

# CATIA를 활용한 철도차량 차체 지식기반 형상설계

Knowledge based configuration design of a train vehicle body using CATIA

황호연\*      이재영\*\*      양도철\*\*\*      권태수\*\*\*      정현승\*\*\*  
Hwang, Ho-Yon   Lee, Jae-Young   Yang, Doh-Chul   Kwon, Tae-Soo   Jung, Hyun-Seung

---

## ABSTRACT

In this paper, a research for the knowledge based configuration design software development of a train vehicle has been presented. Parametric design and knowledge based design concepts have been introduced for rapid design changes and analyses using a commercial CAD software, CATIA® Knowledgeware module. Positions and dimensions of door, small window, large window, and number of seats were used as design parameters. It is crucial for train vehicle design because it enables rapid conceptual design by instant configuration changes.

The results of this research can be used as one sub module of the multidisciplinary train vehicle design software and provide a basic data for rolling stock behavior and driver cab ergonomics of a train vehicle.

---

## 1. 서론

현재 180km/h급 한국형 Tilting Train eXpress (TTX) 차량, 경량 전철, 고무 차륜 열차를 비롯하여 곡선 궤도가 많은 한국의 지형을 고려하여 현재 운용중인 열차 및 전철에 대한 문제점을 보완 개선하는 새로운 열차 개발에 관한 연구들이 진행되고 있다. 이러한 새로운 열차 개발 시 발생하는 위험을 줄이고 설계변경에 따른 형상의 변화를 쉽고 다양하게 구현하고 개발 시간을 단축하며 비용을 절감하기 위한 새로운 설계기법 연구의 필요성이 대두되고 있다.

철도차량 차체의 개념설계와 해석을 수행하고 그 결과를 바탕으로 철도차량 차체 설계의 경향을 한눈에 예측을 하려면 차량 차체의 형상을 빠르게 구현하는 CAD 프로그램의 개발이 필수적이다. 즉, 철도차량 차체의 개념설계는 고객의 요구조건과 시장분석 등을 반영한 설계요구조건에 따라 설계를 수행하게 되며 최우선적으로 철도차량 차체의 외형과 출입문 및 창문의 위치, 내부 좌석 배치 등의 형상설계가 이루어진다(그림 1). 이후 하중조건에 따른 구조해석, 진동해석, 충돌해석 등이 이루어지고 이러한 해석결과를 반영하여 형상이 다시 변경되는 과정이 반복되게 된다. 이 때 이전 형상에 대한 지식을 재사용하여 설계가 이루어지는 지식기반설계(knowledge based design)를 사용하여 설계기간과 노력을 축소시켜 궁극적으로 설계비용의 대폭 감소로 이어지는 프로그램의 개발이 절실히 필요하다. 이러한 목표를 달성하기 위해 자동차 및 항공우주 분야에서는 CATIA를 기본 CAD프로그램으로 사용하고 추가 프로그래밍을 하는 방법이 많이 사용하고 있다(2)-4).

본 연구에서는 철도차량 차체 설계 과정에서 신속한 개념설계가 가능하고 개발의 위험도를 최소화 할 수 있도록 하는데 필수적인 철도차량 차체의 지식기반(knowledge based) 형상설계 소프트웨어를 개발하였다. 즉, 다양한 설계 구속 조건하에서 철도차량 차체 설계를 위하여 parametric

---

\* 책임저자: 세종대학교 항공우주공학과 부교수

\*\* 세종대학교 항공우주공학과 석사과정

\*\*\* 한국철도기술연구원, 정회원

design 개념과 knowledge based design 개념을 도입하여 철도차량 차체의 설계 변경에 따른 형상구현을 빠르게 수행할 수 있는 소프트웨어를 CATIA knowledgware<sup>5)</sup> 모듈을 기반으로 프로그래밍 하였다.

## 2. 본론

### 2.1 Knowledgware 사용 목적

기존의 엔지니어링 디자인은 설계 요구조건을 만족하는 초기 사이징(Initial sizing)을 통하여 개념설계의 초기 형상을 구현한다. 구현된 형상에 대한 해석 및 실험을 통하여 형상 향상(update)을 수행하지만 비용, 개발 기간, 설계 오류 등 여러 가지 측면에서 많은 문제들이 발생한다. 이는 기존에는 단순하게 기하학적인 정의만을 이용하여 형상이 설계되어 설계자의 지식과 설계 Know-How 등이 반영되지 않기 때문이다. CIMdata Report<sup>1)</sup>에 의하면 일반적으로 설계의 80%는 이전의 설계지식에 바탕을 두고 있으며 설계를 위한 정보를 조사하는 시간은 전체 작업의 35%의 시간을 소요하기 때문이라고 보고되었다. 현재 기하학적인 요소로만 구성된 형상이 가지고 있는 한계라고 지적을 할 수 있는 부분이다.

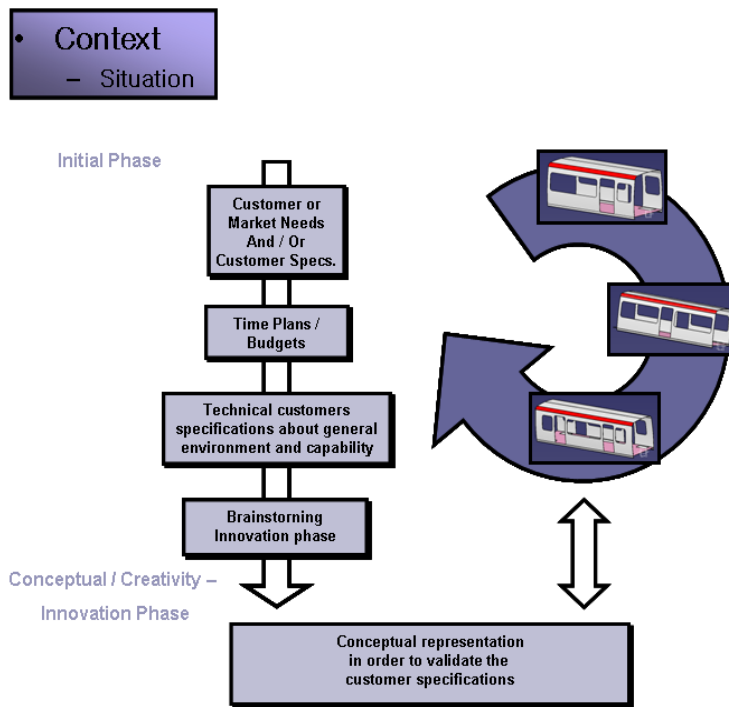


그림 1. 철도차량 차체 개념설계 절차

제품 및 공정 정의 자동화, 정보의 빠른 접근 등을 통하여 개발기간을 단축할 수 있으며 중요 요구사항의 초기 적용, 사용자의 올바른 결정 지원을 통한 비용 절감 및 설계오류를 축소할 수 있다.

### 2.2 CAD 데이터의 CATIA 파일로의 변환

철도기술연구원에서 설계한 경량전철은 Solidworks<sup>®</sup>로 설계되어 있어 본 연구를 위하여 이를 CATIA 파일로의 변환하는 작업을 먼저 수행하였다. 직접적인 파일의 변환이 어려워 중간단계로 IGES(Initial Graphics Exchange Specification) 파일형식을 사용하였다. IGES는 일종의 CAD 소프트웨어간의 데이터 변환을 위한 중립적인 파일이기 때문에, CATIA에서 읽어 들일 경우

CATIA의 Knowledgware 모듈을 사용하면 Parametric Design을 설계에 반영하여 설계자의 지식기반 설계를 가능하게 한다. 지식기반 설계를 하게 되면 기존의 형상을 유연하게 변형시킬 수 있으며, 변형된 형상은 각각의 다른 모델로 구분되어지고 여러 가지 형상에 대한 지식을 축적해 나아갈 수 있다. 즉, 기존에 축적된 형상을 자유롭게 변형하는 것뿐만 아니라 새로운 모델에 대한 형상을 구현하여 여러 가지 형상 변화에 대한 지식을 저비용으로 축적할 수 있다.

Knowledge를 재사용함으로써 설계의 품질을 향상시키며 개발기간의 단축, 비용 절감 및 설계오류를 줄일 수 있다. 먼저 설계 표준과 요구조건 준수, 최적의 설계 Know-how 적용을 통한 품질의 향상을 기할 수 있다. 또한 설계 대안 창출 가속화, 제

history 등 필요한 정보가 충분하지 않은 graphic 파일로 변환되므로 필요 시 CATIA Part 파일로의 재작업이 요구된다. 본 연구에서는 그림 2, 3과 같이 제공된 Solidworks 파일 전부를 IGES로 변환 후 CATIA 파일형식인 CATPart로 저장하였다.

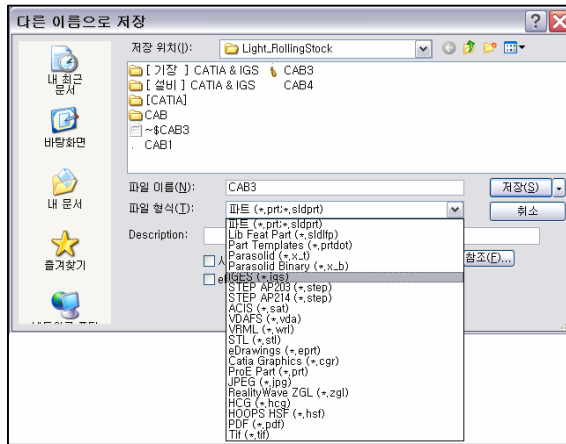


그림 2. IGES 파일로의 변환

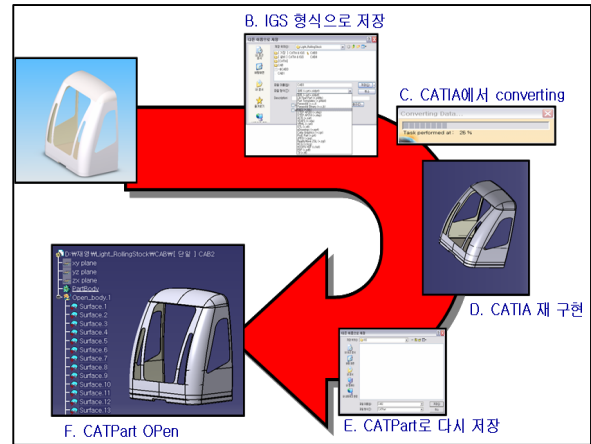


그림 3. CATPart 파일로의 변환

IGES 형식의 파일을 CATIA로 읽어 들여 저장한 CATPart 파일의 경우 CATIA에서는 각각을 독립적인 면으로만 인식을 하기 때문에 Parametric Design을 수행하기 위해서는 재구성이 필요하다. Parametric Design을 용이하게 하기 위해서 여러 개의 PartBody 객체를 형성한 후 필요한 부분만 Add 또는 Remove 명령을 실행하여 하나의 Solid 객체로 구성하였다.

실제로 구현된 경량전철 CATIA 파일은 Parametric Design을 위해서 Base Frame Structure와 Bottom이란 독립된 객체로 구성되며 다른 객체들은 Base Frame Structure에 Remove 명령을 통해 연산되어 Base Frame Structure에 통합되도록 구성하였다.

### 2.3 Parametric Design

Parametric Design을 하기 위해서는 어떠한 요소들에 대한 설계변경을 할 것인지에 대한 계획이 있어야 한다. 변수에 대한 것은 Prototype의 형상을 먼저 생성하고 관계를 맺어주어도 되지만, 관계성에 대한 정의를 먼저 정확히 내려주는 것이 형상간의 전후 관계가 있는 Parametric Design을 손쉽게 할 수 있는 방법이다. 예를 들면, 열차의 길이가 4m인데 창문의 초기 위치가 5m에 있다면 관계가 성립되지 않기 때문에 개발자의 Know-How와 Specification이 필요하며 또한 지식설계가 가능한 범위를 정해야 한다. 그림 4와 같이 경량전철에 대해 작은 창문, 긴 창문, 출입문 그리고 좌석 배치에 관한 사항을 간략화 하여 parametric design을 수행하였다.

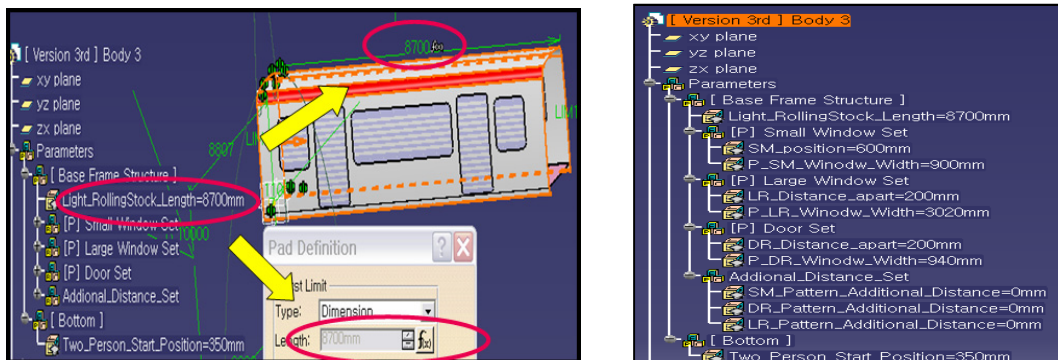


그림 4. 경량전철의 Parametric design

## 2.4 변수 설명

그림 5와 같이 parametric design의 설계변수로 선정된 Light\_RollingStock\_Length 변수는 P\_SM\_Window\_Width, P\_LR\_Window\_Width 그리고 P\_DR\_Width의 하위 구조를 가지고 있다. 이하의 변수들은 각각 Small Window Parameters, Large Window Parameters, 그리고 Door Parameters 그룹의 중심 변수들이고 세부적으로 형상의 위치를 조율하는 변수들을 가지고 있다. SM\_position, LR\_Distance\_apart, DR\_Distance\_apart들은 상위 변수들에 각각 연관된 기본 변수들이다. SM\_Pattern\_Additional\_Distance, LR\_Pattern\_Additional, DR\_Pattern\_Additional\_Distance는 Prototype에서 많이 벗어난 형상을 생성 할 때 각각의 위치를 조율하는 변수들이다.

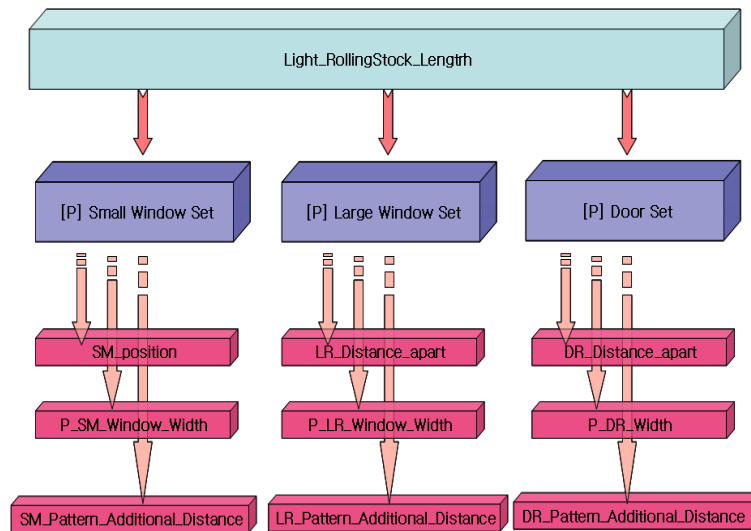


그림 5. 경량전철의 형상 설계 변수 구조

### 2.4.1 객차 길이, 작은 창문 위치, 출입문 위치, 큰 창문 위치

Light\_RollingStock\_Length 변수는 단일 객차의 길이를 결정한다. 한 객차의 길이는 모든 변수의 상위에 있어 다른 변수들은 Light\_RollingStock\_Length의 범위를 벗어나서는 안 된다는 규칙이 자연스럽게 생성된다.

그림 7과 같이 Formula Editor를 이용하여 관계성을 맺어주면 변수를 통해서만 치수의 변경이 가능하다. 이는 CATIA 구조상 중복되는 값을 피하기 위한 내부 규칙이다.

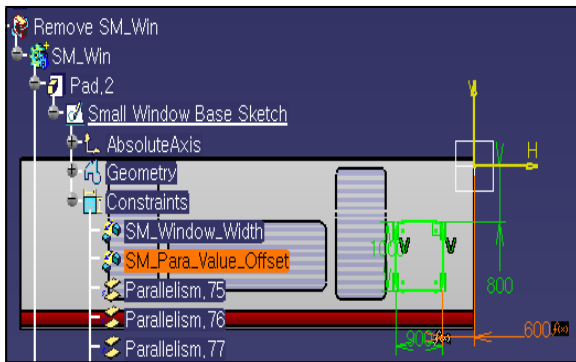


그림 6. 작은 창문 위치

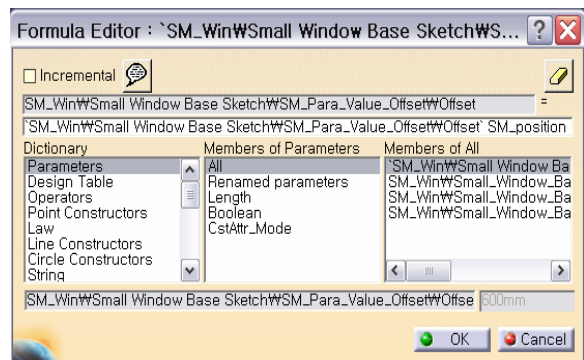


그림 7. 작은 창문 위치의 공식 편집 창

SM\_position 변수는 기준 평면의 수직축으로부터 작은 창문을 구성하는 한 직선과의 거리를 나

타낸다(그림 6). 이 변수는 Light\_RollingStock\_Length 변수 하위에 있는 변수이고 다른 형상의 초기 위치를 나타내는 변수들과는 독립적이다. 뒷부분에서 언급될 CATIA에서 지원 하는 Design Table을 이용하면, 독립적인 각각의 변수들의 중복을 피할 수 있다.

DR\_Distance\_apart 변수는 기준 평면으로부터 출입문을 구성하는 시작 선과의 거리를 나타낸다(그림 8). SM\_position 변수와 동등한 위치에 있으며 Light\_RollingStock\_Length 하위에 있는 변수이다. LR\_Distance\_apart 변수는 기준 평면으로부터 큰 창문을 구성하는 한 직선 요소와의 거리를 나타낸다(그림 9). SM\_position 변수와 동등한 위치에 있으며, Light\_RollingStock\_Length 변수의 하위에 있다. 이러한 각각의 변수들이 Formula Editor(그림 7)에 기입될 관계는 다음과 같다.

$SM\_Para\_Value\_Offset = SM\_position$
$DR\_Para\_Value\_Offset = SM\_Para\_Value\_Offset + SM\_Window\_Width + DR\_Distance\_apart$
$LR\_Para\_Value\_Offset = DR\_Para\_Value\_Offset + DR\_Width + LR\_Distance\_apart$

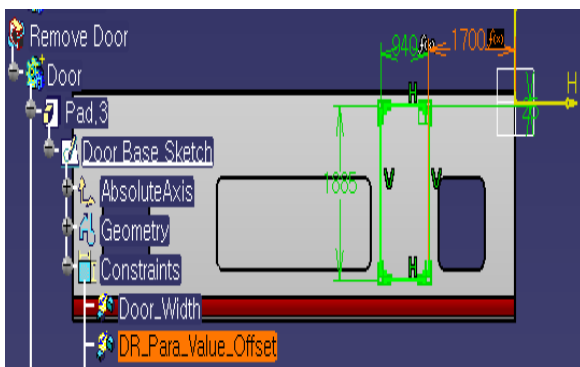


그림 8. 출입문 위치

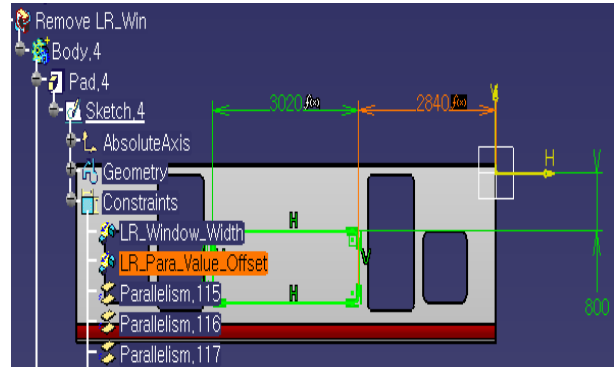


그림 9. 큰 창문 위치

### 2.4.3 작은 창문 크기, 큰 창문 크기

P\_SM\_Window\_Width 변수는 작은 창문의 가로 크기를 결정하며 P\_LR\_Window\_Width 변수는 큰 창문의 가로 크기를 결정 한다(그림 10, 11). Formula Editor에 기입될 관계식들은 다음과 같다.

$SM\_Window\_Width = P\_SM\_Window\_Width$
$LR\_Window\_Width = P\_LR\_Window\_Width$

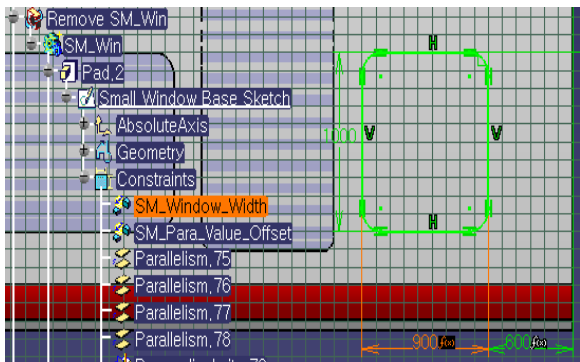


그림10. 작은 창문 크기

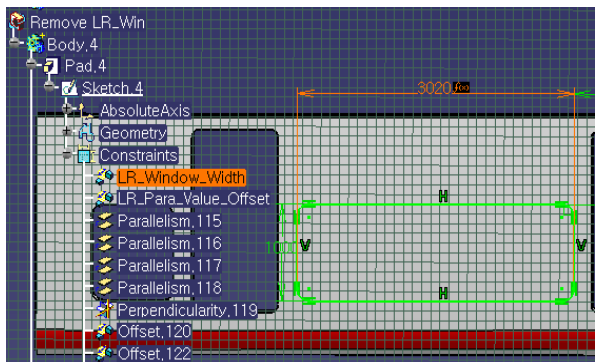


그림11. 큰 창문 크기

### 2.4.4 기타 설계 변수

위에서 언급된 변수들 외에 SM\_Pattern\_Additional\_Distance, DR\_Pattern\_Additional\_Distance, LR\_Pattern\_Additional\_DistancePrototype는 형상에서 크게 벗어나는 형상을 설계할 때 사용되는

변수들이다. 초기에 설계한 Prototype 형상은 작은 창문, 출입문, 큰 창문의 순서로 배열되었고, 각각의 시작 위치는 서로 간에 종속이 되어 있다. 그렇기 때문에 배치를 변경하고자 할 때, 사용자가 치수를 보다 쉽게 보정 할 수 있게 변수를 추가 한 것이다. SM\_position, LR\_Distance\_apart, DR\_Distance\_apart 변수는 Default로 0mm의 값을 갖게 되고, 요소의 배열을 함에 있어 보정이 필요할 경우에만 사용된다.

## 2.5 Design Table 생성과 변수 연동 작업

각각의 형상이 서로 중첩되는 것을 방지하고, 여러 가지 형상에 대한 변수 데이터를 생성하여 빠르고 정확하게 형상을 구현하기 위해 Design Table(그림 12)이 사용된다.

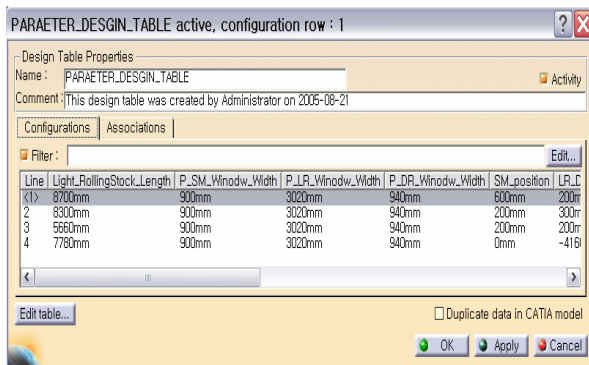


그림 12. Design Table

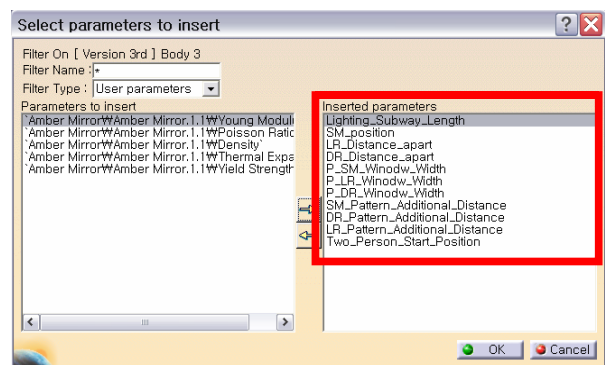


그림 13. Filtering된 변수

CATIA에서 지원 하는 Design Table에는 두 가지 방법으로 변수를 연동 할 수 있는데 첫 번째 방법은 엑셀 파일에 변수들을 기입하고 형상에 추가 하는 방법이고, 다른 한 방법은 형상에 연결 되어 있는 변수들을 엑셀파일로 생성하여 엑셀 파일에 변수 값들은 변경, 저장하는 방법이다. 첫 번째 방법은 형상에 연동될 변수에 대한 정의가 완벽히 정의된 후에 사용되는 것이 유용하고, 두 번째 방법은 Prototype에 대한 정의가 내려져 있지 않고 설계변수를 어떤 것을 두어야 할 것인가에 대하여 불확실 할 때 사용되는 것이 유리하다.

그림 13에서와 같이 CATIA의 CATPart 파일로 생성된 변수 중에서 설계를 위해 사용자가 생성한 변수들만을 볼 수 있는 Filtering 기능을 제공한다. Design Table에 추가 하면 엑셀 파일로 저장되고 변수의 값이 Design Table에 등록되어 있는 것을 확인 할 수 있다.

## 2.6 Design Table 변경에 따른 형상 변화

Design Table의 Configuration 번호의 선택에 따라 그림 14처럼 창문, 출입문 등의 위치와 크기 등 형상이 자동적으로 바뀌는 것을 확인 할 수 있다.

Design Table의 configuration을 변화 시키면서 좌석에 관한 배치 또한 연관 되는 것을 그림 15에 나타내었다. 이외에도 차륜 등도 configuration 변경이 가능한 설계 변수로 설정하였다.

## 2.7 Rule

CATIA에서는 CATScript와 VBScript 두 가지 언어를 모두 지원한다. CATScript는 CATIA 자체에서 지원 하는 Script이고 Visual Basic Script는 Visual Basic 기반의 Script이다. 형상의 변경에 따른 부수적인 일들을 자동으로 수행하기 위해서 Rule을 사용한다.

경량전철의 출입문의 위치는 변수에 의해서 결정되어 구현되지만 문의 개수는 CATIA의 Pattern 기능을 이용하여 구현하면 편리하다. 그림 16과 같이 Pattern 명령을 수행하면, 11개의 변수가 내부적으로 생긴다. 이 변수들은 그림 17과 같은 UI를 통하여 입력을 받고 자동적으로 변경/적용된다. 이러한 변수들을 모두 사용자가 Design Table로 가져오는 것도 허용되지만 Rule을

이용하면 좀 더 효과적이다.

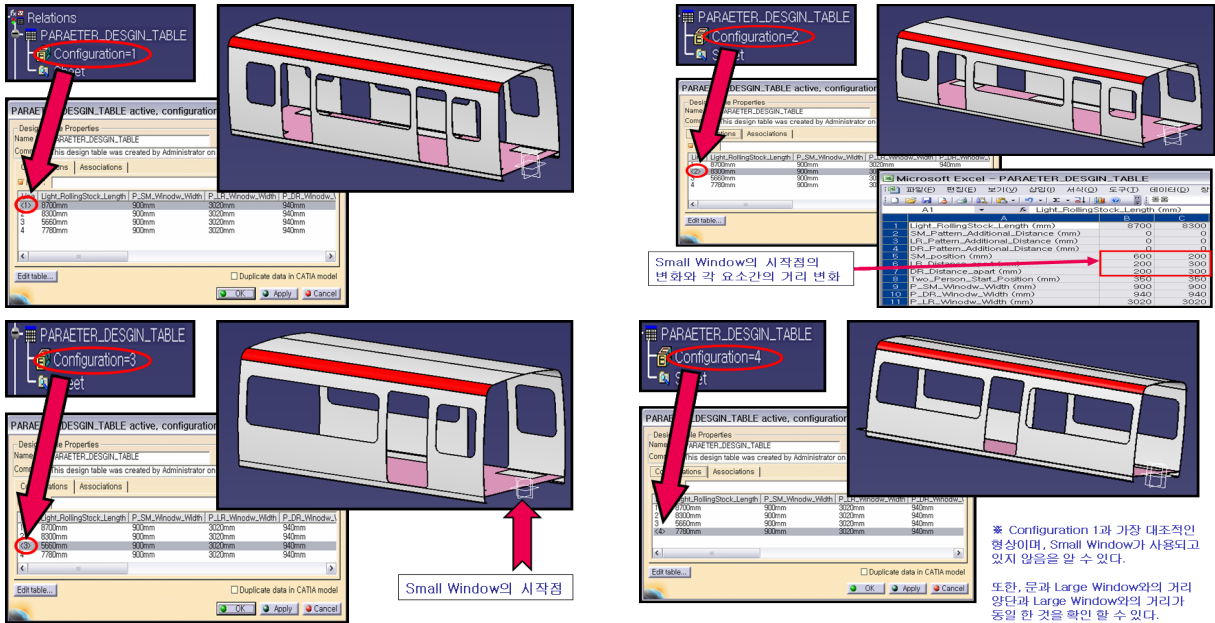


그림 14. Design Table 변경에 따른 형상 변화

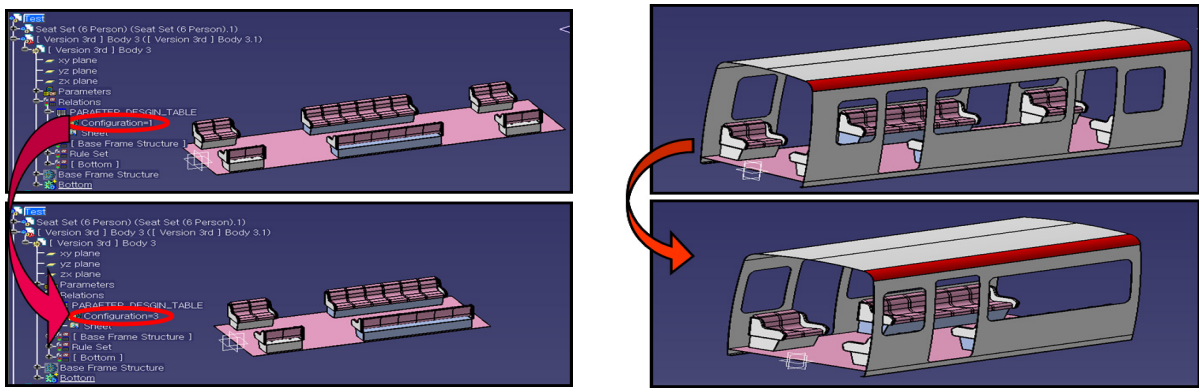


그림 15. Design Table 변경에 따른 좌석 배치의 변경

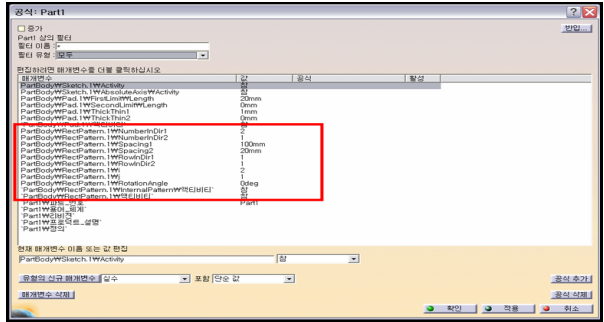


그림 16. Pattern에 의한 변수 생성

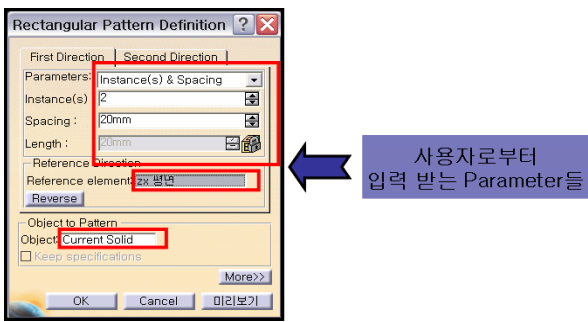


그림 17. UI를 통한 변수 입력

그림 18은 조건에 따라 Pattern에 대한 비활성화 여부를 검사하고, 비활성화/활성화를 수행하는 Script이다. 그림 19는 고무차륜을 적용한 최종 형상 모습입니다.

```

if RelationsWPARAMETER_DESGIN_TABLEWConfiguration ==3
{
SM_WinWSM_Win_PatternWActivity = false
DoorWRectPattern.2WActivity = false
`2_Person_Seat_BaseWRectPattern.4WActivity` = false
Message(" SM_win , Door and 2 Person Seat base are
deactivated")
}
else
{
SM_WinWSM_Win_PatternWActivity = true
DoorWRectPattern.2WActivity = true
`2_Person_Seat_BaseWRectPattern.4WActivity` = true
Message(" SM_win , Door and 2 Person Seat base are
activated")
}
}

```

그림 18. Script 작성

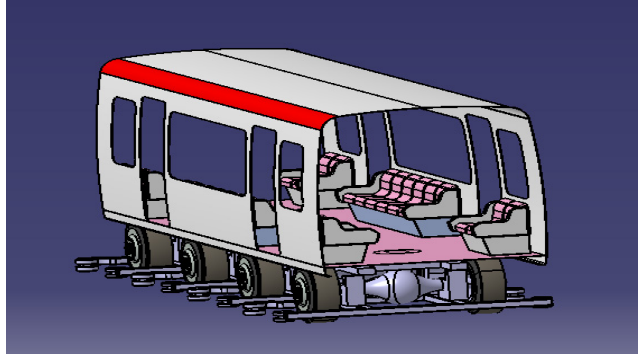


그림 19. 최종형상

### 3. 결론 및 향후 계획

현재 구현된 내용은 CATIA의 Knowledgware를 사용하여 구현하였으나 본 프로그램이 고가이므로 추후 CATIA의 API(Application Program Interface)인 CAA(Component Application Architecture)를 사용하여 Knowledgware 없이 CATIA의 기본 모듈에서도 작동할 수 있도록 구현할 예정이다. 설계변수들도 단순한 기하학적인 변수들 외에도 차체의 두께, 프레임 등의 두께 등 구조해석과 관련된 변수와도 연계하여 구조해석, 충돌 해석의 결과를 쉽게 형상에 반영할 수 있도록 할 예정이다.

본 소프트웨어는 추후 철도차량 통합설계 소프트웨어 개발 시 하나의 세부 모듈로 사용될 수 있고 철도차량의 거동이나 운전석 인체공학 설계의 기초 자료를 제공하는 목표도 가지고 있다.

### 참고문헌

1. ANN ARBOR, "CIMdata 2000 Conference Targets Collaboration throughout the Product Lifecycle", May 10, 2000, CIMdata Report - <http://www.CIMdata.com>
2. 황호연, 심정욱, "항공기 형상설계에서의 Knowledgware 적용에 대한 연구", 항공우주학회 2001년 춘계학술 발표회, 2001년 4월
3. 황호연, 김진홍, 심정욱, "CAA V5를 활용한 항공기 형상 구현 소프트웨어 개발 방안", 항공우주학회 2001년 춘계학술 발표회, 2001년 4월
4. 심정욱, 김진홍, 황호연, 정경진, "항공기 형상 설계에서의 GUI 환경 구축 및 형상 데이터 추출을 위한 CAA V5의 활용", 항공우주학회 2001년 추계학술 발표회, 2001년 11월
5. <http://www.3ds.com/products-solutions/plm-solutions/catia>