

## 고속전차선로 상세설계 소프트웨어 개발(I) - 전주설계를 중심으로 -

### A Development of a Detail Design Software for High-speed Catenary System(I)

이기원<sup>1</sup> · 김주락<sup>1</sup> · 권삼영<sup>2</sup> · 창상훈<sup>2</sup>

Kiwon Lee · Joorak Kim · Sam-Young Kwon · Sang-Hoon Chang

#### Abstract

This study presents a development of DeCatS(Detail Design of High Speed Catenary System) which is a software to design high speed catenary system automatically. The program is developed by Korea Railroad Research Institute with the support of KHSR. A process of developing it and a comparison with LEXCAT, in order to demonstrate a preciseness of that, were performed. In the program, decision of H-beam, cantilever fitting, management of materials, automatic drawing and etc. according to input conditions can be accomplished. In this study, especially the program algorithm for the decision of mast was introduced.

**Keywords :** Detail Design(상세설계), Catenary(전차선로), Mast(전주)

#### 1. 서론

경부고속철도는 고속철도 선진국인 프랑스 TGV 시스템을 도입하여 건설되며 그 중에서 전차선로분야는 차량 및 신호분야 등과 함께 코어시스템으로 분류되어 프랑스에서 기본적인 설계내용을 제공하여 건설되고 있다. 따라서, 경부고속철도 이후에 고속철도의 건설이 이루어질 경우 국내의 기술로 완전히 이전 혹은 개발된 분야만이 외국 기술에서의 종속을 벗어날 수 있을 것이다. 국내에 처음 도입되는 고속철도 전차선로는 그 중요성과 함께 이미 핵심적인 설계기술을 분석하여 독자적인 설계기술을 확립하기 위한 연구가 진행되었다[1-3]. 본 연구의 목적은 국내 시스템과 상이한 특성을 가지고 있는 고속철도용 전차선로의 설계를 위한 요소기술의 개발과 이의 적용에 있다.

전차선로 시스템은 전기차에 구동에너지인 전기를 공급하여 주기 위한 설비들의 집합체를 이르는 것이며, 시스템은 전주, 가동 브라켓트, 각종 전선류, 금구류 및 장치 등으

로 구성되어 있다. 이 설비들은 기계적 혹은 전기적으로 서로 연결되어 있고, 서로간의 역할이 명확하다. 예를 들어 전주의 경우 가동 브라켓트 및 전선류를 지지하기 위하여 설치되며, 가동 브라켓트는 전선류 등을 지지하기 위하여 설치된다.

본 연구에서는 이러한 설비들을 선로환경에 따라 장주도(전차선로 즉, 전차선 및 조가선을 비롯한 각 선과 전주, 가동브라켓트 및 기초 등을 시공하기 위하여 필요한 도면으로써 전주크기, 위치, 길이, 기초, 가동브라켓트 형상 및 각종 전선류의 위치 등을 표시하는 단면도 및 그 시공에 필요한 모든 자재정보를 알 수 있는 도면으로 Fig. 1 참조)를 출력할 수 있는 자동 설계 알고리즘 개발과 이를 전산화하여 설계자의 선로조건(각 선의 위치, 궤도조건 등) 및 환경조건(전차선로 지형 및 위치) 등의 입력으로 전차선로를 설계하여 시공할 수 있는 도면 및 필요자재를 출력할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램(DeCatS ; Detail Design of High Speed Catenary System)은 "LEXCAT"이라는 프랑스 전차선로 자동설계 프로그램을 이용하여 설계된 경부고속철도 전차선로 시스템의 설계 결과(장주도 등)를 참

1 정회원, 한국철도기술연구원, 주임연구원

2 정회원, 한국철도기술연구원, 책임연구원

조하여 개발하였다. 즉, 경부고속철도 시험선구의 시공을 위하여 작성된 장주도들을 선로환경 및 지형조건에 따라 구분하고 분석하여 각 설비들의 설계알고리즘을 개발하였으며, 특히, 프랑스 기술에 의존하고 있는 고속전차선로 상세설계 소프트웨어를 국내실정, 즉 환경조건, 선로조건 등에 적합하게 수정이 가능하여 향후 기존선 전차선로에 활용할 수 있는 초석이 되었다.

DeCatS는 LEXCAT와 비교하여 결과출력을 위한 전체적인 알고리즘은 비슷하게 보이나 전주결정을 위한 최대모멘트 계산에서 LEXCAT에서는 극단적인 조건에서 표를 만들어 조건에 적합한 모멘트 값을 출력하는 반면, DeCatS는 입력조건에 따라 직접 프로그램 내에서 직접 계산하여 모멘트를 출력함에 따라 전주크기 및 기초 등에 조금 더 최적화된 결과값을 얻을 수 있어 자재관련 비용을 줄일 수 있게 되었다. 또한, 장주도 출력시 DeCatS는 AutoCAD와 직접 연동하여 직접 AutoCAD에서 수정이 가능하도록 하였다.

개발한 소프트웨어는 크게 장주도 출력과 설비들의 시공에 필요한 자재를 관리하는 DB(Data Base)로 구성된다. 장주도에는 각 전선류 및 가동브라켓 등의 위치 그리고 전주 크기 등 시공에 필요한 도면이 출력되며, 한편 자재관리 DB는 장주도에 출력된 모든 자재들을 체계적으로 관리할 수 있도록 하였다. 구축된 DB를 기본으로 구간별, 장주도별 소요자재를 상위 및 하위부품으로 산출 및 관리가 가능하다.

프로그램은 AutoCAD를 기반한 장주도 작성과 DB개발을 위하여 SQL제어가 용이한 Visual Basic 언어를 사용하여 개발하였고, 또한 경부고속철도 실시설계에서 사용하는 프랑스에서 개발한 TGV용 자동설계 소프트웨어와의 비교를 통하여 개발한 소프트웨어의 정밀성을 입증하였다.

## 2. 고속철도 전차선로

### 2.1 전차선로 구성

전차선로는 전기철도차량에 전기를 공급해주는 설비로서 전차선, 조가선, 급전선, 보호선 등으로 구성되는 전선류 외에 이것들을 지지하는 전주, 직접 전차선 및 조가선을 현수하는 가동 브라켓 등의 설비로 이루어져 있다.

현재 경부선에 신설되고 있는 고속철도의 경우 국내의 기존 전차선로 설비와 비슷한 구성을 가지고 있으며, 그 구성 설비는 크게 나누어 다음과 같다.

- H형강 전주
- 가동 브라켓 (cantilever)
- 전선류 (전차선, 조가선, 급전선, 보호선 등)

이와 같은 설비들은 설치된 선로의 조건 및 기후조건 등

에 따라 다른 재질, 크기, 혹은 모양으로 설치된다.

### 2.2 전차선로 설계

전차선로설계는 크게 두 분야로 나뉜다. 하나는 전주배치 (pegging plan)이고, 다른 하나는 장주도 설계이다. 전주배치란 설계대상 구간의 선로조건, 변전소 위치 등에 따라 전주를 설치할 위치를 결정하는 것이다. 이때 장력구간 및 전차선 편위 역시 결정된다. 전주 배치를 결정된 후에는 장주도 설계가 이루어진다. 본 연구에서 개발한 SW는 이러한 장주도 설계 및 자재관리를 위한 것으로 보통 설계시에는 2~3km를 한 구간으로 설정하여 동시에 설계한다.

#### 2.2.1 장주도

장주도는 앞서 기술했듯이 전차선로를 방향에 따른 단면도와 해당 지점의 전차선로 설비들의 자재들의 종류와 수량을 표시하는 자재표 등으로 구성된다. Fig. 1은 경부고속철도 교량구간에서 실제 사용된 장주도의 예이다. 상부 도면은 상하선의 전주, 기초, 각 전선류 위치 및 가동 브라켓의 설계 결과이며, 하위 부분의 표는 설비구성을 위한 자재의 종류와 수량을 나타낸다.

#### 1) 전차선로 단면도

전차선로의 단면도는 평면도에 해당하는 작성된 전주배치 도면과 전차선로 실측을 통하여 얻은 자료를 바탕으로 설계된다. Table 1에서 설계를 위하여 필요한 데이터와 설

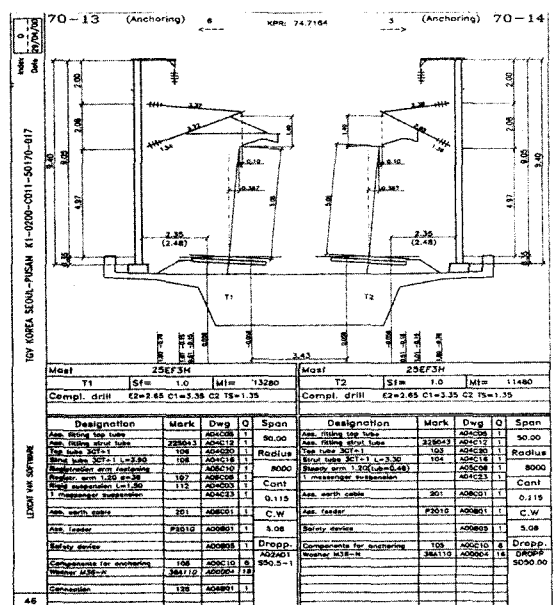


Fig. 1. MD(Mounting Diagram)

Table 1. Necessary Data and Results to Design Catenary

필요 데이터	설계결과
전차선 편위	전주길이
경간	
전차선 등 위치	전주크기
건식위치	전주기초
케도너비	
선로환경	가동 브라켓
환경조건	각 설비의 규격
가고	

계결과를 정리하였다.

Table 1과 같이 필요 데이터를 입력하여 설계결과를 도출하여 전차선로 단면도를 설계한다.

### 2) 자재표

자재표는 Fig. 1의 하단부에서 볼 수 있듯이 Table 1의 설계결과를 기초로 단면도를 구성하는 자재 즉, 전차선로를 시공하는데 필요한 자재(상위자재)를 표 형식으로 정리한 것이다.

경부고속철도 자재는 일정 규칙에 의해 체계적인 관리가 가능하도록 PBS(Product Breakdown System) 코드로 관리되고 있으며, 자재와 자재사이에는 계층적 구조를 가지고 있다. 즉, 단품류의 자재들의 조합으로 상위 자재를 구성하도록 되어있다[2,3].

## 3. 전주 및 기초 결정을 위한 계산알고리즘

프로그램 DeCatS에서는 전주하단에 작용하는 모멘트 계산 및 전주크기 결정, 전주기초 결정, 가동브라켓 fitting 계산, 자재 D/B관리 등 다양한 기능을 수행한다. 이 중 본 논문에서는 선로조건, 환경조건 등에 따라 전주하단에 작용하는 모멘트를 계산하여 전주크기 및 길이 결정 그리고 전주기초 타입을 결정하는 알고리즘에 대해 서술하고자 한다.

### 3.1 전주크기 결정

전주는 각 설비의 자중, 각 선의 편위 및 풍력, 곡선반경 등에 의해 전주하단 즉, 기초 상단에 모멘트가 작용하고, 이러한 모멘트를 고려하여 설계하여야 한다. 본 논문에서는 지형적, 기후적 여건 및 선로조건에 따라 조건을 선택하여(경부고속철도는 환경조건을 즉, 풍하중을 고려하기 위하여 지역에 따라 그리고 선로의 위치(높이)에 따라 구분하고 있다) 자동적으로 전주하단에 작용하는 모멘트 계산하

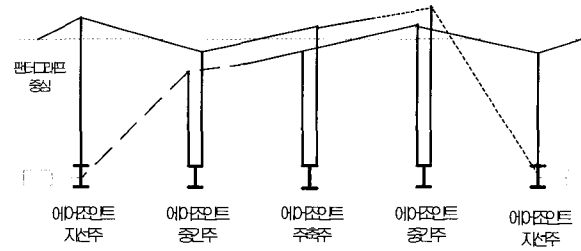


Fig. 2. Overlap Section

고 전주크기를 결정할 수 있는 알고리즘을 설명하고자 한다.

H-형강주의 전주크기는 전주하단 즉, 기초상단에 작용하는 최대모멘트에 의해 결정되고, 최대모멘트의 계산 방법은 Fig. 2와 같이 전주조건 등에 따라 달라진다. 최대전주모멘트 계산 시 계산식이 달라지는 전주조건 및 고려사항은 크게 다음과 같이 나눌 수 있다.

- 일반전주
- 흐름방지 지선주
- 흐름방지 주축전주
- 평행구간 지선주
- 평행구간 중간전주
- 평행구간 주축전주

그리고, 여기서 사용된 계산기법은 프랑스 CM66 시방서를 따르고 있으며, 계산의 단순화를 위하여 전주에 설치되는 설비 및 작용하중에 대하여 표준화된 간략수식을 사용하고 있다. 또한, 정적상태의 영향만을 고려하였으며, 단독전주를 중심으로 계산이 수행된다.

#### 3.1.1 최대전주모멘트 계산 알고리즘

위와 같이 전주 조건에 따라 최대전주모멘트 계산 시 수직하중, 지선, 전선편위 등 고려해야 할 사항이 달라진다. 일반적인 최대전주모멘트 계산 알고리즘은 다음 Fig. 3과 같다.

기본전주에 대한 최대전주 모멘트 계산을 간단히 정리하면 다음과 같다.

가. 수직하중 및 착빙하중에 의한 모멘트

- 착빙하중(전선에만 적용)
  - 전차선, 조가선, 급전선 및 보호선 착빙 중량
  - = (착빙하중) ×  $\frac{\text{앞경간} + \text{뒷경간}}{2}$
- 수직하중(착빙하중 미고려)
  - 전차선, 조가선, 급전선 및 보호선 중량
  - = (선중량) ×  $\frac{\text{앞경간} + \text{뒷경간}}{2}$
- 가동 브라켓트, 급전선 현수부품 중량

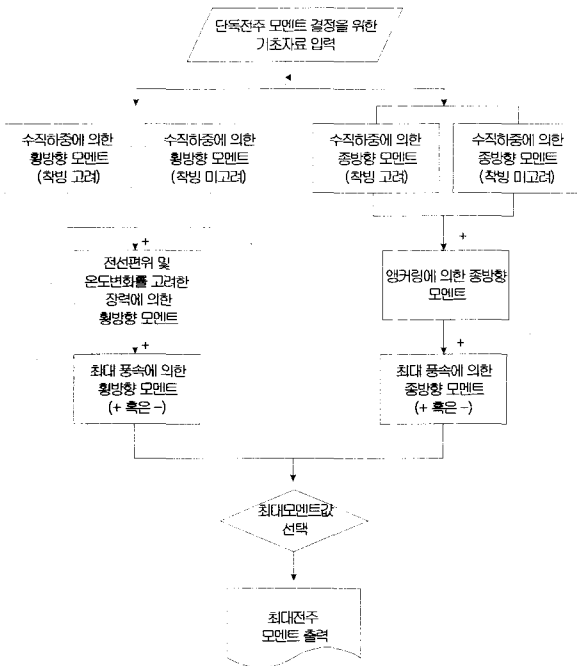


Fig. 3. Calculation Algorithm of Maximum Moment for a Mast

- 전주 자중
  - 착빙하중에 의한 모멘트
  - 수직하중에 의한 모멘트(착빙하중 미고려)
- 나. 선로에 직각인 방향으로의 모멘트(전선편위, 곡선반경 및 온도변화에 의한 장력변화)
- 전차선 및 조가선의 편위와 곡선반경에 의한 하중으로 인한 모멘트
- $$= \left\{ \frac{\text{앞경간} + \text{뒷경간}}{2 \times \text{곡선반경}} + \frac{\text{앞편위차}}{\text{앞경간}} + \frac{\text{뒷편위차}}{\text{뒷경간}} \right\} \times \text{장력} \times (\text{기초} \sim \text{선거리})$$
- 온도에 변화에 의한 급전선, 보호선 장력으로 인한 모멘트
- 다. 바람에 의한 모멘트
- 선로횡풍
  - 전차선, 조가선, 보호선, 급전선에 대한 모멘트
- $$= (\text{지역에 따른 선횡풍압}) \times \frac{\text{앞경간} + \text{뒷경간}}{2} \times (\text{지형계수}) \times (\text{기초상단} \sim \text{전차선거리})$$
- 급전선 현수부품에 대한 모멘트
  - H형강주에 대한 모멘트
  - 선로중풍
  - 가동브라켓트, 급전선 현수부품 및 H형강주에 대한 모멘트

Table 2. Extra Load according to Type of Mast

전주타입	추가 고려 모멘트
흐름방지 지선주	흐름방지선 중량, 착빙, 편위, 곡선반경, 횡풍에 의한 하중
흐름방지 주축주	"
에어조인트 지선주	지선 중량, 발란스 중량, 편위 곡선반경, 횡풍 등에 의한 하중
에어조인트 중간주	오버랩되는 전차선 및 조가선의 중량, 편위, 곡선반경, 횡풍 등에 의한 하중
에어조인트 주축주	"

일반전주는 위에서 서술한 모든 모멘트를 고려하여 최대모멘트가 계산된다. 그리고, 그 외의 전주는 Table 2와 같이 해당하는 하중을 추가 고려하여 최대모멘트를 계산하여야 한다.

### 3.1.2 전주크기 결정

최대전주모멘트를 계산한 후 Fig. 4와 같이 안전율(CM66)을 적용하여 전주에 작용하는 응력을 계산한다. 계산된 응력이 선정된 전주 응력보다 크면, 전주크기를 올려서 다시 응력을 계산하고 이를 반복하여 위 조건에 부합하면 전주크기가 결정된다[8].

한편, 평행구간의 중간전주 경우는 앵커링 되는 선에 의해 비틀림(twisting) 현상이 최대로 발생된다. 따라서, 평행구간의 중간전주 크기를 결정하기 위하여 최대전주모멘트를 계산하기 전에 비틀림을 계산하여 전주크기를 먼저 결정

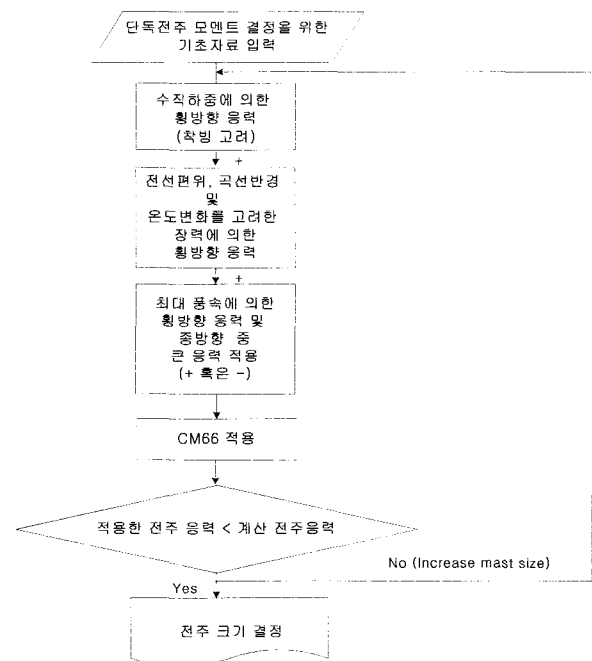


Fig. 4. Algorithm for Determination of a Mast Size

한 후 최대모멘트를 계산하여 크기를 다시 결정하는 과정을 수행한다.

### 3.2 전주기초 크기 결정

프로그램 “DeCatS” 내에는 Fig. 5와 같은 알고리즘을 통하여 H형강주의 원통형 전주기초 선정이 자동으로 이루어진다.

즉, 기초결정은 앞 절에서 계산된 최대전주모멘트를 이용해서 기초최대허용모멘트보다 전주최대모멘트가 작으면 그 기초로 선정되게 된다.

### 3.3 전주길이 결정

경부고속철도에 사용되는 전주는 그 사이즈와 길이에 따라 그리고, 토공 및 교량개소에 따라 종류가 달라 마크(mark)로 분류한다. 그 이유는 토공개소의 경우 전주 기초를 필요로 하고, 교량개소의 경우는 기초를 필요로 하지 않기 때문이다. Table 3은 토공개소에 사용하는 전주의 길이에 대한 타입이다.

이러한 전주를 결정하는 알고리즘은 Fig. 6과 같고, 전주 길이 결정시 입력하는 데이터는 전주상부와 수평주파이프간의 길이와 전주기초의 지면과 레일면간의 수직 거리(level C)이다. 이 두 데이터 중 전주상부와 수평주파이프간의 길이는 교량개소 및 토공개소에 따라 입력값이 달라진다.

### 3.4 전주 시공 레이크 결정

시공 레이크(Installation Rake)는 정상적인 운영상태에서 전주에 작용하는 하중으로 인해 전주가 변형될 것에 대비하여 의도적으로 시공시 미리 하중의 반대방향으로 전주를 기울어지게 설치하는 양으로 전주의 상부 정점에서 측정하는

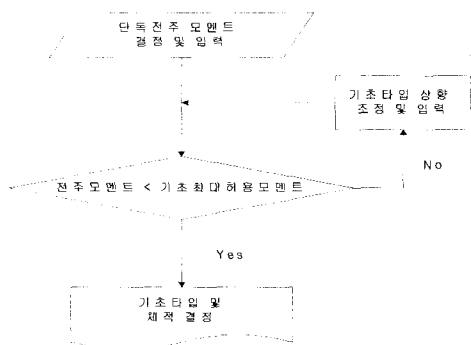


Fig. 5. Algorithm for Determination of a Foundation Type

Table 3. Type For Mast Length on Open Route

길이(m)	8.60	9.00	9.40	...	12.90	12.50	13.50
H법 마크	T	S	A	...	I	J	K

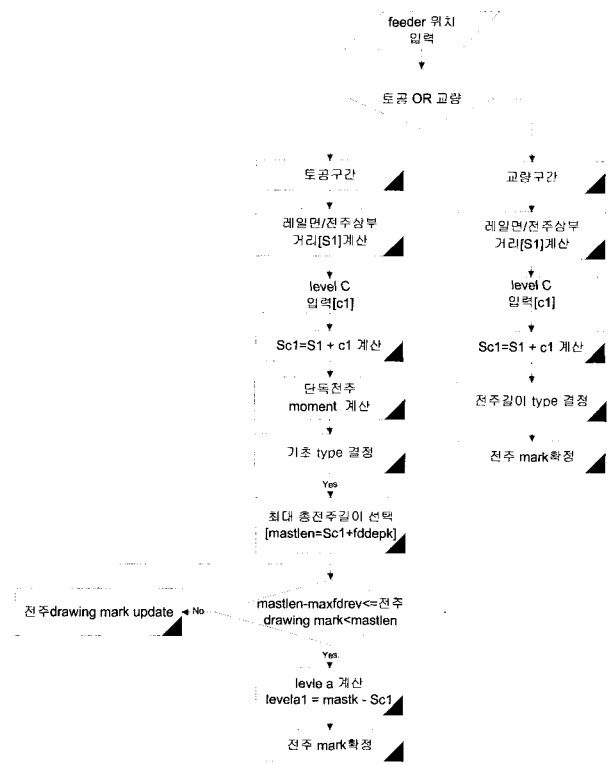


Fig. 6. Algorithm for Determination of a Mast Length

역변위량이다.

시공 레이크 결정을 위한 처짐량은 외부의 환경조건에 의한 영향이 없는 상태(착빙, 바람 등이 없고 평균기온 상태)에서 다음의 세 가지 하중을 고려하여 계산한다.

- 각 전선류(전차선, 조가선, 급전선, 보호선 및 지선 등)에 대한 곡선반경 및 편위에 의하여 선로에 직각인 방향의 하중에 의한 처짐량
- 급전선 및 취부부분의 수직하중에 의한 처짐량
- 전차선, 조가선 및 가동브라켓트의 수직하중에 의한 처짐량

## 4. 결과출력

본 연구에서 개발한 소프트웨어의 정밀성을 프랑스의 전차선로 설계 소프트웨어인 LEXCAT과의 비교를 통해 입증하였다. 본 논문에서는 전주결정과 관련한 계산결과를 비교하고자 한다.

### 4.1 설계 입력자료

Table 4는 실제 경부고속전차선로 중 남서울~천안간 시설설계에서 사용한 간단한 입력자료이다.

4.2 계산결과 검증

Fig. 7은 Table 4의 입력 데이터를 근거로 개발한 DeCatS를 통해 전차선로를 자동으로 설계한 장주도이다. 전주, 기초 브라켓 등은 선로환경에 알맞은 크기로 선택되어 1/100의 축척으로 장주도에 표현되었다.

또한, Fig. 8도 DeCatS에 입력한 동일한 자료를 기초로 프랑스 프로그램인 LEXCAT을 이용하여 설계한 장주도이다.

두 장주도를 비교하면 전주길이와 기초가 약간의 차이가 있을 뿐 가동브라켓 등의 길이는 일치함을 알 수 있다.

두 설계 결과를 우측전주를 중심으로 비교하여 보면 표 5와 같다.

전주에 작용하는 최대 모멘트는 DeCatS가 더 작게 출력

되었다. LEXCAT에서는 극단적인 선로조건에서 표를 만들어 조건에 적합한 모멘트 값을 출력하는 반면, DeCatS는 입력조건에 따라 직접 프로그램 내에서 직접 계산하여 모멘트를 출력하기 때문에 차이가 난 것으로 판단된다. 최대전주 모멘트가 작게 계산됨에 따라 전주기초가 작게 결정되고 또한, 기초의 깊이가 작으므로 전주길이가 짧은 것으로 선택되었다. 그 외 각 선의 위치 및 건식케이지 등 입력 데이터에 의한 출력 결과는 동일하게 표시되어 있다.

전주길이와 기초 선정의 차이는 전주에 작용하는 모멘트 값에서 차이가 발생한다고 판단된다. LEXCAT의 모멘트계산은 각 조건의 최악조건에서 계산한 값을 테이블로 저장하여 조건에 적합한 값을 출력하는 알고리즘을 사용한다. 그러나, DeCatS의 경우 입력값을 근거로 모든 모멘트값을 계산하기 때문에 좀더 최적화된 결과를 얻을 수 있어 전주와

Table 4. Input Data

구분	입력값				
	선로 환경	구간	장주도출력	지역	지형
	토공구간	일반	일반	일반	-
선로	건식위치	경간	궤도간격	-	-
	2.23m	54m	3.43m	-	-
선종	편위	전차선높이	가고	급전선	보호선
	0.2m	5.08m	1.4m	-1.35m -1.1m	-0.14m -0.18m
자재	코드1	코드2	-	-	-
	S3	X041	-	-	-

Table 5. Comparison of Results

구분	출력값	
	LEXCAT	DeCatS
최대모멘트	6510	5072
전주길이	10.20	9.8
전주크기	250×250	250×250
전주기초	24C	20C
시공레이크	0	0

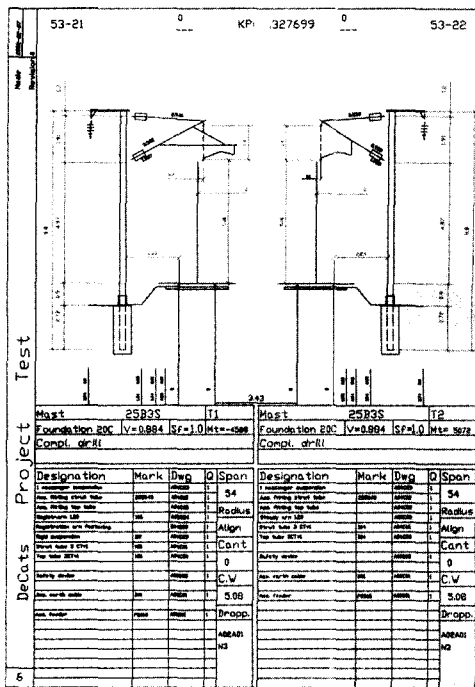


Fig. 7. Result of DeCatS

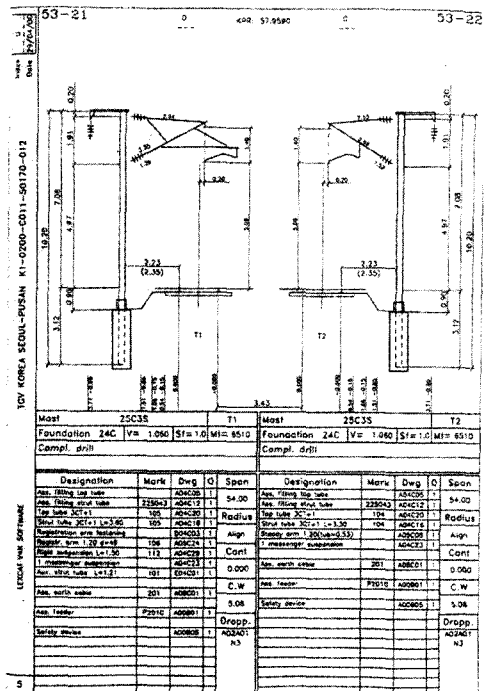


Fig. 8. Result of LEXCAT

기초가 한단계 작게 선정된 것으로 판단된다.

## 5. 결 언

경부고속철도 설계방법을 적용하여 지형적, 기후적 여건에 따라 또한, 선로조건의 변화에 따라 입력된 데이터를 기초로 전차선로를 시공할 수 있고 자재관리를 할 수 있는 장주도를 출력할 수 있는 프로그램인 DeCatS를 개발하였다. 본 논문에서는 전주결정과 관련한 알고리즘을 중심으로 설명하였다. 즉, 하중조건에 따라 전주하단에 작용하는 최대 모멘트 계산하고 계산된 결과를 이용하여 전주크기 및 기초 크기를 선정하여 조건에 적합한 전주길이를 산정하는 알고리즘으로 이루어 졌다.

개발한 프로그램의 특징을 요약하면 다음과 같다.

- 프로토타입의 자동설계 S/W의 국산화에 따른 전차선로 설계 자동화 기술력 확보
- 입력조건에 따라 프로그램 내에서 전주에 적용하는 최대 모멘트를 직접 계산하여 출력함에 따라 전주크기, 길이 및 기초 선정에 있어 조금 더 최적화된 결과값을 도출함에 따라 자재 비용 절약
- AutoCAD에 장주도를 출력함에 따라 상황에 따라 설계 변경 용이
- 고속철도 전차선로 분야의 자재 DB 구조화

이상의 연구결과를 통해 국내에 현장상황에 적합한 전주 선정을 통한 전주 최적설계 방안의 확보는 물론, 전차선로 시공현장에서 설계값과 측량값의 상이함으로 인한 시공오차를 상당히 개선할 수 있을 것이다. 또한, 고속철도 전차선로를 상세설계할 수 있는 프로그램을 확보함으로써 향후 기존선에 적합하게 프로그램을 upgrade 하면 기존선 전철화 설계에서도 선로조건에 적합하게 설계 정확도를 향상한 장주도를 출력할 수 있어 집전성능을 향상시킬 수 있을 뿐 아니라 설계 기간의 단축, 사고예방 및 최적설계로 인한 설계에

산의 절감 등을 기대할 수 있다.

## 감사의 글

본 연구는 한국고속철도건설공단의 지원으로 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

1. 한국철도기술연구원, 고속전차선로 설계계산기준서개발 및 동적시험기술 연구, 한국고속철도건설공단, 1999
2. 한국철도기술연구원, '고속전차선로 상세설계 S/W 개발(Ⅰ)', 한국고속철도건설공단, 2000.
3. 한국철도기술연구원, '고속전차선로 상세설계 S/W 개발(Ⅱ)', 한국고속철도건설공단, 2001.
4. 한국고속철도건설공단, '경부고속철도 전차선로 1공구 실시설계', 1999. 12.
5. 정보문화사, '한글 VisualBasic6 DataBase How-to', Eric Winermiller 외 3인, 황태연 역, 1999.
6. "CM66(Regulations for the calculation of steel structures with appendices", BSI Standards, 1966.
7. "Basic environment data for catenary design", Seoul-Pusan HSR Project, Korea TGV Consortium, 1995.
8. "Structural forces and moment charts", Seoul-Pusan HSR Project, Korea TGV Consortium, 1996.
9. "Catenary basic design criteria", Seoul-Pusan HSR Project, Korea TGV Consortium, 1995.
10. 한국고속철도건설공단, "고속철도용 전차선로 기본설계", 김학환 외, 1995.
11. 이기원 외 2인, "고속전차선로 설계자동화를 위한 자재관리 D/B의 설계 및 개발", 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, 2002.
12. 김주락 외 3인, "고속전차선로 상세설계 자동화 소프트웨어 개발", 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, 2002.
13. 이기원 외 3인, "고속전차선로 자동전주설계 프로그램 개발 -H형강을 중심으로-", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2002.
14. 김주락 외 2인, "고속전차선로 설계자동화를 위한 가동브라켓트 fitting 알고리즘 개발", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2002.