 R , 방향 θ 의 점에 있어서

$$(J_0 \cos^2 \theta) / R^2 \quad (1)$$

로 나타낼 수 있다. J_0 는 단위길이당 파워의 차원을 갖는 양이지만, 반공간 방사의 경우 선음원 단위 길이로부터 방사되는 음향 파워 W 와

$$W = \int J_0 \cos^2 \phi \, d\Omega = (4\pi/3) J_0 \tag{2}$$

의 관계가 있으며, 여기에서 적분변수 Ω 는 입체각이다. 이와 같은 음원 요소로부터 방사되는 음이 어느 수음점에 있어서의 음압 실효치와 음향 인텐시티 간에는

$$(\text{음압실효치})^2 = \rho c \times \text{음향 인텐시티} \tag{3}$$

의 관계가 성립한다. 단 ρ 는 정지 대기의 밀도, c 는 음속이다. 따라서 단위길이 음원 요소로부터의 방사음의 당해 수음점(음원으로부터의 거리 r , 방향 ϕ)에 있어서 음압의 실효치를 p 라 하면

$$p^2 = (\rho c J_0 \cos^2 \phi) / R^2 \tag{4}$$

이 얻어진다. 즉 길이 s 의 선음원 전체로부터 방사되는 음압 자승의 실효치 p^2 (A 특성의 주파수 필터 통과)는 음원직선으로부터의 거리가 d 의 수음점에 있어서

$$\begin{aligned} p^2 &= \int (\rho c J_0 \cos^2 \phi) / R^2 \, dx \\ &= \rho c J_0 \int \frac{d^2}{(x^2 + d^2)^2} \, dx \end{aligned} \tag{5}$$

로 주어진다. 단 음원 직선상에서 오른쪽방향을 x 축으로 잡고 수음점의 정면위치를

$$\begin{matrix} x & x \\ 1 & 2 \end{matrix}$$

$x=0$ 으로 한다. 단 적분의 하한과 상한 x_1, x_2 는 각각 선음원의 좌단, 우단의 위

$$x_2 - x_1 = s$$

치를 나타내며, s 는 선음원의 길이이다. 적분을 실행하면

$$p^2 = (\rho c J_0 / d) [K(x_2/d) - K(x_1/d)] \quad (6)$$

단 함수 $K(\xi)$ 는,

$$K(\xi) = (1/2) [\xi / (\xi^2 + 1) + \arctan \xi] \quad (7)$$

로 정의된다.

(6)식의 양을 MKS 단위(길이 m, 시간 s, 질량 kg, 압력 Pa)로 표시하고 레벨을 표시하면 당해 수음점에 있어서 A 특성 음압레벨(소음레벨) L은 다음 식과 같이 계산된다.

$$L = 10 \log \left(\frac{P^2}{p_0^2} \right) = \text{PWL} - 5 - 10 \log d + 10 \log [K(x_2/d) - K(x_1/d)] \quad (8)$$

$$p_0$$

$$p_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$$

단, p_0 는 기준음압치()이다.

$$\text{PWL} = 10 \log [\pi J_0 / (p_0^2 / \rho c)] = 10 \log [(3/4)W / (p_0^2 / \rho c)] \quad (9)$$

선음원이 속도 v (m/s)로 직선상을 오른쪽으로 운동한다고 가정하자. 선음원의 중앙이 수음점 정면에 왔을 때의 시간을 $t = 0$ 이라 하면 시간 t (s)에 있어서 선음원의 양단의 위치는

$$x_2 = vt + s/2, \quad x_1 = vt - s/2 \quad (10)$$

로 주어지기 때문에 (2.45)식의 소음레벨 L은 시간 t 의 함수 $L(t)$ 로 된다. 소음레벨 $L(t)$ 는 시간 $t=0$ 에서 최대치를 갖는다. 즉 소음레벨 최대치 $L_{A\max}$ 는

$$L_{Amax} = PWL - 5 - 10 \log d + 10 \log [(s/2d)/(1 + (s/2d)^2) + \arctan(s/2d)] \quad (11)$$

단발소음폭로레벨 LAE는

$$L_{AE} = 10 \log \left[\int \frac{P^2}{p_0^2} dt \right] \quad (12)$$

로 정의되기 때문에, (2.43), (2.47)식을 (2.49)식에 대입하여

$$\begin{aligned} L_{AE} &= PWL - 5 - 10 \log d + 10 \log (\pi s / 2v) \\ &= L_{Amax} + 10 \log (\pi s / 2v) - 10 \log [(s/2d)/(1 + (s/2d)^2) + \arctan(s/2d)] \end{aligned} \quad (13)$$

철도통과시의 소음도 측정값은 그 편차가 다양하므로 DB로 구축한 후 그 중앙값을 이용하여 음향파위를 계산하고, 위에서 얻어진 예측식을 활용하여 철도환경소음에 대한 등가소음도, 최대소음도, 단발소음폭로레벨 등을 산출하여야한다.

2. 독일

독일의 경우 1990년에 제정된 교통소음방지법령에서 신설 또는 대규모 개량하는 도로 및 철도에 대하여 소음의 기준값을 정하고 이와 더불어 첨부 문서로 여러 가지 소음의 예측방법을 나타내었다. 소음의 기준값은 주간(06:00~22:00) 59dB, 야간(22:00~06:00) 49dB이다.

주간 혹은 야간의 등가소음레벨 Lr은 다음 식으로 계산된다.

$$Lr = Lm + D1 + D2 + D3 + D4 + D5 + D6 + S \quad (14)$$

여기에서 Lm은 주간 혹은 야간의 평균 소음레벨이고, 다음과 같은 표준조건 하에서 다음 식(15) 혹은 도표를 이용하여 산출한다.

(표준조건)

- 궤도로부터의 거리 : 25m
- 열차속도 : 100km/h
- 열차길이 : 100m
- 궤도종류 : 발라스트 궤도, 목침목
- 지표면에 대한 음원과 수음점의 평균 높이 : 2m

$$L_m = 51 + 10 \log [n (5 - 0.04p)] \quad (15)$$

여기에서 n 은 시간당 통과열차 수, p 는 그중 화물열차의 비율(%)이다.

기타 보정치 $D_1 \sim D_6$ 에 대해서는 이하에 설명한다.

D_1 : 열차종별에 대응하는 보정치로 다음 <표 2-1>과 같이 차량형식별로 보정치가 결정된다.

<표 2-1> 차량형식별 보정치

차량형식	보정치(dB)
디스크 브레이크를 가진 차량	-2
차륜 제진재를 가지는 고속차량	-4
도심 전차 등	3
지하철 차량 등	2
기타 차량	0

D_2 : 열차길이 L (m), 열차속도 V (km/h)가 표준조건과 다른 경우의 보정치로 다음 식 혹은 도표를 이용하여 산출한다. 즉 열차종별에 대한 열차길이나 열차속도의 일람 표는 별도로 사용된다.

$$D_2 = 10 \log (LV^2) - 60 \quad (16)$$

D_3 : 발라스트궤도, 목침목 이외의 궤도 구조에 대한 보정치로 다음 <표 2-2>로 주어진다.

D_4 : 소음의 전과거리 및 공기 흡입에 대한 보정치로 다음 식을 이용하여 산출한다.

우변의 제2항은 전파거리에 의한 감쇠량, 제3항은 공기흡음에 의한 초과감쇠량이다. 또 d(m)는 소음의 전파거리이고 그림에서는 2,000m까지의 감쇠특성이 나타나있다.

$$D_4 = 15.8 - 10\log(d) - 0.0142d^{0.9} \tag{17}$$

<표 2-2> 궤도구조에 대한 보정치

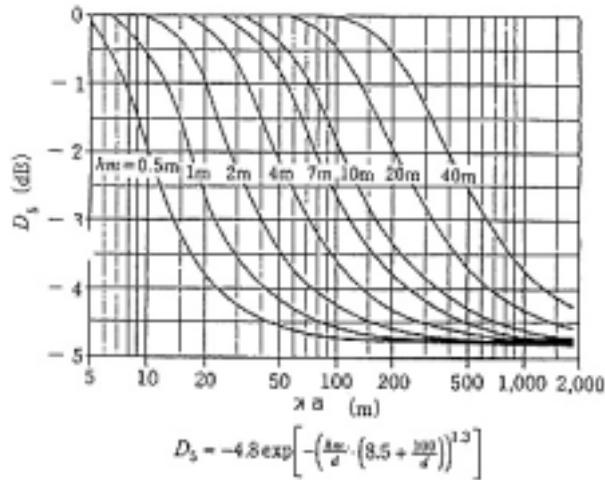
궤도종별	보정치(dB)
풀 등으로 덮어진 궤도	-2
발라스트 궤도, 목침목	0
발라스트 궤도, 콘크리트 침목	2
반사성 궤도	5

D₅ : 음원과 수음점을 연결하는 음의 전파경로와 지표면과의 사이의 높이에 대응하는 보정치로 그 평균 높이를 hm라고 하면 D₅는 다음 식으로 주어진다.

$$D_5 = -4.8 \exp\left[-\left(\frac{hm}{d}\left(8.5 + \frac{100}{d}\right)\right)^{1.3}\right] \tag{18}$$

D₆ : 방음벽, 건물시설, 제방, 절토 등에 의해 음원이 차폐된 경우의 보정치로 그 감쇠량은 독일연방철도에 의하여 공표된 계산요령에 의하여 계산된다.

S : 철도로부터 소음 피해가 작은 것을 고려하여 계산 결과로부터 5dB를 감한다. 도로교통소음의 경우 이 보정값은 없다.



<그림 2-1> 지표면 흡음에 의한 감쇠량의 계산 도표(독일)

이와 같은 순서로 소음레벨의 계산을 행하는 때의 전제조건은 궤도에서 그 길이조건을 포함하여 일정한 소음이 발생하고 또 주변에 있어서 소음의 전파조건에 변화가 없는 것이다. 대상선로에 있어서 이상의 전제조건이 만족되지 않는 경우에는 궤도를 동일조건으로 분할하여 소음레벨을 산출한다.

3. 영국

영국에서도 신설 또는 대규모 개량 철도에 대한 소음 방지기준(Noise Insulation Regulations)이 1993년에 제정되었다. 영국 교통부에서는 그 기준을 적용받는 철도 소음의 계산방법²⁰⁾을 발표하였고 여기에서는 그 내용을 중심으로 나타낸다.

1) 구간분할

20) Calculation of railway noise(Draft for public comment), The Department of Transport, UK

선로구조, 차폐의 정도, 열차속도, 역의 유무 등에 의하여 발생하는 소음의 크기가 장소에 따라 다른 경우 각 구간으로부터의 소음레벨의 차가 2dB 이내로 되도록 철도를 몇 개의 구간으로 분할한다. 등가소음레벨의 계산은 각 구간마다 행하고 최종적으로는 합성한 대상지점의 예측치가 구해진다.

2) 표준적 단발소음폭로레벨(SEL)

발라스트 궤도, 콘크리트침목 및 목침목, 장대레일의 표준궤도구간을 표준적인 열차가 주행하는 경우의 궤도로부터 25m 이격된 위치에서의 단발소음폭로레벨(SEL)을 다음 식으로 계산한다.

$$SEL = 31.2 + 20\log(V) : \text{일반열차} \quad (19)$$

$$SEL = 112.6 - 10\log(V) : \text{디젤 기관차} \quad (20)$$

여기에서 V 는 열차속도이고, 별도로 정의된 도표에서는 속도 200km/h의 값을 나타내었다.

표준상태와 다른 경우의 보정은 다음과 같이 행한다.

가) 차량형식

주로 브레이크 기구가 다른 것에 기초하여 차량형식별 보정치가 정해진다. 디스크형보다도 답면형 브레이크에 대하여 보정치가 높다. 예를 들면 4축의 답면브레이크를 가지는 화물열차에 대하여는 최고인 15.0dB의 보정치가 제시되었다.

나) 차량수

1편의 열차 중에 동일열차의 수를 n이라고 하면 에너지량에 대응된 보정량 $10\log(n)$ 이 위의 SEL의 계산값에 합해진다.

다) 선로 및 궤도종별

선로구조나 궤도구조의 다름에 대응하는 것은 다음 표에 보인 보정치를 더한다.

<표 2-3> 선로구조나 궤도구조의 종류에 대한 보정치

선로 및 궤도 종류	보정치(dB)
장착레일	2.5
슬라브 궤도	2
난간있는 콘크리트 고가교	1
난간있는 강교량	4
Box Girder 강교량	9

3) 전파

소음의 전파과정에 있어서도 이하에 보인 여러 가지의 요인을 고려한다. 즉 계산식과 함께 사용된 도표에서는 궤도로부터 300m까지의 범위의 값이 제시되었다.

가) 거리보정 : Cd

표준점(25m) 이외의 수음점에 대하여는 다음 식에 보인 선음원으로부터의 감쇠에 대응한 보정을 행한다. 즉 d' (m)는 음원으로부터 수음점까지의 직접 도달거리(slant distance)이고 이 식에서 d' 가 10m 이상의 범위에 대하여 적용된다.

$$Cd = 10 \log (d'/25) \quad (21)$$

나) 공기흡음 : Ca

수음점으로부터 궤도까지의 수평면내에서의 최단거리를 d (m)라 하면, 공기흡음에 대한 보정치는 다음 식으로 산출된다. 단 이 보정은 Pre-Power중인 디젤기관차에 대하여는 적용되지 않는다.

$$Ca = -0.008d + 0.2 \quad (22)$$

다) 지표면 흡음 : Cg

지표면이 초지와 같은 흡음성인 경우, 지표면 흡수에 대한 보정치는 음원 및 수음점의 지표면에서의 평균적인 높이 H (m)를 파라미터로 하여 다음 식으로 산출된다. 아스팔트와 같은 반사성 표면의 경우에는 보정을 행하지 않는다.

$$C_g = -0.61 (6 - H) \log (d / 25) : 1.0 < H < 6.0m$$

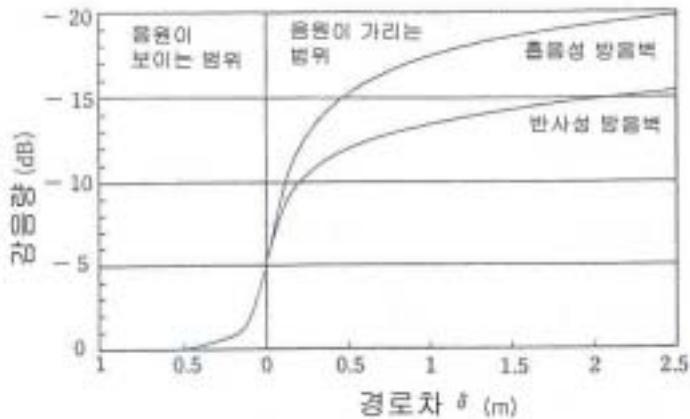
$$\begin{aligned}
 &= -31 \log (d / 25) && : H \leq 1.0 \text{ m} && (23) \\
 &= 0 && : H \geq 6.0 \text{ m}
 \end{aligned}$$

평균높이 H는 지형이 평탄한 경우는 수음점 높이의 반으로 하고 지형이 평탄하지 않는 경우에는 음원과 수음점을 연결하는 선과 지표면과의 사이의 평균적인 높이로 한다. 즉 음원의 높이는 통상의 열차에 대하여는 레일레벨, 디젤기관차에 대하여는 레일레벨로부터 4m의 위치로 설정한다.

또 발라스트 궤도에서 복수의 차선이 존재하는 경우는 가까운 쪽 이외의 차선에 대하여는 발라스트의 흡음효과에 의한 초과감쇠로써 일률적으로 -2.5dB의 보정을 행한다.

라) 차폐효과 : C_b

방음벽이나 건물 등 음원이 차폐되는 것에 의한 소음의 감쇠량은 경로차를 δ (m)라 하면 다음 식 혹은 <그림 2-2>에 의하여 산출한다.



<그림 2-2> 회절에 따른 감쇠량의 계산 도표(영국)

· 음원이 보이는 경우

$$C_b = 0$$

$$\delta \leq -0.5 \text{ m}$$

$$= -0.55 - 1.85 \log (10^{-3} - \delta) \quad -0.5 < \delta \leq -0 \text{ m} \quad (24)$$

· 음원이 가려지는 경우

(반사성방음벽)

$$C_b = -15.4 \quad \delta \geq 2.5 \text{ m}$$

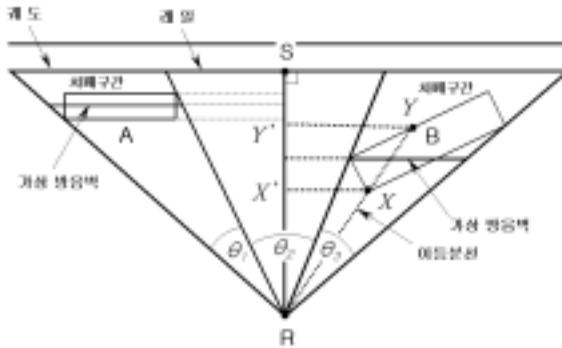
$$= -5 \log (10 + 470\delta) \quad 0 \leq \delta < 2.5 \text{ m} \quad (25)$$

(흡음성방음벽)

$$C_b = -19.8 \quad \delta \geq 2.5 \text{ m}$$

$$= -2.17 + 0.868 \delta - 9.4 \log (2 + 50\delta) \quad 0 \leq \delta < 2.5 \text{ m} \quad (26)$$

두꺼운 건물의 경우에는 음원 및 수음점과 방음벽의 모서리외를 연결하는 연장선의 교점에 가상 방음벽을 설정하여 경로차를 계산한다. 단 선로가 차폐물에 의하여 몇 개로 분할되는 경우에는 <그림 2-3>에 보인 것과 같이 음원을 통과하는 구간과 음원이 차폐되는 구간으로 나누어서 소음레벨을 계산한다. 그림으로부터 명확한 것처럼 가상방음벽의 높이는 이등분선이 건물의 모서리와 교차하는 2점으로부터 구한다.



<그림 2-3> 음원이 부분적으로 차폐되는 경우의 취급 방법(영국)

또 장애물의 실질적인 높이가 낮고 차폐에 의한 감쇠량과 지표면 흡수에 의한 감쇠량의 우세를 파악하는 것이 어려운 경우에는 각각에 의한 계산을 행하고 감쇠량이

큰 편을 채용한다.

마) 대하는 면으로부터의 반사 : C_m

반사성 방음벽이 평행하게 설치된 경우에는 원격측의 반사면으로부터의 반사음의 영향에 의하여 차폐효과가 저하된다. 원격측의 반사면의 높이가 근접측의 레일 높이로부터 1.5m 이상의 경우에는 높이 1m 마다 0.5dB 정도 차폐효과를 감소시킨다. 이 보정은 반사면의 높이가 1.5m 미만의 때 혹은 15°이상 외측으로 경사된 경우에는 적용하지 않는다.

3) 반사음 보정

소음방지기준에서는 소음레벨의 평가는 건물전면(Fasade) 1m의 위치에서 행하도록 정해졌다. 건물로부터의 반사음에 대한 보정으로서는 계산치에 일률적으로 1.5dB를 더한다. 선로의 반사측에 건물 등의 반사물이 존재하는 경우에는 수음점으로부터 반사물을 바라보는 각도의 총합을 θ' 이라하면 보정치는 $+1.5(\theta'/\theta)$ dB로 주어진다. 여기에서 θ 는 음원 전체를 바라보는 각도이다.

4) $Leq(A)$ 의 산출

차량형식별의 열차 통과횟수로부터 분할된 각 구간마다 등가소음레벨 $Leq(A)$ 를 산출하고 최종적으로 그것들을 합성하여 대상지점의 예측치로 한다.

4. 북유럽

1984년에 철도소음의 예측수법을 발표하였던 노르웨이에서는 새로운 데이터의 수집을 포함하여 예측 방법을 개정하였다. 내용적으로는 위에 서술한 독일, 영국의 수법과 공통된 점이 많지만 여기에서는 특징적인 점을 서술한다.

1) 예측량

최종적인 예측량은 $L_{eq}(25)$ 와 L_{Amax} 이지만 옥타브밴드 음압레벨도 포함하여 산출한다.

2) 음원 모델

음원을 몇 개의 요소(궤도로부터 수음점까지의 거리의 이등분 이하)로 분할하고 각 요소의 중심에 점음원을 가상하여 계산을 행한다. 점음원의 높이는 전동음이나 디젤엔진음 등의 음원의 종류나 대상 주파수에 따라서 결정한다.

3) 음원 파워 레벨

단위거리당의 음원 파워레벨은 다음 식으로 주어진다.

$$= a \log (V/100) + 10 \log (T) + b \quad (27)$$

여기에서 V 는 열차속도, T 는 열차길이이고 정수 a , b 는 주파수와 열차종류에 따라서 결정된다.

4) 소음전파

소음의 전파에 있어서는 거리감쇠, 공기흡음, 지표면이나 초목에 의한 감쇠, 건물로부터의 반사 등의 요인이 고려된다. 이러한 요인의 취급방법은 기본적으로 네덜란드에서 개발된 평가기법에 기초하고 국제규격 ISO 9613²¹⁾과 내용적으로 같다.

5) 기타

반사성 장애물이 있는 경우, 반사음의 영향에 의한 차폐효과의 저하를 다음 식에 의해 보정한다.

$$\Delta L' = \Delta L \{ 1 - 5 / (3d) \} \quad (28)$$

여기에서 ΔL 은 반사의 영향이 없는 경우의 감쇠량이고 d 는 음원으로부터 수음점까

21) ISO Geneva. 1996. ISO 9613. *Acoustics - Attenuation of Sound During Propagation Outdoors - Part II : General Method of Calculation.*

지의 수평거리이다. 우변 { } 내의 값이 0.7 미만의 때에는 $\Delta L' = 0.7 \Delta L$ 로 된다.

5. 기타

1984년에 개발된 철도소음의 예측기법²²⁾은 네덜란드의 소음방지법 중 철도소음의 계산과 측정에 관한 규칙에서는 소음레벨을 구하는 방법으로써 옥타브 밴드마다 계산을 행하는 상세한 방법, 소음레벨만을 계산하는 간단한 방법, 실제로 측정을 행하는 방법의 3종류가 제시되었다. 단 경비, 재현성, 검토의 난이성이라는 점 때문에 현장 측정은 그다지 추천되지 않는다.

22) C. J. M. Van Ruiten. 1988. "Dutch Railway Noise Prediction Schemes".
Journal of Sound and Vibration 120(2).

Abstract

Environmental Impact Assessment of Railways

Recently, the railroad construction projects have increased significantly in both number and duration, as the national transport policy pays more attention to railroad systems than any other systems. Accordingly, there is a high demand to develop researches related to central effects from the railroad construction on environment either during construction or in operation. This study, therefore, deals with two general topics related to railroad construction; 1) the understanding of general environmental effects mainly focusing on the environmental impact assessment and 2) the procedures and measures of the impact assessment.

In order to advance our understanding of the environmental effects involved, two types of transport infrastructures-railroads and vehicle roads, have been compared in terms of environmental valuation such as energy efficiency, social cost and etc. It is identified that railroad is more effective than vehicle road in terms of evaluating the overall environmental costs. This result indicates that the environmentally-friendly characteristics of railroad can be a foundation to establish national transport infrastructure as well as to stimulate its investment programs. In addition, current status and future direction of railroad policies and planning of national railroad network were briefly examined.

The characteristics of environmental assessments for both railroad planning and railroad construction have been analyzed based on Preliminary Environmental Review System (PERS) and Environmental Impact Assessment (EIA), respectively.

The result shows that railroad is superior to vehicle road in terms of minimizing the change in ecosystem, but inferior to it in terms of directly impacting people, for example, by noise. Based on case studies of environmental assessments of railroad in foreign countries, it is suggested that in the near future, Strategic Environmental Assessment (SEA) be required to play an important role in decision-making process for railroad planning in Korea. In that case, operating the Scoping Committee can be a supplementary tool for decision-making as well. Quantification and systematic analysis of environmental impacts from four different fields including ecosystem, groundwater, soil, and noise/vibration have been carried out. Their mitigation measures to minimize environmental impacts are briefly discussed.

This study is the first compilation of various environmental impacts of railroad planning and construction. Although the result may not be sufficient for solving all types of environmental problems related to railroads, we hope that it can be a first step for advancing future directions of railroad-related researches as follows:

- 1) developing assessment guidelines for more effective environmental assessment
- 2) creating assessment tools and indicators for evaluating plans and projects
- 3) establishing monitoring system and survey methods
- 4) developing environmental standards and prediction measures for impacts, especially of noise, groundwater and etc.