

경량전철 고무차륜용 PC슬래브 궤도

Precast Concrete Guideway of Automated Guideway Transit with Rubber Tire.

조능호* 정원기** 이규정* 윤태양*** 이안호****
Cho, Neung-Ho Chung, Won-Ki Lee, Kyu-Jung Yoon, Tae-Yang Lee, An-Ho

ABSTRACT

Slab guideway, surface treatment, heat line installation, and joint connection for Automated Guideway Transit with rubber tire are researched. While the AGT with rubber tire is constructed in city, the precast slab guideway must be considered a reduction of the construction period and the noise under construction. which related with environment. To do that, a basic design and the structural analysis for the precast slab guideway with rubber tire are studied. The surface treatment and the heat line installation of that are also compared with currently used methods. Tining method is applied to the surface treatment adopted from the concrete pavement application currently in use. The connection method between the slab of bridge and precast guideway are suggested with a bolt type and a bond type. To minimize noise and vibration of the connection while the AGT is in driving, the slop connection method can be enhanced the serviceability.

1. 서론

도로의 심각한 교통혼잡과 자동차 배기가스 증가에 의한 환경문제 등을 해결하기 위하여 서울을 비롯한 주요 도시에 경량전철 도입을 검토하고 있다. 국내에서 도입검토 중인 경량전철은 차량 및 선로의 적용기술에 따라 고무차륜용 무인자동운전시스템(Automated Guideway Transit, AGT), 철제차륜용 AGT 그리고 선형유도모터(Linear Induction Motor, LIM) 방식 등 3가지이다.

본 연구에서는 일본의 AGT를 중심으로 고무차륜용 AGT의 슬래브 궤도, 표면처리, 열선처리 및 이음부 등의 현황을 분석하였다. 고무차륜용 AGT가 도심지에서 건설된다는 점을 감안하여 시공이 빠르고 시공 시 소음 등의 환경문제가 적은 PC슬래브 궤도(Precast Slab Guideway)를 제안하였으며, 이에 따른 고무차륜용 AGT의 PC슬래브 궤도의 기본단면, 기본단면에 대한 구조해석 및 설계, 표면처리 및 열선처리 방안 등의 기본안을 제시하였다. 표면처리는 콘크리트 포장도로에 적용되는 방법 중에서 PC슬래브 궤도에 적합한 tining 방법을 적용하였다. 또한 교량슬래브와 PC슬래브 궤도간 체결방법으로 볼트식과 부착식을 제안하였으며, 차량 주행 시 PC슬래브 궤도의 연결부의 진동, 소음 발생문제를 최소화 하고자 경사형 연결방법을 제안하였다.

* 동아건설산업(주) 기술연구원 주임연구원

** 동아건설산업(주) 기술연구원 수석연구원

*** 포항산업과학연구원 토목구조연구팀장, 정회원

**** 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

2. 고무차륜용 AGT 슬래브 궤도의 현황

2.1 궤도의 특성

① 슬래브 궤도의 종류

고무차륜용 AGT 슬래브 궤도는 재료에 따라서 철근콘크리트 슬래브형과 H형강 형태의 철제형으로, 형태에 따라 일체형과 분리형으로, 제작 방법에 따라 현장타설 철근콘크리트[Reinforced Concrete(RC)] 슬래브 궤도와 공장제품인 PreCast Concrete(PC) 슬래브 궤도로 나눌 수 있다.

고무차륜용 AGT 슬래브 궤도는 고무차륜의 주행로로 궤도 자체가 AGT 하중을 지지하는 구조물로서의 역할은 하지 않으므로, 일반적으로 유지관리가 편리하고 노면 마찰력이 큰 철근콘크리트 슬래브 궤도를 사용하고 있다.

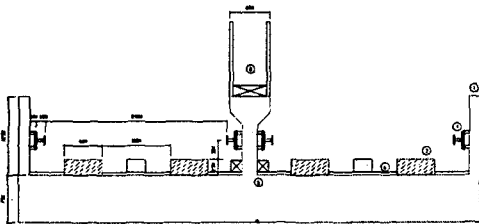


그림 2.1 분리형 슬래브 궤도 단면도

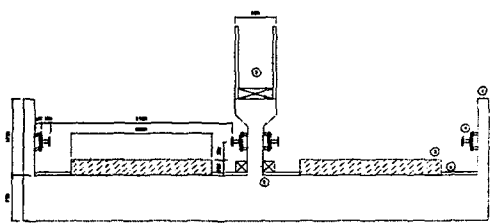


그림 2.2 일체형 슬래브 궤도 단면도

② 표면처리의 종류 및 특징

비 또는 눈 등으로 철근콘크리트 슬래브 궤도 표면이 젖어있을 경우, 특히 비상 상황이 발생할 경우, 최대한 짧은 거리에서 경량전철이 멈출 수 있도록 충분한 마찰계수를 확보하고, 경량전철이 고장으로 인해 역과 역 사이에서 정차한 경우 다른 경량전철에 의해 견인되기 위하여 최소한 0.3 이상의 동마찰계수를 갖도록 콘크리트 슬래브 표면을 처리해야 한다.

국내 고속도로 및 일반도로에 적용되는 표면처리 종류는 크게 표면에 신재료를 추가하는 형식과 표면 재료를 제거하는 형식으로 구분된다. 표면에 신재료를 추가하는 형식에는 개립도 마찰층 방법과 수지계 표면처리 방법(그림 2.3) 등이 있으며, 이 방법은 주로 아스팔트 포장도로용 표면처리 방법이다. 그렇지만 요즘 들어 수지계 표면처리인 경우 콘크리트 포장도로의 곡선 부분에도 많이 사용하고 있다. 표면 재료를 제거하는 형식에는 노면 평삭, grooving 그리고 tining(그림 2.4) 등의 방법이 있다. 이는 주로 포장 자체에 강성을 갖는 콘크리트 포장도로에 주로 사용되는 마찰력 증진용 표면처리 방법이다.

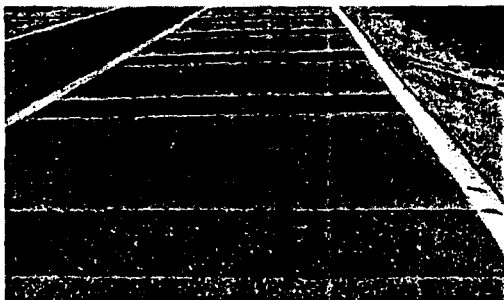


그림 2.3 수지계 표면처리

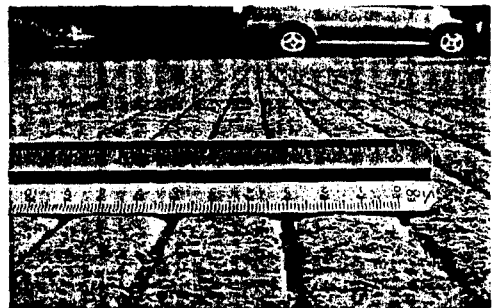


그림 2.4 Tining 표면처리

표 2.1 표면처리 방법별 비교

표면처리 종류	시공성	경제성	유지관리	내구성
개입도 마찰층	보통	불량	보통	보통
수지계 표면처리	불량	보통	불량	불량
노면평삭	양호	양호	우수	양호
Grooving	우수	우수	양호	우수
Tining	우수	우수	양호	우수

2.2 해외 현황 분석

표 2.2는 해외 경량전철 시스템의 특성에 대한 비교표이며 이 중에서 비교적 자료수집이 용이한 일본의 Yurikamome(동경 소재)와 Seaside Line(요코하마 소재)을 대상으로 분석하였다.

표 2.2 해외 경량전철 시스템의 현황

구 분	AGT		LIM
	고무차륜	철재차륜	
차량편성	기본2량, 최대6량	기본4량, 최대6량	기본2량, 최대4량
차륜형식	고무차륜	철재차륜	소형철재
최고운행속도(Km/h)	60~80	70~80	80~90
최대구배(%)	5~7	4~6	5~6
최소곡선반경(m)	30~35	25~40	70~100
차량중량(ton/량)	18~19	18~27	14~22
해외 운행 사례	릴리, 잭슨빌, 시카고, 타이페이 동경, 요코하마	도크랜드, 밴쿠버, 토론토	오사카, 쿠알라룸푸

① 일본 동경의 Yurikamome

일본 동경 서남쪽 신교(新橋)역에서 유명(有明)역까지 약 12km의 고무차륜용 AGT가 1995년부터 운영되고 있는 Yurikamome는 테마단지로 개발된 섬과 육지를 연결하는 복선으로 운영되고 있다.

슬래브 궤도는 현장타설 철근콘크리트로 제작한 일체형과 분리형 슬래브 궤도를 혼합하여 채택하고 있으며, 건조수축 균열을 방지하기 위해서 일정한 간격(약 6m)으로 시공이음을 두고 타설하였다. 특히 회전반경이 작은 곡선구간은 시공이음 간격을 보다 좁혀(약 3m 이내) 건조수축 균열을 방지하였다.



그림 2.5 Yurikamome 슬래브 궤도 전경



그림 2.6 Grooving 표면처리

콘크리트 슬래브 궤도에 사용된 표면처리 방법으로는 grooving, 노면평삭 그리고 수지계 표면처리 방법들을 혼용하고 있어, 다양한 표면처리 공법들에 대해 시험적으로 실시하고 있는 것으로 보인다.

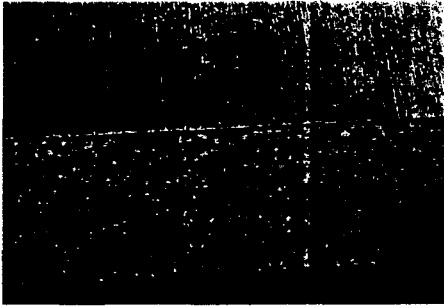


그림 2.7 노면 평삭 표면처리

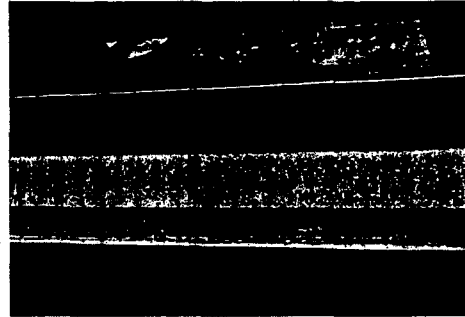


그림 2.8 수지계 표면처리

Yurikamome가 있는 지역은 일년에 한 두 차례 정도 눈이 내리는 곳으로 당초 설계 시 슬래브 궤도에 열선을 고려한 시공을 하지는 않았으나, 동절기 내리는 눈에 전철 운행이 중지된 경험을 바탕으로 현재 슬래브 궤도에 열선을 시공 중에 있다.

AGT의 고무차륜이 신축이음부를 지날 때 발생하는 소음을 줄이기 위하여 신축이음부를 진행방향에 직각방향이 아닌 그림 2.8과 같이 요철모양으로 처리하였다.



그림 2.9 열선 및 전기 공급

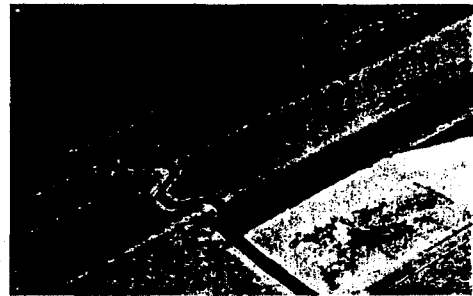


그림 2.10 신축이음부

② 일본 요코하마의 Seaside Line

일본 요코하마시 서남쪽 신삼전(新杉田)역에서 금택팔경(金澤八景)역까지 약 11km의 고무차륜용 AGT가 1989년부터 운영되고 있는 Seaside Line은 해안에 위치한 도심을 가로지르는 노선이다.

주로 현장타설 철근콘크리트로 제작한 일체형 슬래브 궤도를 채택하여 운행되고 있으며, 표면 마찰력을 증대시키기 위하여 표면 돌출 기법을 적용하여 표면을 거칠게 처리하였으나 승차감 저하, 소음 증대 및 진동에 의한 전력선 궤도 이탈 등의 문제점이 발생되어 콘크리트 표면의 거친 부분을 모두 제거한 후 운영하고 있으며 당초 설계에 없던 열선을 시공 중에 있다.

③ 기타 지역

프랑스 북부 Lille시의 경량전철인 VAL System은 세계최초로 전동차뿐만 아니라 역사 내에도

역무원이 없이 무인으로 운영되고 있는 시스템으로, Lille 1호선은 총 연장 45km, 65개 역의 비교적 긴 노선으로 압축 공기 고무차륜으로 운행되고 4개의 수평 고무바퀴에 의해 횡지된다. 고무차륜은 비상시를 대비하기 위하여 내부가 금속제로 제작되어 있다. 하지만 고무차륜이 지나는 슬래브 궤도는 콘크리트가 아닌 H형강 형태의 철제 궤도이다. 총 연장 13.6km의 Lille 2호선은 철제 궤도 대신에 길이 5.2m, 폭 27cm 그리고 두께 14cm의 콘크리트 슬래브 궤도를 사용하고 있다

3. PC슬래브 궤도

3.1 슬래브 궤도 형식 선정

① 분리형 PC슬래브 궤도

고무차륜용 AGT의 콘크리트 슬래브 궤도는 자체가 구조체로서의 역할은 하지 못하나, 고가교의 슬래브 위에 설치되어 AGT 차량의 하중을 지지하고 고무차륜이 주행하는 주행로로 일체형과 분리형 슬래브 궤도가 있다. 일체형 슬래브 궤도는 시공은 간편하나 분리형 슬래브 궤도에 비하여 사하중이 증가하여 교량 거더의 강성을 증가시켜야 하는 부담이 있어 구조적인 안정감이 있기 때문에 사하중에 대한 부담이 적은 단시간 교량이나 차량 기지에 적합한 구조 형식이다.

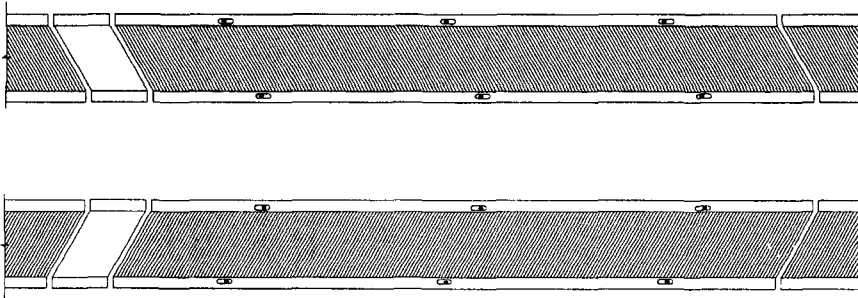


그림 3.1 PC슬래브 궤도 평면도

하지만 AGT는 일반도로 위를 따라 고가교를 건설하여 그 곳을 주행로로 사용하므로 도심지 공사인 점을 고려하여 시공 시 소음, 분진을 적게 하고 원활한 시공을 위한 공간 확보의 최소화 그리고 빠른 시공을 요구하므로 RC슬래브 궤도보다 공장에서 제작, 운반하여 현장에 거치하는 PC슬래브 궤도의 채택이 요구된다. 또한 PC슬래브 궤도의 경우 품질관리가 용이한 공장에서 제작되므로 RC슬래브보다 정밀한 고품질의 제품을 생산할 수 있으며 따라서 사용수명의 증대효과도 기대된다.

② 관통부와 연결부

PC슬래브 궤도를 관통하여 전선이나, 분기부의 기계장치가 통과하는 경우 또는 신축이음부와 두 개의 PC슬래브 궤도가 접하는 곳은 그림 3.1과 같은 형태로 처리하는 방안을 제안한다. PC슬래브 궤도와 PC슬래브 궤도가 만나는 연결부 또는 PC슬래브 궤도의 연결부와 관통부가 만나는 곳이 일직선인 경우, 두 구조물 사이의 공간을 지날 때 AGT의 고무차륜 전체가 연결부 홈에 걸리게 되어 소음과 진동이 발생되지만, 그림 3.1과 같이 사선인 경우, 두 구조물 사이의 공간을 지날 때 고무차륜의 일부만 연결부 홈에 걸치게 되어 소음과 진동이 감소하게 된다.

PC슬래브 궤도의 관통부는 철제로 제작한 뒤 표면에 미끄럼 방지를 위하여 표면처리를 하고, 교량슬래브에 고정한다.

③ PC슬래브 궤도의 단면

고무차륜용 AGT에 사용될 고무차륜의 폭은 30cm¹⁾로 PC슬래브 궤도의 폭은 AGT가 사고로 측벽에 설치된 안내궤도를 벗어나더라도 궤도를 이탈하지 않도록 설계되었다. 철근배근은 PC슬래브 궤도를 설치할 때, 지상에서 고가교로 인양 도중 자중에 의한 과도한 처짐과 균열을 방지하게 하기 위하여 기존 RC슬래브 궤도보다 많은 철근과 0.5인치 PS강선 2가닥으로 보강하였다.

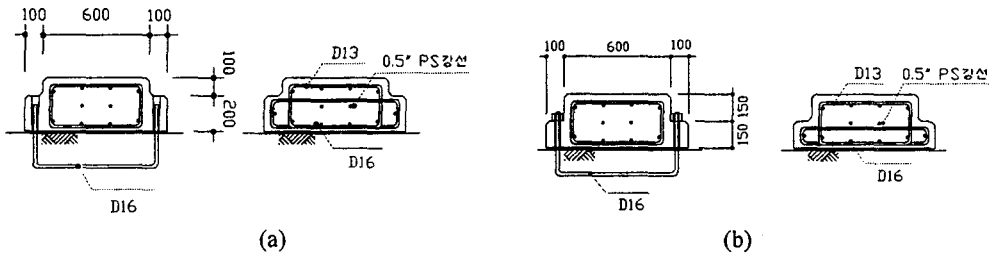


그림 3.2 PC슬래브 궤도의 단면, (a) 부착식, (b) 볼트식

그림 3.2의 단면에 대한 구조해석 결과, 단면 중앙에 차량하중 재하한 상태인 AGT 차량이 정상적으로 운행되는 경우와 단면 좌우측에 차량하중을 재하한 상태인 AGT 차량이 안내궤도를 이탈한 경우에 대하여 각각 콘크리트의 허용인장응력과 허용압축응력 이내에 있다는 것을 확인하였다. 또한 AGT 차량의 급정차 시 PC슬래브 궤도와 교량슬래브의 연결 철근의 전단력을 검토한 결과, 6m PC슬래브 궤도에 대해 D16철근 6개소를 설계하였다.

그림 3.2에서 보는 바와 같이 단면 폭이 약 80cm, 높이가 약 30cm로 휨강성이 비교적 적은 단면인 관계로 PC슬래브 궤도 양중 시, 자중에 의한 과도한 처짐과 균열을 방지하고 양중의 편의를 위하여 PC슬래브 궤도의 적정한 길이를 약 5m에서 10m로 제한하였다.

④ PC슬래브 궤도의 일체화 방안

PC슬래브 궤도와 교량 슬래브를 일체화시키기 위한 방법은 그림 3.2와 같이 2가지 방법을 제안하였다. 교량 상판 시공 시 연결철근을 매입하고 PC슬래브 궤도를 설치한 후, 연결부를 무수축 모르타르 또는 에폭시로 고정하는 방법이 있으며, 다른 하나는 교량 슬래브 시공 시 연결용 볼트를 매입하고 PC슬래브 궤도 설치 시 볼트로 체결하는 공법이 있을 수 있다. 전자는 시공이 간편하고 공사비용 또한 저렴한 장점이 있는 반면 후자는 시공비가 다소 증가되나 교량 슬래브와의 일체성이 우수하고 차량 제동 시 제동하중의 상판 전달력도 우수하여 PC슬래브 궤도의 정착구 수를 부착식 방법에 비하여 감소시킬 수 있다.

3.2 PC슬래브 궤도 표면처리 방안

① 빗살 tining 방안

그림 3.3처럼 차량 진행방향에 직각이 아니라 비스듬한 빗살 tining으로 표면을 처리함으로써 직각방향 tining에 비해 소음과 진동이 감소되고 오르막 및 내리막인 경우 PC슬래브 궤도 표면의 배수를 원활하게 하는 장점이 있다. PC슬래브 궤도의 빗살 tining이 표면의 우수를 빠르게 배수하여 수막현상에 의한 고무차륜의 미끄러짐을 예방할 수 있어서 AGT의 안전운행에 매우 큰 효과가 있

다.

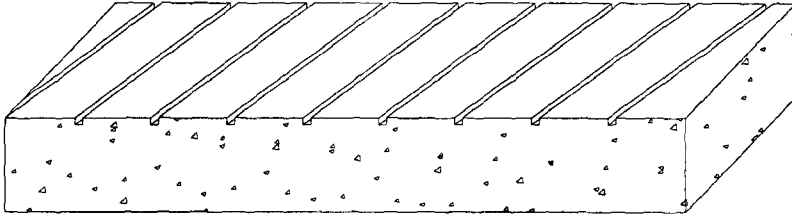


그림 3.3 빗살 tining 방법

② 빗살 grooving과 빗살 tining을 병용하는 방안

50%이상 내리막 구간, 오르막 구간 또는 정차역 전방 감속 구간 등의 마찰력 확보가 매우 중요한 구간에 적용하는 방안으로 그림 3.4처럼 빗살 grooving과 빗살 tining을 번갈아 위치하거나 빗살 grooving 사이에 2~3개의 빗살 tining을 넣는 방법이다.

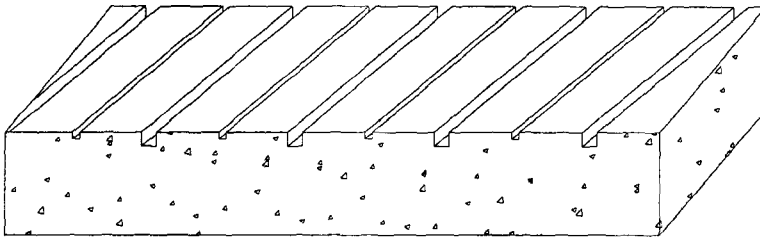


그림 3.4 빗살 grooving과 빗살 tining 병용

3.3 PC슬래브 궤도 열선 처리방안

2~3개의 PC슬래브 궤도를 연결한 1set의 PC슬래브 궤도에 측벽의 안내궤도에 있는 전력선으로부터 그림 3.5와 같이 전선을 연결하여 전원을 공급하는 방안으로, 고장난 PC슬래브 궤도의 열선, 열선연결부 또는 PC슬래브 궤도를 보수할 때, 다른 PC슬래브 궤도는 정상적으로 운영이 가능하며 동절기 야간에 눈 또는 비가 내려 PC슬래브 궤도 표면이 동결될 때, 작동하지 않는 어떤 부분이 있더라도 나머지 부분은 정상 가동 가능한 방법이다.

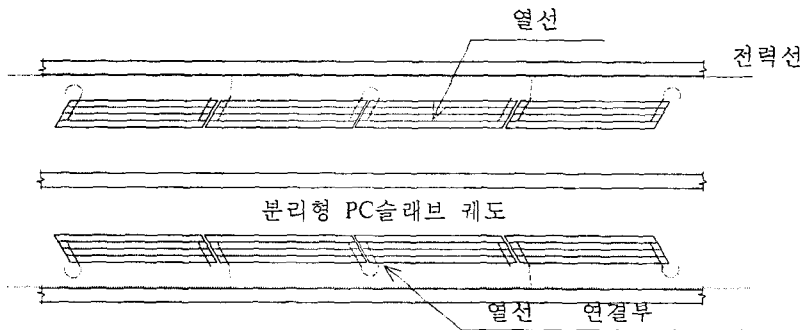


그림 3.5 PC슬래브 궤도 열선처리 방안

4. 결론

AGT 고무차륜용 PC슬래브 궤도 개발에 대한 연구수행 결과, 고무차륜용 AGT가 도심지에서 건설된다는 점을 감안하여 시공이 빠르고 시공 시 소음 등의 환경문제가 적은 PC슬래브 궤도를 제안하였으며, 이에 따른 고무차륜용 AGT의 PC슬래브 궤도의 기본단면, 기본단면에 대한 구조해석 및 설계, 표면처리 및 열선처리 방안 등의 기본안을 제시하였다. 또한 교량슬래브와 PC슬래브 궤도간 체결방법으로 볼트식과 부착식을 제안하였으며, 차량 주행 시 PC슬래브 궤도의 연결부의 진동, 소음 발생문제를 최소화 하고자 경사형 연결방법에 대해 제안하였다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 “경량전철시스템 기술개발사업”의 일부로 수행되었으며, 본 기술개발사업의 선로구축물분야의 주관기관인 포항산업과학연구원의 연구비 및 제반지원에 감사 드립니다.

참고 문헌

1. 포항산업과학연구원(1999), 경량전철시스템기술개발사업 1차년도연구결과 보고서(분야:선로구축물)
2. 건설교통부(2000), 콘크리트표준시방서
3. 철도청(1999), 철도공사 전문시방서(토목 편)
4. 철도청(1999), 철도설계기준(철도교 편)
5. 건설교통부(1997), 도로안전시설 설치 및 관리 지침(미끄럼방지포장 편)
6. 포항산업과학연구원(1999), 경량전철 토목설계기준(하중분야)에 관한 연구
7. 東京都(昭和62), 東京都 新橋・13號 地新交通 土木構造物設計基準(案)