



서울시 도시철도 유지관리 운영 방안 연구

손기민



시 정 연
2006-R-10

서울시 도시철도 유지관리 운영방안 연구
Operation on maintenance of urban railway

2006

서울시정개발연구원
Seoul Development Institute

연구진

연구책임	손 기 민	• 도시교통연구부 연구위원
연구원	김 대 현	• 도시교통연구부 연구원
	조 도 형	• 도시교통연구부 연구원

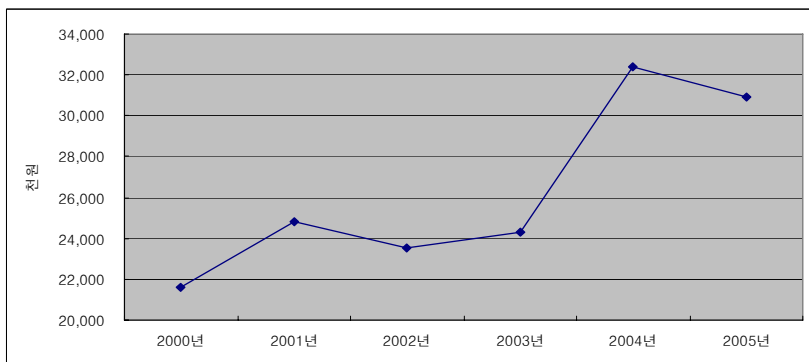
이 보고서의 내용은 연구진의 견해로서
서울특별시의 정책과는 다를 수도 있습니다.

제 I 장 연구의 배경 및 목적

○ 도시철도관련 기본연구의 두 번째 단계

Planning	서울시 도시철도 노선개편 방안, 2005
Maintenance	서울시 도시철도 유지관리 운영방안, 2006
Operation	서울시 도시철도 운행개선 방안, 2007
Business	서울시 도시철도 경영 효율화 방안, 2008

○ 도시철도 시설 유지보수비 변화 추이



○ 서울시 1기 지하철은 개통 후 30년, 2기 지하철은 개통 후 10년이 경과 하였으므로 도시철도의 시설 차원에서 전반적인 진단이 필요함.

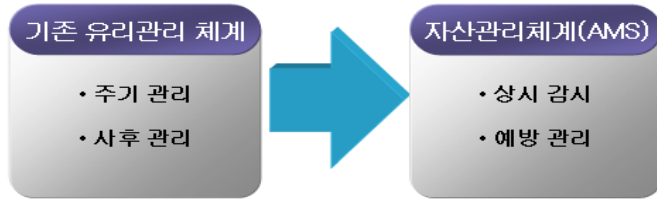
- 특히, 노후화된 1기 지하철 토목시설에 대해 전면적인 안전점검 차원의 보수계획을 수립해야할 시점에 당면하였음.
- 철도차량분야에 국한된 RAMS(Reliability, Availability, Maintenance and Safety) 기반 선진 유지관리방안의 도입을 고정시설 방면에도 적극적으로 적용할 필요가 있음.
- 현행 독립적인 시설별 단순 유지관리에서 벗어나 기반시설물 전체를 통합하는 포괄적인 유지관리체계 즉, 자산관리체계(AMS: Asset Management System)의 도입이 시급함.
- 운영방안으로서 AMS 핵심 모듈인, 자료 수집 및 저장/갱신, 자료분석 모듈에 대한 구체적인 연구방법론을 제시하고 사례를 분석함.
- 도시철도 레일시설을 대상으로 구체적인 자산관리체계(AMS) 세부모듈 적용방안을 구축하고 실제 서울시 자료를 통해 분석함.

제II장 연구체계

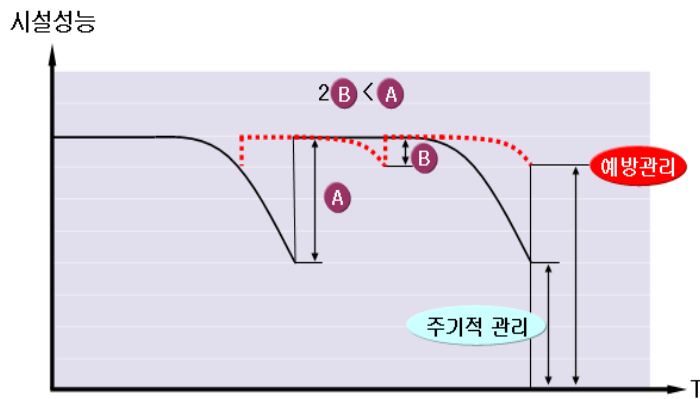
- 1장. 연구의 개요
- 2장. 서울시 도시철도 시설 유지관리 현황
- 3장. 시설 유지관리 효율화 방안 검토
- 4장. 도시철도 자산관리체계 도입 방안
- 5장. 사례분석
- 6장. 결론 및 정책건의

제III장 연구결과

- 기존의 관리 방식인 주기관리, 사후관리의 개념 탈피



○ 시설의 특성과 과거 보수이력 등을 데이터를 기반으로 한 예방관리 구현



○ 결과적으로 자산관리체계를 도입하여 시설의 생애주기비용(LCC)을 최소화함.

○ 자산관리체계(AMS)의 도시철도분야 도입방안

- 1단계: 시설별 자산관리체계(AMS) 구축(토목, 보선, 건축, 신호, 통신, 전기, 기계, 차량)
- 2단계: 유사시설별 통합체계 구축(토목-보선, 신호-통신 등)
- 3단계: 도시철도 고정시설의 통합 자산관리체계(AMS) 구축

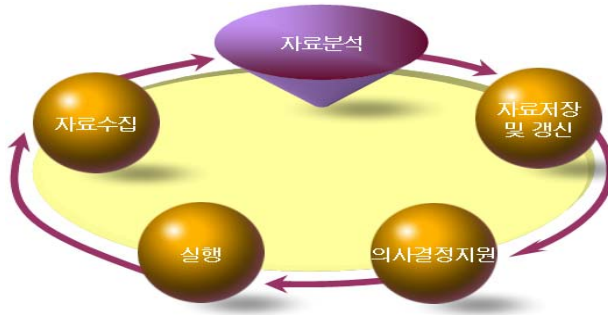
○ 자산관리체계(AMS)의 도시철도분야 도입 시 쟁점사항

- 도시철도 시설에 대한 자산관리체계의 상부구조인 자료수집 저장/갱신

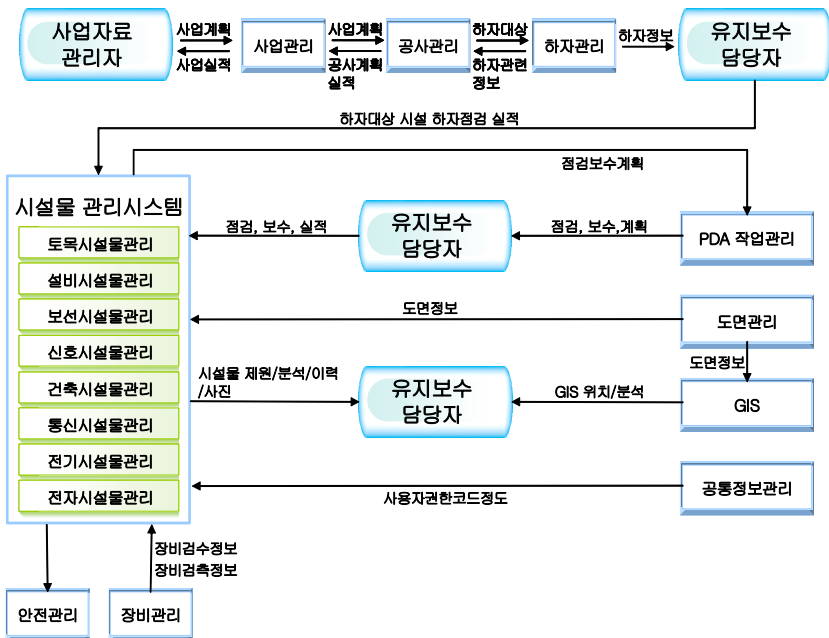
및 자료분석 모형 구축에 대한 실행방안이 연구된 바 없음.

○ 자산관리체계의 핵심

- 자료수집 모듈 - 자료저장/갱신 모듈 - 자료분석 모듈



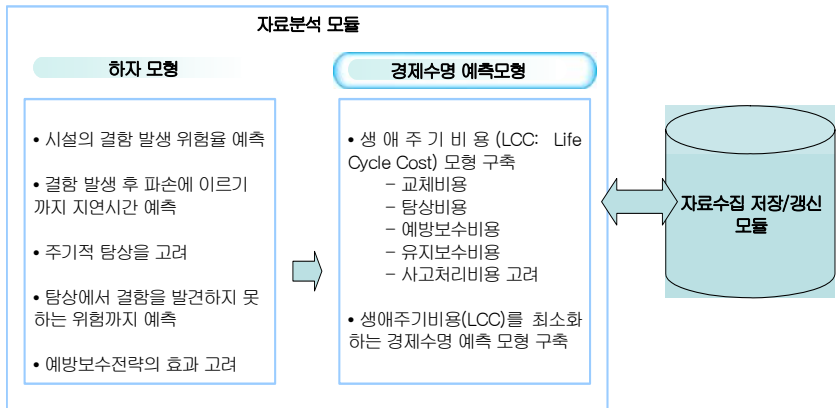
○ 자료수집 및 저장/갱신 체계 제안



○ 자산관리체계의 토대

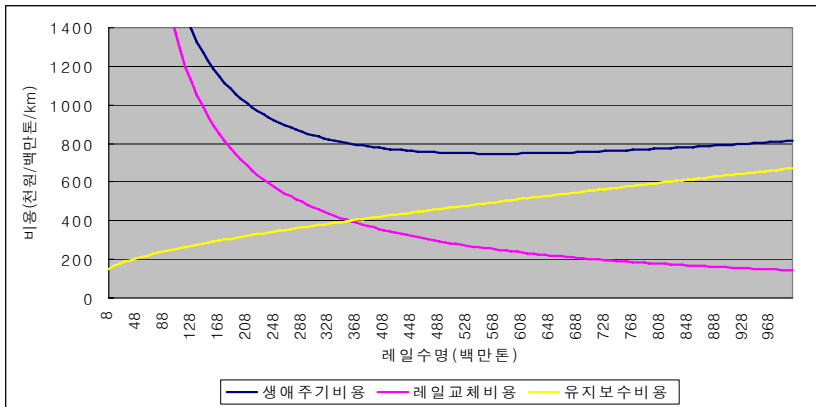
- 시간 및 비용 소요
- 지리정보체계(GIS) 도입
- 휴대단말장치(PDA) 도입
- 도면관리체계 구축

○ 자료분석 모형 제안: 하자분석을 통한 시설 경제수명 및 최적 보수전략 도출 모형 구축



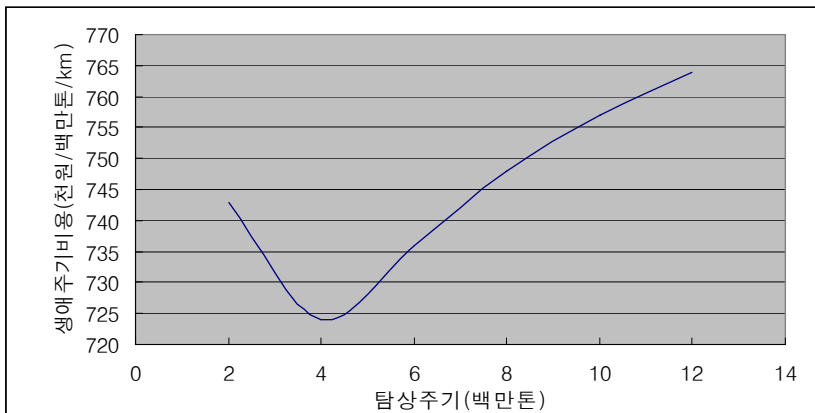
○ 사례분석 결과

- 보선(레일)시설 대상으로 실제 유지보수 자료 적용함: 도시철도 시설 중 가장 유지보수 비중이 높음(총비용 대비 26%, JR의 경우).
- 보선(레일)시설의 경제수명 도출 : 생애주기비용(LCC)의 최소화
 - 레일의 경제수명은 616(백만톤), 최소 생애주기비용(LCC)는 749(천원/백만톤/km)임.
 - 서울메트로에서 요구하는 700(백만톤)으로 레일의 수명을 연장 가능함 (최소대비 1%).



- 최적 탐상빈도(보수전략) 도출

- 가장 경제적인 탐상 주기는 4.2(백만톤)임.
- 탐상주기를 연장한다면, 파손으로 인한 비용이 탐상비용 감소분으로 상쇄되지 않을 정도로 커지게 되고, 또한 생애주기비용(LCC)을 증가시킴.



- 최적 경제수명에 영향을 미치는 요소: 시설의 하자특성이 가장 민감하고 시설교체비용, 탐상주기 순으로 민감함.
- 모형의 이식성: 타 시설에 적용 시 시설별 하자특성을 모형화하는 것이 가장 중요함.

제Ⅳ장 결론 및 정책건의

- 현재 일상점검 및 주기적 관리에 의존하고 있는 서울시 도시철도 시설 유지관리에 대해 자산관리체계(AMS) 도입을 제안함.
- 자산관리체계(AMS)는 5가지 핵심모듈로 구성되는데 이 중 자료의 수집 및 저장과 자료분석이 핵심이 됨.
 - 자료수집 모듈: 시설의 상태관련 정보를 지속적으로 수집하는 기능을 수행함.
 - 자료분석 모듈: 수집된 상태관련 자료를 통해 현재의 시설상태를 추정하고 장래 상태를 예측함.
 - 자료저장 모듈: 자료 수집 및 분석 결과를 데이터베이스에 저장 관리하는 기능을 수행함.
 - 의사결정 지원 모듈: 분석된 결과를 토대로 의사결정자에게 유지보수 조치안을 권고하는 기능을 수행함.
 - 실행 모듈: 도출된 권고안을 바탕으로 적정 유지보수 조치를 실행하는 기능을 수행함.
- 도시철도 시설 분야에 자산관리체계(AMS)를 도입해야한다는 필요성 및 도입 시 어떠한 편익이 얼마만큼 발생하는지에 대한 연구는 이미 무수히 많은 선행 연구들에 의해 충분히 강조되어 왔고, 이를 도입하기위해 어떠한 문제점이 있는지에 대해서도 구체적으로 논의되어 왔음.
- 반면, 자산관리체계(AMS)를 적용하기위해 필수적인 도시철도 시설분야의 기술부문은 연구된 바가 드문 실정임.
- 본 연구는 자산관리체계를 도시철도 시설분야에 적용하기 위한 두 가지 핵심 모듈, 즉 자료 수집 및 저장, 자료 분석에 대한 구체적인 연구를 수행하였음.

- 특히, 자료분석 부문에 대해 실제 서울시 도시철도 레일시설을 대상으로 유지관리 자료를 확보하여 모형을 개발, 정산하고 성능을 평가하였음.
- 구체적으로, 시설의 하자발생 구조를 모형화하여 최적 경제수명을 찾는 방법론을 제시하고 실제 자료를 바탕으로 검증하였음.
- 분석결과, 레일 뿐 아니라 다른 어떠한 시설에도 이식이 가능한 현실성 있는 경제수명 도출모형을 구축하였음.
- 본 연구결과를 토대로, 향후 레일관리체계 구축을 실현하고 더 나아가 도시철도 시설에 대한 2단계 및 3단계 통합자산관리체계(AMS)를 구축하기 위해서는 또한, 도시철도 시설의 관리 단위별 도면 및 보수이력에 대한 데이터베이스 구축이 시급함.
- 이러한 체계적인 자료가 축적되지 못하면 도시철도 시설에 대한 효율적인 유지관리는 실현할 수 없음. 자료수집 및 저장체계의 준비는 많은 시간과 비용을 요구하므로 단기적으로 성과가 드러나지 않을 수 있음.
- 서울시는 도시철도 운영기관을 통해 이러한 부분에 대한 중요성을 인식시키고 빠른 시일 내에 도시철도 시설에 대한 자료 수집 및 저장체계 구축사업을 시작하는 것이 바람직할 것으로 판단됨.

목 차

제 I 장 연구의 개요	3
제1절 연구의 배경	3
제2절 연구의 목적	3
제3절 연구의 내용	4
제 II 장 도시철도 시설 유지관리 현황	7
제1절 도시철도 시설현황	7
1. 토목시설	7
2. 보선시설	8
3. 전기시설	10
4. 신호시설	11
5. 통신시설	11
6. 건축시설	12
7. 기계설비시설	12
제2절 유지관리 업무 현황	13
1. 토목시설	13
2. 보선시설	16
3. 전기시설	19
4. 신호시설	24
5. 통신시설	27
6. 건축시설	30
7. 기계설비시설	34
제3절 유지관리 비용 현황	36
1. 서울 메트로	37
2. 도시철도공사	40

제Ⅲ장 시설 유지관리 효율화 방안 검토	43
제1절 개요	43
제2절 자산관리체계(AMS : Asset Management System)	43
1. 자산관리체계의 정의	43
2. 자산관리체계의 구성요소	44
3. 자산관리의 목표 및 목적	45
4. 자산관리체계(AMS)도입의 편익	46
5. 자산관리의 대표적 실패사례	48
6. 자산관리체계(AMS)의 기본 틀	48
7. 자산관리체계(AMS) 쟁점사항	51
제3절 도시철도 자산관리체계	55
1. 도시철도 자산관리체계의 세부구성	55
2. 도시철도 자산관리체계 통합	67
3. 도시철도 자산관리체계 구축 절차	67
제Ⅳ장 도시철도 자산관리체계 도입 방안	71
제1절 도시철도 자산관리체계(AMS) 도입 현황 및 문제점	71
1. RAMS(Reliability, Availability, Maintenance and Safety)	71
2. 도시철도분야 자산관리체계(AMS) 도입 문제점	72
제2절 도시철도 자산관리체계(AMS) 적용 방향	74
1. 자료 수집 및 저장체계 구축	74
2. 기초기술 확보를 위한 노력	76
3. 단계별 추진 계획	77
제Ⅴ장 사례 분석	83
제1절 시설 선정	83
제2절 모형구축	84
1. 하자모형	84

2. 경제수명 예측모형	95
제3절 분석모형 적용	98
1. 기초자료 구성	98
2. 모형 적용	99
3. 사례분석결과	105
 제Ⅵ장 결론 및 정책 건의	 109

표 목 차

〈표 2-1〉 서울 메트로의 6년간 유지보수비용 변화 추이	37
〈표 2-2〉 전체비용 분류	38
〈표 2-3〉 유지보수비 세부비용 항목	39
〈표 2-4〉 터널 및 교량 연장	39
〈표 2-5〉 궤도 및 레일 연장	40
〈표 2-6〉 레일관련 세부비용	40
〈표 5-1〉 레일 연마주기	99
〈표 5-2〉 결함종류별 모형 파라미터(본선 60kg 레일 기준)	100
〈표 5-3〉 비용관련 모형 파라미터(본선 60kg 레일 기준)	100
〈표 5-4〉 파라미터 민감도 순위	104

그림목차

〈그림 3-1〉 자산관리체계(AMS)의 기본 구성요소	49
〈그림 3-2〉 도시철도 자산관리체계 구성	56
〈그림 3-3〉 자료수집 모듈	57
〈그림 3-4〉 자료분석 모듈	58
〈그림 3-5〉 자료저장 모듈	59
〈그림 3-6〉 의사결정 지원 모듈	60
〈그림 3-7〉 실행 모듈	64
〈그림 4-1〉 도시철도 자료 수집 및 저장 체계 예시	75
〈그림 4-2〉 자료분석 모듈 핵심요소	76
〈그림 5-1〉 레일 하자발생 및 조치	84
〈그림 5-2〉 레일 연마 개념도	86
〈그림 5-3〉 레일 경제수명 분석결과	101
〈그림 5-4〉 탐상주기에 따른 생애주기 비용	103
〈그림 5-5〉 최적탐상주기	103

제 I 장 연구의 개요

제1절 연구의 배경

제2절 연구의 목적

제3절 연구의 내용

제 1 절 연구의 배경

- 서울시 1기 지하철은 개통 후 30년, 2기 지하철은 개통 후 10년이 경과 하였으므로 도시철도의 시설 차원에서 전반적인 진단이 필요함.
- 특히, 노후화된 1기 지하철 토목시설에 대해 전면적인 안전점검 차원의 보수계획을 수립해야할 시점에 당면하였음.
- 철도차량분야에 국한된 RAMS(Reliability, Availability, Maintenance and Safety) 기반 선진 유지관리방안의 도입을 고정시설 방면에도 적극적으로 적용할 필요가 있음.
- 현행 독립적인 시설별 단순 유지관리에서 벗어나 기반시설물 전체를 통합하는 포괄적인 유지관리체계 즉, 자산관리체계(AMS: Asset Management System)의 도입이 시급함.

제 2 절 연구의 목적

- 도시철도 시설 분야에 자산관리체계(AMS)를 도입해야한다는 필요성 및 도입 시 어떠한 편익이 얼마만큼 발생하는지에 대한 연구는 이미 무수히 많은 선행 연구들에 의해 충분히 강조되어 왔고, 이를 도입하기 위해서는 어떠한 문제점이 있는지에 대해서도 구체적으로 논의되어 왔음.
- 반면, 자산관리체계(AMS)를 적용하기 위해 필수적인 도시철도 시설분야의 기술부문은 연구된 바가 드문 실정임.
- 본 연구는 자산관리체계를 도시철도 시설분야에 적용하기 위한 두 가지

핵심 모듈 자료수집 및 저장, 자료 분석에 대해 구체적인 연구를 수행함.

- 개념차원의 유지관리 정보화 및 자동화 요구에서 벗어나 구체적인 기술 사항을 검토하고, 특히 국내외에서 활발한 연구가 진행 중인 도시철도 궤도분야 유지관리체계를 대상으로 이력관리를 통한 최적 보수전략 도출방안을 제시하는 것을 본 연구의 목적으로 함.

제 3 절 연구의 내용

- 서울시 도시철도 시설에 대한 이해를 돕기 위해 8개 시설분야에 대한 현황을 자세히 파악함.
- 현행 서울시 도시철도 유지관리 업무의 흐름과 절차 및 비용소요 현황을 파악함.
- 최근 주목받고 있는 자산관리체계(AMS: Asset Management System)에 대한 개념 정립 및 자세한 내용을 소개하고, 현재 가동 중인 해외사례를 통해 도입 가능성을 검토함.
- 국내 철도분야에서 활발히 연구 중인 유지보수 효율화 체계(RAMS: Reliability, Availability, Maintenance and Safety 등)에 대해 도입절차상 또는 적용상의 문제점을 파악함.
- 지적된 문제점을 바탕으로 개선안을 정립하고 향후 도시철도 분야 자산관리체계(AMS) 도입에 대한 단계적 추진계획을 수립함.
- 파악한 문제점 개선의 일환으로 도시철도 레일시설을 대상으로 구체적인 자산관리체계(AMS) 세부모듈 적용방안을 구축하고 실제 서울시 자료를 통해 분석함.

제Ⅱ장 서울시 도시철도 시설 유지관리 현황

제1절 도시철도 시설현황

제2절 유지관리 업무 현황

제3절 유지관리 비용 현황

제 1 절 도시철도 시설현황

- 도시철도 시설은 크게 토목, 건축, 보선, 전기, 신호, 통신, 기계, 차량의 8개 분야로 나눌 수 있음.
- 차량분야를 제외한 서울시 도시철도 주요시설의 정의 및 특성을 설명하고 시설별 유지관리 중점 사항을 검토함.

1. 토목시설

1.1 터널

- 서울시 지하철은 서울 메트로와 서울특별시도시철도공사가 호선별로 운영하고 있음.
- 횡방향으로 지반을 굴착해서 건설되는 터널을 의미하며 개착식 박스 구조물과 구분됨. 해외에서는 개착식 박스 구조물도 개착식 터널이라는 명칭으로 분류하나 국내에서는 구조물과 터널을 구분하여 유지관리하고 있음.
- 터널의 일상적인 유지관리 업무는 서울 메트로, 도시철도공사 등 운영주체가 주관하고 있으며, 『시설물 안전관리에 관한 특별법』에 의거하여 정기적인 정밀점검을 서울시 시설안전관리공단을 통해 받고 있음.
- 정밀점검 시에는 유지관리 계획을 통해 터널주변 지반의 변화와 그 영향으로 발생하는 배면 지반 및 수압 변화와 콘크리트 구조물 변화 양상, 환경조건 등을 측정하여 터널 구조물의 안정성을 점검함.

1.2 구조물

- 지하철 구조물로는 지하구간에 설치한 개착식 박스 구조물과 지상구간의 고가 구조물이 있음.
- 지하철 구조물의 일상적인 유지관리 업무는 서울 메트로, 도시철도공사 등 운영주체가 주관하고 있으며, 『시설물 안전관리에 관한 특별법』에 의거하여 정기적인 정밀점검을 서울시 시설안전관리공단을 통해 받고 있음.

1.3 철교

- 현재 서울시 지하철 1호선, 2호선, 3호선, 4호선, 7호선 등에서 7개 철교를 운영하고 있음.
- 철교의 경우도 일상적인 유지관리 업무는 서울 메트로, 도시철도공사 등 운영주체가 주관하고 있으며, 『시설물 안전관리에 관한 특별법』에 의거하여 정기적인 정밀점검을 서울시 시설안전관리공단을 통해 받고 있음.
- 최근 주요 도로교의 경우는 유지관리 예측체계를 도입하여 교량 중요부위 또는 파손이 예상되는 부위에 적절한 센서들을 부착·설치하고 교량거동의 변화를 지속적으로 감시하여 정확한 정보를 제공하며 이를 통해 유지보수 전략을 세움으로써 안전성을 제고하고 있음. 따라서 철교의 경우도 이를 시급히 보급할 필요가 있으며 현재 도입 검토 중에 있음.

2. 보선시설

2.1 궤도

- 궤도는 레일과 그 부속품, 침목 및 도상으로 구성되며 견고한 노반 위에 도상을 일정한 두께로 설치하고 그 위에 침목을 일정 간격으로 부설하여

침목 위에 두 줄의 레일을 평행하게 체결한 것으로 즉, 노면과 함께 열차 하중을 직접 지지하는 역할을 하는 도상 및 레일, 침목 부분을 총칭함.

- 궤도는 반복되는 열차하중을 받으면 각부가 변형 또는 변위를 일으키게 되어 궤도틀림이 발생하게 되는데, 이 궤도틀림이 크게 되면 열차의 동요나 충격에 의해 승객의 승차감이 나빠지고, 궤도 틀림이 점차로 커져 결국 현저하게 커지면 방향과 고저의 연속 복합틀림이 발생하여 열차의 탈선사고를 유발함. 따라서 궤도틀림상태는 항상 정확하게 파악하여 불량한 개소는 시기를 놓치지 않고 정비 또는 보수하여야 하며, 이러한 틀림을 감지하여 바로잡는 것이 궤도 유지관리의 중점 사항이라 하겠음.
- 궤도는 승객의 안전과 서비스 질에 가정 밀접하게 연계된 시설로서 본 연구의 핵심 대상임. 따라서 궤도유지관리 체계에 대해 구체적인 도입방안을 제시하고 사례분석을 통해 실행방안을 자세히 다룰 예정임.

2.2 침목

- 침목은 레일을 소정 위치에 고정시키도록 지지함과 동시에 차륜의 하중을 도상에 넓게 분포시키기 위해 레일 밑에 깔아 놓은 목재 혹은 콘크리트 궤도 재료이며, 분기부, 교량, 곡선부에는 목침목을 사용함.

2.3 도상

- 도상은 레일 및 침목으로부터 전달되는 차량하중을 노반에 넓게 분산시키고 침목을 일정한 위치에 고정시키는 기능을 하며, 재료로는 자갈 또는 콘크리트 등의 쓰임.
- 현재 1기 지하철(서울 메트로)에서 중점 사업으로 펼치고 있는 기존 자갈 도상에서 콘크리트 도상으로의 교체는 유지관리 생력화 및 안전 차원에서

필수적인 사업임.

3. 전기시설

3.1 전차선

- 전차선은 레일면 일정 높이에 가설되어 전동차의 판토품라프(Pantograph)와 직접 접촉하여 전기차에 전기를 공급하는 가공 선로임.
- 전차선은 가선 장력에 대하여 충분히 견딜 수 있도록 해야 하며 집전장치 통과와 집전에 지장이 없어야 하고, 또한 접촉 개소의 통전상태가 항상 양호할 수 있도록 유지되어야 함.

3.2 차단기

- 차단기는 정상상태에서 부하전류를 개방함과 동시에 이상상태 발생 시 신속히 회로를 차단하고 회로에 접속된 기기, 전선 등을 보호하는 기기로서 구조 또는 동작원리에 따라 여러 가지로 분류하며, 소호매체와 소호방법에 의해 유입차단기(OCB), 진공차단기(VCB), 기중차단기(ACB), 가스차단기(GCB) 등으로 분류함.

3.3 정류기

- 한국전력공사로부터 수전된 교류 전기를 직류로 바꾸어서 전차선을 통하여 전동차에 공급하게 되는데 이와 같이 교류를 직류로 바꾸는 장치를 정류기라 함.
- 정류기 방식에는 다이오드 정류방식과 싸이리스터 정류방식이 있는데 서울을 비롯하여 지방 모든 도시가 다이오드 방식을 채택하고 있음.

4. 신호시설

4.1 신호기

- 열차 신호기는 과거의 기계식, 전기식에서 전자장치 및 컴퓨터장치로 대체되고 열차를 직접 제어하는 장치로 발전하였음. 따라서 소프트웨어(Software)를 포함하는 RAMS(3장에서 자세히 설명) 등 새로운 개념의 선진 유지관리 기법을 필요로 함.
- 열차 신호기는 지상장치와 차량장치로 구분되는데 각 호선별로 적용된 시스템 수준에 따라 각기 다른 장비들로 구성되어 있어 통합적인 관리가 쉽지 않으며, 이를 개선하기 위한 표준화 노력이 우선적으로 필요함.
- 유지보수 차원에서 또 한 가지 중요한 사항은 선진국의 최첨단 설비를 채택하고 있는 신호시설의 경우, 국내의 기술자 부족으로 관리상의 문제가 많고, 특허품 내지 고가의 부품구입으로 많은 유지비가 들게 되므로 유지비 절감을 위해서 국내기술의 대체가 시급한 실정임.

5. 통신시설

5.1 통신 설비

- 지하철 통신설비는 지하철 운행의 안전·정확성을 확보하면서 원활한 운영체제 구축을 기본으로 운영요원 간의 의사소통과 설비제어용 데이터전송, 영상감시망 및 이용승객 통신서비스 등을 신속·정확하게 수행하기 위한 지하철 정거장 및 터널 내 제반설비를 말함.
- 설비별 시설목적 및 기능별로 구분하면 도시철도 운영정보 통신설비, 승객서비스 통신설비, 인명보호 및 재해방지 통신설비, 도시철도 경영정보시스템, 역무자동화설비 등이 있음.

5.2 승차권시스템 설비

- 자동개집표기는 승객이 자동발매기 및 자동발권기로부터 구입한 자기승차권과 RF 선·후불제 카드를 이용하여 요금미지불 구역과 요금지불 구역간의 통행에 사용되는 기기임.
- 자동발매기는 승객이 지하철을 이용하기 위하여 보통권 혹은 교통카드를 구매하는 장비로서 역사 내의 기능실에 벽면 매입형으로 설치되며, 발매하는 승차권의 종류에 따라 다능식 발매기, 선불 RF카드 발매기 두 종류로 구분됨.
- 그 외 승차권 시스템설비에는 자동정산기, 교통카드 충전기 등이 있음.

6. 건축시설

6.1 역사

- 역사는 승객관련 시설과 업무관련 시설로 구분되며, 승객관련 시설에는 대합실, 승강장, 연력통로, 출입구 등이 있고 업무관련 시설에는 역무시설과 접객시설이 있음.
- 역사 유지관리에 대한 특별한 사항은 없고 다만, 천장 마감자재의 떨어짐 방지가 승객안전을 위한 유지관리 주요사항이라 하겠음.

7. 기계설비시설

7.1 개발비

- 기계설비는 건축설비 중에서 전기·전화·고정시설물 등을 제외하고 각종 펌프·송풍기·공기조화기·냉동기·보일러·승강기 등의 기계장비와, 이에 부수된 자동제어·덕트·배관 등을 통칭함.

- 지하철의 설비는 설치위치에 따라 터널구간 설비와 정거장구간 설비로 나눌 수 있음. 터널구간 설비에는 터널환기설비와 배수펌프설비가 있고, 정거장구간 설비에는 정거장 환기 및 냉방, 급배수, 위생, 소방, 승강기, 스크린도어설비 등과 이러한 설비들을 집중감시 제어하는 자동제어설비가 있음.
- 차량기지에 설치되어 있는 설비에는 가스, 냉난방, 환기, 급배수, 위생, 소방, 폐수처리, 압축공기설비 등이 있음.

7.2 환경설비, 스크린도어

- 최근 잇단 지하철 승강장 사망사고 등의 안전문제 및 지하철 구간 내 대기질 문제 등의 환경문제가 주요 관건으로 대두되는 바, 기계설비 중 스크린도어 등의 안전시설과 환기시설 등의 환경설비에 대한 기대수준이 점점 높아짐.
- 이러한 추세에 맞추어, 고장률이 타 시설에 비해 비교적 높은 기계시설의 유지관리에 대해 선진 관리기법의 적용이 시급한 실정임.

제 2 절 유지관리 업무 현황

1. 토목시설

1.1 장기점검관리

1) 개요

- 토목시설물에 대하여 1년에 2회 정기적으로 점검계획을 수립하고 실적을 기록 관리하는 업무

2) 업무처리과정

- 시설 사업소 토목팀에서 전년도 정기점검계획 및 실적을 분석하고 사업계획을 분석하여 대상시설물 조사를 실시함.
- 조사된 결과를 토대로 정기점검 계획을 수립하고, 수립된 정기점검 계획을 시설관리처 토목팀의 적합성 검토를 통해 수정사항을 수정한 후 최종 정기점검계획을 수립함.
- 토목분소와 시설사업소 토목팀에서 정기점검을 시행하고, 점검계획의 수정사항이 발생하면 시설관리처 토목팀의 확인을 거쳐 수정함.
- 시행된 정기점검에 대한 점검표를 작성하고 그 결과를 분석하여 분석결과를 시설관리처 토목팀에 통보하며, 이를 토대로 하자보수 대상시설물을 판단하여 하자보수 실시 후 점검결과를 최종 확인함.

1.2 특별점검관리

1) 개요

- 이외에 계절별 풍수해, 해빙기, 동절기에 토목시설물에 대하여 점검계획을 수립하고 실적을 기록 관리하는 업무

2) 업무처리과정

- 안전관리실에서 계절별 특별점검계획 작성지침을 하달 받으면 그 사항을 시설관리처 토목팀을 거쳐 시설사업소 토목팀으로 전달하여 계절별 특별점검계획을 수립한 후 사업소장의 확인을 거쳐 확정하게 됨.
- 시설사업소 토목팀과 토목분소에서 각각 계절별 특별점검을 시행하고, 점검실적을 분석하여 조치요청 대상을 판단함.

- 조치요청 대상이 외부기관인 경우는 해당기관에 조치를 요청하고, 자체 조치인 경우는 자체 조치를 요청한 후 조치결과를 확인하여 보고하는 것으로 계절별 특별점검 실적을 확인함.

1.3 정밀점검 및 정밀안전진단 점검관리

1) 개요

- 토목시설물에 대한 정밀점검(외주로 시행되는 경우)과 정밀 안전진단의 점검계획 및 실적을 기록 관리하는 업무.

2) 업무처리과정

- 시설사업소 토목팀에서 정밀안전진단 및 정밀점검시설물 현황조사를 통해 정밀점검 및 정밀 안전진단 계획을 수립하고 시설관리처 토목팀의 적합성 검토를 받은 후 정밀점검 및 정밀안전진단 시행을 요청함.
- 지원관리처에서 요청받은 용역을 수행할 업체를 선정하여 정밀점검 및 정밀안전진단을 시행함.
- 시설사업소 토목팀에서 용역업체가 수행한 실적을 확인·분석하여 결과를 시설관리처 토목팀에 보고하면 진단결과를 확인하여 하자보고 대상 시설물 여부를 판단하여 하자보수를 요청하는 과정으로 진행됨.

1.4 인접굴착공사 점검관리

1) 개요

- 지하 토목시설의 안전성을 위하여 인접굴착공사에 대하여 점검계획 및 실적을 기록 관리하는 업무

2) 업무처리과정

- 시설사업소 토목팀에서 인접굴착공사 현황을 파악하고 점검대상 시설물을 선정한 후 인접굴착공사 점검계획을 수립하고 시설관리처 토목팀의 적합성 검토를 거쳐 확정함.
- 시설사업소 토목팀에서 인접굴착공사 점검을 시행하고 실적을 작성하여 시설관리처 토목팀에 제출하면 여기서 실적을 확인한 후 시정요청대상 여부를 판단하여 시공사에 시정을 요청함.
- 토목분소에서도 인접굴착공사 점검을 시행하여 실적을 시설사업소 토목팀을 거쳐 시설관리처 토목팀에서 확인하고 시정요청이 있을시 시공사에 시정을 요청함(사업소에서 진행되는 점검과는 달리 분소에서 사규에 의해 인접굴착공사 점검이 시행됨).

2. 보선시설

2.1 검사계획관리

1) 개요

- 보선시설물(레일, 침목, 분기기, 도상)에 대하여 궤도재료검사와 궤도보수검사로 분류하고 사규에 규정된 검사 주기에 따라 본선과 측선에 대하여 선로검사계획을 세워 관리하는 업무

2) 업무처리과정

■ 정기검사계획

- 시설사업소 보선팀에서 검사 대상시설 및 당해년도 검사 실적현황을 요청하면 토목분소에서 검사대상시설을 조사하고 연간검사실적을 취합한 후,

검사대상시설 및 당해년도 검사실적에 대한 현황을 보고함.

- 시설사업소 보선팀에서 보고된 현황을 토대로 현장조사를 한 후, 당해년도 검사계획대비 실적분석 및 문제점을 검토하고 정기검사계획(궤도보수검사, 궤도재료검사)을 수립함.
- 시설관리처 보선팀에서 수립된 정기검사계획에 대한 적합성 여부를 검토한 후 정기검사계획을 확정함.
- 안전관리실에서는 보선팀 정기검사계획을 확인하고, 시설사업소 보선팀에서는 계획을 회람한 후 토목분소에 정기검사계획 확인을 요청함.
- 토목분소에서 정기검사계획에 대한 세부시행계획 수립과 장비투입요청 여부에 대한 판단이 끝나면, 시설사업소 보선팀에서 세부시행계획(장비검사, 인력검사)을 수립함.

■ 특별검사계획

- 안전관리실에서 계절별 안전점검지침을 통보하면 시설관리처 보선팀에서 계절별 안전점검 지침을 회람한 후, 시설사업소 보선팀에서 이를 확인함.
- 시설사업소 보선팀에서는 중점 관리개소 현황을 파악 및 분석한 후 특별검사계획을 수립함.
- 시설관리처 보선팀에서 특별검사계획 적합성 여부를 검토한 후 계획을 확정하고 시설사업소 보선팀과 토목분소에서는 회람 후 이에 대한 세부시행계획을 수립함.

2.2 검사실적관리

1) 개요

- 보선팀시설물(레일, 침목, 분기기, 도상)에 대하여 정기(일상, 월간, 분기별, 년별)시행한 검사결과와, 선로순회점검 결과에 대하여 기록 관리하는 업무

2) 업무처리과정

- 토목분소에서 정기/특별검사를 시행한 후 검사표를 작성하는 동시에 선로순회점검을 시행한 후 순회점검표를 작성하고 외주용역업체에서는 기지구간 내 검사를 시행하고 검사표를 작성함.
- 토목분소에서 작성한 검사실적과 순회실적을 기반으로 검사실적보고서를 작성한 다음 시설사업소 보선팀에서 검사실적을 취합 및 분석한 후 긴급보수여부에 대한 판단을 내림.
- 토목분소에서는 시설사업소 보선팀에서 보수지시가 있으면 자체보수를 시행하고, 시설관리처 보선팀에서는 검사실적 현황보고에 대한 검사결과 확인 및 검토를 한 후 안전관리실에서 최종적으로 검사실적을 확인함(차량기지 내 궤도시설에 대하여 외주용역 업체에서 검사까지 시행하며, 검사시행 후 긴급보수를 요하는 궤도시설물은 시행계획 없이 보수를 시행함).

2.3 보수계획관리

1) 개요

- 보선시설에 대하여 당해년도 보수실적 및 검사실적을 기초로 다음년도의 연간선로보수계획을 수립하는 업무와 월간보수계획을 수립하는 업무를 수행하는 과정에서 발생하는 정보에 대하여 기록 관리하는 업무.

2) 업무처리과정

- 시설사업소 보선팀에서 보수실적 및 점검실적을 분석한 후, 보수우선순위를 검토함과 동시에 하자보수 및 공사발주 시행대상 여부를 판단하고 필요하면 하자보수 및 공사를 요청함.

- 시설관리처 보선팀에서는 시설사업소 보선팀에서 수립한 연간보수계획의 적합성 여부를 검토한 후 계획을 확정하고 시설사업소 보선팀에서 수립된 계획을 기반으로 검사실적을 분석하고 월간보수계획을 작성함.
- 시설사업소 보선팀에서 하자대상시설물, 공사대상, 외주용역대상시설 여부를 판단하고 필요할 경우에는 각각 하자보수, 공사 그리고 외주용역보수를 요청한 후 자체보수를 지시하고 토목분소에서 보수시행계획을 작성함.

2.4 보수실적관리

1) 개요

- 보선시설물(레일, 침목, 분기기, 도상)에 대하여 외주용역 작업 실적 및 자체보수 작업에 대하여 작업 시행 후 발생하는 정보를 기록 관리하는 업무

2) 업무처리과정

- 시설사업소 보선팀에서 월간보수계획을 확인한 후 자체보수와 외주용역보수를 지시하면 토목분소에서는 보수시행계획에 반영하여 자체보수를 시행하고 보수실적을 작성하며, 외주용역업체에서는 보수를 시행하고 보수실적을 보고함.
- 토목분소에서 자체보수/외주용역보수실적을 취합한 후 보수 실적을 보고하면 시설사업소 보선팀에서 각 분소별 보수실적을 취합하여 분석 및 보고하고, 이것을 시설관리처 보선팀의 보수실적 분석 및 검토를 거쳐 최종적으로 안전관리실에서 보수실적을 확인함.

3. 전기시설

3.1 점검관리계획

1) 개요

- 점검계획은 사규 또는 관계법령의 명시대로 계획을 세우거나 특정사유 발생 시 분류되어 있는 시설물별로 계획을 세우고 일정을 관리함.
- 사업서에 해당 년의 연간계획을 작성하여 본소로 하달하고 본소에서 월 단위로 세운계획을 시행하는 업무

2) 업무처리과정

- 안전관리실에서 종합안전방재관리 시행대책을 마련하면 전기설비처 전로·전력팀에서 시설물 점검규정을 검토함.
- 검토한 사항을 바탕으로 전기사업소 전기팀에서 대상시설을 선정하고 그에 따른 연간점검계획을 수립함.
- 수립된 연간점검계획을 가지고 전기분소에서 월간점검계획을 수립하고 단전계획을 수립한 후 월간점검계획을 전기사업소 전기팀에 보고함.
- 보고된 내용을 가지고 월간점검계획 적합성여부를 판단하여 부적합하면 다시 전기분소로 보내어 월간점검계획을 재수립하고, 적합하면 유관부서(사령)의 협조를 요청함.
- 전기사업소 전기팀에서 수립한 연간점검계획은 전기설비처 전로·전력팀에서 적합성여부를 판단하여 부적합할 경우 재수립하고, 적합할 경우 안전관리실에서 종합안전방재관리 시행대책을 확인함.

3.2 점검실적관리

1) 개요

- 계획되어진 월간점검일정에 대하여 해당시설물을 선정하고 점검인원을 확정하여 점검을 실시함.
- 사규 또는 관계법령에 준하는 점검 양식지에 점검내역을 기재하고 상위 부서로 점검내역을 보고하는 업무

2) 업무처리과정

- 전기분소에서 월간점검계획을 확인하여 점검인원을 확정하고 점검을 시행한 후 점검부를 작성하고 일일업무일지를 기록하는 절차로 진행됨.
- 전기사령실에서는 전기분소에서 세운 월간점검계획을 확인하여 단전계획을 확정하고 유관부서(신호, 장비)에 협조요청을 한 후 단전을 시행하게 됨.
- 전기사업소 전기팀에서는 전기분소의 시행한 점검내역을 확인한 후 안전 점검시행 실적을 분기단위로 안전관리실에 보고함.
- 안전관리실에서는 안전점검시행실적을 취합하고 보관함.

3.3 보수계획관리

1) 개요

- 계획에 준하여 시행되어진 시설물 점검 시 또는 시설물의 이상 발생 시 보수계획을 수립함.
- 점검대상이 하자보수 기간에 해당되면 시공업체와 협조하여 보수를 계획하고, 하자보수 기간이 만료되었거나 내구연한이 지난 부속시설에 대해서는 자체보수 여부를 판단하여 보수계획을 수립하는 업무

2) 업무처리과정

- 전기사업소 전기팀에서 중보수 또는 예산관련여부를 판단하여 적합하면 전기설비처 전로·전력팀에서 점검실적을 검토함.
- 검토한 내용을 바탕으로 내구연한 기간초과여부 또는 규모에 의한 공사 여부를 판단한 후 적합하면 공사계획을 수립하고, 부적합하면 전기사업소 전기팀에서 하자보수 기간초과 여부를 판단하는데 이때 적합하면 전기분소에서 물품수급 변경 및 요청 후 보수계획 일정을 수립하지만 부적합하면 해당공사와 관련된 업체에 통보함.
- 예산관련여부가 부적합할 경우 점검실적을 검토하여 하자보수 기간초과 여부를 판단하는 등의 일련의 과정을 거침.

3.4 보수실적관리

1) 개요

- 보수계획에 의하여 시행되어진 보수실적은 소요자재와 보수인원의 확인 후 시행되어짐.
- 해당시설물의 보수작업 시 변경되어지는 제원정보나 도면정보는 보수작업 완료 후 수정되어지며 사안에 따라 상위부서로 보고되는 업무

2) 업무처리과정

- 전기분소에서 보수계획을 수립한 후 보수인원을 확정하고 소요자재를 출고하여 해당시설의 보수를 시행함.
- 이 때, 전기사령실에서는 보수계획에 맞춰 단전계획을 수립한 후 유관부서의 협조를 구하여 단전을 시행하고, 전기사업소 전기팀에서는 보수시행

감독을 수행함.

- 보수시행 후 시설물 제원정보가 변경될 경우 대장카드 및 도면을 변경하고 검수조서를 작성한 후 전기사업소 전기팀과 전기설비처 전로·전력팀의 확인 과정을 거침(단, 사업소의 예산으로 보수 시 사업소장 전결로 보수종결).

3.5 전력사용관리

1) 개요

- 전력사용관리는 한국전력과의 계약관계에 준하여 사용되어지는 요금을 납부할 수 있도록 표준근거로 삼을 수 있는 자료를 생성하게 해줌.
- 청원자의 고지서 발부와 에너지 절약기준을 제공하는 업무

2) 업무처리과정

- 전기분소에서 전력량계를 검침하고 전기설비처 전로·전력팀에서 검침자료를 수합하여 단전시간을 확인하여 전력요금을 산출함.
- 한전고지서를 검토하여 이상이 있을 경우 요금을 재산출한 후 지원관리처에 납부를 의뢰하고 아닐 경우에는 바로 납부 의뢰함.
- 청원자의 경우에도 위의 과정을 동일하게 거친 후 전력사용요금 고지서를 발부 의뢰함.

3.6 에너지절약관리

1) 개요

- 취합되어진 각 계량기별 전력사용량에 대하여 에너지 절약대상 항목을

선정하고 선정되어진 항목을 각 분소별로 하달하여 실질적인 에너지 절약을 이루어 낼 수 있도록 기준자료를 생성하는 업무

2) 업무처리과정

- 전기분소에서 전력량계를 검침하고 전기설비처 전로·전력팀에서 검침자료를 수합하여 전력요금을 산출함.
- 산출된 요금을 가지고 에너지 절약대상 항목을 선정하고 에너지 절약계획에 대한 적합성 여부를 검토한 후 에너지 절약대장을 작성하여 전기분소에 에너지 절약계획을 통보함.
- 전기분소에서는 통보받은 에너지 절약계획을 시행하고 그에 대한 절약실적을 작성하여 전기설비처 전로·전력팀에 실적을 확인받음.

4. 신호시설

4.1 검사계획관리

1) 개요

- 전년도 연간계획 및 검사이력을 바탕으로 연간계획을 사업소에서 수립하고, 각 분소에서 월간(일자별)계획을 수립하여 작업 실시에 대한 계획을 수립·관리하는 업무

2) 업무처리과정

- 신호통신사업소 신호팀에서 연간계획을 작성하고 신호2팀에서 취합하여 신호통신처에 보고하면 신호통신처 신호팀에서 취합/배부한 후 검토 및 추가 작성을 하여 연간계획을 배부함.

- 신호통신사업소 신호팀에서 연간계획을 분소별로 배부하고 신호분소에서 작성한 월간계획을 접수한 후 업무지시서를 배부하면 신호분소에서는 분소장과 조책임자를 확인한 다음 월간계획을 게시함.
- 안전관리실에 연간계획을 접수한 후 시행계획책자를 제작 및 배부하면 신호통신처 신호팀과 신호통신사업소 신호팀에서 시행계획책자를 입수함.

4.2 특별검사계획관리

1) 개요

- 정기검사 이외의 사업소, 본사 혹은 안전관리실에서 통보되는 특별검사에 대한 계획을 수립하여 분소별로 배부, 특별검사 작업 시행의 계획을 수립, 관리하는 업무

2) 업무처리과정

- 안전관리실에서 특별점검지침을 통보하면 신호통신처 신호팀에서는 특별점검계획의 초안을 작성하고 안전관리실에 보고함.
- 안전관리실에서 전부서 취합 및 검토를 한 후 처/사업소에 통보를 하면 신호통신처 신호팀과 신호통신사업소 신호팀에서 통보를 접수함.
- 신호통신사업소 신호팀에서 특별점검 상세계획을 작성하고 사업소장의 확인을 거친 후 분소에 배분함(안전관리실의 통보 없이 사업소 자체적으로 계획 수립이 가능함).
- 신호분소에서 분소장과 조책임자를 확인하고 특별점검계획을 게시함.

4.3 보수계획관리

1) 개요

- 검사결과 보수가 필요한 시설물 혹은 개량·개선이 필요한 시설물들에 대한 보수계획을 수립하여 보수작업의 시행계획을 수립·관리하는 업무

2) 업무처리과정

- 신호통신사업소 신호팀에서 연간보수계획을 수립한 후 신호통신처 신호팀에서 검토/추가 작성한 내용을 참고로 하여 보수종류를 선정하고 공사계획과 하자계획에 반영함과 동시에 분소에 배부함.
- 신호분소에서는 선정된 보수종류를 기반으로 월간보수계획을 수립함(분소 자체적으로 보수계획수립이 가능함).

4.4 검사실적관리

1) 개요

- 검사계획에 따라 작업한 검사실적(작업내역, 점검표실적 등)을 관리하며, 검사 시 이상이 발생된 시설물에 대하여 현장에서 검사와 병행하여 보수작업의 시행결과를 관리하는 업무

2) 업무처리과정

- 신호분소에서 월간계획계시를 확인하고 작업별로 실시한 후, 작업내역과 점검표실적을 작성하고 보수필요여부를 조사함.
- 보수가 필요할 경우 보수작업 내역과 소요자재 내역을 작성하고(보수가 필요 없을 경우에는 생략) 신호통신사업소 신호팀에서 검사실적을 분소별로 취합하면 신호통신처 신호팀에서 검사실적을 회람 및 보고한 후, 최종

적으로 안전관리실에서 검사실적을 접수함.

4.5 보수실적관리

1) 개요

- 보수계획에 따라 혹은 보수계획 없이 보수작업을 실시한 결과와 보수 작업내역 및 소요 자재내역을 기록·관리하는 업무

2) 업무처리과정

- 신호분소에서 보수계획 유무에 따라 보수계획을 확인한 다음, 보수작업을 실시하고 보수작업내역과 소요자재내역을 작성함.
- 신호통신사업소 신호팀에서 이것을 분소별로 취합하고 신호통신처 신호팀에서 회람 및 보고한 후, 안전관리실에서 실적을 접수함.

5. 통신시설

5.1 계획단계

1) 개요

- 연간계획, 월간계획의 정기점검계획을 수립하고 이를 관리하는 업무

2) 업무처리과정

- 신호통신사업소 통신팀에서 연간계획을 작성하고 신호2팀에서 취합한 후 신호통신처에 보고하면 신호통신처 통신팀에서는 검토/추가 작성 후 연간

계획을 배부함(통신팀이 작성한 계획을 최종적으로 신호팀에서 취합함).

- 신호통신사업소 통신팀에서 연간계획을 분소별로 배부하면 통신분소에서 월간계획을 작성하고 이것을 신호통신사업소 통신팀에서 접수한 후 업무지시서를 배부하면 통신분소에서 분소장과 조책임자를 확인하여 월간계획을 게시함.
- 안전관리실에서 연간계획을 접수하고 시행계획책자를 제작한 후 배부하면, 신호통신처 통신팀과 신호통신사업소 통신팀에서 시행계획책자를 입수함.

5.2 특별점검계획관리

1) 개요

- 기획전략실과 안전관리실 또는 신호통신처에서 특별점검 계획을 통보하고 신호통신처에서 이를 바탕으로 하여 특별점검계획을 작성하고 관리하는 업무

2) 업무처리과정

- 신호통신처 통신팀이 안전관리실에서 통보한 특별점검 지침에 대한 계획초안을 작성 및 보고하면 안전관리실에서는 전 부서취합/검토를 거친 후 처/사업소통보를 하고 신호통신처 통신팀과 신호통신사업소 통신팀에서 통보를 접수함(안전관리실 통보 없이 사업소 자체적으로도 계획수립이 가능함).
- 신호통신사업소 통신팀은 상세계획을 작성하고 사업소장의 확인을 거쳐서 분소에 배부하면 통신 분소에서는 분소장과 조책임자 확인을 한 후 특별점검계획을 게시함.

5.3 보수계획관리

1) 개요

- 신호통신사업소에서 연간보수계획을 수립하고 사업소에서 보수계획을 접수하여 장애분설결과와 성능개선, 개량 대상을 선정하여 보수계획을 수립, 관리하는 업무

2) 업무처리과정

- 신호통신사업소 통신팀에서 연간보수계획을 수립하고 이것을 신호통신처 통신팀의 검토 및 추가작성을 거친 후 통신팀에서 보수종류를 선정하고 이를 공사계획과 하자계획에 반영함.
- 신호통신사업소 통신팀에서 분소에 배부하면 통신분소에서 월간 보수계획을 수립함(분소 자체적으로도 계획수립이 가능).

5.4 보수실적관리

1) 개요

- 통신분소에서 보수계획에 따라 보수작업을 실시하고 보수작업내역과 소요자재내역을 작성하여 보수실적을 관리하는 업무

2) 업무처리과정

- 통신분소에서 보수계획 유무에 따라 보수계획을 확인한 후, 보수작업을 실시하고 보수작업내역과 소요자재내역을 작성함.
- 신호통신사업소 통신팀에서 분소별로 취합하고 이것을 신호통신처 통신

팀에서 회람 및 보고한 후 안전관리실에서 실적을 접수함.

6. 건축시설

6.1 시설물정보관리

1) 개요

- 건축시설정보관리는 건축시설(역사시설, 기지시설, 승무사무소 등)에 대한 제원정보, 이력정보, 현황통계정보에 대하여 대장과 이력카드를 작성하여 기록 관리하는 업무

2) 업무처리과정

- 시설관리처 건축팀에서 공사 준공 후 이관과 자산이관을 하고 시설물이 관 접수 및 통보를 함.
- 시설사업소 건축팀은 유지보유대상 시설물을 접수 및 실사한 후 시설분류 및 관리항목을 결정하고 시설물 관리소속지정을 함.
- 건축분소에서 유지보수대상 시설물을 접수하고 시설물 관리대장을 작성한 후 검사/보수 시행계획에 대상시설물을 반영함.

6.2 정기점검계획관리

1) 개요

- 정기점검계획관리는 건축시설물에 대하여 사규에 규정된 점검 주기에 따라 정기점검계획을 수립하고 관리하는 업무

2) 업무처리과정

- 시설사업소 건축팀에서 점검대상시설 및 당해년도 점검 실적현황을 요청하면 건축분소에서 점검대상시설 조사를 통해서 정기점검 실적을 취합하고 점검대상시설 및 당해년도 점검실적에 대한 현황을 보고함.
- 시설사업소 건축팀에서 당해년도 정기점검계획대비 실적을 분석하고 건축시설물 증감현황을 파악한 후 정기점검계획을 수립하면, 시설관리처 건축팀에서 정기점검계획 적합성여부 검토를 한 후 정기점검계획을 확정함.
- 시설사업소 건축팀에서 정기점검계획을 지시하고 상세점검계획을 작성하면 건축분소에서 이를 회람함.

6.3 특별점검계획관리

1) 개요

- 특별점검계획관리는 정기점검계획과는 달리 동절기, 해빙기 및 풍수해를 대비하여 점검계획을 세우고 관리하는 업무

2) 업무처리과정

- 안전관리실에서 계절별 안전점검 지침을 통보하면 시설관리처 건축팀에서 이를 회람하고, 시설 사업소 건축팀에서는 지침을 확인하여 중점관리개소현황 파악 및 분석을 한 후 특별점검계획을 수립 및 수정함.
- 시설관리처 건축팀에서 특별점검계획적합성 여부 검토를 거쳐서 특별점검계획을 확정하면 안전관리실은 이것을 확인하고, 시설사업소 건축팀과 건축분소에서는 회람한 후 세부시행계획을 수립함.

6.4 점검실적관리

1) 개요

- 건축시설물(역사, 기지, 승무사무소)의 유지보수를 위하여 점검(월간, 분기, 반기, 특별점검)결과 및 실적을 기록 관리하는 업무

2) 업무처리과정

- 시설관리처 건축팀의 반기, 하자점검/ 시설사업소 건축팀의 분기, 반기, 하자점검/ 건축분소의 일상, 월상, 분기, 반기, 특별, 계절점검/ 외주용역업체의 화장실, 셔터점검에 대한 확인여부에 따라 점검을 시행함.
- 건축분소에서 해당 분소에서 시행한 점검에 대한 점검표를 작성하고 점검결과를 정리한 후 보고서를 작성하면 시설사업소 건축팀에서 각 분소별 점검결과를 취합하고 분석 및 보고함.
- 시설관리처 건축팀에서는 점검결과를 검토하고 건축분소에서는 점검결과에 따른 보수시행계획을 수립함.

6.5 보수계획관리

1) 개요

- 건축시설물의 당해년도 작업실적 및 점검실적을 기초자료로 하여 차년도 보수계획(공사계획, 외주용역, 자체보수)을 수립하는 업무와 월간보수계획을 수립하는 과정에서 발생하는 정보들에 대하여 기록 관리하는 업무

2) 업무처리과정

- 시설사업소 건축팀에서 점검결과를 분석하고 외주용역 및 공사발주 시행 대상을 선정함과 동시에 보수우선순위를 검토함.
- 시설사업소 건축팀은 연간보수계획을 수립한 후 시설관리처 건축팀의 연간보수계획 검토를 거쳐서 월간보수계획을 작성함.
- 시설사업소 건축팀에서 자체보수 가능여부를 판단하여 부합하지 않으면 외주용역업체 작업가능여부를 판단하고 그에 따라 외주용역보수 작업지시와 공사요청 중에서 선택하고, 부합할 시에는 자체보수계획에 반영할 것을 지시하고 이에 따라 건축분소에서 보수시행계획에 반영함.

6.6 보수실적관리

1) 개요

- 건축 시설물에서 외주용역 작업실적 및 자체보수 작업에 대하여 작업시행 후 발생하는 정보를 기록 관리하는 업무

2) 업무처리과정

- 시설사업소 건축팀에서 보수시행계획을 확인하고 자체보수와 외주용역보수를 지시하면 건축분소에서는 보수시행계획에 반영하여 자체보수를 시행한 후 보수실적을 작성하고, 외주용역업체는 보수를 시행하고 보수실적작성을 한 후 보고함.
- 건축분소에서 보수실적을 취합하여 보고하면 시설사업소 건축팀에서는 각 분소별 보수실적을 취합하여 분석 및 보고하고 최종적으로 시설관리처 건축팀에서 보수결과확인 및 검토를 함.

7. 기계설비시설

7.1 점검계획관리

1) 개요

- 점검계획관리는 사규 또는 관계법령의 명시대로 계획을 세우거나 특정사유 발생 시 분류되어 있는 시설물별로 계획을 세우고 일정을 관리하는 것으로 사업소에 해당년도의 연간계획을 작성하여 본소로 하달하고 본소에서 월단위로 세운 계획을 시행하는 업무

2) 업무처리과정

- 안전관리실에서 종합안전방재관리 시행대책을 마련하면 전기설비처 설비팀에서 시설물 점검규정을 검토하고 설비사업소 설비팀에서 대상시설을 선정함.
- 설비사업소 설비팀에서 연간점검계획을 수립하면 설비본소에서는 월간점검계획을 수립하고 다시 이에 대한 적합성 여부를 설비사업소 설비팀에서 판단한 다음 유관부서(사령)협조 요청함.
- 전기설비처 설비팀에서는 수립된 연간점검계획에 대한 적합성 여부를 조사한 다음 안전관리실에서 종합안전방재관리 시행대책을 확인함.

7.2 점검실적관리

1) 개요

- 점검실적관리는 계획된 월간 점검일정에 대하여 해당시설물을 선정하고 점검인원을 확정하여 점검을 실시하는 것으로 사규 또는 관계법령에 준하는 점검양식지에 점검내역을 기재하고 상위 부서로 점검내역을 보고하는 업무

2) 업무처리과정

- 설비분소에서 월간점검계획을 확인하고 점검인원을 확정된 다음 점검을 시행한 후, 점검부를 작성하여 보고하고 일일업무일지에 기록함.
- 설비사업소 설비팀에서는 보고된 점검내역을 확인하고 안전점검시행실적을 보고하면(분기단위 보고) 안전관리실에서 안전점검 시행실적을 취합함.

7.3 보수계획관리

1) 개요

- 계획에 준하여 시행된 시설물 점검에 의하여 구축되어진 시설물의 이상 발생 시 보수계획을 수립하는 것으로 점검대상이 하자보수 기간에 해당되면 시공업체와 협조하여 보수를 계획하고 하자보수 기간이 만료되었거나 내구연한이 지난 부속시설에 대해서는 자체보수 여부를 판단하여 보수계획을 수립하는 업무

2) 업무처리과정

- 설비사업소 설비팀에서 중보수 또는 예산관련 여부를 조사한 후 부합하면 전기설비처 설비팀에서 점검실적을 검토하고 내구연한 기간 초과 시 또는 규모에 의한 공사여부에 따라 공사계획을 마련함.
- 조사한 내용에 부합하지 않을 경우에는 설비사업소 설비팀에서 점검실적을 검토하고 하자보수 기간이 초과되었을 경우에는 해당 공사 관련 업체에 통보하며, 초과되지 않았을 경우에는 설비분소에서 물품수급 변경 및 요청을 한 후 보수계획일정을 수립함.

7.4 보수실적관리

1) 개요

- 보수계획에 의하여 시행되어진 보수실적은 소요자재와 보수인원의 확인 후 시행되고, 해당시설물의 보수작업 시 변경되어지는 제원정보나 도면정보는 보수작업 완료 후 수정되며 사안에 따라 상위부서로 보고되는 업무

2) 업무처리과정

- 설비분소에서 보수계획을 수립하고 보수인원을 확정된 후 소요자재 출고를 한 다음 설비사업소 설비팀의 보수시행 감독 하에 해당 시설 보수를 시행함.
- 설비분소에서 시설물 제원정보 변경 여부를 검토한 후 부합할 경우에는 대장카드 및 도면을 변경하고 검수조서를 작성한 다음 일일업무일지에 작성하고 부합하지 않을 경우에는 바로 일일업무일지를 작성함.
- 설비분소에서 작성한 검수조서를 설비사업소 설비팀에서 확인(사업소의 예산으로 보수 시 사업소장 전결로 보수종결 사안에 따라 전기설비처 보고)한 후, 전기설비처 설비팀에서 최종적으로 확인함.

제 3 절 유지관리 비용 현황

- 서울시 도시철도 운영기관인 서울 메트로(1~4호선)와 도시철도공사(5~8호선)의 현재유지보수비용 지출 현황을 제시하고자 하였으나 도시철도공사의 자료 미제공으로 인해 서울 메트로 자료만 제시함.

1. 서울 메트로

1.1 연도별 유지관리비용 변화 추이

〈표 2-1〉 서울 메트로의 6년간 유지보수비용 변화 추이

년 도	유지보수비용(천원)
2001	7,257,871
2002	7,089,436
2003	18,557,006
2004	24,845,867
2005	22,574,996
2006	27,236,686

- 서울시 1기 지하철은 1970년대 개통 이후 30여년이 지나고 있으며, 이의 운영주체인 서울 메트로는 2003년 이후로 2003년 이전의 연간 유지보수비용 보다 두 배에서 많게는 세 배에 이르는 유지보수비용을 지불하고 있음.
- 이러한 유지보수비용의 급격한 증가 추이는 30년이 넘는 낡은 시설물에 대한 동시다발적 보수에 따른 것으로 앞으로 발생할 전면적 보수에 대비한 단계적이며 효율적인 계획 및 체계가 요구됨.

1.2 전체비용 분류

〈표 2-2〉 전체비용 분류

(단위: 백만원)

구 분	계	인 건 비	운 영 비	시설물 유지보수 비용
비 용	60,894	31,026	2,632	27,236
비 율	100%	50.9%	4.4%	44.7

- 전체 비용 중 시설 유지보수비용이 차지하는 비율은 44.7%로 인건비를 제외한 대부분임.

1.3 시설 유지 보수비관련 세부 비용요소

- 궤도도상자갈이 노후화 되어 자갈도상을 콘크리트 도상으로 개량함에 따라 개·보수공사비 증가하는 추세임.
- 시설관리공단의 관할아래 있는 토목시설의 유지보수는 일상적인 비용소요를 수반하지 않으므로 제외함.
- 궤도, 레일 관련 비용소요가 20,367 백만원으로 대부분을 차지하며 전차선, 신호시설등 기타 시설에 대한 비용소요는 6,869 백만원 수준임.

〈표 2-3〉 유지보수비 세부비용 항목

(단위: 백만원)

구 분	계	도급비	자재비
합 계	20,367	16,719	3,648
궤도도상개량공사	6,562	6,256	306
레일장대화 및 중량화공사	5,082	3,771	1,311
역구내체결장치 개량공사	1,722	1,722	—
분기기개량공사	1,636	967	669
궤도시설유지보수	1,069	969	100
궤도보강공사	2,846	1,954	892
침목교환공사	1,054	852	202
레일교환 공사	396	228	168

1.4 시설 중 터널 및 교량 연장

〈표 2-4〉 터널 및 교량 연장

(단위 : km)

구 분		계	터널	고가	교량	지상
연 장		395.3	217.2	41.5	8.3	128.3
연 장	본 선	277.0	217.2	41.5	8.3	10.0
	측 선	—	—	—	—	118.3

1.5 전체 레일 길이

○ 레일부설 현황

〈표 2-5〉 궤도 및 레일 연장

(단위 : km)

구 분	계	본 선	측 선
궤도연장	395.3	277.0	118.3
레일길이	790.6	554.0	236.6

1.6 레일관련 세부비용 (자재비, 시공비)

〈표 2-6〉 레일관련 세부비용

구 분	50kg,N레일	60kg.레일	비 고
계	210백만원/km	284백만원/km	
레일교환비	48백만원/km	66백만원/km	
레일용접비	22백만원/km	22백만원/km	
제 경 비	42백만원/km	52백만원/km	
자 재 비	98백만원/km	144백만원/km	

2. 도시철도공사

- 도시철도 공사는 기본자료 부족으로 통계수치를 제시하지 못함.

제Ⅲ장 시설 유지관리 효율화 방안 검토

제1절 개요

제2절 자산관리체계(AMS: Asset Management System)

제3절 도시철도 자산관리체계

제 1 절 개요

- 본 장에서는 우선 도시철도 시설 유지관리 효율화 방안을 큰 틀에서 바라보고, 철도자산관리의 방향을 제시하기 위해 최근 북미를 중심으로 관심의 폭이 넓어지고 있는 자산관리체계(AMS: Asset Management System)를 소개하고 이에 대한 자세한 내용을 제시함.
- 다음으로 자산관리체계(AMS)를 적용할 경우 얻을 수 있는 편익을 설명하는 용어로서 RAMS(Reliability, Availability, Maintenance and Safety)의 개념이 있음.
- 최근 국내에서는 자산관리체계(AMS)의 철도부문 적용 체계를 일컫는 용어로서 중의적으로 사용되면서 철도자산관리체계(RAMS: Rail Asset Management System)로 이해되기도 함.
- 본 연구에서도 일반적인 자산관리체계(AMS)를 도시철도 유지관리 특히 보선시설 부문에 적용한 구체적인 방안을 제시하고 이에 대한 내용을 검토하고자 함.

제 2 절 자산관리체계(AMS: Asset Management System)

1. 자산관리체계의 정의

- 공공부문 인프라 관리의 합리적 체계 구축이 논의되기 시작한 것은 최근의 일이며, 이를 위한 많은 용어들이 사용되어 왔으나 이를 대표하는 용어로서 『자산관리체계(AMS)』가 세계적으로 받아들여지고 있는 추세임.

- 현재 또는 미래에 가용한 자원을 능률적이고 효과적으로 사용하기 위해 자산을 감시, 보존하는 지속적인 수단을 제공하는 체계로서, 비용-효율적으로 자산을 유지하고 갱신하며 운영하는 체계적인 과정 및 절차로 정의할 수 있음.
- 자산관리체계(AMS)는 올바른 공학이론과 용인된 경영이론 및 경제 이론을 적절히 조합 적용함으로써 논리적인 방법에 의해 정보를 적시 제공하고 정책 결정을 지원함.
- 결과적으로, 자산관리체계(AMS)를 채택한 자산 운영기관은 자산의 장기 영향 분석을 통해 단기 의사결정의 효율을 증대시킴.

2. 자산관리체계의 구성요소

- 자산관리체계(AMS)가 일정 자산과 가용 자원을 가지고 있는 관리기관의 자원분배 의사결정을 돕기 위해서는 그 기관의 가용자원과 그 자원에 대한 수요를 적절히 맞추기 위한 체계를 구성해야 함.
- 자산관리체계(AMS)의 기본적인 틀은 다음과 같음.
 - 자산목록
 - 현재의 자산상태 및 성능을 평가할 수 있는 방법
 - 유지보수 수요를 결정하는 절차
 - 유지보수 수요를 파악하기 위한 전략선정 및 이를 평가할 수 있는 도구
 - 각 전략의 효율을 평가하는 방법
- 결과적으로, 자산관리체계(AMS)의 구성요소(모듈)는 다음과 같음.
 - 재고목록 관리를 위한 중앙 집중 데이터베이스
 - 자산 상태의 미래 예측이 가능한 성능예측모형

- 기관들이 사용해 온 정책과 절차에 부응하면서 유지보수 수요의 우선순위를 정하기 위한 분석 도구
- 상세보고서 및 요약 보고서, 그래프 등을 포함하여 다양한 보고자료 형태를 제공할 수 있는 보고자료 작성 도구

3. 자산관리의 목표 및 목적

- 자산관리체계(AMS)의 주요한 목표 중의 하나는 정보 교류 개선을 위해 고안된 절차들을 이용하여 기관의 의사결정을 돕고, 현재 또는 미래 유지보수전략을 평가하는데 도움을 주는 것임.
- 불행히도 의사결정 절차 자체의 개선 효과는 정량화하기 매우 곤란하므로 대부분의 기관은 수송효율 증대 또는 수익성 개선 등 정량화할 수 있는 보다 명백한 평가지표를 활용할 수 있도록 구체적인 목표를 설정함.
- 목표설정예 명시하지 않았더라도 자산관리체계(AMS)가 제공할 수 있는 추가적인 이득은 많으며, 이는 체계의 효율적인 적용을 통해 얻을 수 있으나 사례연구 등을 통해 그 효과가 문서화된 경우는 많지 않음.
- 자산관리체계(AMS)에서는 기관에 의해 설정된 목표를 달성하기 위한 방법을 제공하는 세부 목적들을 명시해야함.
- 일반적으로 이러한 목적들은 대부분 계량화가 가능해야 하는데, 공공기관에서 설정한 목적들은 민간부문의 그것에 비해 계량화 방안이 구체적이지 못함. 이는 공공부문이 민간부문에 비해 경쟁력 우위 확보 또는 이윤추구 등의 동기부여가 약하고 또한 정부규제를 완화하고자 하는 민간의 끊임없는 요구가 공공에는 없기 때문임.
- 자산관리체계의 계량화 가능한 목적들을 예시하면 다음과 같음.
 - 재고목록과 자산 가치에 대한 지식 제고

- 자원의 배분 시 기회비용을 고려할 수 있는 방안 개발
- 표준화된 절차 및 기준 마련
- 의사결정에 있어 수명주기 비용의 고려
- 자산관리체계의 계량화가 불가능한 목적들을 예시하면 다음과 같음.
- 각종 수집 자료를 자산으로 인정
- 관리운영자의 자산에 대한 주인의식 창출
- 의사결정 신뢰도 개선
- 관리운영자의 글로벌 마인드 함양
- 팀워크, 의사소통 및 교육훈련의 개선
- 전반적으로 이러한 목적들은 의사결정자에게 현재 또는 미래의 시설성능을 효과적으로 관리하기 위한 필수적인 자료 접근성을 제공하는 상위 목표를 달성하기 위해 설정되어야 함.
- 앞서 살펴본 바와 같이 이러한 상위 목표의 달성은 공학, 계획, 경제학, 예산이론 등을 포함하여 다양한 기술 원리들의 종합적인 적용을 필요로 함.
- 목표달성을 위해서는 장비운영자, 현장기술자, 관리자, 경영자, 주주 등 모든 조직계층에 속한 모든 인원의 참여가 필요함.
- 목표달성을 위해서는 특히 정부기관인 경우 유지보수, 계획, 연구개발 등 각기 다른 부서에서 개별적으로 일어나는 구매활동을 효율화하기 위한 공동구매 방안이 필수적임.

4. 자산관리체계(AMS)도입의 편익

- 민간기관뿐만 아니라 공공기관의 경우도 경쟁력 우위 확보를 위해서는 자산시설의 체계적인 관리방안이 필수적이라 할 수 있음.

- 자산관리체계(AMS)의 채택은 체계가 가져다주는 편익차원에서 생각해볼 때 선택사항이 아니라 필수사항으로 받아들여지고 있음.
- 자산관리체계(AMS)를 채택한 기관들로부터 보고된 편익들은 다음과 같은데, 이러한 편익들은 의사결정에 사용된 정보의 흐름과 유형에 대한 개선을 가져왔으며 기관의 생산성과 비용효율성에 큰 영향을 미쳤음.
 - 프로그램질의 개선
 - 정보의 개선 및 정보접근성 향상
 - 다양한 Tradeoff(상호 배타적인 선택)의 경제적 평가를 용이하게 함.
 - 의사결정에 대한 기록을 개선함.
 - 투자가치 및 수익에 대한 개선된 정보를 제공함.
 - 단기 및 장기 유지관리 비용 절감
- 다음은 자산관리체계(AMS)의 편익을 극대화하기 위해 체계가 갖추어야 할 속성을 나열한 것임.
 - 성과지표 및 기준에 대한 공통의 이해
 - 사용자 편의적인 환경에서 사용자가 이해할 수 있는 결과의 제공
 - 고객에 초점을 맞춘 업무 도출
 - 조직 내 어떠한 계층에서도 접근 및 사용가능 해야 함.
 - 조직 내외의 변화를 수용할 수 있을 만큼 충분한 유연성
 - 기술 분석, 의사결정, 예산절차를 상호 연결
 - 사용자와 의사결정자에 대한 교육훈련이 용이해야 함.

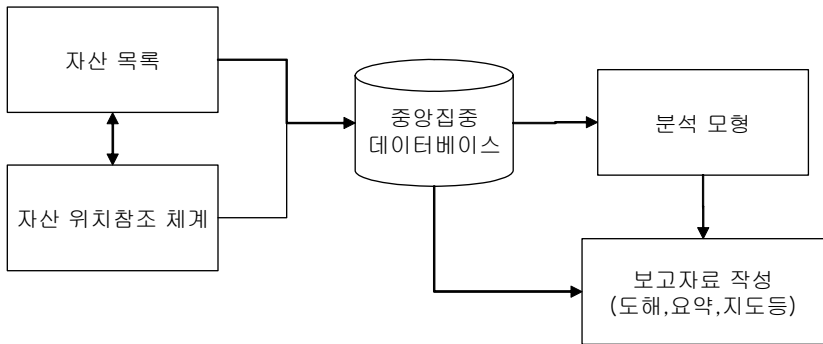
5. 자산관리의 대표적 실패사례

- 자산관리체계(AMS)를 도입함으로써 얻는 파생 편익을 수시로 문서화하는 것은 쉽지 않으나, 그러한 누적정보를 활용한 구조적인 의사결정 과정이 있었다면 더 나은 관리가 이루어졌을 법한 자산관리 사례는 어렵지 않게 찾을 수 있음.
- 가장 명백한 보기 중 하나는 1967년 12월 15일, 첼두시 교통상황에서 Silver 강 교량이 붕괴된 사례임. 목격자의 증언에 따르면, 전체 교량 붕괴는 30초 정도 걸렸고 그 짧은 시간동안의 사고로 사망자 46명, 부상자 9명이라는 끔찍한 결과가 초래되었음.
- 미국의 경우 이 시기에, 전국에 산재한 교량시설 중 다수가 불량하여 미 의회에서 NBI(National Bridge Inventory)로 하여금 국가도로에 있는 모든 교량의 구조상과 기능적인 적절성을 확인하라고 명령한 바 있음.
- 이에 따라 이전에 모으지 않은 정보 및 재고목록 정보를 축적하기 시작하였고 이를 토대로 교량관리체계(BMS: Bridge Management System)가 태동하였음.
- 국내에서도 성수대교 붕괴사고 등 자산관리 소홀로 인한 엄청난 사고가 있어왔고 이를 계기로 하여 시설의 안전점검 등이 강화되었으나 누적자료에 기반을 둔 완전한 자산관리체계(AMS)라고 보기에는 한계를 지님.

6. 자산관리체계(AMS)의 기본 틀

- 자산관리체계(AMS)는 기관의 의사결정 능력을 개선하는 구조적인 절차에 대한 개발과 실행을 포함함.
- 의심할 여지없이 어떠한 종류의 자산 및 시설일지라도 독립적으로 또는 시설 그룹별로 개선절차가 개발될 수 있어야 함.

- 관리될 시설의 종류, 가용자원 및 자산관리체계(AMS)를 사용할 기관 등이 체계의 복잡도 및 의사결정을 지원할 모형의 유형 등을 결정하는데 지대한 영향을 미침.
- 이렇듯 자산관리체계(AMS)가 적용되는 환경에 따라 각각 달리 개발되지만 일반적인 체계를 구성하는 요소들은 공통으로 설명 가능함.
- 자산관리체계(AMS)의 모듈화 개발은 외부 변화에 대해 전체 체계의 변동 없이 영향을 받는 모듈만 대응 개선할 수 있는 강점을 가짐.
- <그림 3-1>은 자산관리체계(AMS)의 기본 구성요소를 나타냄.



〈그림 3-1〉 자산관리체계(AMS)의 기본 구성요소

■ 자산목록 모듈

- 일련의 자산을 관리하기 위해서는 어떠한 자산을 보유하고 있는지 알아야 하며 보유 자산의 기본 특성 목록도 필수적임.
- 또한, 보유자산의 상태가 객관적인 평가체계에 따라 기록되어 있어야 하며 자산의 경과년수도 최대한 정확하게 기록되어야 함.

■ 자산 위치참조 체계 모듈

- 관리대상인 자산의 정확한 위치를 파악하는 것은 자산관리체계(AMS)에서 매우 중요한 부문임.

- 특히, 철도자산관리체계(RAMS)에서는 선로나 터널, 구조물, 교량 등의 세부구간을 지리적 위치와 연계시키는 참조체계가 필수적임.

■ 중앙 집중 데이터베이스 모듈

- 모든 자산에 관한 정보는 중앙 집중 데이터베이스에 저장되어 조직 내 어느 계층에서도 접근 가능할 수 있도록 하여야 함.

- 가장 효과적이기 위해서는 자산에 대한 기초정보를 중앙에 집권화하고 최대한 사용하기 쉽고 효율적인 자료관리 방법을 도입해야 함.

- 중앙 데이터베이스에서 자료를 추출하여 구성하는 별도 데이터베이스들이 분석 시 용이한 경우가 있다 하더라도 중앙 데이터베이스 이외의 별도 데이터베이스들을 운용하는 것은 바람직하지 않음.

■ 분석 모형 모듈

- 자산관리체계(AMS)의 가장 중요한 기능 중 하나는 각종 대안을 평가하고 효과적인 장단기 의사결정이 이루어 질 수 있도록 하기 위한 자료 분석 기능임.

- 분석을 용이하게 하기 위해서는, 미래 자산상태를 정확히 예측하고 다양한 관리대안의 영향을 다년간에 걸쳐 비교 분석할 수 있는 모형들의 개발이 필수적임.

- 또한, 자산관리체계(AMS)는 현상유지, 보수 등 서로 다른 비용지출형태에 자원을 효율적으로 배정할 수 있는 모형을 가지고 있어야 함.

- 철도 운영기관과 같이 매우 다양한 시설들을 동시에 보유하고 있는 경우, 각각의 시설 상호 간 투자를 비교 분석할 수 있는 모형도 필요함.

■ 보고자료 작성 모듈

- 데이터베이스에 저장된 정보들과 모형분석결과는 사용자의 요구에 따라 친숙한 형식으로 전달될 때만 가치가 있음.
- 최근 자산관리체계(AMS)는 중요한 정보를 쉽게 이해시킬 수 있도록 그 래픽 보고방식을 채택하고 있음.
- 지리정보체계(GIS)와 자산관리체계(AMS)의 연계를 통해 다양한 정보를 통합하여 표현하는 기능은 매우 유용함.

7. 자산관리체계(AMS) 쟁점사항

- 오늘날 산업별 경쟁에서 살아남기 위해서는, 민간이든 공공이든 간에 자산관리체계(AMS)의 적용이 시급함을 쉽게 인식할 수 있음.
- 반면, 자산관리체계의 창시국인 미국에서조차도 공공자산의 관리주체인 기관들 사이에서 자산관리체계(AMS)의 효용은 잘 알려져 있으면서도 몇 가지 이유로 인해 이러한 체계의 모든 기능을 완전히 이용하고 있지 못하는 현실임.
- 자산관리체계(AMS)를 전적으로 활용하지 못하는 이유를 나열하면 다음과 같음.
 - 가장 열악한 부분을 우선 보수한다는 단순원리의 기존 관리철학 고수
 - 보유 자원배정을 좌우하는 기관 내·외부 영향력(상위기관의 간섭 또는 노조 문제 등)
 - 현재는 좋은 상태일지 모르나 장기적으로 비용효율 면에서 우선 조치가 필요한 자산에 대해 자산관리체계를 적용해 먼저 보수하려고 할 경우, 비용을 투입하기도 전에 기존 보수 사항과 우선순위에 대한 마찰 문제 발생
- 미국의 경우 일부 도시철도 운영기관에서 사용자들 간의 공조와 협동이 이루어지지 않아 자산관리체계(AMS)의 성공을 저해한 사례가 있음.

- 즉, 공유할 수 있는 자료에 대해 각 부서별로 별도의 데이터베이스를 구축하여 관리함으로써 심지어는 같은 자산에 대한 다른 참조 식별자를 사용하는 부작용을 낳기도 하였음.
- 기관내의 통합된 자산관리체계(AMS)의 필요성에 대한 공감대가 형성된 기관이라 할지라도 체계를 항상 최적 상태로 유지하면서 자산의 현재 상태를 지속적으로 수집 저장해야 하는 데 어려움을 겪는 경우도 상당함.
- 이러한 이유로 문제가 생길 경우 필요한 조치들을 선별 추천하고 새로운 기술은 항시 기존체계에 추가 통합시키며, 체계효율을 제대로 측정하기 위해서는 자산관리체계(AMS)가 가지고 있는 분석모형들을 주기적으로 검토하는 절차가 필수적임.
- 자산관리의 애로사항
 - 이미 언급한 쟁점사항 이외에도 자산관리체계(AMS)를 실행하기 위해서는 다른 많은 애로사항이 있을 수 있으며, 이러한 역경들은 다음과 같은 분야별 문제를 수반함.
 - 기술적인 문제
 - 제도(기관)적인 문제
 - 시행상의 문제
- 기술적인 문제
 - 앞서 기술한 부분에서는 기관 내의 의사결정과 관련하여 자산관리체계(AMS) 설계의 중요성을 강조하였음.
 - 이는 여러 가지 방법으로 체계수행의 성공여부에 영향을 미침.
 - 우선, 자산관리체계(AMS)는 그 체계를 이용하는 사용자의 요구조건을 수용해야하며, 사용자가 원하는 정도와 원하는 형식으로 결과를 보고할 수 있어야 함. 이러한 사용자의 요구조건은 자산의 현재 상태 파악, 미래 상

태 예측과 유지보수 수요수준 예측, 다양한 예산 대안에 대한 최적 집행대안 도출 등의 기능을 담당하는 분석모형 및 그 분석모형들을 포함하는 전체계의 복잡도에 영향을 미침.

- 또한, 실제와 모형 예측치를 비교할 수 있는 피드백(Feedback)을 통해 체계 효율을 평가할 수 있어야 함. 이러한 피드백 과정을 통해 특정 자산의 실제 서비스 수명과 모형 예측치 간 비교분석이 가능함. 피드백 과정을 통해 분석모형들이 부정확하다고 판단되면 체계 효율을 개선하기 위한 적절한 조치가 필요함.

■ 제도(기관)적인 문제

- 기술적으로 정교한 자산관리체계(AMS)만이 신뢰성이 높은 유지보수 권고안을 제공할 수 있음.
- 신뢰성이 높은 유지보수 권고안을 도출하기 위해서는 기관 전체를 포함하여 최상위 경영진에서부터 채택한 자산관리체계(AMS)에 대해 개발 및 시행단계 뿐만 아니라 운용을 하면서도 지속적인 지원체계를 구축해야함.
- 그러나 자산관리체계(AMS)의 채택에도 불구하고 자산의 상태 호전 또는 유지관리 비용의 절감 등 실질적인 효과가 가시적으로 나타나지 않는 경우에는 이러한 지속적인 지원을 바라기는 어려움. 특히, 장기 개선 효과에 관심이 없는 선출직 기관장을 지닌 기관의 경우는 일관성을 가지고 체계의 효용을 기대하지 못함.
- 기존에 특정시설에 대한 부분적인 관리체계를 가지고 있던 기관이 통합 자산관리체계(AMS)를 채택했을 경우 공조부족으로 어려움을 겪게 될 수도 있음.
- 또한, 과거 대부분 시설별로 별도의 자산목록, 데이터베이스, 분석 모형, 상태평가모듈을 가지고 있던 터널, 개착 구조물, 철교, 보선시설 등 별도 시설을 하나의 자산관리체계(AMS)로 통합할 경우도 기존의 각 관리주체

간 상호 의사소통의 문제가 생길 수 있음.

- 현대의 자산관리 개념은 개별 체계들을 하나의 포괄적인 공조 체계로 통합하는 추세이며, 그러기 위해서는 기관 전체에 걸쳐서 개별 관리 주체들이 한 자리에 모여 통합 관리체계 개발에 대한 논의를 함께 하는 것이 중요함. 결국 과거 부서 간 세 다툼의 결과로 나타났던 정보의 분산 및 분리 관행은 사라져야 함.

■ 시행상의 문제

- 자산관리체계(AMS)가 계획되고 실행된 후에도 지속적인 노력은 필요함. 지속적인 노력 및 자원을 필요로 하는 부문은 체계유지를 위한 자료수집과 신기술 도입 및 분석모형의 개선 등과 관련된 부문이며, 이 중 어느 하나라도 소홀히 한다면 체계전체의 효용이 떨어져 체계가 제공하는 유지보수 권고안이 단기간 내에 신뢰성을 잃을 것임.
- 또한, 자산관리체계(AMS)를 운용하는 담당자에 대한 교육과 훈련은 매우 중요함.
- 각종 학회, 워크숍 등을 통해 최신기술을 습득하고 신기술 이전에 힘쓰는 것은 자산관리체계(AMS)도입의 성패를 좌우할 수 있음.

■ 향후 예상 쟁점

- 지난 20년간, 북미를 중심으로 양질의 자료를 근거로 비용 효율적인 의사결정을 돕는 자산관리체계(AMS)의 개발은 큰 진전을 보여 왔음. 그럼에도 현재 가용한 능력을 개선할 수 있는 여지는 많이 남아 있음.
- 세계화 관점에서 볼 때, 전략적인 투자분석 도구의 개발에 좀 더 노력을 기울여야 함. 특히, 공공부문에서 한정된 자원에 대해 신규지출 대 유지보수 투자 또는 각기 다른 자산들 간의 투자에 대한 비교분석 실례는 찾아보기 힘들.
- 마지막으로, 일반대중에 대한 교육훈련 역시 중요한 요소임. 대부분 사람

들은 자신의 자동차의 가치와 운행조건을 유지하기 위해서는 정기적인 예방관리 지출을 아끼지 않지만, 모두의 소유물인 공공시설에 대해서는 이러한 관심이 적고 단지 안전점검을 위한 단순 유지관리에 만족하는 듯 행태를 보임. 이러한 관행에서 벗어나 공공의 자산을 최고의 상태로 오래 사용할 수 있도록 체계적인 관리의 필요성을 인지하도록 해야 하며, 더 나아가 자산 관리주체에게 합리적인 관리체계의 채택을 적극적으로 요구하도록 해야 함.

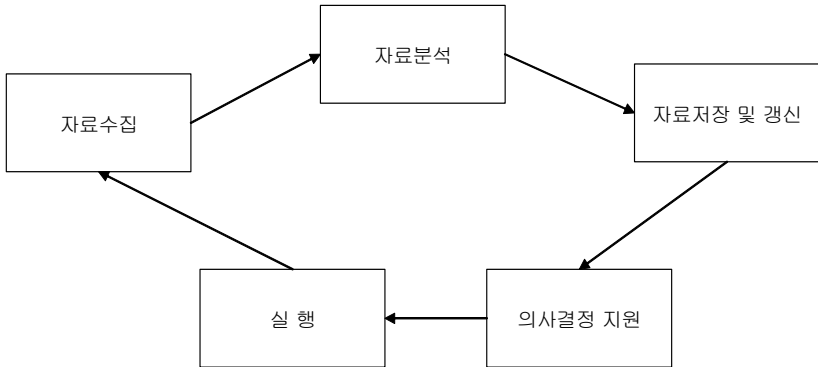
제 3 절 도시철도 자산관리체계

- 앞서 검토한 자산관리체계(AMS)의 총론적 내용을 기초로 하여 보다 구체적으로 도시철도 시설의 유지관리에 이를 적용할 경우에 대한 체계 구성안과 모듈별 세부 내용을 제안하고자 함.

1. 도시철도 자산관리체계의 세부구성

- 도시철도 자산관리체계는 자료수집 모듈, 자료분석 모듈, 자료저장 및 갱신 모듈, 의사결정 지원 모듈, 실행 모듈의 크게 5가지 세부 모듈로 구성되는데, 상위 개념인 자산관리체계(AMS)의 기본구성을 유지하면서 분석기능을 세분화한 것으로 이해할 수 있음.
- 자료수집 모듈: 시설의 상태관련정보를 지속적으로 수집하는 기능을 수행함.
- 자료분석 모듈: 수집된 상태관련 자료를 통해 현재의 시설상태를 추정하고 장래 상태를 예측함.
- 자료저장 모듈: 자료 수집 및 분석 결과를 데이터베이스에 저장 관리하는 기능을 수행함.

- 의사결정 지원 모듈: 분석된 결과를 토대로 의사결정자에게 유지보수 조치안을 권고하는 기능을 수행함.
- 실행 모듈: 도출된 권고안을 바탕으로 적정 유지보수 조치를 실행하는 기능을 수행함.

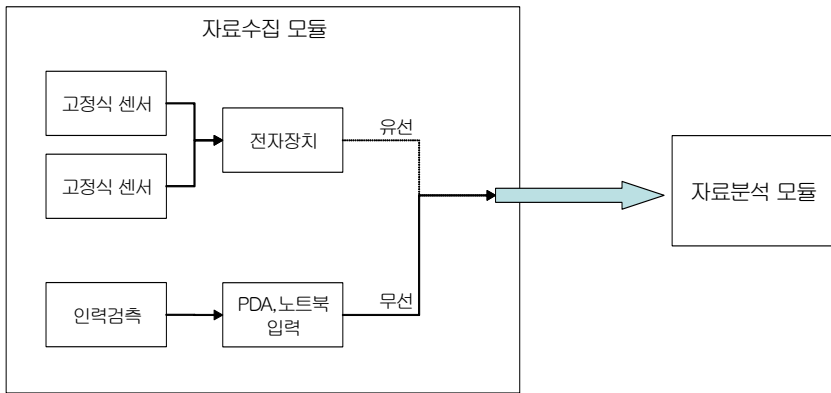


〈그림 3-2〉 도시철도 자산관리체계 구성

■ 기본구성요소 외에도 다음과 같은 세부 구성요소가 있을 수 있음.

- 경보 모듈: 시설에 결함이 발생하여 긴급 교체가 필요한 경우 해당 담당자에게 즉시 보고할 수 있는 기능을 수행함.
- 이력저장 모듈: 의사결정 지원 모듈이 현재 시설 상태자료 뿐만 아니라 과거의 시설물 거동까지 검토해서 변화 추세를 파악하고 상태예측을 할 수 있도록 하는 기능을 수행함.
- 자동화된 능동적 스케줄 작성 모듈: 실시간으로 유지보수 조치안을 작성하는 기능을 수행함.
- 하자모형 모듈: 하자의 원인과 행태를 분석하는 기능을 수행함.
- 조달 모듈: 물품의 적시 구매와 재고관리 기능을 수행함.

1.1 자료수집 모듈

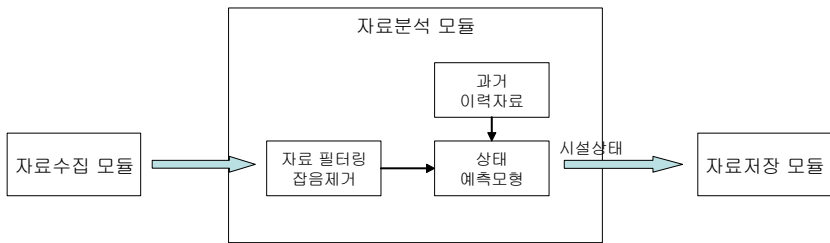


〈그림 3-3〉 자료수집 모듈

- 도시철도 시설 관리체계의 시작 모듈로서 체계의 모든 결정은 여기서 수집된 자료에 기반 함.
- 하자가 생기려고 하는 순간이나 이미 생겨난 하자를 관측할 수밖에 없는 상황에서 자료수집의 신속성과 실시간 수집능력은 매우 중요한 항목임.
- 자료수집은 다양한 소스로부터 수집가능 함.
 - 국내에는 일부 교량 유지관리분야에 도입된 바 있는 센서를 통한 자동 상태자료 수집방안에서부터 관리자가 목측으로 자료를 수집하는 기존 방식까지 다양한 자료수집방안이 존재함.
 - 유·무선으로 관측된 자료를 중앙 데이터베이스로 전송할 수 있음.
- 센서와 통신기술을 통한 자동 자료수집은 전통적인 목측에 비해 다음과 같은 이점을 지님.
 - 노동력을 절감할 수 있음. 첨단 감지장치에서는 센서가 주기적으로 자가 진단할 수 있는 기능이 있어서 오류 및 센서 관리노력을 최소화 함.

- 인력에 의한 감지에 비해 정확하고 효율적임. 인력에 의한 실수가 있을 수 없으며 고정센서를 설치할 경우 상시 감지체계를 구축할 수 있음.
- 인력이 접근하기 위험한 장소 시간에도 시설 상태의 감지가 가능함.
- 센서로부터의 감지자료는 즉시 중앙 데이터베이스로 전송되어 분석이 가능함.
- 레일탐상차 등 이동식 감지장치는 국내에도 보급이 되어 있으나 대수의 부족으로 검측주기가 길어지는 단점이 있음. 따라서 주요 시설구간에 대해 고정식 감지 장치의 설치로 이러한 단점을 보완할 수 있음.

1.2 자료분석 모듈

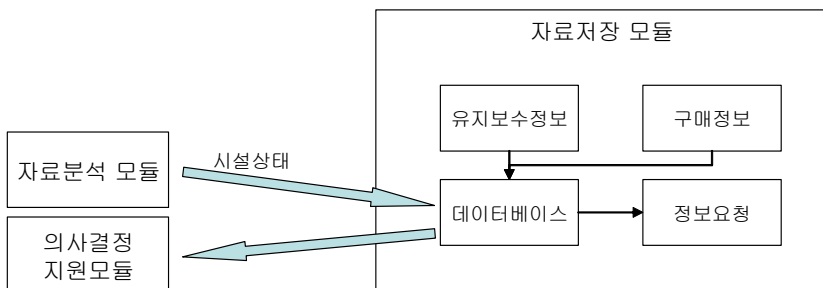


〈그림 3-4〉 자료분석 모듈

- 시설의 정확한 상태를 파악하기 위해서는 수집된 상태관련 자료를 분석해야 함.
- 자료분석 기능이 자료수집과 의사결정지원 모듈과 중첩되거나 포함될 수도 있으나 센서를 통해 감지된 전자신호를 물리적인 상태자료로 변화하는 데서 생기는 잡음을 제거하고 왜곡을 조정하는 기능을 수행함.
- 또한, 자료분석 모듈은 실제 검측자료를 이용하여 시설의 하자행태와 수명주기를 예측하는 기능을 수행함.

- 궤도 시설의 예를 들면, 특정 선로구간에 갑작스러운 처짐이 발생했을 경우, 자료분석 모듈은 수집된 상태자료와 선로의 재질 및 그 선로구간의 과거 이력 등을 조합하여 분석을 수행하며 기존 예상 처짐 수치를 보정하여 상태자료를 갱신함.
- 자료분석 모듈의 정확도가 전체체계의 성능을 좌우하는 중요한 변수가 될 수 있음.
- 이력저장 모듈
 - 저장된 이력은 자료분석 모듈과 의사결정 지원모듈에서 시설의 정확한 상태예측을 위해 사용됨.
 - 체계에 포함된 각 모형들은 조정 가능한 파라미터들을 가지고 있어서 현재 시설 상태자료와 과거 이력자료를 통해 이 파라미터들을 현행화하는 기능을 수행할 수 있음.
 - 현재 시설 상태자료에만 의존하지 않고 시설의 과거 행태를 고려한 모델링은 체계성능을 증대시키는 주요인으로 작용함.

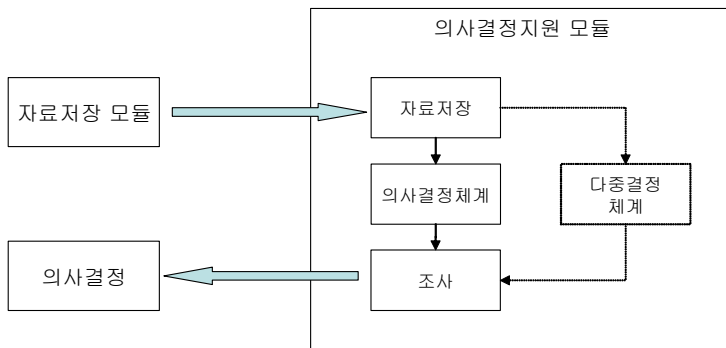
1.3 자료저장 모듈



〈그림 3-5〉 자료저장 모듈

- 효율적인 자료의 관리를 위해서는 관리 대상이 되는 시설에 대한 참조기능을 확보해야 함. 시설 참조체계에 포함되어야 할 필수 속성은 다음과 같음.
 - 모든 시설단위별 고유 인식번호의 부여
 - 각 시설단위의 공급자, 구매일, 시공일 등 상세 원천자료
 - 시설단위의 현재 상태에 대한 포괄적 정보
 - 시설단위별 관리 책임자
 - 예산회계 체계와의 연계고리
 - 시설단위별 과거 유지보수 이력 및 향후 유지보수계획
- 궤도시설을 예로 보면, 선로 일부구간에 하자가 발생했을 경우, 하자원인을 조사하기위해 필요한 일차적인 자료를 데이터베이스에서 찾아볼 수 있음. 저장 자료의 어디에서도 다가올 하자에 대한 조짐을 암시하는 자료를 발견하지 못하였다면 자료분석 모듈의 예측모형의 수정이 필요하다는 결론을 내리고 하자결과를 토대로 예측모형의 파라미터를 조정함.

1.4 의사결정 지원 모듈



〈그림 3-6〉 의사결정 지원 모듈

- 전체 체계의 기술 핵심은 의사결정지원 모듈임.
- 현재의 시설 상태는 쉽게 파악이 가능하지만, 이러한 정보를 가지고 어떻게 유지보수 우선순위를 정할 것인지, 보수대상인지 또는 교체대상인지 등을 판정하는 것은 쉽지 않음.
- 의사결정 지원 모듈은 이러한 문제의 해답을 주기 위한 체계임. 의사결정 지원체계는 크게 다음과 같은 두 가지 요소로 구성됨.
 - 특정 체계에 대한 지식을 대표하는 자료 저장소
 - 이러한 지식을 체계적으로 조사할 수 있는 방법
- 의사결정 지원 모듈은 특정 시설의 상태정보를 가지고 어떠한 조치가 최상인지를 자료저장소에 질의함.
- 자료저장소는 그 시설에 하자가 발생하는 조건이 무엇이며 현 시설 상태가 어떻게 진화하고 상호작용할 것인지 또한 어떤 해법이 최상인지에 대한 지식을 저장하고 있음.
- 적절한 의사결정 지원 모듈을 가지고 있느냐 하는 것이 전체 관리체계의 성패를 좌우하는 중요 요소임.
- 의사결정 지원의 대표적인 4가지 실행방안은 다음과 같음.
 - 전문가 시스템(Expert System): 1970년대 개발된 기법으로 인공지능분야에 적용되어 오고 있음. 최근에는 질병 진단분야 등과 같이 사람의 특정분야 전문지식에 의존하는 분야에 활용되고 있음. 전문가 시스템은 인간의 직관적인 판단이나 관행 등을 계량화하여 논리적 수식으로 표현하는 방안을 개발하였음. 이러한 논리수식을 이용하여 특정 자료 환경에 대한 의사결정을 판단함. 적용분야가 제한되기는 하나 전문가 시스템은 시스템을 작동하는 해석모형이 필요 없는 장점을 지님.
 - 모형기반 시스템(Model Based System): 앞서 설명한 자료분석 모듈의 모형개념과 유사함. 시스템 거동에 대한 수학 모형을 사용하여 장래 상태

를 추정함. 모형이 얼마나 정확한 예측을 수행할 수 있는가가 관건임.

- 인공신경망(Artificial Neural Network): 다수의 노드와 이를 연결하는 링크로 구성된 신경망 구조를 구축하여 주어진 입력 자료를 기반으로 통계적 의사결정을 내림. 이미 알려진 입출력 자료를 가지고 신경망 각 링크의 가중치 값을 결정하는 신경망 훈련단계가 필요함. 인공신경망은 특히 입력 정보가 불완전할 경우 전문가 시스템 또는 모형기반 시스템에 비해 훨씬 유연성 있는 분석이 가능함. 인공신경망은 그 출력에 있어 어떤 조건의 가부로 표시되지 않고 조건별 확률로 표시할 수 있는 장점과, 물리적인 인과모형의 적용 없이도 의사결정을 지원할 수 있는 장점이 있음.
- 베이저안 네트워크(Bayesian Network): 베이저안 네트워크는 모형기반 시스템과 인공신경망의 중간 단계 분석 시스템임. 시설의 내부속성들과 상호 작용에 대한 통계적 모형을 개발하고 과거 및 현재의 상태자료를 모두 이용해 가장 가능성이 높은 장래 시설상태를 추정함. 베이저안 네트워크는 인공신경망의 유연성 및 불확실성에 대한 처리능력을 모형기반 시스템의 물리적 인과관계에 결합함으로써 강점을 지니지만 장기 개발단계에서는 모형구축과 훈련에 많은 시간과 노력이 요구됨.
- 위와 같은 실행방안을 복합적으로 사용하기도 함. 각 실행방안을 위한 의사결정 결과를 다수결로 결정하는 방안도 있을 수 있음.
- 단순히 최상의 의사결정 대안을 도출하는 대신, 의사결정 지원모듈은 각 대안별 비용, 위험, 편익 등의 추정치와 함께 최적 대안의 범위를 제시함.
- 궤도관리 체계의 예를 들면, 의사결정 지원모듈이 특정 선로구간이 구조적으로 약화되었다는 정보를 통보 받으면, 이 선로구간에 대해 가지고 있던 실패시점 정보를 보정하고 열차운행계획 및 나머지 선로구간들에 대한 유지보수 요구사항을 고려하여 하자구간에 대한 최적의 유지보수 권고안을 작성함. 또한, 필요할 경우 상황이 해결될 때까지 안전 확보를 위해 해당구간의 적절한 속도 규제안도 제시함.

■ 잘 설계된 의사결정지원모듈은 그 자체만으로도 유익한 체계로서 각 단계의 의사결정을 지원할 수 있지만, 자동 자료수집 및 분석 체계와 결합할 경우 시설을 보호하고 그 성능을 최적으로 유지하는 데 최상의 도구가 될 수 있을 것임.

■ 하자 분석

- 하자분석을 도입함으로써 시설의 하자가 생성하는 원인과 과정을 설명할 수 있음.
- 자산관리체계(AMS)는 방대한 양의 자료를 처리해서 시설의 분석 모형을 제안하고 시험하며 재조정함. 이러한 분석모형들은 실제 상황에서의 시설 거동을 이해할 수 있도록 해주는데, 이러한 모형들을 통해서 시설이 과부하 상태인지 또는 잦은 보수가 필요한지 등의 여부를 확인할 수 있음.
- 확인된 시설 상태정보는 장래에 시설을 개선하기 위한 목적으로 설계 단계에까지도 피드백 할 수 있음.
- 보다 실용적인 하자분석의 적용은 시설을 이루는 개별 구성요소의 신뢰성을 평가하는 것임.
- 유지보수 중 예비 부품들이 사용될 경우 이 부품들의 성능은 시설의 기존 하자행태가 얼마나 달라지는가에 따라 추정이 가능하므로 기준이하의 부품들을 보다 우수한 품질의 부품으로 교체할 수 있는 근거가 됨.
- 이와 마찬가지로, 어떤 새로운 유형의 시설에 하자가 생긴다면 이 정보는 같은 유형의 다른 시설들의 조사일정을 잡는데 사용할 수 있음.

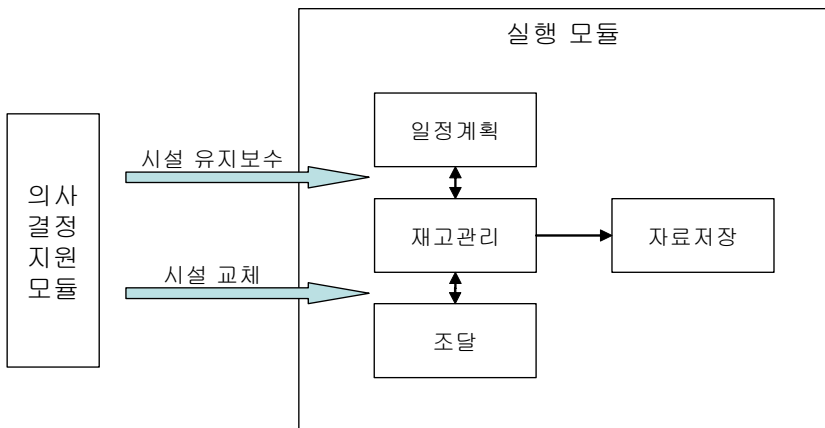
■ 경 보

- 특정시설에 대해 즉각보수 또는 계획보수가 요구되는 등 상태의 변화가 감지되었다면, 이 정보는 가능한 빨리 경보의 형태로 체계에 의해 전달되어야 함.
- 대응의 신속성을 보장하고 발생 가능한 부작용을 최소화하기 위해서는

변화의 조짐을 가능한 빨리 감지하고 통보하는 역할이 중요함.

- 경보 메시지가 포함해야 할 사항은 해당 시설의 고유식별자, 변화가 발생한 시각 및 일자, 일어난 사건 또는 변화에 대한 확실한 설명, 상황의 심각도, 가능하다면 필요한 조치 및 연락대상 직원, 시설에 대한 부가자료(위치, 경과년수 등) 등임.
- 자산관리체계(AMS)하에서의 시설의 갑작스러운 붕괴나 사고는 거의 없지만, 아주 드물게 발생한다 해도 이러한 조기경보 체계를 통해 그 영향을 최소화해야 함.

1.5 실행 모듈



〈그림 3-7〉 실행 모듈

- 의사결정 지원 모듈에서 생성된 유지보수 권고안이 실제로 수행되는 과정을 주관하는 모듈임.
- 의사결정 권고안이 바로 유지보수 또는 신규교체 전략을 제공하는 현실 투자로 연결될 수 있음.

- 고도로 통합된 자산관리체계(AMS)에서는 의사결정 지원 모듈의 판단 결과가 유지관리 담당 직원의 업무계획, 재고관리 등을 포괄하는 유지관리 일정 계획과 자재 및 부품 조달계획에 자동으로 연계되는 경우가 일반적입니다.
- 자산관리체계(AMS)는 여러 부서 간의 공조를 필요로 하므로 어느 한 부서의 실패는 다른 부서들의 노력을 무력화할 수 있음.
- 자산관리체계(AMS)는 주요시설의 일 단위 관리를 체계적으로 운용하는데 있어, 앞서 설명한 시설감시, 자료저장, 시스템 간 상호 통신을 담당하는 핵심 모듈과 재고관리, 자동 일정계획 등 부가적인 지원체계와 연계하여 시설유지관리 체계를 최적화 함.
- 조달계획과 유지관리 업무를 통합함으로써 전체 자산관리체계(AMS)의 단순화 및 효율화를 도모함.
- 궤도관리체계에서는, 의사결정 지원모듈이 특정 선로구간에 긴급 선로교체가 필요하다고 실행모듈에 통보하면, 필요한 자재 및 부품을 보유하고 있는지 확인하고 부족할 경우 조달 체계에 부족량을 통보하는 일련의 절차를 거침. 일단 자재가 확보되면 다음 단계로 유지보수 담당 팀에 해당 일정을 잡을 수 있도록 업무를 할당함.
- 잘 설계된 자산관리체계(AMS)는 시설의 보호 및 최적화가 업무의 중심에 있음. 전체 자재공급망과 서비스망에 의해 지원을 받으면서 시설들이 최고의 성능을 유지하기 위해서는 상호이질적인 모듈들이 체계적으로 조력하는 것이 필요함.
- 재고 관리
 - 재고관리 체계는 일단 업무상 필요로 하는 자재의 이동을 관리제어하고 그 자재들이 언제 어디에서나 사용할 수 있도록 보장함.
 - 재고관리체계는 의사결정 지원체계와 같은 기술적 바탕위에 구축 가능하

고, 의사결정 지원체제와 동일한 수준의 신중한 설계가 필요함.

- 시설의 공급관리를 담당하는 재고관리체제는 종종 조달체제와 밀접하게 연계되어 있음.
- 부품의 이동과 위치파악은 몇 가지 방안을 통해 추적이 가능함. 최근 기술로는 RFID 감지기술이 있음.
- 소형의 수동 RFID 태그를 자재 및 부품에 부착하여 감지함으로서 이동을 추적할 수 있음.
- 조달 및 재고관리체제는 부가비용을 크게 절감시킬 수 있으며, 기존 방식의 재고관리를 효율화하여 업무량의 절감뿐만 아니라 나머지 자산관리체제(AMS) 하부모듈들의 효율성 또한 증진시킴.

■ 조달 체제

- 조달체제는 필요할 때마다 전체 자산관리체제(AMS)에 예비 자재 및 부품의 주문을 지시하는 기능을 함.
- 조달체제는 자재나 부품이 필요할 경우 조달 담당부서에 이 사실을 통보하는 단순한 기능을 수행하지만 이 기능을 수행하는 기반에 인터넷 기술 등을 동원하여 효율화 할 수 있음.
- 인터넷 기술을 적용한 첨단조달체제는 필요할 경우 자동주문을 수행하고 구매한 자재를 최적의 보관장소 또는 수요지로 보낼 수 있는 체제를 갖추.
- 첨단조달체제는 또한 실시간으로 자재의 이동을 추적 가능해서 자재의 운송 중 문제가 생길 경우 즉시 통보하여 조치할 수 있는 기능도 포함함.

■ 일정계획 자동화체제

- 일정계획 자동화체제는 자산관리체제(AMS)가 생성한 유지보수 권고안에 대해 실제 집행을 위한 유지보수 일정계획을 작성함.
- 일정계획 자동화체제는 여러 시설들의 유지보수 계획을 한 번에 작성하

고, 시설의 사용일정표를 검토하며, 유지보수 담당자에게 일정계획이 작성됨과 동시에 알리는 통신체계를 모두 통합할 수 있도록 설계되어야 함.

- 일정계획 자동화체계의 또 하나의 중요한 기능은 종료된 유지보수업무의 모든 사항을 자료 저장소에 입력하는 기능임.

2. 도시철도 자산관리체계 통합

- 도시철도 자산관리체계(AMS)의 실제 강점은 시설의 수명주기에 걸쳐서 여러 업무 부문을 통합하고 그 수명주기를 연장하는 것임.
- 도시철도에 있어서 통합자산관리체계는 단순히 유지보수 서비스를 제공하는데 그치지 않고 능동적으로 유지보수 계획을 실시간으로 갱신하고 새로운 일정계획을 담당자에게 통보하는 역할을 담당함.
- 재고관리체계는 예비 자재 및 부품의 재고를 확인하고 필요한 자재 및 부품을 필요로 하는 노선의 가장 가까운 차량기지에 배치함.
- 자재 및 부품 조달체계는 자동으로 공급자와 통신하여 필요한 재고를 구매하는 업무를 수행함.
- 적어도 도시철도 자산관리체계(AMS) 내에서는 일련의 절차를 수행하는데 인력이 개입되지 않도록 해야 하며 모든 내부 절차가 자동화되어야 함.

3. 도시철도 자산관리체계 구축 절차

- 도시철도 자산관리체계는 규모가 크고 서로 다른 여러 하부체계를 포함하지만 단계별로 구축이 가능함. 실제로 체계구축을 위해 필요한 일부 정보들은 착수단계에 존재하기 않을 수도 있음.
- 도시철도 자산관리체계 구축절차를 순서대로 나열하면 다음과 같음.

- 자료 수집
- 자료분석 체계의 구축
- 시설의 거동특성이 자료분석 결과와 어떻게 관련되어 있는지에 대한 정확한 이해
- 의사결정 모형과 하자모형의 도입
- 모형의 성능 차원에서의 재조정(모형정산)
- 일단 모형의 신뢰도가 확보되면, 유지보수 업무 일정계획을 자동으로 작성하는 기능을 구축
- 전체 체계의 기능이 충분히 성숙했을 때, 자동경보체계를 실제 발동시킴.
- 물론, 모든 하자를 제거할 수 있는 관리체계는 존재하지 않지만, 자산관리의 주요 쟁점은 체계가 가지고 있는 전문성의 영역이므로 적어도 이미 자료분석을 통해 인식된 문제점들에 대해서는 능동적인 대처가 가능함.
- 이러한 전문성 영역은 체계의 설계 단계에서 정의될 것이고 부분적으로는 새로운 상황에 대한 일부 대처도 가능하겠지만, 근본적으로 발생 가능한 모든 하자를 처리할 수 있는 체계의 설계에는 어려움이 따름.
- 이러한 한계로 인해 자산관리체계(AMS)가 인력에 의한 일상적인 점검 업무를 전적으로 교체할 수는 없는 반면, 잘 알려진 문제점들에 대해서는 전적으로 인력관리를 대체할 수 있음.
- 또한, 자산관리체계(AMS)가 운용됨으로써 지속적인 자료의 축적과 빈도가 낮은 하자 경험을 통해 그 결과가 체계에 반영됨으로써 체계 자체가 진화하게 되어 시간이 갈수록 유용성이 높아지는 결과를 산출함.

제Ⅳ장 도시철도 자산관리체계 도입 방안

제1절 도시철도 자산관리체계(AMS)

도입 현황 및 문제점

제2절 도시철도 자산관리체계(AMS)

적용 방향

제 1 절 도시철도 자산관리체계(AMS) 도입 현황 및 문제점

1. RAMS(Reliability, Availability, Maintenance and Safety)

- 자산관리체계(AMS)의 철도분야 적용은 RAMS(Reliability, Availability, Maintenance and Safety)라는 개념으로 이미 국내에서도 많이 소개된 바 있음.
- RAMS(Reliability, Availability, Maintenance and Safety)는 국제전기기술위원회(IEC)의 철도분야 표준화 규격을 말하며, 철도부문에 자산관리체계(AMS)를 도입 시 기대되는 4가지 편익항목을 대표함.
- 기대효과 차원에서의 RAMS(Reliability, Availability, Maintenance and Safety)의 정의
 - 신뢰성(Reliability): 도시철도 운행에 있어 예측할 수 없는 고장을 최소화하여 전반적인 체계 신뢰도가 증대함.
 - 가용성(Availability): 도시철도 시설의 고장 없이 가동시간을 최대화 시키는 개념으로 수리에 많은 시간이 소요되는 심각한 문제를 해결함.
 - 지속성(Maintainability): 자산의 상태 및 그 자산의 상태저하특성에 관한 양질의 정보를 적절한 시기에 사용함으로써, 자산이 돌발 상황 없이 온전한 상태로 유지될 수 있도록 관리주체로 하여금 시간과 자원의 이용을 최적화하여 효율화 함.
 - 안전성(Safety): 정확하고 포괄적인 자료의 이용은 발생 가능한 안전성 취약 문제에 대해 조기경보를 제공하여 이로 인한 사고를 예방할 수 있음을 의미함.

- 국내에서는 KTX의 도입 시 최초로 RAMS관리 기술이 적용되었고, 홍콩 등지의 해외수출 철도차량에 대해서 RAMS관리 기술이 적용되었으나, 국내에서 운영되는 철도시스템에 아직은 적극적으로 적용하고 있지 못함.
- 또한 도입이 검토되고 있는 경우라 하더라도 대부분 철도 차량 관리에 관련된 내용에 국한되어 있고 그 조차도 구체적인 실행방안 차원이 아니라 전반적인 필요성 강조에 그치고 있음.

2. 도시철도분야 자산관리체계(AMS) 도입 문제점

- 앞서 설명한 바와 같이 도시철도 시설관리 분야에 자산관리체계(AMS)의 도입은 충분한 당위성을 가지고 있으나 제대로 이루어지고 있지 않은 실정임.
- 도입에 대한 필요성을 강조하고 있는 연구사례는 국내 철도관련 학회를 중심으로 상당한 양에 이르고 있고 자산관리체계(AMS)의 토대가 되는 『도시철도 시설물 유지보수체계의 정보화 사업』도 한국철도기술연구원이 중심이 되어 추진되고 있음.
- 반면, 실제 구동 중인 진정한 의미의 도시철도 자산관리체계(AMS)는 부재함. 이러한 원인은 자료 수집/저장 체계 및 기초기술의 부재의 두 가지 원인에 기인함.

2.1 자료 수집/저장 체계 미비

- 도시철도 시설의 운영 및 유지보수를 위해서는 제반 문서 및 도면의 교환 및 관리 시스템이 필요함.
- 이를 위해서는 도면, 기술자료, 부품목록 등이 표준화되어 운영기관 전반에 걸쳐 공유되어야 함.
- 현재 추진 중인 유지보수 전산화 노력은 II장 2절에서 언급한 유지관리

업무흐름을 자동화하는 단계임. 즉, 문서를 통일하고 상호 문서 전달 및 결제 체계를 자동화하는 것을 목표로 하고 있어서, 궁극적인 자산관리체계(AMS)의 자료 수집 및 저장 체계와는 거리가 있음.

- 자산관리체계(AMS)에서 요구하는 자료체계는 도시철도 모든 시설에 대해 수집에서 저장, 관리까지 체계적인 자동화를 의미함. 즉, 각 시설의 설계도면부터 모두 전산화되어 데이터베이스로 관리해야 하며 추후 일어나는 모든 유지보수 작업에 대한 기록 및 도면화 작업이 수반되어야 함.
- 또한, 효율적인 시설 관리를 위해서는 현장의 시설관리 담당자가 시설의 점검 및 탐상을 통해 발견한 문제점을 즉석에서 자산관리체계(AMS)로 보고할 수 있는 휴대단말기(PDA) 연동 체계가 필요함.
- 이를 위해서는 지리정보체계(GIS: Geographic Information System)를 기반으로 한 시설 참조체계와 현장 담당자가 사용가능한 무선 휴대단말기(PDA)가 필수적임.
- 도면 데이터베이스 및 이와 연동하는 지리정보체계(GIS: Geographic Information System)를 구축하는 것은 자산관리체계(AMS)도입의 기초라 할 수 있으므로 이에 대한 지속적인 투자가 필요함.

2.2 기초기술 부재

- 자료 수집 및 저장 체계가 완비되었다고 할지라도, 제반 기초기술의 구축이 선행되지 않으면 자산관리체계(AMS)는 제대로 작동할 수 없음. 현재 일부 추진 중인 도시철도 유지보수 정보화 사업은 기초기술 구축에 대한 세부적인 대안을 제시하지 못하고, 다만, 관리자의 업무편의 증진 차원에 그치고 있으므로 시설의 수명주기 연장을 통해 전체비용을 절감하는 자산관리체계(AMS)의 진정한 목적을 달성할 수 없음.
- 자산관리체계(AMS)의 핵심은 앞서 3장에서 언급한 바와 같이 자료분석

및 의사결정 지원에 포함된 기초기술임.

- 즉, 시설의 정확한 상태를 예측할 수 있는 모형이 우선적으로 구축되어야 하고 구축된 모형은 축적된 자료를 토대로 정밀하게 정산하여야 함.
- 또한, 시설의 하자가 발생하는 원인 및 하자 진행과정을 설명할 수 있는 하자모형이 있어야 하고 이러한 모형 결과를 기반으로 정확한 의사결정을 내릴 수 있는 의사결정 지원 도구들을 개발해야 함.
- 그러나, 현실적으로 국내에서 수행된 관련연구의 대부분은 이러한 기초연구에 대한 배려가 없고 단순 필요성만을 강조하고 있음.

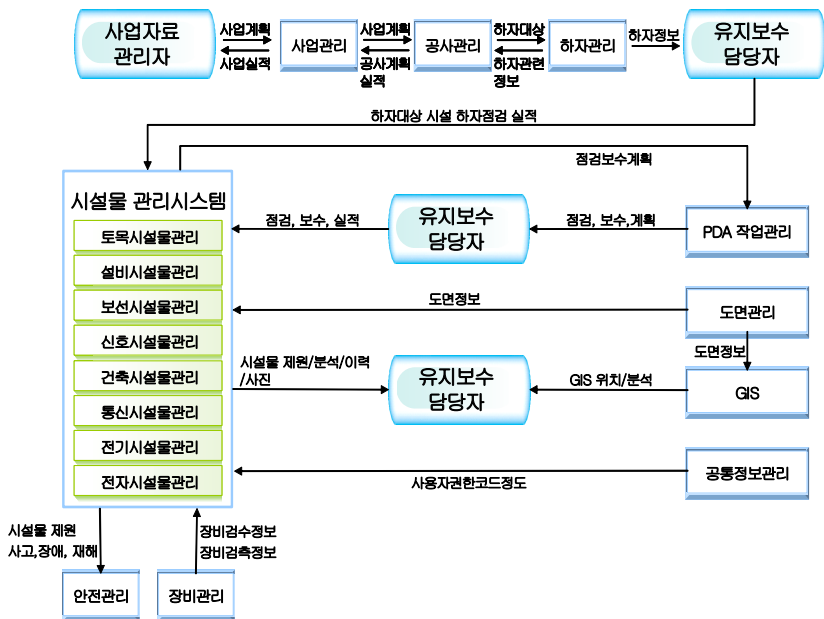
제 2 절 도시철도 자산관리체계(AMS) 적용 방향

1. 자료 수집 및 저장체계 구축

- 지리정보체계(GIS: Geographic Information System) 및 휴대단말기(PDA)등을 연계한 자동 자료수집체계, 대용량 자료를 효율적으로 저장하고 관리하는 데이터베이스는 자산관리체계(AMS)의 기반이 됨.
- 이러한 데이터베이스를 구축하기 위해서 가장 중요한 것은 모든 시설물의 현재 상태 도면임. 설계도면이 있다면 이를 CAD 도면화하여 궁극적으로는 지리정보체계(GIS)와 연동해야함.
- 순수지리정보와 지리적 요소별 속성자료를 분류하여 각 시설의 위치별로 도면을 통한 현재 상태와 과거 유지보수이력을 관계형 데이터베이스로 구축하는 것이 선행되어야 함.
- 이러한 자료구축은 방대한 양의 자료 입력을 요하며, 이에 수반되는 비용 및 시간이 엄청나게 소요될 것으로 추정됨.
- 시간과 비용을 수반한다 할지라도 즉시 수행해야 할 작업으로서 이를 미

룬다면 서울시의 도시철도 자산관리체계(AMS)는 영원히 구축되지 않을지도 모름.

- <그림 4-1>은 도시철도 자산관리체계(AMS)의 자료 수집 및 저장 체계를 도해한 예시임.
- 여기서는 유지보수 담당자와 시설 관리 시스템과의 상호 연동을 잘 나타나고 있음. 즉, 유지보수 담당자는 시설에 대한 상태를 상시 모니터링하여 하자가 발생 시 휴대 단말기(PDA)등을 통해 즉시 자동으로 관리체계에 상태를 보고하는 체계를 설명함.
- 또한, 시설물에 대한 상태 도면과 보수 이력자료 등을 지리정보체계(GIS)와 연계하여 처리하는 구조를 잘 표현하고 있음.

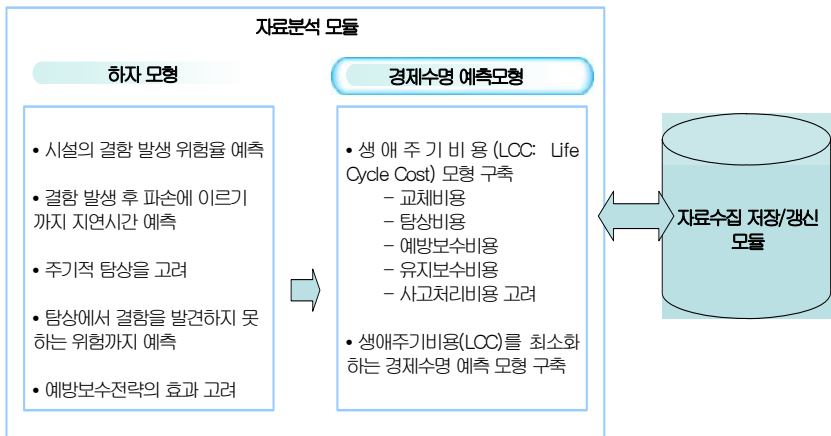


<그림 4-1> 도시철도 자료 수집 및 저장 체계 예시

※ 자료: 한국 철도학회 논문집, 2006. 10

2. 기초기술 확보를 위한 노력

- 도시철도 자산관리체계(AMS)에 있어서는 <그림 4-1>과 같은 외형적 틀을 채울 수 있는 내부 로직이 있어야 진정한 의미의 자산관리가 가능함.
- 자산관리체계(AMS)의 도시철도분야 적용에 필요한 충실한 내부 로직을 기초기술이라 함.
- 이러한 기초기술은 운영 중인 도시철도 체계에 맞춤형으로 개발해야 하며 타 철도 운영기관에서 기 개발한 기술들의 이식성은 높지 않음. 즉, 해당 도시철도의 현재 및 과거의 시설상태 자료를 통해 가장 적합한 모형들을 구축해야 함.
- 자료분석의 핵심(<그림 4-2>)은 시설의 하자모형을 개발하고 수명주기를 예측할 수 있는 토대임. 이를 위해 어떠한 자료를 어떠한 형식으로 수집하고 저장할 것인가를 결정해야 함. 이때 자료분석 모듈과 연계하여 실제로 분석에 필요한 자료들의 항목을 설정해야 함.



〈그림 4-2〉 자료분석 모듈 핵심요소

- 시설 수명주기의 예측은 시설 상태변화를 추적함으로써 가능한데, 얼마간

의 실제 수집 자료를 토대로 해야 함. 반면, 부족한 자료의 양은 모형의 초기 신뢰도에 영향을 줄 수 있으므로 체계의 초기 실행단계에는 일정기간 시험운영 기간을 두어 예측 모형이 제대로 기능을 작동할 때까지 모형의 조율을 위한 노력을 기울여야 함.

- 본 연구에서는 사례분석을 통해 보선시설 중 레일에 대한 하자모형 및 상태 예측모형을 구축하고 레일의 경제수명 예측을 통한 최적 교체주기 산정을 구현함.
- II장 3절 유지보수 비용현황에서 보듯이, 유지보수 비용 차원에서 가장 큰 비중을 차지하는 것은 궤도시설임. 그 중 궤도부분의 생력화(Maintenance Free)에 소요되는 비용이 가장 높음. 생력화를 위해 기존의 자갈 도상을 콘크리트 도상으로 모두 교체하고 나면 실제로 일상적인 궤도 유지보수는 최소화될 것임.
- 반면, 레일은 궤도 생력화가 실현된다 하더라도 지속적인 유지보수 소요가 발생하며 향후 도시철도 시설 중 가장 비용소요가 많은 요소가 될 것임.
- 사례분석을 통해 개발된 모형들은 레일을 대상으로 했다 하더라도, 몇 가지 입력 요소들을 변경한다면 도시철도의 다른 시설물에도 충분히 적용 가능한 일반화 모형임.
- 마지막으로, 시설상태 예측 모형을 통해 파악한 시설별 또는 구간별 평가 결과를 토대로, 최종 의사결정 지원을 위한 여러 가지 방법을 비교 평가해야 함. 시설별 상태 분석 결과에 따라 하나의 최적 의사결정 방법 또는 복수의 방법들을 적용할 수 있음.

3. 단계별 추진 계획

- 도시철도 시설은 크게 토목, 건축, 보선, 전기, 신호, 통신, 기계의 7개 분

야로 나눌 수 있고 또한, 각 분야별로 여러 하부 구성요소를 가짐.

- 도시철도 자산관리체계(AMS)의 궁극적인 목표는 모든 고정시설분야를 포괄한 통합관리체계를 구축하는 것임.
- 차량은 고정시설 이외의 부문으로 나머지 고정시설들과는 기반산업에서부터 차이가 나고 통합관리 하기에는 자체 특수성이 너무 커서 본 연구에서는 대상에서 제외함.
- 통합 도시철도 자산관리체계(AMS)의 단계별 구축 방안은 다음과 같음.
 - 1단계로 우선 각 시설별로 합리적인 관리체계를 구축하는 것이 필요함.
 - 2단계로는 상호 연관이 있는 시설들 간의 관리체계의 통합을 도모할 수 있음. 예를 들면 토목시설(터널, 구조물, 교량 등), 보선시설(레일, 도상 등)의 통합 관리가 가능할 것이고 신호, 통신시설도 통합이 가능할 것임. 또한, 건축, 기계설비시설의 통합관리가 가능함.
- 3단계는 통합의 마지막 단계로 장기적인 관점에서 전체 시설에 대한 자산관리체계(AMS)를 구축하게 됨. 이 때, 각 시설별 유지관리 업무 당사자들 간의 상호 이해와 협조가 필수적이며 그렇지 못할 경우 이러한 통합은 큰 부작용을 낳을 수 있음.
- 본 연구는 1단계 시설별 자산관리체계(AMS) 구축까지 그 방법론을 다루었으며, 사례분석을 통해 보선시설(레일)에 대한 구체적인 관리체계 모형을 제안함.
- 기존 국내 연구사례에 고찰 결과, 지하철 노선개편을 통한 지하철의 효율화 방안은 연구된 사례가 없음.
- 본 절에서는 지하철 효율 증진의 일환으로 수행한 국내 연구들을 간략히 정리하고 해외 유사 사례를 소개하도록 하겠음.
- 국내의 경우, 단일노선에서 급행열차 운행계획을 도입한 바는 있지만, 대부분 1노선 1서비스 개념의 한계를 벗어나지 못함.

- 열차제어체계의 개선에 대해서도 많은 연구가 있어 왔으나 대부분 열차 운전 효율 및 신뢰도(Reliability), 안전성(Safety) 향상 차원에서 연구하였고, 용량증대를 통한 이용승객 서비스 제고 차원에서 다루지 못함.

제 V장 사례 분석

제1절 시설 선정

제2절 모형 구축

제3절 분석모형 적용

제 1 절 시설 선정

- 1단계 도시철도 시설별 자산관리체계(AMS)의 구체적인 실행방안으로 레일의 관리체계 구축을 위한 자료분석 모듈의 구축을 대상으로 정함.
- 단계적으로 모든 도시철도시설에 대한 관리체계구축안을 수립해야 하나 우선, 레일을 본 연구의 사례분석 대상으로 정한 이유는 다음과 같음.
 - 레일이 도시철도 유지보수에서 차지하는 비율이 높고 승객의 안전 및 승차감, 소음 등에 직접적인 관계가 있음.
 - 터널, 교량 등 토목시설 등은 유지보수 수요가 크지 않으며, 관리주체도 도시철도 운영주체와 상이하영 우선적으로 고려하기 힘들.
 - 궤도시설 중 레일을 제외한 도상부분은 현재 콘크리트 도상으로 모두 교체 중에 있으며 이렇게 될 경우 생력화(Maintenance Free)가 이루어져 유지보수 수요가 크지 않을 것으로 예상됨.
 - 기타 전기·신호시설 등은 일상적인 유지보수가 필요하나 레일에 비해 중요도가 낮고 비용소요도 작은 편임.
- 레일관리체계 구축에 있어 필요한 자료분석 단계에 필요한 모형들을 자세히 소개하고 그 결과를 통한 의사결정 방안을 제시함.
- 실제 서울의 도시철도 레일유지관리 자료를 확보하여 구축한 모형을 적용하고 결과를 평가함.

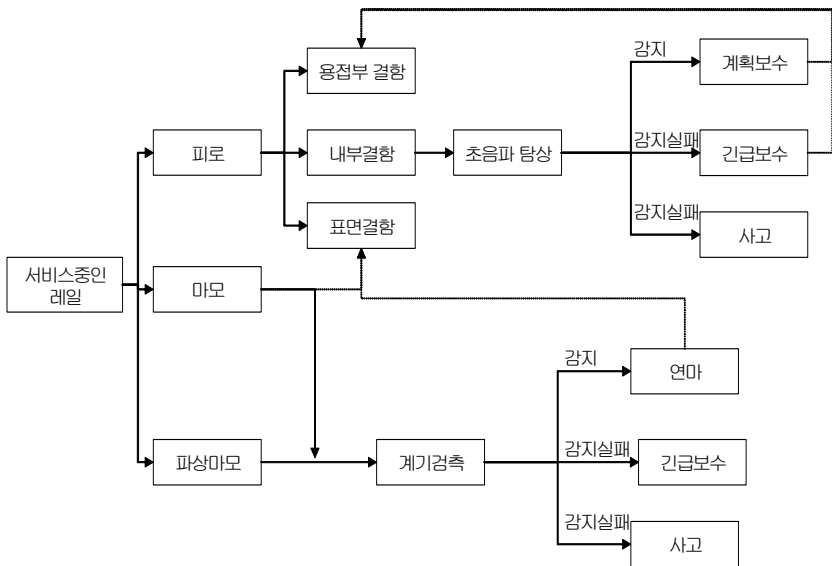
제 2 절 모형구축

- 자료분석 모형에는 크게 레일의 하자발생 위험률을 추정하는 모형과 경제수명을 예측하는 모형이 있음.
- 두 가지 모형에 대한 상세한 설명은 아래와 같음.

1. 하자모형

1.1 레일의 결함과 파손

- 레일의 하자모형을 개발하기 앞서 우선 레일의 결함과 파손의 발생구조와 종류를 파악해야 함.



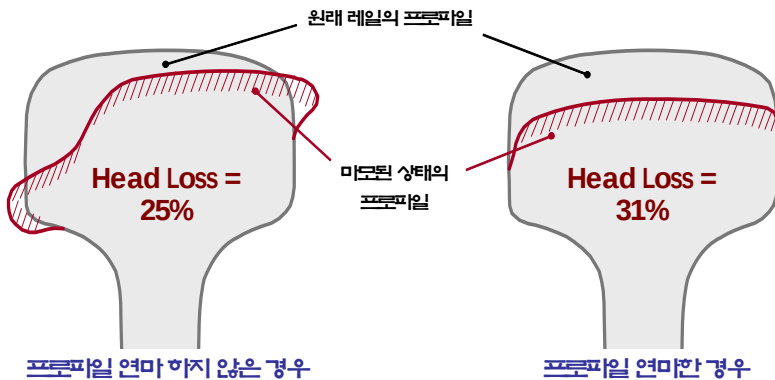
〈그림 5-1〉 레일 하자발생 및 조치

※ 자료: Intl Trans. in Op. Res. 12 (2005)

- 레일의 하자는 열차의 통과톤수가 늘어남에 따른 레일피로에 의한 결함/파손과 마모, 파상마모(코루게이션)로 나눌 수 있음.
- 레일 파손은 피로에 의해 레일 기능이 갑작스럽게 상실된 상태를 나타냄. 여기에는 용접부 결함에 의한 파손, 내부결함으로부터 파손, 전동피로(RCF: Rolling Contact Fatigue)에 의한 표면 크랙으로부터의 파손이 포함됨.
- 일반적으로, 기능적 파손이 일어나기 전에 결함(또는 잠재적 파손)이라 불리는 전이상태가 있음. 용접부 결함 및 표면 결함은 일상적인 점검과 계획 보수에 의해 충분히 관리가 가능한 반면, 레일 내부결함은 초음파 탐상 등을 통해 사전에 감지해서 사고나 긴급보수로 이어지는 것을 막아야 함.
- 탐상에서 감지를 실패한 결함들은 파손으로 발전한 후 궤도회로 등에 의해 발견되어 긴급보수를 요하거나 최악의 경우 탈선사고를 야기할 수 있음.
- 대개 발견된 결함은 유형, 위치, 결함수, 심각도 등에 따라 분류한 후 알맞은 조치를 취하게 됨. 결함은 통상적으로 5m 가량 결함을 포함한 레일을 절단하고 테르밋(ATW) 용접을 통해 교체함으로써 처리됨. 결과적으로, 두 개의 추가 용접부가 생기게 되어 이 또한 향후 용접부로 인한 결함발생 가능성을 높이게 됨.
- 피로에 의한 파손들 외에, 레일 상태를 저하시키는 또 다른 원인은 마모와 파상마모(Corrugation) 임. 이들 또한 유지보수가 필요하며 일정부분 진행되면 레일 갱환이 요구됨.
- 레일의 두부마모와 편마모가 레일마모의 대표 유형임. 편마모는 발생빈도는 높지 않지만 두부 마모에 비해 심각한 영향을 미치고 탈선사고를 유발할 수 있음.
- 파상마모는 레일 상단부에 물결모양의 불규칙 마모가 나타나는 것임. 레

일 마모와 파상마모는 일반적으로 레일의 상태를 검측함으로써 감지되며 발생 시 연마를 통해 원 상태의 레일 모양을 복구함.

- 마모에 의한 결함은 연마를 통해 관리가 가능하므로 본 연구에서는 모형 내에 포함시키지 않음. 곡선 레일의 경우 편마모가 레일 수명에 큰 영향을 주지만, 본 연구의 사례분석은 직선구간에 한하여 적용되므로 이를 배제함. 향후 곡선부 편마모에 대한 하자모형을 고려한 분석이 필요함.
- 연마가 모형 내에서 영향을 주는 부분은 일반적인 마모뿐 아니라, 차륜과 레일의 마찰에 의한 전동피로(RCF)의 표면경화를 제거함으로써 표면 크랙 발생을 억제할 수 있음. 이러한 사전조치를 예방연마라 하며 여러 철도 운영기관에서 채택하고 있고 본 연구에서도 모형에 반영됨.



〈그림 5-2〉 레일 연마 개념도

1.2 결함발생 위험률 예측

- 본 연구에서는 교체, 탐상, 연마 전략 하에서의 피로에 의한 레일파손을 예측하는 하자모형에 주안점을 둬. 마모와 파상마모는 계기검측이 가능하고 연마를 통해 관리가 가능하므로 비용 산정에 쉽게 포함시킬 수 있음.
- 선행연구들에 의하면 레일 피로 결함은 Weibull 분포에 따름을 알 수 있

고 이로부터 누적 통과톤수에 따른 레일의 결함발생 위험률은 식 (5-1)과 같음. 열차의 운행횟수가 시간에 따라 일정할 경우 누적통과톤수는 단순히 시간으로 전환해도 무방하며 모형구축과정을 단순화시킴.

$$\text{누적통과톤수(또는 시간) } t \text{의 결함 위험률} = \left(\frac{\alpha}{\eta}\right)\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\alpha-1} \quad (5-1)$$

α : 형태 파라미터

η : 축척 파라미터

■ 레일 내부결함과 두부 표면크랙결함 발생 위험률 산정모형

○ 용접부 결함을 제외한 레일 내부결함과 두부 표면크랙결함을 유형 B로 명명함.

○ 시간간격 $(t, t+dt)$ 동안 레일의 일정분석구간에서 결함이 발생할 확률은 $1 - e^{-\int_t^{t+dt} \nu_b(\tau) d\tau} = \nu_b(t)dt + o(dt)$ 임.

○ 이때 $o(t)$ 는 dt 의 2차항 이상으로 구성된 함수로서

$\lim_{dt \rightarrow 0} o(dt)/dt = 0$ 가 됨. $\nu_b(t)$ 는 시각 t 에서 분석 레일구간의 유형 B 결함의 발생 위험률임.

■ 연마가 전동피로(RCF)에 의한 표면결함에 미치는 효과

○ 전동피로(RCF)에 의한 레일 표면 크랙을 예측 분석하기 위하여 실험적 또는 수치적 방법을 통한 많은 연구가 수행되었음.

○ 최근에 레일 크랙의 진행과정을 3단계(관측이전단계, 관측 가능한 경미한 상태, 심각한 상태)로 구분한 전체 수명 모형이 개발되었음. 이 모형은 인공연마와 자연마모와 연관된 요인들을 설명하는 시도를 하였음.

- 모형의 적용성을 입증하기 위해 정기적인 연마가 전동피로(RCF)에 의한 표면 크랙의 발생 위험률에 미치는 영향을 분석하였는데 결과는 다음과 같음.

$$\nu_{RCF}(t) = \gamma(q)\lambda_{RCF}(t) \quad (5-2)$$

$\nu_{RCF}(t)$: 연마가 시행되는 조건하의 시각 t 에서 분석구간내의 전동피로(RCF) 결함에 대한 발생 위험률

$\lambda_{RCF}(t)$: 연마가 시행되지 않는 조건하의 시각 t 에서 분석구간내의 전동피로(RCF) 결함에 대한 발생 위험률

q : 연마율, 통과톤수 10(백만톤) 당 연마로 제거되는 깊이

$\gamma(q)$: 레일 두부 표면 크랙이 연마로 제거되지 않는 비율

- 본 연구에서는 RCF에 의한 표면결함을 막기 위한 예방연마가 주기적으로 수행된다고 가정하고, 연마가 RCF 결함에 미치는 효과를 설명하기 위해 식 (5-2)을 적용함.

■ 장대레일의 테르밋 용접부에 대한 결함 모형화

- 일반 피로 결함의 위험률이 레일의 길이에 비례하는 데 반해, ATW 용접부의 위험률은 용접부의 수에 비례함.
- 전형적으로 용접부 결함을 보수하고 나면 한 개의 새로운 용접부가 추가되고, 레일두부 크랙을 제거하면 두개의 용접부가 추가됨. 결과로, 용접부의 파손이 시간에 따라 빠르게 진행될 여지가 있음. 이러한 관계는 확률과정(Stochastic Process) 모형 중 이주 포함 탄생 모형(Birth Process with Immigration)을 통해 용접부 결함수를 예측할 수 있음을 나타냄.

- 레일의 일정구간에 대해 시각 $t=0$ 일 때 용접 개수를 n_0 라 할 때, 시간 간격 $(0, t+dt)$ 동안을 분석함.
- 시간간격 $(t, t+dt)$ 동안 어떤 용접부 하나에서 결함이 발생할 확률은 $1 - e^{-\int_t^{t+dt} \lambda_a(\tau) d\tau} = \lambda_a(t)dt + o(dt)$ 이며, 이때 $o(t)$ 는 dt 의 2차항 이상으로 구성된 함수로서 $\lim_{dt \rightarrow 0} o(dt)/dt = 0$ 가 됨.
- 분석 레일 구간내의 모든 용접부는 동일한 특성을 지니고 각 용접부의 시각 t 에서의 결함 위험률은 각각 같다고 가정함. 그러므로 시간간격 $(t, t+dt)$ 동안 용접 결함을 보수함으로써 생성된 새로운 용접부 수는 이 항분포에 따르게 됨.

$\Pr\{\text{시간 간격 } (t, t+dt) \text{에 } j \text{개의 새로운 용접부 생성}\}$

$$= \binom{k}{j} [\lambda_a(t)dt + o(dt)]^j [1 - \lambda_a(t)dt + o(dt)]^{k-j} \quad (5-3)$$

여기서, $\lambda_a(t)$ 는 시각 t 에서 어떤 한 용접부에 대한 결함 위험률

- 기존 k 개의 용접부로부터 단 하나의 새로운 용접부가 생성될 확률은 $k\lambda_a(t)dt + o(dt)$ 이며, 2개 이상의 용접부가 생겨날 확률은 $o(t)$ 가 됨.
- $p_k(t)$ 를 시각 t 에 분석구간 레일에 k 개의 용접부가 있을 확률이라 하면, 시각 $t+dt$ 에 정확하게 k 개의 용접부가 있을 확률은 상호배제적인 다음 네 가지 경우 중 하나일 수 있음.

- ① 시간간격 $(0, t)$ 동안 k 개의 용접부가 있었고 $(t, t+dt)$ 동안은 용접

부가 추가되지 않았을 경우.

확률은 $p_k(t)[1 - k\lambda_a(t)dt - \nu_b(t)dt + o(dt)]$ 임.

- ② 시간간격 $(0, t)$ 동안 $k-1$ 개의 용접부가 있었고 $(t, t+dt)$ 동안 하나의 용접부가 추가되었을 경우. 새로운 용접부는 기존 용접부의 결함을 보수하면서 생기므로

이 경우 발생확률은 $p_{k-1}(t)[(k-1)\lambda_a(t)dt + o(dt)]$ 임.

- ③ 시간간격 $(0, t)$ 동안 $k-2$ 개의 용접부가 있었고 $(t, t+dt)$ 동안 표면 크랙의 제거를 위해 두 개의 용접부가 추가되었을 경우. 새로운 용접부는 기존 용접부의 결함 보수에 의해서 생겨나므로 이 경우 발생확률은 $p_{k-2}(t)[\nu_b(t)dt + o(dt)]$ 임.

- ④ 위 3가지 경우를 제외한 어떤 경우는 발생확률이 모두 $o(dt)$ 임.

- 위 네 가지 경우 확률을 모두 더하고 $dt \rightarrow 0$ 으로 하면 $k \geq n_0$ 에 대해 다음 식을 도출함.

$$\frac{dp_k(t)}{dt} = -[k\lambda_a(t) + \nu_b(t)]p_k(t) + (k-1)\lambda_a(t)p_{k-1}(t) + \nu_b(t)p_{k-2}(t) \quad (5-4)$$

$k < n_0$ 인 경우 $p_k(t) = 0$ 으로 놓으면, 식 (5-4)은 $k > 0$ 인 모든 경우에 성립함.

- $E_w(t)$ 는 레일 분석구간에 시각 t 에서의 평균 용접부 개수를 나타냄.

$E_w(t) = \sum_{k=n_0}^{\infty} kp_k(t)$ 및 $\sum_{k=n_0}^{\infty} p_k(t) = 1$ 인 사실을 적용하면 시각 t 의 평균 용접부 개수는 식 (5-4)으로부터 유도 가능함.

$$\begin{aligned}
\frac{dE_w(t)}{dt} &= \sum_{k=n_0}^{\infty} k \frac{dp_k(t)}{dt} \\
&= \sum_{k=n_0}^{\infty} -k[k\lambda_a(t) + \nu_b(t)]p_k(t) + \sum_{k=n_0}^{\infty} k(k-1)\lambda_a(t)p_{k-1}(t) + \sum_{k=n_0}^{\infty} k\nu_b(t)p_{k-2}(t) \\
&= \sum_{k=n_0}^{\infty} [-k^2\lambda_a(t) - k\nu_b(t)]p_k(t) + \sum_{k=n_0}^{\infty} k(k+1)\lambda_a(t)p_k(t) + \sum_{k=n_0}^{\infty} (k+2)\nu_b(t)p_k(t) \\
&= \lambda_a(t) \sum_{k=n_0}^{\infty} kp_k(t) + 2\nu_b(t) \sum_{k=n_0}^{\infty} p_k(t) = \lambda_a(t)E_w(t) + 2\nu_b(t)
\end{aligned} \tag{5-5}$$

- 경계조건 $E_w(t) = n_0$ 를 적용하고 상기 미분방정식을 풀면 다음과 같은 결과가 도출됨.

$$E_w(t) = e^{\int_0^t \lambda_a(\tau) d\tau} \left[n_0 + \int_0^t 2\nu_b(\tau) e^{\int_0^{\tau} \lambda_a(x) dx} d\tau \right] \tag{5-6}$$

- 분석구간의 총 용접부 개수와 결함 용접부 개수의 차이는 최초 용접부 개수와 유형 B 결함에 의해 생성된 용접부 개수의 합과 같음.

$$D_w(t) = E_w(t) - 2 \int_0^t \nu_b(\tau) d\tau - n_0 \tag{5-7}$$

여기서, $D_w(t)$: 분석구간에 $(0, t)$ 기간 동안 누적된 용접부 결함수

- 식 (5-7)의 우변의 두 번째 항에서 2를 제외한 적분식은 유형 B 결함 용접부 개수의 기대값임. 결과적으로, 분석 구간 전체에 대한 용접부 파손 위험률 $\nu_a(t)$ 은 $D_w(t)$ 를 t 에 대해 미분함으로써 얻을 수 있음.

$$\nu_a(t) = \lambda_a(t) e^{\int_0^t \lambda_a(\tau) d\tau} \left[n_0 + \int_0^t 2\nu_b(\tau) e^{-\int_0^\tau \lambda_a(x) dx} d\tau \right] \quad (5-8)$$

여기서, $\lambda_a(t)$ 는 식 (5-1)에 의해 산정할 수 있음. $\nu_b(t)$ 는 분석 구간 내의 모든 유형 B 결함의 위험률을 합산함으로써 구할 수 있음.

1.3 불완전 탐상 모형화

- 레일의 내부결함을 탐상하는 것은 초음파에 의한 간접방식을 적용함. 그러므로 완벽한 결함의 탐상은 불가능하며 항상 오차를 수반하게 됨.
- 본 연구에서는 탐상 실패에 대한 불완전탐상을 고려한 파손발생을 모형화함.
- 분석 레일구간에 대해 예정된 일정 $(t_1, t_2, \dots, t_m)$ 에 따라 불완전 탐상이 실시된다고 가정함. 여기서 t_i 는 시간처럼 참조되지만 i 번째 탐상이 수행될 때의 통과톤수를 말함.
- 레일내부에서 생기는 결함은 비동차 포아송 과정(Non-homogeneous Poisson Process)에 따른다고 가정함.
- 탐상 중 어떤 한 결함이 발견되면 즉시, 최소한의 보수를 통해 원상회복된다고 가정함.
- 이로써, 탐상 및 보수업무가 장래 결함 발생에 영향을 주지 않게 됨.
- 레일 내부 결함은 비동차 포아송 과정(Non-homogeneous Poisson Process)에 따름.
- 어떤 결함이 처음 발생된 후 기능적 파손에 이르기까지의 소요시간을 P-F 시간간격 이라 하고 이 간격은 최초 결함발생 시각과는 독립이라고 가정함.

- 특정 유형의 파손 j 에 대한 (t_{i-1}, t_i) 동안의 파손 개수는 다음 두 가지 원인요소에 의해 결정됨.

① (t_{i-1}, t_i) 동안 발생한 결함 개수

② (t_{i-1}, t_i) 시간대 이전에 발생한 결함 개수

- Parzan의 연구에 의하면, 위 ①번 원인의 파손 개수 F_1 의 기대값을 다음과 같이 추정함.

$$F_1 = \int_{t_{i-1}}^{t_i} \nu_j(\tau) G_j(t_i - \tau) d\tau \quad (5-9)$$

$\nu_j(t)$: 분석 구간에 대해 시각 t 에서 j 종류의 결함에 대한 위험률

- 시간간격 (t_{i-1}, t_i) 동안의 파손들은 $1 \leq k \leq i$ 인 이전 시간간격 (t_{k-1}, t_k) 에 발생한 결함들에서 기인할 수도 있다는 점을 주목해야 함. 이 결함들은 파손에 이르기 전에 이미 $i-k$ 번의 탐상을 겪었기 때문에, 시간간격 (t_{k-1}, t_k) 에 발생한 결함에 기인한 파손개수 F_{i-k+1} 의 기대값은 다음과 같이 주어짐.

$$F_{i-k+1} = (1 - \beta_j)^{i-k} \int_{t_{k-1}}^{t_k} \nu_j(\tau) [G_j(t_i - \tau) - G_j(t_{i-1} - \tau)] d\tau \quad (5-10)$$

- $\Lambda_j(t_{i-1}, t_i)$ 를 (t_{i-1}, t_i) 동안의 유형 j 파손의 평균 개수라 하면 식 (5-9)와 식 (5-10)은 다음과 같이 축약됨.

$$\Lambda_j(t_{i-1}, t_i) = \sum_{k=1}^i \left\{ (1 - \beta_j)^{i-k} \int_{t_{k-1}}^{t_k} \nu_j(\tau) [G_j(t_i - \tau) - G_j(t_{i-1} - \tau)] d\tau \right\}$$

(5-11)

- $G(\bullet)$ 는 $t \geq 0$ 의 경우 P-F 시간간격의 누적 확률 밀도함수임. 그러므로 식 (5-11)에서 $k = i$ 이면 $\tau \geq t_{i-1}$ 에 대해서 $G(t_{i-1} - \tau) = 0$ 임. β_j 는 j 유형의 파손이 탐상될 확률이고 현재 기준치 값을 적용할 수 있음.
- 레일에 h 가지 유형의 파손이 있다고 가정할 때, 분석구간에 대해 기간 $(0, T)$ 동안의 총 파손수의 평균 $N_f(T)$ 은 다음과 같이 주어짐.

$$\begin{aligned} N_f(T) &= \sum_{j=1}^h \sum_{i=1}^{m+1} \Lambda_j(t_{i-1}, t_i) \\ &= \sum_{j=1}^h \sum_{i=1}^{m+1} \sum_{k=1}^i \left\{ (1 - \beta_j)^{i-k} \int_{t_{k-1}}^{t_k} \nu_j(\tau) [G_j(t_i - \tau) - G_j(t_{i-1} - \tau)] d\tau \right\} \end{aligned} \quad (5-12)$$

여기서, m 은 기간 $(0, T)$ 동안의 탐상횟수이므로 $t_{m+1} = T$ 가 됨.

- 주기적 탐상의 경우, i 번째 탐상 시점은 다음과 같음.

$$t_i = i s_I \quad (5-13)$$

여기서, s_I 는 탐상 주기임.

- 제안된 모형은 주기적 탐상, 부정기적 탐상 모두를 고려할 수 있음. 또한, 이 모형은 제안가정들만 충족된다면, 어떤 하위 시스템이든지 적용이 가능하며 다른 시설에도 적용이 가능함(예: 차량, 침목, 신호장비 등).

2. 경제수명 예측모형

- 레일의 경제수명은 레일의 생애주기비용(LCC: Life Cycle Cost)을 고려함으로써 분석이 됨.
- 레일의 생애주기는 잇따른 갱환 사이의 통과 톤수로 나타낼 수 있음.
- 비용부문은 탐상, 계측, 보수(연마 및 부분교체), 사고, 갱환과 관련하여 발생함. 각각의 비용은 다음과 같음.

2.1 탐상/계측 비용

- 레일의 결함(잠재적인 파손)들은 탐상 및 계측을 통해 감지가 가능함. 탐상은 피로에 의한 파손을 감지하며 기간 T 동안의 비용은 $c_I T / s_I$ 로 산정할 수 있음. 여기서 c_I 는 탐상 주기 한 번에 따른 탐상비용임.
- 계측을 통해서서는 레일의 마모와 파상마모를 측정하지만, 이뿐 아니라 궤도 전반의 하자를 검측하는 기능도 수행함. 그러므로 계측 주기의 결정은 레일 외의 다른 요소에 의해서도 영향을 받음.
- 본 연구에서는 계측은 일정한 주기를 가지고 정기적으로 실시하는 것으로 가정하며, 여기에 관련된 비용이 레일의 경제수명 결정에 영향을 미치지 않는다고 가정함.

2.2 보수 및 사고처리 비용

- 탐상을 통해 결함이 발견되면, 발견된 결함들은 계획보수를 통해 제거될 수 있음. $(0, T)$ 기간 동안의 이와 관련된 비용은 $c_d N_d(T)$ 임. 이때, c_d

는 탐상을 통해 발견된 결함의 보수비용이고, $N_d(T)$ 는 $(0, T)$ 기간 동안 탐상에 의해 감지된 결함 개수의 기대치이며 다음과 같이 주어짐.

$$N_d(T) = \sum_{i=1}^n \left[\int_0^T \nu_i(t) dt \right] - N_f(T) \quad (5-14)$$

- 결함들이 탐상에 의해 발견되지 않는다면, 긴급보수가 일어나거나 최악의 경우 사고(탈선)로 이어짐.
- 마모나 파상마모에 의한 사고 확률은 미비하므로 모형에서 제외하므로, 발견되지 못한 결함에 의한 비용소요는 $[(1-\varepsilon)c_f + \varepsilon c_x]N_f(T)$ 가 됨.
여기서, ε 는 파손에 의해 사고가 발생할 확률이고, c_f 는 손상발생 시 복구비용, c_x 는 열차탈선 처리비용임. 열차탈선 처리비용은 분명히 사고의 종류와 정도에 따라 다르지만, 본 연구에서는 평균 비용을 산정하여 적용함.
- 결함 감지 실패에 대한 또 다른 예방조치는 연마임. 주기적 예방연마의 총 비용은 $c_g T / s_g$ 임. s_g 는 연마주기 c_g 는 연마 비용을 의미함.

2.3 레일 갱환비용

- 레일의 생애주기 동안 갱환은 1번 일어난다고 볼 수 있음. 따라서 갱환비용은 c_R 로 간단히 설정할 수 있음.

2.4 레일의 경제수명 평가

- 선행 연구들에 의하면 단위 통과톤수(백만톤)에 대한 레일의 생애주기비

용(LCC)은 다음과 같이 주어짐.

$$C(T) = \left\{ c_R + \frac{c_I T}{s_I} + \frac{c_g T}{s_g} + [(1-\varepsilon)c_f + \varepsilon c_x] N_f(T) + c_d N_d(T) \right\} \frac{1}{T} \quad (5-15)$$

- 레일의 경제수명 T^* 은 단위 통과톤수 당 생애주기비용(LCC)을 최소화하는 통과톤수로 산정함. 즉, T^* 는 다음 조건을 만족함.

$$\frac{\partial C(T)}{\partial T} = 0 \quad (5-16)$$

2.5 레일의 경제수명 추정 절차

- 식 (5-1)을 적용하여 용접부에 대한 결함 위험률 $\lambda_t(t)$ 를 결정함.
- 식 (5-1)을 이용해서 분석구간에 대해 기타 유형의 결함 위험률 $\nu_j(t)$ 및 피로원인 결함 종류별 위험률을 계산하고 피로결함 위험률을 합산하여 $\nu_b(t)$ 를 계산함.
- 식 (5-8)을 이용하여 분석 구간에 대한 용접 결함 위험률 $\nu_a(t)$ 를 계산함.
- 식 (5-11)와 (5-12)를 통해 $(0, T)$ 기간 동안의 파손 및 결함 개수의 기대치를 예측함.
- 식 (5-15)를 이용하여 단위 통과톤수 당 생애주기비용(LCC)을 추정함.
- 식 (5-16)을 통해 생애주기비용(LCC)을 최소화하는 레일의 경제수명을 찾음.

제 3 절 분석모형 적용

1. 기초자료 구성

- 레일의 하자 발생 및 진전 모형 및 수명예측 모형의 적용을 위한 기초 자료는 다음과 같은 항목을 필요로 함.
- 레일단가 (원/km, 1본=20m 기준)
 - 50kg 레일(측선) : $987,000\text{원} \times 100\text{본} = 98,700\text{천원}$
 - 60kg 레일(본선) : $1,438,400\text{원} \times 100\text{본} = 143,840\text{천원}$
- 레일 마모 발생 시 연마 비용 : km당 6,620천원
- 레일 파손 시 (균열, 절손 시 등) 레일교체 비용
 - 50kg 레일(측선) : 719천원 / km
 - 60kg 레일(본선) : 959천원 / km
- 영업선 탈선사고 평균처리비용 (원/사고)
 - 탈선사고 처리비용은 사고 시 피해 정도에 따라 비용 차이가 많이 나타남.
 - 국내에는 자료가 없고 영국 자료에 의하면 사고 당 2.72백만 파운드(약 48억원)임.
- 레일 마모에 의한 레일 교체 기준: 마모량
 - 50kg 레일(측선) : 13(15) mm
 - 60kg 레일(본선) : 15(18) mm

- 레일 탐상주기 (통과톤수 또는 기간) : 년 5.6회(각 960, 800만 톤)
- 레일 연마주기 (통과톤수 또는 기간)는 <표 5-1>과 같음.

<표 5-1> 레일 연마주기

구분	곡선반경	궤도연장	열차 통과톤수	연 마 주 기	비 고
계	—	277km	—	—	
1	역 / 교량	104km	1천5백만 ~ 2천5백만 톤	매 4 ~ 6개월 마다	
2	R300 이하	26km	1천5백만 ~ 2천5백만 톤	매 4 ~ 6개월 마다	
3	R300~500	36km	3천만 ~ 4천만 톤	매 7 ~ 10개월 마다	
4	R500 이상	111km	6천만 ~ 1억 톤	매 14 ~ 24개월 마다	

※ 자료: 스펜노(SPENO)사 추천 작업 기준

- 1회 레일탐상 시 km당 평균소요비용 (원/km) : 374천원
- 1회 레일검측 시 km당 평균소요비용 (원/km) : 60천원
- 1회 레일연마 시 km당 평균소요비용 (원/km) : 6,620천원
- 레일 연마를 하더라도 레일 두부표면 크랙이 없어지지 않을 확률
 - 크랙의 깊이 및 크기에 따라 연마작업 시 연마 패스수 조정으로 제거가능
 - 1회(Pass) 연마 작업 시 삭정량이 0.02mm이므로 레일 크랙 깊이에 따라 연마 작업량이 다르게 나타남.
 - 연마주기 및 연마 Pass수에 따라 제거 가능하므로 위 확률은 0으로 가정함.

2. 모형 적용

- 매년 50백만톤의 통과톤수를 갖는 1km 구간의 직선 레일을 대상으로 함.
- 결함 발생 모형 및 비용 파라미터 관련 기초자료는 대부분 선행연구에서 제시한 수치를 기반으로 함.
- 결함에서 파손까지 지연시간은 지수분포라 가정하였고 P-F 시간간격의 평균값은 선행연구를 참조하였음. 결함 관련 파라미터들은 <표 5-2>에, 비용 관련 원단위는 <표 5-3>에 표시하였음.
- 레일내부결함/표면결함(B 유형) 중 유유/좌유 및 종렬/횡렬은 장대레일에 있어 각각 레일 표면과 내부결함을 대표하므로 주 고려 대상이 됨.

<표 5-2> 결함종류별 모형 파라미터(본선 60kg 레일 기준)

결함		α	η (백만톤)	P-F 주기 (백만톤)	β_j
용접부 결함		0.8	315.8	10	0.7
유형B 결함	내부결함	1.5	191.8	5	0.6
	표면박리/균열	2.0	182.3	7	0.7
기타결함		1.8	286.6	10	0.7

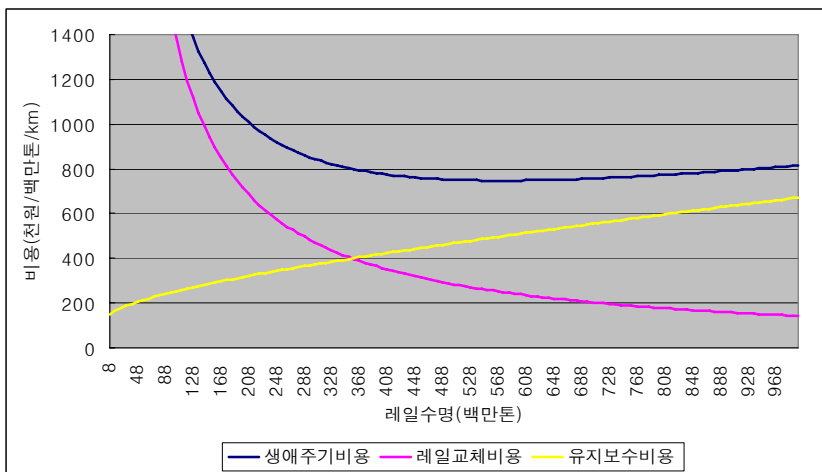
<표 5-3> 비용관련 모형 파라미터(본선 60kg 레일 기준)

C_R (백만원/km)	C_f (천원/파손)	C_d (천원/결함)	C_I (천원/km)	C_X (백만원)
143	6,839	959	374	4800

C_g (천원/km)	n_0	ε	$\gamma(q)$	S_g (백만톤)	S_I (백만톤)
6,620	22	5.56E-04	0	80	8

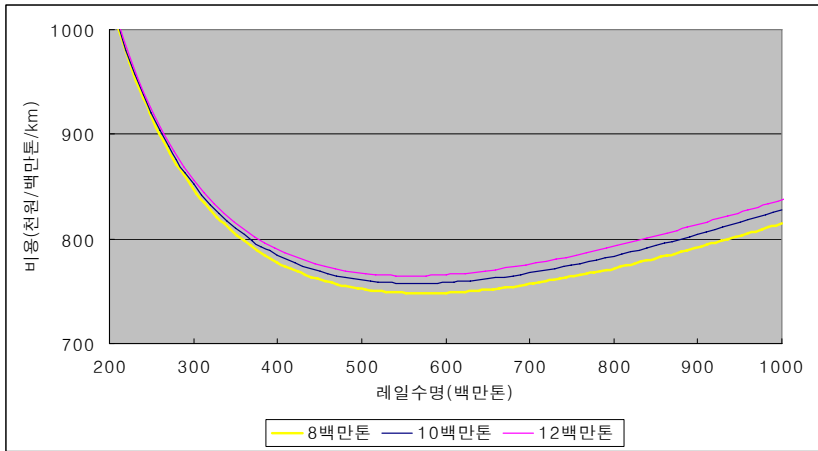
주: C_R : 레일 교체비용, C_f : 레일 파손 시 긴급복구비용,
 C_d : 레일결손 탐상 시 보수비용, C_I : 레일 탐상비용,
 C_X : 탈선사고 처리 비용, C_g : 레일 연마비용,
 n_0 : 분석 구간 내 최초 용접부 개수,
 ε : 레일 파손에 의해 탈선사고가 일어날 확률,
 $\gamma(q)$: 연마율 q 로 연마할 경우 표면 결함이 해결되지 않을 확률,
 S_g : 연마주기, S_I : 탐상주기

- 생애주기비용(LCC) 및 제반 비용들은 연간 6회 탐상에 기반한 결과이며 <그림 5-3>에 나타냄.
- 구축된 모형에 의해 분석한 결과, 레일의 경제수명은 616백만톤이고 최소 생애주기비용(LCC)는 749(천원/백만톤/km) 인 것으로 분석됨. 이는 현재 기준인 600백만톤을 반영하므로 본 분석의 가정과 모형의 설명력이 현실성이 있다고 판단됨.

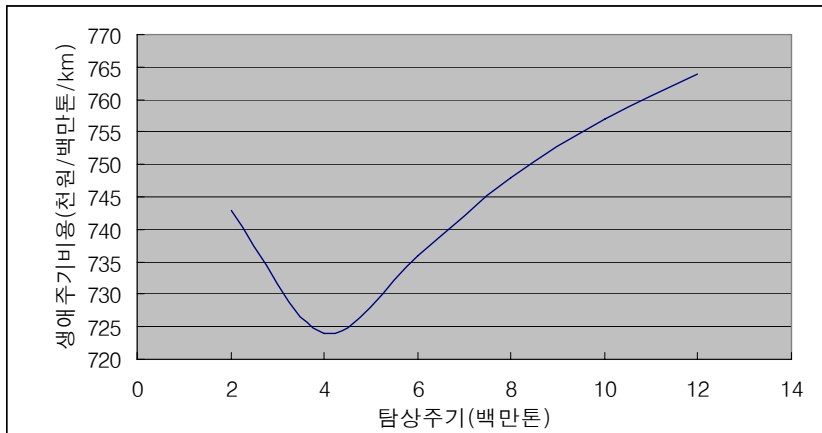


<그림 5-3> 레일 경제수명 분석결과

- 레일의 서비스 수명이 길어질수록 생애주기에 따른 레일 갱환비용은 감소하고, 누적 보수비용과 사고손실 기대치는 레일의 수명이 경제수명을 초과하면 커지게 됨.
- 반면, 생애주기비용(LCC) 곡선은 최소값 부근에서 매우 완만한 변화 특성을 보임.
- 또한, 본 분석결과에 의하면 700(백만톤)으로 레일의 수명을 연장하더라도 레일의 생애주기비용은 757(천원/백만톤/km)으로 최소치 대비 1%까지 밖에 증가하지 않는 것을 알 수 있음.
- 경제수명에 대한 넓은 대역폭은 레일 갱환계획 및 시행에 유연성을 제공한다. 이렇게 경제수명 폭이 넓은 것은 탐상 등을 통한 예방관리가 레일파손을 제어했기 때문인 것으로 판단됨.
- 〈그림 5-4〉는 탐상주기를 8백만톤에서 10백만톤, 12백만톤으로 늘였을 때, 경제수명의 완만한 정체폭이 좁아짐을 보여줌.
- 탐상 횟수가 레일의 경제수명에 미치는 영향을 〈그림 5-4〉에 나타냄. 탐상주기가 12백만톤인 경우 최소 경제수명은 552(백만톤), 생애주기비용(LCC)는 764(천원/백만톤/km)인 반면, 8백만톤의 경우는 경제수명은 616(백만톤), 생애주기비용(LCC)는 749(천원/백만톤/km)임. 이는 탐상주기가 레일의 생애주기비용(LCC) 결정에 상당한 영향을 미치며, 잦은 탐상이 경제수명을 연장시킨다는 것을 보여줌.



〈그림 5-4〉 탐상주기에 따른 생애주기 비용



〈그림 5-5〉 최적탐상주기

- 생애주기비용(LCC)에 대한 탐상빈도의 영향은 〈그림 5-5〉에 나타냄. 이 경우, 가장 경제적인 탐상 주기는 4.2(백만톤)임. 이보다 더 잦은 탐상은 탐상비용의 증가가 유지보수비용의 감소분 보다 커져서 생애주기비용

(LCC)을 증가시킴.

- 탐상주기를 연장한다면, 파손으로 인한 비용이 탐상비용 감소분으로 상쇄되지 않을 정도로 커지게 되고, 또한 생애주기비용(LCC)을 증가시킴. 제안된 모형이 최적 탐상전략을 짚는 데에도 유용함을 알 수 있음.
- 단, 모형에서 고려하지 않은 탐상기계 추가구입비용을 포함한다면 최적 탐상주기는 증가할 여지가 큼.
- 제안된 모형은 또한, 레일 재료의 개선을 통해 레일 피로수명의 연장에 따른 편익을 분석할 수 있음. 예를 들어, 각 파손종류별로 파손까지 소요되는 평균기간(MTTF: Mean Time To Failure)이 10% 증가해서 갱환비용 및 보수비용이 모두 5%씩 증가할 경우 생애주기비용(LCC)은 4.9% 절감됨. 그러나 실제에서는 파손 종류에 따라 레일 재료의 개선이 MTTF에 미치는 영향이 다르게 나타남. 즉, 어떤 파손들은 상당히 줄어들지만 또 다른 파손은 그렇지 않은 경우가 발생함. 철저한 분석을 위해서는 실험 자료나 현장자료가 필요함.
- 각각의 모형 파라미터들을 10%씩 증감시켜서 그 파라미터의 효과를 분석하는 민감도 분석을 수행하였음. 모형을 통해 모든 변동에 대한 레일의 경제수명 도출이 확보됨을 확인하였음.

〈표 5-4〉 파라미터 민감도 순위

파라미터	경제수명에 미치는 영향력 순위	
	파라미터 감소 시	파라미터 증가 시
α	1(+)	3(-)
η	2(-)	1(+)
c_R	3(-)	2(+)
s_I	4(+)	5(-)
β	6(-)	4(+)
c_f	5(+)	6(-)

- 민감도 분석결과, 레일의 경제수명에 가장 영향이 큰 파라미터별로 순위를 매기면 결과는 <표 5-4>와 같음. 괄호안의 부호는 경제수명의 변화방향을 나타냄.
- 결함 위험률 함수의 형태 파라미터가 가장 영향이 큰 것으로 나타남. 용접과 관련된 파라미터들이 다른 파라미터들에 비해 레일의 경제수명 산정에 영향이 큰 것으로 나타남.
- 제반 비용 승수들 중에서는 레일 갱환비용에 따라 모형결과가 민감한 것으로 나타남.

3. 사례분석결과

- 용접부의 결함, 연마, 탐상 및 계측 등을 통합한 레일의 경제수명 평가모형을 현재 서울지하철 현황에 적용하였음.
- 레일의 유지보수가 파손의 발생과 생애주기비용(LCC)에 미치는 영향을 보여줌.
- 레일 서비스 수명이 경제수명을 초과하면 유지보수 비용 및 사고손실 기대치가 급격히 커지는 반면, 레일의 평균 갱환 비용은 통과톤수로 표시되는 레일의 생애주기가 늘어남에 따라 감소함.
- 그러므로, 레일의 경제수명이 도출될 수 있으며, 이는 두 개의 반대되는 변동의 균형을 의미함.
- 적용한 모형으로 유지보수가 레일의 경제수명 및 생애주기비용(LCC)에 미치는 영향을 분석하였음.
- 결과로부터 탐상 빈도가 레일의 생애주기비용(LCC)에 상당한 영향을 미침을 알 수 있음. 즉, 탐상 횟수가 증가할수록 경제수명은 연장됨. 이는 제안된 모형이 레일 탐상의 최적 주기를 도출하는데도 이용할 수 있음을 나

타냄.

- 모형의 민감도 분석 결과, 어떠한 파라미터 변동에도 경제수명 도출은 확보되는 것으로 나타남.
- 장대레일의 용접부 결함에 초점이 맞추어 지기는 하였으나, 다른 결함종류에도 충분히 적용 가능한 방법론을 제시하였음. 또한, 모형을 통해 레일의 경제수명을 예측할 수 있게 되었음. 실제 레일 갱환에 있어서는, 레일 조건, 경제수명, 물리적 수명 및 전체 운영차원의 준비 등과 같은 모든 관련요소들을 통합 고려한 후 결정을 내려야 함.

제Ⅵ장 결론 및 정책 건의

- 현재 일상점검 및 주기적 관리에 의존하고 있는 서울시 도시철도 시설 유지관리에 대해 자산관리체계(AMS) 도입을 제안함.
- 자산관리체계(AMS)는 5가지 핵심모듈로 구성되는데 이 중 자료의 수집 및 저장과 자료분석이 핵심이 됨.
 - 자료수집 모듈: 시설의 상태관련정보를 지속적으로 수집하는 기능을 수행함.
 - 자료분석 모듈: 수집된 상태관련 자료를 통해 현재의 시설상태를 추정하고 장래 상태를 예측함.
 - 자료저장 모듈: 자료 수집 및 분석 결과를 데이터베이스에 저장 관리하는 기능을 수행함.
 - 의사결정 지원 모듈: 분석된 결과를 토대로 의사결정자에게 유지보수 조치안을 권고하는 기능을 수행함.
 - 실행 모듈: 도출된 권고안을 바탕으로 적정 유지보수 조치를 실행하는 기능을 수행함.
- 도시철도 시설 분야에 자산관리체계(AMS)를 도입해야한다는 필요성 및 도입 시 어떠한 편익이 얼마만큼 발생하는지에 대한 연구는 이미 무수히 많은 선행 연구들에 의해 충분히 강조되어 왔고, 이를 도입하기위해 어떠한 문제점이 있는지에 대해서도 구체적으로 논의되어 왔음.
- 반면, 자산관리체계(AMS)를 적용하기위해 필수적인 도시철도 시설분야의 기술부문은 연구된 바가 드문 실정임.
- 본 연구는 자산관리체계를 도시철도 시설분야에 적용하기 위한 두 가지 핵심 모듈, 즉 자료 수집 및 저장, 자료 분석에 대한 구체적인 연구를 수행하였음.

- 특히, 자료분석 부문에 대해 실제 서울시 도시철도 레일시설을 대상으로 유지관리 자료를 확보하여 모형을 개발, 정산하고 성능을 평가하였음.
- 구체적으로, 시설의 하자발생 구조를 모형화하여 최적 경제수명을 찾는 방법론을 제시하고 실제 자료를 바탕으로 검증하였음.
- 분석결과, 레일 뿐 아니라 다른 어떠한 시설에도 이식이 가능한 현실성 있는 경제수명을 도출모형을 구축하였음.
- 본 연구결과를 토대로, 향후 레일관리체계 구축을 실현하고 더 나아가 도시철도 시설에 대한 2단계 및 3단계 통합 자산관리체계(AMS) 구축하기 위해서는 또한, 도시철도 시설의 관리 단위별 도면 및 보수이력에 대한 데이터베이스 구축이 시급함.
- 이러한 체계적인 자료가 축적되지 못하면 도시철도 시설에 대한 효율적인 유지관리는 실현할 수 없음. 자료수집 및 저장체계의 준비는 많은 시간과 비용을 요구하므로 단기적으로 성과가 드러나지 않을 수 있음.
- 서울시는 도시철도 운영기관을 통해 이러한 부분에 대한 중요성을 인식시키고 빠른 시일 내에 도시철도 시설에 대한 자료 수집 및 저장체계 구축사업을 시작하는 것이 바람직할 것으로 판단됨.

參 考 文 獻

참고문헌

- 박기준, 안태기, 신정렬, “도시철도 유지보수체계 표준화 및 정보화에 대한 연구”, 한국철도학회, 2006
- 손기민, “서울시 지하철 노선개편방안”, 서울시정개발연구원, 2005
- 서사범, “유지보수의 입장에서 본 궤도기술의 현상과 과제”, 한국철도학회 5권 제2호, 2002
- 서승일, “철도시스템의 RAMS 관리체계”, 한국철도학회 8권 제1호, 2005
- 서울시 지하철건설본부, “도시철도 기술자료집”, 2004
- 이호영, 박기준, 안태기, 김길동, 한석운, 이승일, “도시철도 유지보수체계 시스템의 RAMS에 대한 연구”, 한국철도기술연구원
- 한국철도기술연구원, “도시철도 유지보수체계 표준화/정보화 연구”, 2003
- 한국철도선로기술협회, “레일연마의 효과 및 경제성분석”, 2004

- J. Zhao, A. H. C. Chan, C. Roberts, and A. B. Stirling, "Assesing the economic life of rail using a stochastic analysis of failures", Proc. IMechE Vol. 220 Part F: J. of Rail Rapid Transit, 2006
- G. Chattopadhyay, V. Reddy and P.-O. Larsson-Kraik, "Decision on economical rail grinding interval for controlling rolling contact fatigue", Intl. Trans. on Op. Res., 2005

- Toji Hayase, "Approach to cost reduction in the research & development department", JR EAST Technical Review No. 6
- Vu Thanh, "Final report of cost modelling for railway maintenance and renewal", University of Birmingham and Manchester Metropolitan University, 2003
- C. Meier-Hirmer, A. Senne, G. Riboulet, F. Sourget, and M. Roussignol, "A decision support system for track maintenance", Computers in Railways X, 2006
- Chih-Hsuing Wang, Ruey Huei Yeo, and Peitsang Wu, "Optimal production time and number of maintenance actions for an imperfect production system under equal-interval maintenance policy", Journal of Operation Research Society, 2006
- Carl D. Martland, Sue Mcneil, Dharma Acharya, and Rabi Mishalani, "Applications of Expert system in railroad maintenance: Scheduling Rail Relays", Transportation Research Part A, Vol. 24A, 1990
- T. Selig and J. Kasper, "Prioritized Rail Corridor Asset Management", Computers in Railways X, 2006
- Nick Clarke, "Asset management and monitoring", Tessella Support Services PLC., 2005
- Noah Eckhouse, "Prioritized linear asset management for rail", TRB Asset Management Conference, 2005

Operation on maintenance of urban railway

<u>Project Number</u>	SDI 2006-R-10
<u>Research Staff</u>	Keemin Sohn (in Charge) Daehyun Kim Dohyoung Jo

Fixed facility in urban railways can be categorized into three main parts such as the civil structures, track-related facility, and others such as train signal and electricity supply. The civil structures include tunnels, bridges and stations etc. The track-related facilities are comprised of rail, subgrade and sleeper. Such fixed facilities in Seoul metro have been maintained through simple schemes depending on the simple cyclic investigation or post-incident maintenance, whereas the maintenance for rolling stocks already employed advanced technologies, a representative of which is RAMS (Reliability, Availability, Maintenance, and Safety). Thus, many experts engaged in railway industry recently focused on the introduction of the advanced technology into maintaining the fixed facilities of urban railways. They have insisted on the immediate adoption of the asset management system (AMS) and emphasized its potential benefit within urban railways. However, the practical way in which the AMS can be employed to urban railways has been rarely found in literatures. Under the consideration that this is due to the lack of understanding of the essence of AMS, this study addressed each composition module of AMS in detail. As a result, it was found that two modules played a key role in applying AMS to urban railways. The data management and analysis modules are most important for the successful implementation of AMS in urban railways.

The data management module is a core of AMS because any transaction in AMS cannot be implemented without referencing to the data storage which stores information on the current and past state of facilities and the maintenance history. A new framework for storing and retrieving the data was developed to streamline data flows. In order to enhance the capability of the framework, two key technologies were emphasized in this study. The geometric information system (GIS) can help the framework to refer to facilities interspersed throughout the railway system. The device like personal data assistant (PDA) also makes it much easier for inspectors to report the state of facilities in site. A lot of time

and cost is entailed in establishing the data management module with such technologies.

The data analysis module is another one that should be delved into in great detail. Actually, little effort has been made with regard to this, so it is hard to find the realization of acceptable AMS in Seoul metro. The module is in direct relation to implementing the optimal maintenance strategy. It consists of two models dealing with the defect and life-cycle of facilities, respectively. The defect model describes the frequency of occurring defects and the duration from initiation of a defect to a functional failure. The more the model is robust the more realistic the optimal maintenance strategy, because the defect model provides an input to the life-cycle model yielding optimal maintenance strategies. Vast amount of historical data regarding past maintenance of the railway facilities is needed to calibrate and update the defect model. The life-cycle model derives the economical life span of a facility by minimizing the facility's life-cycle cost associated to inspection, maintenance, and renewal.

The developed models were tested by using data from the rail in case study. The reason why the rail facility was chosen is that its maintenance cost is biggest and then the proportion reaches a quarter of total operating cost in urban railways as can be seen in the survey of JR corporation (the statistics for Seoul metro is not available). Defects due to fatigue, welding, and wear were taken into account in the model. Especially, the rolling contact fatigue was carefully treated because it has a great effect on rail failures. As a result, the economical life span (=renewal interval) of rail was found to be 616 million passing tons. To a certain extent, this is consistent with the existing standard (600 million tons) adopted in Seoul metro. On the other hand, there was a small difference (less than 1%) between the minimum life-cycle cost at 616 million passing tons and the life-cycle cost at 700 million tons. The result provides the rationale for increasing the standard up to 700 million tons, as agencies responsible for operating the Seoul metro have continuously claimed the amendment. The optimal inspection interval was also determined to be 4.2 million passing tons. This seems somewhat too frequent. However, if the cost for purchasing additional inspection machines was taken into account, the model would yield a longer interval. The sensitivity analysis was also conducted to identify which factor has the greatest impact on the economical life cycle and the inspection interval. Parameters in the defect model, which describe how a defect occurs and then proceeds, were proved to be most important. The life-cycle model developed in this study thus can be transplanted to any other railway facility, provided that an appropriate defect

model is available.

It is confirmed that the asset management system (AMS) should be introduced to maintain fixed facilities of Seoul metro. Seoul metropolitan government is urged to invest resources in establishing the data management module, which would cost much more otherwise. The data analysis model for each railway facility should be developed by experts and continuously tested in real world maintenance in order to acquire the maximum benefit from AMS in urban railways.

Table of Contents

Chapter 1 Introduction

1. General Background
2. Study Purpose
3. Study Scope

Chapter 2 Current State of maintenance on Seoul Metro

1. Facilities
2. Maintenance work-flow
3. Maintenance cost

Chapter 3 Review of streamlining the maintenance of facilities

1. Asset management system
2. Rail asset Management system

Chapter 4 Approach to introduce AMS into urban railways

1. Difficulties in introducing AMS into urban railways
2. Application of AMS to urban railways

Chapter 5 Case study

1. Subject of case study
2. Model set-up
3. Model validation

Chapter 6 Conclusions and Suggestions

시정연 2006-R-10

서울시 도시철도 유지관리 운영방안 연구

발 행 인 강 만 수

발 행 일 2006 년 12 월 31 일

발 행 처 서울시정개발연구원

137-071 서울시 서초구 서초동 391번지

전화 (02)2149-1104 팩스 (02)2149-1120

값 5000

ISBN 89-8052-490-0-93530

본 출판물의 판권은 서울시정개발연구원에 속합니다.