틸팅열차 상용화대비 기존선 인프라시스템의 효율적 유지보수체계 검토

Investigation of Effective Maintenance System for the Infra on the Conventional Line Prepared for the Tilting Train Service

유근수† 이창훈* 안광열* 김종태*

Yoo, Keun Su Lee, Chang Hun An, Gang Yell Kim, Joung Tea

ABSTRACT

The major objective of this study is to investigate the effective maintenance system for the infrastructure on the conventional lines in which the tilting train runs. In order to the speed-up of conventional lines that have many curve lines, there needs a improvement construction of substructure such as the straight or double track work and so on. But in this case, it needs to have a plenty of the cost and the period. Therefore, the tilting train which provides the high-speed service effectively in curve tracks was developed. Besides, the efficiency prediction and the linear fitness of the existing conventional lines for a tiling train service were examined on the preceding study which was the development of track system innovation technology for speed-up of them.

So, in this paper we propose the more effective maintenance method than the existing it in order to securing the high reliability and safety classified by the infrastructure, in analyzing foreign materials and the maintenance as well as the inspection cycle concerning domestic infrastructures of the track and the catenary etc. on the railway. And we look forward to playing a decisive role as reference material for the effective improvement of the existing maintenance about the infra on the conventional lines for the commercial service of the tilting train.

1. 서 론

현재 지형적 환경여건상 곡선구간 등이 많은 국내 기존선의 열차운행은 최고속도 약130~150km/h의 속도로 화물열차와 여객열차가 일정한 비율로 운행되고 있는 실정이다. 각각의 열차는 노선 최고속도 및 선형조건, 승객 및 화물량 등이 반영된 열차운영계획에 따라 운행되며, 최근 급격한 경제성장과 사회발전에 따라 증가하는 승객 및 화물량에 대응하기 위해 동력성능이 향상된 신형차량의 개발과 궤도의 직·복선화 등의 기존선 속도향상을 위한 선로개량 사업을 지속적으로 시행하고 있지만, 막대한 공사비용과 건설기간 발생으로 사업수행에 많은 어려움이 따르고 있는 설정이다.

이에 단기적, 실용적으로 곡선구간이 많은 기존선에서 효과적으로 고속서비스를 제공할 수 있는 틸팅열차는 차체제어에 의한 승차감의 큰 저하 없이 일반차량보다 곡선부를 빠른 속도로 주행할 수 있는 장점이 있어 기존선 열차운행에 매우 유리한 특징이 있다. 현재, 세계 철도선진국에서는 고속철도 이외의 틸팅열차를 투입하여 기존선을 활용한 준 고속철도 서비스를 제공하고 있으며, 우리나라에서도 틸팅열차의 핵심부품 기술개발과 더불어 지난 2008년 2월 한국형 틸팅열차의 시속 180km/h의 증속시험 성공에 따른 차세대 기존선 대체열차로 투입될 것으로 예상되고 있다.

† 유근수 : 한국철도시설공단, KR기술연구소, 부장
E-mail : yks65004@hamnail.net
Tel : (042)607-3402, Fax : (042)607-3322
* 비회원, 한국철도시설공단, KR기술연구소

이에, 틸팅열차 상용화에 따른 기존선 구간의 운행 속도향상은 열차운영 계획시 유리한 장점이 있으나 증속에 따른 곡선부 등의 궤도부담력 증가와 전기신호 등의 기존 인프라설비 개량으로 열차주행 안정성과 고 신뢰성 확보를 위해서는 적절한 유지보수 관리 및 검수방안에 대한 기술적 검토가 요구된다. 그러므로 기존의 국내 유지보수 현황 및 사례와 해외 틸팅열차 운행구간의 유지보수 사례 등을 검토하여 국내 틸팅열차 운행대비 각 인프라시스템 별로 보다 효율적인 유지보수 관리 및 검수방안의 재정립이 절실히 필요하다.

2. 기존 유지보수 현황 및 사례

틸팅열차의 운행구간은 일반철도의 기존선을 이용하는 것으로 여기서는 일반철도의 국철구간에 적용되는 유지보수 검사항목 및 점검기준, 주기 등의 실제 사례 등을 중점적으로 검토하였다.

2.1 궤도 분야

가. 유지보수 절차 및 업무내용

일반적 궤도 유지보수의 흐름은 아래 그림1.과 같이 유지보수 방침에 따른 세부시행계획을 작성한 후 이에 따라 궤도검사를 시행한다. 유지보수 업무는 크게 인력 및 장비에 의한 검측단계와 검측에 의한 결과를 토대로 보수업무를 시행하는 보수단계로 나눌 수 있다. 보수단계에서는 궤도틀림 정정, 궤도재료 보수 및 교환, 레일연마 및 갱환, 장대레일 관리 등 실제 현장에서의 작업이 시행되며 최종적으로 보수 결과를 전산관리시스템에 입력하여 궤도품질관리, 보수주기 등 향후 보수 계획을 수립하는 data로 활용된다.

나. 유지보수 업무구분

궤도 유지보수는 일정상 구분에 따라 정기보수와 일상보수로 나눌 수 있다. 정기보수는 점검 및 진단 등 전산관리에 의한 작업별 보수주기에 따른 계획적 보수로써 외주에 의한 궤도정정 및 분기기 교환, 도상갱환이 주요업무이며, 일상보수는 계측시스템에 의한 궤도검측에 따른 결함부분 수시보수로 궤도 부분정정, 재료의 부분적 보수 및 교환, 인력 및 장비에 의한 수시보선이 그 주요업무이다. 각 구분항목에 따른 주요내용은 도표 1과 같다.

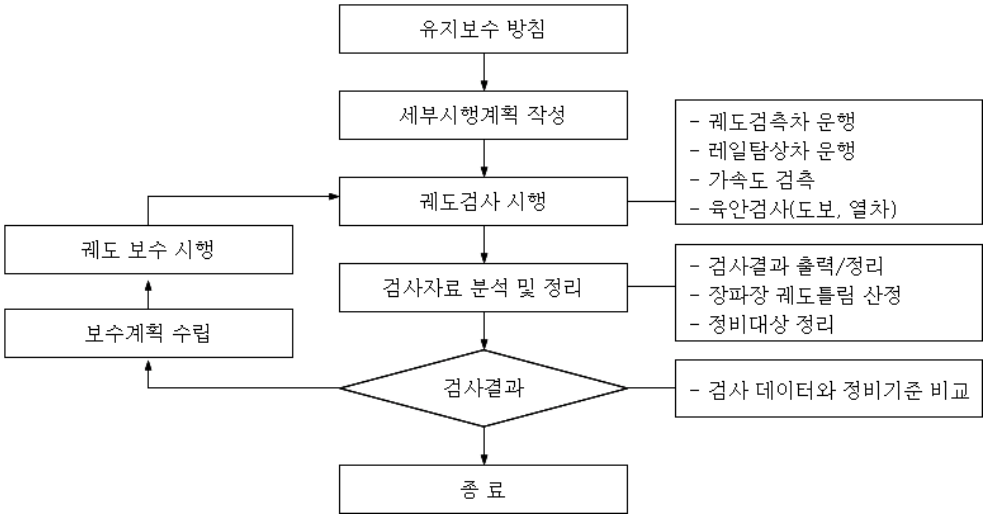

그림1. 궤도 유지보수 흐름도

도표 1. 일정에 따른 궤도 유지보수 업무 구분

구 분		주 요 내 용
정 기 보 수	점 검 / 진 단	상시점검, 정기점검, 정밀점검, 정밀안전진단, 긴급점검으로 분류
	보 수 / 보 강	정밀점검 및 정밀안전진단을 통해 손상 및 결함이 있는 시설물에 대한 보수/보강업무
	대 수 선	내구연한 경과로 교체가 이루어져야 하는 시설물에 대한 교체작업
일 상 보 수	일 상 수 선	상시점검을 통한 시설물의 상태확인 및 관리로 간단한 시설보수업무
	계 측 시 스 템	공용 중 자동화 계측을 통한 시설물의 이상유무 관리

다. 유지보수 점검 주기 및 항목

궤도 검측은 크게 장비와 인력에 의한 검측으로 나뉘며 장비에 의한 검측은 주로 레일의 틀림 및 결함 여부이며, 인력에 의한 검측은 궤도 구조물 및 분기기, 신축이음매 등의 궤도재료 이상여부를 점검한다. 각각의 검사내용 및 검사주기는 도표 2와 같다.

틸팅열차의 투입대상 구간은 기존선이기 때문에 현행 국철의 궤도설비에 관한 유지보수 사항을 검토하여 보았다. 속도향상으로 인하여 변경이 예상되는 설비에 대해서 고속철도와 일반철도 사이의 속도를 갖는 틸팅열차는 기본적으로 일반철도에서 사용하고 있는 유지보수 주기보다는 다소 짧게 선정하여야 한다고 생각되어 진다. 유지보수 점검사항은 도표 3과 같이 크게 레일, 분기기, 침목, 도상, 기타사항으로 구분하며 이에 따른 점검기준은 일반점검 및 정기, 정밀점검 등으로 나눌 수 있다.

도표 2. 궤도 점검 주기

검측방법			검사내용		검사주기
장비	궤도 검측차		• 궤도 틀림검사, 레일단면 측정 • 전차선 선형검측, 전차선 비디오 촬영, 통신 신호시설 검측		1회/월
	레일 탐상차		• 초음파에 의한 레일내부 결함 탐상		1회/3개월
	차량가속도측정		• 차상과 대차에 대하여 수직, 수평방향 가속도 측정		1회/2주
인력	순회	도보순회	• 궤도 및 시설물의 이상 유무 확인		1회/10주
		열차순회	• 열차에 탑승하여 동적 틀림 및 승차감 확인		1회/15일
	선로점검		• 분기기 점검	일반점검	1회/월
				정밀점검	1회/년
			• 신축이음매 장치	일반점검	1회/월
				정밀점검	1회/년
			• 침목 및 콘크리트도상 점검		1회/년
			• 레일체결장치 점검		1회/년
			• 도상자갈 점검		1회/년

도표 3. 도상구분에 따른 유지보수 점검 사항

구 분		점검기준	점 검 사 항
레일점검		외관점검	• 레일의 손상, 마모 및 부식의 정도 • 불량레일에 대한 점검표시 유무 • 가공레일의 가공 상태 적부 등
		해체점검	
		초음파탐사	
분기기 점검		일반점검	• 분기기 손상, 마모, 부식의 정도
		정밀점검	• 연결간과 접속간의 접속부 텅레일의 훼손유무 및 상태점검
		기능점검	• 텅레일 밀착, 접착 등 기능상태 점검
침목점검		-	• 침목구체의 손상여부 및 체결구 손상, 마모정도 점검 등 • 체결구 손상, 마모정도 점검 등
도상점검	자갈도상	상시점검	• 단면부족유무 점검 및 토사혼입정도 점검 • 도상보충/도상 횡 저항력 유지상태 점검
		정밀점검	
	콘크리트도상	상시점검	• 손상되거나 균열된 콘크리트도상 표시 • 즉시보수/계획보수로 분류하여 보고
		정기점검	
		정밀점검	
기타점검		-	• 이음매판, 기타 궤도재료상태 점검

2.2 전차선로 분야

기존선과 고속선에서 상용되고 있는 전차선로에 새로운 타입의 틸팅열차가 운행시 유지보수 기준은 달라질 수밖에 없으며, 틸팅열차가 투입되면 전차선의 마찰로 인한 부품들의 마모도가 기존보다 더 빠르게 진행 될 것으로 예상된다. 따라서 마모도와 틸팅열차의 운행횟수가 유지보수에 있어서 중요한 파라미터라고 할 수 있다.

가. 유지보수 업무내용

도표 4. 유지보수 단계별 주요내용

구 분	주 요 내 용	비 고
1단계	· 안전이 확보된 상태에서 운영에 필요한 간단한 유지보수	점검 및 순회, 소규모 보수
2단계	· 정해진 유지보수 절차에 따라 상세한 절차가 필요한 유지보수	중규모 보수
3단계	· 장비의 사용과 설치가 복잡한 절차가 필요한 유지보수	전차선 표준공구 및 장비를 사용하는 보수작업
4단계	· 특수한 가능이나 기술이 필요한 유지보수(예방보수와 복구 유지보수작업)	전차선 교체작업등 예방 및 복구 유지보수
5단계	· know-how, 특수기능이나 기술절차가 필요하며 중장비의 지원이 필요한 작업	전차선, 가선 등 대규모 공사

나. 유지보수 점검

궤도분야와 마찬가지로 설비의 운전 및 사용 상태를 점검하는 일상 순회점검과 설비의 성능회복을 목적으로 하는 정기점검, 각종 보수장비 및 공구를 동원한 정밀점검으로 나눌 수 있다. 도표 5는 전차선로 순회점검 방법 및 주기를 나타내고 있다.

도표 5. 전차선로 순회 점검 방법 및 주기

<table>
<tr><th colspan="3">구 분</th><th>도보순회</th><th>열차순회</th><th>모터카순회</th><th>공 통 사 항</th></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">전동차 운행구간</td><td>지상</td><td>1주1회</td><td rowspan="6">1일1회</td><td>-</td><td rowspan="13">○ 도보 순회시 공사 개소는 1주2회 점검

○ 고속열차, 전동차, 전기기관차가 병행하여 운행하는 구간은 가장 짧은 주기를 적용</td></tr>
<tr><td>지하</td><td>-</td><td>2주1회</td></tr>
<tr><td rowspan="2">경부선</td><td>고속열차 운행구간</td><td rowspan="8">2주1회</td><td>-</td></tr>
<tr><td>전기기관차 운행구간</td><td>-</td></tr>
<tr><td rowspan="2">호남선</td><td>고속열차 운행구간</td><td>-</td></tr>
<tr><td>전기기관차 운행구간</td><td>-</td></tr>
<tr><td>중앙선</td><td>전기기관차 운행구간</td><td rowspan="4">2일1회</td><td>-</td></tr>
<tr><td>태백선</td><td>전기기관차 운행구간</td><td>-</td></tr>
<tr><td>영동선</td><td>전기기관차 운행구간</td><td>-</td></tr>
<tr><td>충북선</td><td>전기기관차 운행구간</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="3">경부고속선</td><td>1월1회</td><td>1월2회</td><td>-</td></tr>
</table>

2.3 신호설비 분야

열차의 운행 속도가 증가하고 운행 횟수는 고밀도화 됨에 따라 신호설비의 정상적인 유지보수는 아주 중요한 문제라 할 수 있다. 신호설비 분야의 유지보수는 신호시스템의 유지보수 활동장소, 주체 및 목적과 방법에 따라 3단계로 분류 수행된다. 각 단계별로는 장애를 통해 고장파악 및 진단하는 1단계, 현지에서 고장부품을 기능시험을 통해 직접 수리하는 2단계 그리고 마지막으로 전문 업체에 의뢰하여 최소단위까지 유지 보수하는 3단계로 나누고 있다. 그림2.는 신호 유지보수 흐름을 나타내고 있다.

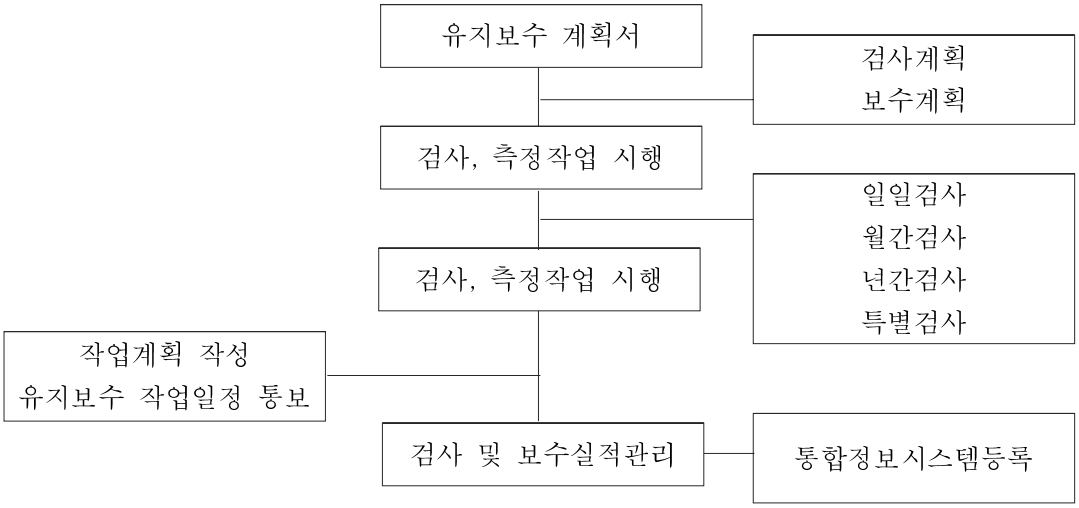

그림2. 신호 유지보수 흐름도

3. 해외 틸팅열차 운행구간 유지보수 사례

이미 틸팅열차를 상용화하여 운행하고 있으며 특히, 전기철도분야에서 고도의 기술력을 확보하고 있는 유럽의 틸팅열차 운행구간의 유지보수시스템에 대한 고찰은 국내 틸팅열차 운행구간의 현행 유지보수기법 활용시 시행착오를 최소화 할 수 있고 기준을 재정립하는데 크게 기여할 것으로 예상된다.

3.1 궤도 분야

틸팅열차가 운행 중인 세계 주요 철도의 선로검사 및 검측주기는 도표 6과 같다. 또한 프랑스에서의 궤도 재료검사는 상세검사와 특별검사가 주기적으로 시행되며 검사결과에 따라 보수와 추가검사가 이루어진다. 상세검사는 체결구상태 등을 육안으로 검사하는 것으로 일반구간은 6년, 분기기는 3년 주기로 시행되며, 특별검사는 안전에 직접적으로 관계되거나 재료의 보존과 관련된 검사로서 일반적으로 년1회 주기로 시행된다.

3.2 전차선로 분야

유럽에서는 선로의 최고속도와 판토그라프의 일일 통과횟수를 기준으로 5단계의 수준으로 나누고 그에 따른 유지보수 수준에 맞는 형태의 작업을 시행하고 있다. 특히, 이러한 수준은 유럽을 대표하는 철도 선진국인 프랑스, 독일, 스페인, 이탈리아의 전차선로에 대한 유지보수 주기를 결정하는데 이용된다.

도표 7은 일일 접전장치 통과 수 및 속도에 따른 선로의 이론적 등급으로 정기예방보수에서 순회 및 점검 주기를 결정하는데 사용되는 전차선로의 유지보수 수준표이며, A에서 E까지 5단계로 분류된다. 해외의 전차선로에 대한 유지보수 점검 주기는 각 나라마다 차이가 있는데, 이는 각 나라별 전차선로의 사양 및 운영시스템에 차이가 있기 때문이라 판단된다. 하지만, 공통적으로 전차선로의 등급에 따라서 유지보수 점검주기를 선정하고 있음을 알 수 있다.

도표 6. 세계 주요 철도국의 선로검사 및 검측주기

철도명	미국 AMTRAK	독일 DB	프랑스 SNCF	영국 BR
최고속도(km/h)	240	200	220	220
틸팅방식	강제링크	강제링크	강제링크	강제링크
엑츄레이터	유압식	전기식	전기식	전기식
궤도틀림	4~6/년	~6/년	2~4/년	IC노선 4/년
동요		2/년	2/년~2/월	
레일 검사	초음파, 자력선 1, 2/년, 직후교환	초음파 3/년 표면 1/년	1, 2, 4/년	초음파 4/년
축상 진동가속도	-	-	파장 2.5m 요철	-
도보 순회 등	도보 순회 2/주	열차 순회 12/년 비디오 도입	3주마다, 15일마다 TGV 10주마다	-
기계화, 기타	효율화 지향	요원삭감 지향 EJ검사 2/년	효율화 지향 유간검사 있음	유간검사 있음

도표 7. 일일 집전장치 통과 수 및 속도에 따른 선로의 이론적 등급

<table>
<tr><th>속도(km)
일일
집전장치통과 수</th><th>V < 120</th><th>120 < V < 160</th><th>160 < V < 220</th><th>220 < V</th></tr>
<tr><td>P < 60</td><td colspan="2" rowspan="2">A</td><td rowspan="3">C</td><td rowspan="5">E</td></tr>
<tr><td>60 ≤ P < 100</td></tr>
<tr><td>100 ≤ P < 180</td><td colspan="2">B</td></tr>
<tr><td>180 ≤ P < 350</td><td colspan="3" rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>350 ≤ P</td><td colspan="3">D</td></tr>
</table>

3.3 신호설비 분야

신호설비는 열차상호간 안전에 매우 밀접하게 연관되어 해외 선진국의 경우 신호분야의 유지보수는 인력보다 자동화라는 관점에서 최신기술을 바탕으로 한 검측시스템 개발이 중요한 요소로 작용하고 있다. 이에 종합검측차를 운행하여 소요 비용과 시간을 절약하고, 신호설비의 이상 유무를 정확히 검측할 수 있다는 측면에서 유지보수의 가장 효율적인 시행조건이라 하겠다. 도표 8은 해외 신호설비에 대한 검측방법 및 주기를 나타내고 있다.

4. 틸팅열차 운행대비 유지보수 관리 및 검수 방안

철도사고는 발생시 대규모의 사고로 이어질 수 있기 때문에 인프라시스템의 고 신뢰성 및 안정성 확보를 위해서는 미연에 사고 방지를 위한 유지보수 관리 및 검수방안에 대한 기술이 무엇보다도 중요하다. 이에, 기존선 속도향상을 위해 새롭게 개발된 틸팅열차 운행에 대비하여 인프라시스템의 정상적인 운영과 유지보수의 안정화를 위해 무엇보다 각 인프라시스템 별로 보다 효율적이며 신뢰성 있는 유지보수 관리 방안이 모색되어야 한다.

도표 8. 해외 신호설비 검측방법 및 주기

<table>
<tr><th colspan="2">검측방법</th><th>검 사 내 용</th><th>검사주기</th></tr>
<tr><td>장비</td><td>궤도검측차</td><td>신호시설검측</td><td>1년</td></tr>
<tr><td rowspan="3">인력</td><td>도보 순회</td><td>주요 설비확인</td><td>3 ~ 6주</td></tr>
<tr><td>차상선로 순회</td><td>열차에 탑승하여 검사</td><td>6개월</td></tr>
<tr><td>점검열차운행</td><td>점검 후 확인</td><td>일1회</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="4">장비 및 인력</td><td>육안관찰에 의한 점검 시행</td><td>반년마다</td></tr>
<tr><td>검사차량과 같은 점검장비로 시행하는 점검 시행</td><td>2년1회</td></tr>
<tr><td>주의를 요하는 구조물이나 사고재해가 발생한 때 시행</td><td>수시</td></tr>
<tr><td>시설물 특별관리법에 의해 시행하는 점검 시행</td><td>5년1회</td></tr>
</table>

4.1 궤도 분야

궤도 유지보수 관리를 효율적으로 운용하기 위해서는 크게 유지보수 업무와 관리기능 단순화, 이에 따른 효율적 운영인원의 배치 및 최소화, 업무의 효율적 위탁관리로 구분하여 유지보수 관리의 기본방향을 설정하고 이에 따른 각 구분별 구체적 지침과 사항을 설정할 필요가 있다.

그림3.은 궤도 유지보수 관리의 기본방향에 대한 내용을 정리한 것이다.

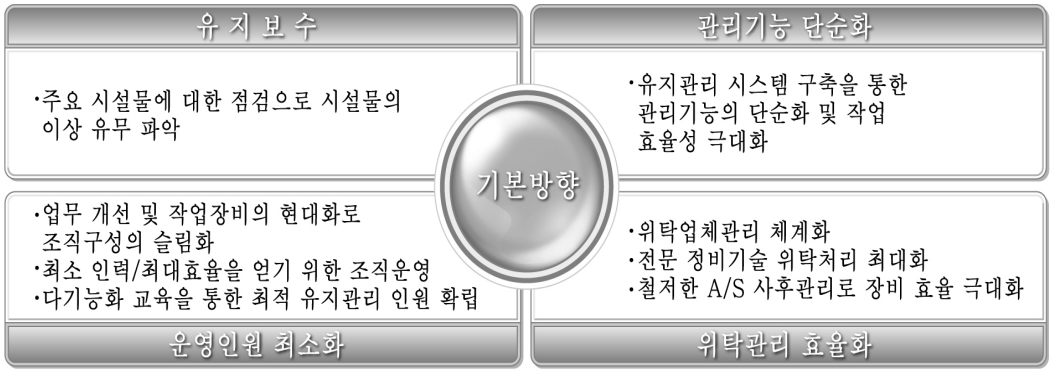

그림3. 선로 유지관리 기본방향

4.2 전차선로 분야

시운전 중인 틸팅열차의 전차선로 유지보수 및 검수에 있어서 많은 연구와 현장 자료에 대한 검토가 필요하고, 틸팅열차 운행대비에 따른 선진국의 검수 공정과 업무자료를 축적하여 국내의 축적된 기술을 공유할 수 있는 시스템을 구축하는 방향으로 나아가야 할 것이다. 그림4.는 효율적 유지보수 관리를 위한 유지보수 계획수립에 필요한 검토항목들을 나타낸 것이다.

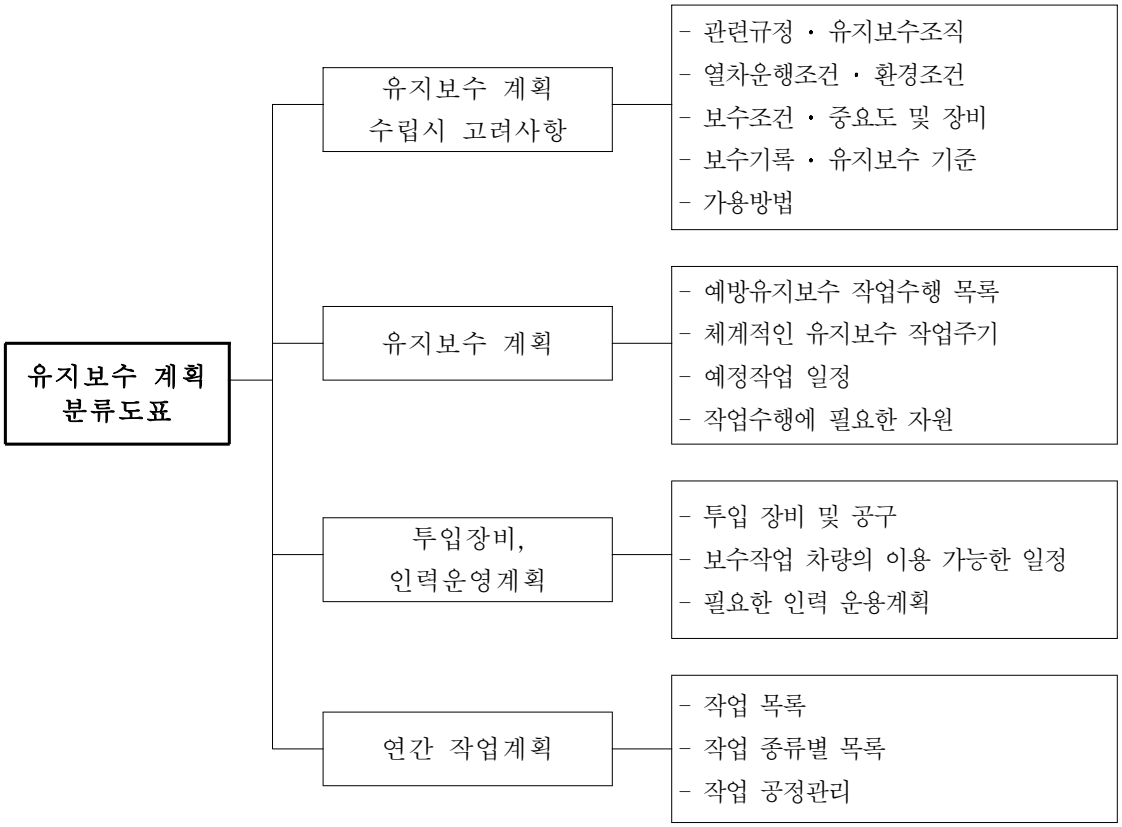

그림4. 유지보수 계획분류도표

4.3 신호설비 분야

틸팅열차 및 고속철도와 같이 열차의 운행속도는 계속 증가되는 추세이며, 속도향상에 따라 선로용량도 증대되고 있다. 이렇게 증가된 구간을 인력에 의한 유지보수를 시행하는 것은 비효율적이며 이러한 이유로 보다 효율적인 유지보수 관리를 위해 차상검측이 중요한 부분으로 대두되고 있다. 최근의 신호설비는 첨단화, 자동화, 전산화가 이루어지면서 유지보수에 대한 장애확률은 낮아졌으나, 사고시나 장애발생 시에는 열차운행에 미치는 파급효과가 매우 크다. 따라서 신호설비의 유지보수 및 검수 업무의 체계를 확립시켜 전기설비 운영의 효율성을 높이고 신호설비에 대한 유지보수 향상 및 기술력 향상을 수행해 나아가야 할 것이다. 현재 틸팅열차의 시운전 중인 기존선구간의 신호설비 유지보수 및 검수방안에 대한 검토를 통해 틸팅열차에 대한 유지보수 기준을 정하고 기존 유지보수체계와도 호환성을 파악하여 안전성 향상과 유지보수 관리의 효율화를 강화시킬 필요가 있다.

5. 결론

인프라시스템의 유지보수 관리 방안이란 열차운행에 있어 안전을 보장하고 선로를 효율적으로 운영하기 위한 방법이다. 현재 기존선 속도향상이라는 대명제를 가지고 틸팅열차 개발사업이 진행 중에 있으며 한국형 틸팅열차 '한빛200' 차량개발이 완료되어 신뢰성 확보를 위한 충북선, 호남선 구간에서 10만 km 시험운행이 시행되고 있다. 이에 틸팅차량의 상용화에 발맞춰 기존선의 유지보수 관리체계를 보다 효율적으로 운영하기 위해 본 연구에서는 이미 틸팅열차가 상용화 운행 중인 유럽 선진국들의 인프라시스템 유지보수 관리 방안에 대해 검토와 현행 국내 기존선 인프라설비에 대한 유지보수 현황을 조사하여 향후 연구조사 결과를 토대로 틸팅열차 상용화 대비 안정성 및 고 신뢰성 확보를 위한 보다 효율적인 인프라시스템 유지보수 관리 및 검수 방안을 수립하는데 기여하고자 한다.

참고문헌

1. 한국철도공사 (2008), "신호제어설비유지보수지침" 개정
2. 한국철도공사 (2007), "전철전력유지보수지침"
3. 철도청 (2001), "전기동차 검수규정"
4. J.Boubray (2000), "Reliability-centered Maintenance", TWI Press, Inc.
5. 경인기술 (2003.12), "신호설비 보수메뉴얼"
6. 강성원 (2002), "전기동차 유지보수체계 개선방안 연구", 인하대 국제통상물류대학원
7. 여인호 (2006), "유지보수 성능향상 기술연구", 한국철도기술연구원
8. 서승일 (2006), "틸팅차량 운행시 유지보수시스템 기반구축 연구", 한국철도기술연구원
9. 한국철도공사 (2005.4), "전기업무자료"
10. 박용걸, 엄기영, 최정열, 성덕룡 (2007), "틸팅차량 주행에 따른 기존선 궤도의 주행 안정성 평가", 한국철도학회논문집
11. 정찬묵 (2005), "선로공학", 평화당출판사