

## 타이어 해석을 위한 중첩된 기하 요소의 제거에 대한 연구

이강수<sup>†</sup>

한밭대학교 기계공학과

### Research on Deleting the Overlapped Geometric Entities of a Tire for Enhancing Analysis Performance

Kang-Soo Lee<sup>†</sup>

Dept. of Mechanical Engineering, Hanbat Nat'l Univ.

Received 14 April 2015; received in revised form 24 April 2015; accepted 24 April 2015

#### ABSTRACT

In developing a tire, many CAE analyses are performed to make a better tire. But its meshing work is not easy, and it takes much time. One of the reasons of taking much time is that there are many overlapped geometric entities in CAD data that are modeled in CAD system by CAD engineers. In this study, we studied about the features of the overlapped geometric entities, and the method to find out and delete them. I developed a program using the proposed algorithm, and applied it in meshing tire pattern and tire case. I proved that the time in meshing a tire reduced dramatically by removing overlapped geometric entities by using the developed program.

**Key Words:** IGES, Mesh, NX OPEN, Tire, Overlapped entity removal, Tire tread, Tire pattern, Tire case

## 1. 서 론

CAD 데이터는 공학 설계에 여러 가지 목적으로 이용되며 최근 설계, 해석, 생산 및 가공은 CAD 데이터를 이용하지 않고는 이루어지기 어렵다. CAD 데이터는 설계 과정에서 생성되어 이후 해석을 위해 CAE 데이터로 변환되어 사용되고, 생산 및 가공 과정에서는 CAM 데이터로 변환되어 사용된다. 그러나 형상이 복잡한 부품일 경우 설계 단계에서 생성된 CAD 데이터는 복잡하고 일부 형상은 중첩되어 생성되는 경향이 있다.

이 연구에서는 타이어 설계 과정에서 생성된 중첩된 CAD 데이터를 제거하여 해석에서 바로 사용할 수 있는 CAD 데이터로 만드는 내용이다. 이 과정을 거친 CAD 데이터는 중첩된 기하 형상이 없어져 CAE 과정에서 쉽게 사용될 수 있다. 타이어는 타이어 단면과 타이어 패턴을 CATIA와 같은 CAD 시스템에서 이차원으로 따로 모델링을 한 후, 이를 NX, FEMAP과 같은 격자 생성 프로그램을 이용하여 이차원 요소인 사각형 격자를 생성한다. 이후 회사에서 개발한 격자 생성 프로그램을 이용하여 삼차원 요소인 육면체 격자를 생성한 후 타이어 본체와 타이어 패턴의 격자를 합쳐서 타이어 전체의 격자를 완성하게 된다. 이러한 타이어를 해석하는 과정 중에서, CAD 시스템에서 모델

<sup>†</sup>Corresponding Author, kslee@hanbat.ac.kr  
©2015 Society of CAD/CAM Engineers

링 한 타이어 본체와 패턴을 격자 생성 프로그램에서 사용하는 과정에 중첩된 기하 요소로 인해 시간이 많이 걸린다. 설계 단계에서 생성되는 이차원 CAD 데이터는 직선, 원호, 원과 같은 곡선 요소로만 모델링 하며 설계 과정에서는 필요한 만큼 기하 요소를 중첩으로 생성하여 사용한다. 그러나 CAD 데이터를 넘겨 받은 격자 생성 프로그램에서는 곡선이 연결되는 패치를 생성한 후 생성된 패치에 사각형 격자를 생성한다. 만약 CAD 데이터에 중첩된 기하 요소가 없다면 자동으로 경계 곡선으로 이루어지는 패치를 생성할 수 있으나, 중첩된 기하 요소가 있는 경우에는 자동으로 패치를 생성하지 못 하고 경계 곡선을 일일이 수동으로 지정해 주어야 하고, 이 작업은 시간이 많이 소요된다. 이 연구에서는 격자 생성 프로그램으로 사용되는 NX에서 중첩된 기하 요소를 검색해 삭제하는 것에 대한 것으로, 해석 작업을 위해 격자 생성을 빨리 할 수 있게 하기 위한 것이다. 이를 위해 2장에서는 타이어 해석 과정을 설명하였으며, 3장에서는 타이어 해석과 중첩된 기하 요소를 제거하는 것에 대한 관련 연구를 설명하였다. 4장에서는 타이어 해석을 위해 중첩된 기하 요소를 제거하는 알고리즘을 제안하였고, 5장에서는 제안한 알고리즘으로 프로그램을 구현하였으며, 6장에서는 타이어 해석에 사용되는 타이어 패턴과 타이어 본체를 예로 들어, 중첩된 기하 요소를 제거하는 것을 보였다.

## 2. 타이어 해석 과정과 격자 생성

### 2.1 타이어 단면 형상

Fig. 1은 타이어의 단면을 보여준다. 타이어는 외부에서 보았을 때 타이어 모양을 나타내는 트레드와 트레드를 제외한 타이어 본체를 따로 분리하여 형상을 모델링 하고 격자도 따로 생성한 뒤 두 중

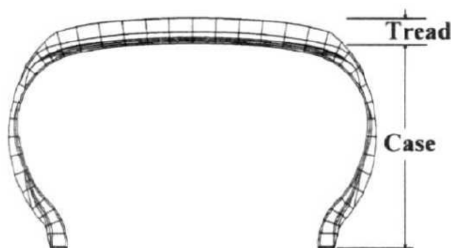


Fig. 1 Section shape of a tire<sup>[1]</sup>

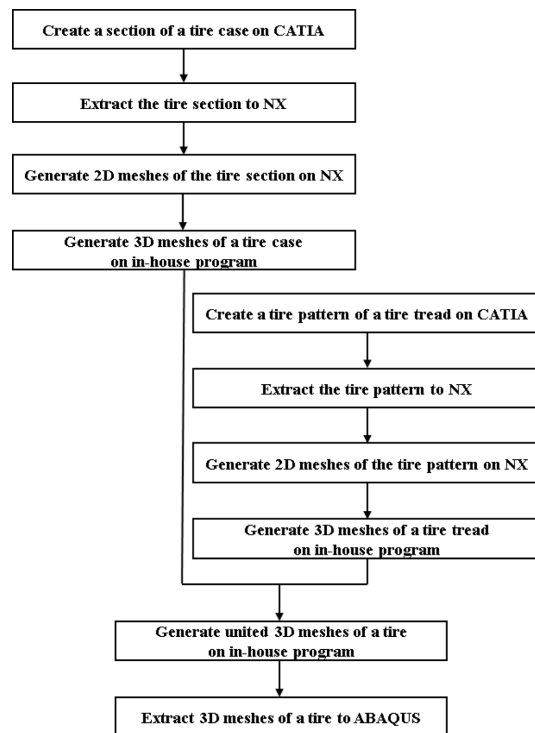


Fig. 2 Work process to create tire meshes

류의 격자를 다시 결합하여 타이어 해석을 위한 격자를 완성한다. Fig. 1의 상단부는 타이어 트레드로 생성된 격자의 단면을 나타낸 것이고, 하단부는 타이어 본체로 생성된 격자의 단면을 나타낸 것이다. 즉, 타이어 트레드와 본체의 격자를 합쳐 완성된 타이어 격자의 단면이다.

### 2.2 타이어 해석 과정

Fig. 2는 타이어 제작사 중 A사가 타이어를 해석하는 방법으로 현재 타이어 격자를 생성하는 일반적인 방법이다. 타이어는 본체와 트레드로 나누어 격자를 생성한 후 최종적으로 합쳐 타이어 전체 격자를 완성한다. Fig. 2에서 CATIA는 다쏘시스템(Dassault Systemes)의 CAD 시스템이고, NX는 지멘스(Siemens PLM Software)의 제품으로 CAD 시스템으로도 많이 사용되나 격자 생성 기능이 우수해 CAE 시스템으로도 종종 사용된다. 그리고 ABAQUS는 다쏘시스템(Dassault Systemes)의 CAE 시스템이다. 타이어 본체는 CATIA에서 형상을 모델링 한 후 중립 파일을 이용해 NX로 데이터를 전달한 후, NX에서 이차원 격자를 생성한다. 이 제작사의 경우 NX에서 이차원 격자를 생

성하는 작업을 수행하는 것이 익숙하기 때문에 이 프로세스를 계속 사용하고 있다. 타이어 트레드는 타이어 표면에 있는 복잡한 형상을 나타내는 것으로 형상을 모델링 하기도 어렵고 최종적으로 삼차원 격자를 생성하는 것을 더 복잡하다. 최종적으로 삼차원 격자를 생성하기 위해 타이어 트레드 형상을 트레드의 표면 형상인 타이어 패턴과 트레드를 지지하는 타이어 본체란 두 종류의 이차원 형상으로 분해해 모델링 한다. Fig. 3은 타이어 트레드를 타이어 패턴과 타이어 본체로 분해한 모습을 보여준다. 타이어 트레드도 타이어 본체와 같이 CATIA에서 형상 모델링을 한 후 중립 파일로 NX에 전달한 후, NX에서 타이어 패턴의 이차원

격자를 생성한다. 생성된 타이어 패턴의 이차원 격자와 타이어 본체 형상을 이용해 자체로 개발한 프로그램을 이용해 타이어 트레드의 삼차원 격자를 생성한다. 타이어 트레드의 삼차원 격자와 타이어 본체의 형상을 이용하여 타이어 본체의 삼차원 격자를 만든 후, 이를 자체 개발한 프로그램을 이용해 타이어 트레드의 삼차원 격자와 결합하여 타이어 전체의 삼차원 격자를 완성한다.

**2.3 중첩된 기하 요소로 인한 시간 낭비**

타이어 본체와 타이어 패턴을 CATIA에서 모델링 한 후, 이 데이터를 중립 파일을 이용해 NX로 전달하면, 같은 요소가 중첩으로 생성되는 현상이 발생한다. CATIA에서 작업할 때에는 동일한 형상을 여러 설계자가 함께 작업하며 자신에게 편리한 방식으로 모델링 하기 때문에 같거나 비슷한 곡선이 중첩되어 생성되어 있으며, 한 곡선과 다른 곡선의 교점에서 서로 분할이 되어 있지 않다. Fig. 4는 이러한 경우를 나타낸다. Fig. 4(a)는 CAD 모델링을 하여 해석 작업을 하기 위해 전달된 데이터를 나타낸다. 이 데이터를 모두 6개의 곡면을 만들고, 이 곡면으로 격자를 생성하려고 한다. Fig. 4(a)에서 점선과 실선으로 된 곡선은 전달 받은 곡선들로서, 실선 a는 동일한 위치에 2개의 직선이 중첩으로 모델링 된 경우를 나타낸다. C2와 같이

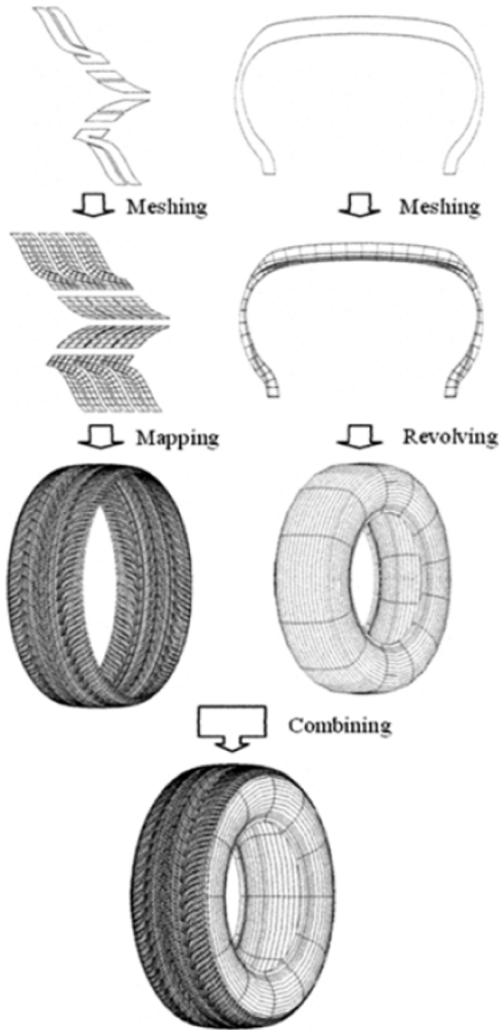
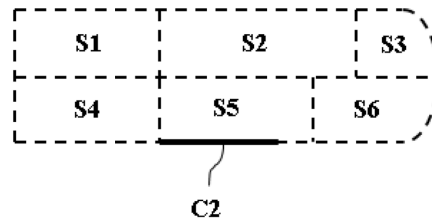
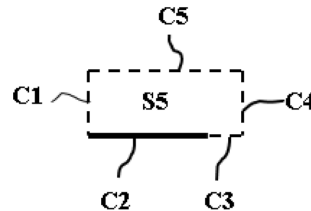


Fig. 3 Tire is decomposed into tire tread and tire case to generate 3D meshes<sup>[2]</sup>



(a) An example of CAD data to generate a boundary surface



(b) S5 has overlapped curves, C2 and C3

Fig. 4 A boundary surface cannot be generated automatically when there are overlapped curves

동일한 위치에 서로 같거나 비슷한 곡선이 중첩으로 모델링 되는 것은 CAD 엔지니어의 입장에서 보면 큰 해가 없고 모델링을 빨리 할 수 있어 자주 발생하게 되며, 이 데이터를 전달 받은 CAE 엔지니어는 중첩된 곡선을 삭제하기 위해 시간 낭비가 많다. Fig. 4(b)와 같이 경계 곡선으로 곡면 S5를 만들 경우, 자동으로 경계 곡선을 찾아 곡면을 형성하려고 하면 C1, C2 순서로 찾은 경우 C2 다음으로 연결된 곡선을 찾지 못해 CAE 엔지니어가 경계 곡선 C1, C3, C4, C5를 선택해 주어야 하며, 생성할 곡면이 많을 경우 시간 낭비가 많아지게 된다. 만약 Fig. 4(a)의 C2와 같은 기하 요소가 없다면 전체 경계 곡선을 선택하여 자동으로 곡면을 생성할 수 있게 되어 해석을 하는 데 시간을 많이 절약할 수 있다. Fig. 5는 A사의 타이어 본체이다. 이 경우 경계 곡선이 213개, 생성되어야 할 곡면이 164개이다. 이 경우 중첩된 곡선을 제거하고 곡선을 분할해 가며 곡면을 모두 생성하는데 약 4시간 소요되며 작업 중 실수도 많아지게 된다. 타이어 제작사인 A사의 CAE 엔지니어는 이러한 작업을 매일 해야 하므로 신속하고 실수가 없이 격자 생성을 위한 곡면 생성을 하기 위해 이 연구를 하게 되었으며, 이 연구에서 제안하는 알고리즘으로 중첩된 곡선을 미리 제거하고 곡선 간 교점에서 곡선들을 분할한다면 격자 생성을 위한 곡면을 자동으로 생성할 수 있게 된다.

타이어 본체와 패턴의 해석을 하는데 시간이 많이 소요되는 문제점을 해결하기 위해, CATIA에서는 설계자들이 형상을 편하게 모델링 하기 위하여 비슷한 요소가 중첩되게 모델링 하는 것을 막기

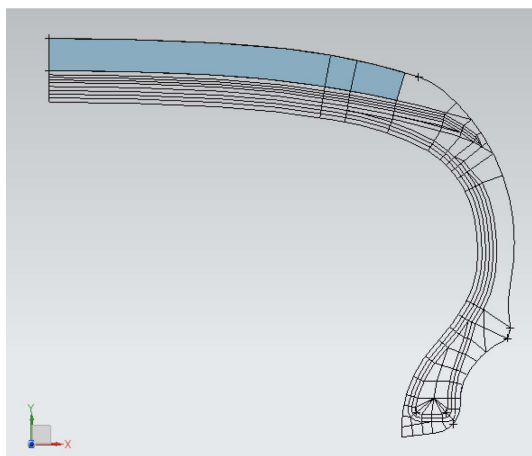


Fig. 5 An example a section of a tire case

어려우며, 이 데이터를 전달받은 NX에서 중첩 요소를 제거하기로 하였다. 만약 중첩된 요소가 있으면 이 후 타이어 본체와 타이어 트레드의 이차원 격자를 생성하는 데 시간이 많이 걸리므로, 이차원 격자를 생성하기 전에 미리 중첩된 기하 요소를 제거하고, 곡선 간 교점을 분할하였다. 타이어 본체와 타이어 트레드는 이 후 가공을 고려해 주로 직선과 원호로 모델링 하기 때문에 직선과 원호가 중첩되는 현상을 알아보기로 한다.

### 3. 관련 연구

상세한 타이어 트레드의 패턴을 반영하여 삼차원 격자를 생성하는 연구<sup>[1-6]</sup>가 수행되었다. 조진래 등<sup>[1]</sup>은 트레드 패턴의 상세한 형상을 반영하여 타이어의 유한 요소 격자를 생성하였다. 타이어의 트레드 부분과 타이어 본체 부분을 분리하여 각각 격자를 생성하고, 두 종류의 격자를 다시 결합하여 타이어 전체의 격자를 완성한 것으로, 상세 패턴 변화를 고려한 트레드의 격자를 생성하여 타이어의 유한 요소 해석 결과를 향상시키려고 노력하였다. 이 연구는 본 연구 내용과 격자 생성 과정이 유사하고 또한 타이어의 일반적인 격자 생성 방법을 따르고 있다. 그러나 사용하는 CAD 및 CAE 소프트웨어가 다르고, 시간이 많이 소요되는 중첩되는 기하 요소를 자동으로 해결하지 않았으며 트레드 격자를 생성하는 방법이 다르다. 조진래 등은 트레드 패턴 형상을 반영하여 타이어 격자 생성 프로그램을 개발한 후 이를 타이어의 잔류 복원 토크와 마찰 에너지를 해석한 사례<sup>[2]</sup>와 타이어의 동적 거동을 해석한 사례<sup>[3]</sup>를 발표하였다. 또한 김기운 등은 조진래 등<sup>[1]</sup>이 개발한 타이어 격자 생성 프로그램을 이용하여, 트레드 패턴을 반영한 격자를 생성하여 비선형 해석을 수행하여 타이어의 스탠딩 웨이브 현상을 해석<sup>[4]</sup>하였고, 또한 정상 상태에서의 타이어 온도 예측 해석<sup>[5]</sup>을 수행하였다. 류철호 등<sup>[6]</sup>은 CATIA에서 사용할 수 있는 타이어 트레드 격자를 생성할 수 있는 방법을 제시하였다. 이 방법에서는 그루브(groove), 커프(kerf), 모따기(chamfer), 타이바(tie-bar) 등 트레드의 상세한 특징 형상을 반영하였으나 구체적인 방법 및 결과에 대한 제시가 되지 않았다.

그리고 이 연구 과제에서 이전 연구보다 해석 시간을 줄이기 위해 적용된 중첩된 기하 요소를

제거하는 방법에 대한 연구<sup>[7-9]</sup>가 있다. 김용식 등<sup>[7]</sup>은 MEMS 설계에 사용되는 이차원 CAD 데이터를 보다 정확한 해석을 하기 위해 삼차원 데이터로 변환하는 과정에서 발생하는 중첩되는 요소를 자동으로 처리하는 방법에 대한 연구를 수행하였다. 그러나 이 연구에서 사용되는 요소는 본 연구에서의 대상인 직선과 원호와 같은 기하 요소가 아니라, 대상의 최외각 선을 하나로 연결한 곡선인 실루엣과 같은 특징형상이라 본 연구와 접근 방법이 다르다. Atia<sup>[8]</sup>는 DXF 파일에서 중첩된 요소를 찾아내어 제거하는 연구를 수행하였다. 이 연구에서 Atia는 DXF 포맷으로 CAD 데이터를 전달받았을 때 기하 요소들이 중첩되어 있는 것을 발견하고 이를 수정하는 연구를 수행하였다. Atia는 기하 요소가 중첩되는 원인을 분석하였으며, 대부분의 원인은 설계자가 CAD 시스템에서 형상을 모델링 할 때 중첩되는 것에는 신경을 쓰지 않는 등 처음 CAD 데이터가 중첩되어 있기 때문에, 이를 변환한 DXF 파일에도 당연히 중첩된 요소가 있고, DXF 파일에서 중첩된 요소를 삭제하는 방법에 대한 연구를 수행하였다. 본 연구와의 차이점은 본 연구에서는 IGES 포맷을 사용한다는 것과 또 본 연구에서는 일단 NX 데이터로 변환한 후 중첩 요소를 삭제하는 것이 다른 점이다. 박상호 등<sup>[9]</sup>은 IGES 포맷으로 CAD 데이터를 교환할 때 생기는 오류를 진단하는 시스템에 대한 연구를 수행하였다. 이 연구에서는 CAD 데이터를 IGES 포맷으로 교환할 때 모델링 작업을 한 CAD 시스템에서 IGES로 변환하는 과정에서 오류가 많이 생기며, 이 오류를 진단하는 연구를 수행하였다.

본 연구는 IGES로 전달된 CAD 데이터를 NX로 입력하여 NX에서 중첩된 기하 요소를 찾아내어 중첩된 요소를 제거하는 내용으로, Atia의 연구와 목적이 유사하나 Atia는 DXF의 Entity 양식에서 중첩되는 요소를 찾으려고 하였으며 본 연구는 NX 데이터를 조회하여 중첩된 요소를 찾아 제거하는 점이 다르다.

#### 4. 중첩된 기하 요소 제거

CATIA에서 모델링 된 타이어 패턴과 타이어 본체는 중립 파일인 IGES 포맷으로 NX로 전달된다. 그러나 IGES 포맷은 원래 형상이 이상적으로 모델링 되지 않았을 경우 사용된 기하 요소들이

중첩되어 생성되고, 이 데이터를 받은 후 중첩된 기하 요소를 지워야 하는 등 수정 작업을 해 줘야 하며, 이 수정 작업에 많은 시간이 소요된다<sup>[8]</sup>. IGES 이외의 중립 파일 포맷인 STEP이나 DXF를 사용하는 것을 시도하였으나, STEP이나 DXF도 기하 요소 중첩 문제를 해결하는데 특별한 이점이 없어 현재 IGES 포맷을 사용하고 있다. 중립 파일로 CAD 데이터를 전달할 때 일반적으로 다음과 같은 이유로 DXF 포맷에서 기하 요소가 중첩된다<sup>[8]</sup>. CAD 데이터를 CAE 데이터로 전달할 때도 유사한 문제가 발생한다.

(1) 형상 모델링을 하는 설계자 중 직선과 원, 원호 등을 그릴 때 중첩되게 그리는 사람이 많다. 대부분의 작업자는 형상 모델링을 할 때 사용했던 보조선을 지우지 않으며, 형상 모델링을 할 때 이상적으로 모델링 하는 작업 순서를 무시하며, 이러한 이유로 필요하지 않는 기하 요소들이 중첩되어 생성된다.

(2) 여러 기하 요소를 그룹으로 묶어 블록(block)이란 특징 요소를 사용하여 모델링 하는 경우가 많다. 블록을 사용하면 여러 기하 요소를 한번에 처리할 수 있는 장점이 있는 반면 기하 요소가 중첩으로 생성되기 쉽다. 블록을 여러 번 사용하는 복잡한 형상을 모델링 할수록 기하 요소가 중첩되는 경향이 있다.

(3) 형상 모델링 할 때 다른 CAD 시스템에서 모델링 한 것을 삽입하여 모델링 하는 경우가 있다. 이 때 기하 요소가 중첩되기 쉽다.

본 연구에서는 CATIA에서 IGES 포맷으로 NX에 전달된 타이어 패턴과 본체 기하 요소가 중첩된 것이 많았으며, 이렇게 중첩된 기하 요소가 있으면 해석을 위해 격자 생성을 하는데 시간이 많이 소요되었다. 그래서 격자 생성 작업을 하기 전에 중첩된 기하 요소를 모두 삭제해야 하며, 이 과정에서 시간이 많이 소요된다. 그래서 타이어에서 중첩된 CAD 요소를 정리하는 연구는 다음과 같은 순서로 진행하였다.

CAD 데이터에 사용되는 기하 요소의 특성<sup>[10]</sup>을 검토하였다. 이 연구에서는 타이어 패턴과 본체를 표현할 때 사용하는 기하 요소인 점과 직선, 호, 원 요소에 초점을 맞추었다. 점의 경우 중첩된 점이 있어도 격자 생성 작업을 하는데 지장을 주지 않아 개발된 프로그램에서는 중복된 점을 제거하지

는 않았다. A사의 경우 타이어 패턴과 타이어 본체는 모두 XY 평면에서 모델링 된다. 각 요소의 기하 특성은 다음과 같은 방식으로 정의되어, 정의된 방법에 따라 중첩 요소인지 판단하였다. 중첩 요소를 판단할 때 사용한 공차로 NX에서는 1.0E-5보다 큰 값을 사용할 것을 추천하고 있으며, 본 연구에서는 여러 번의 시험 후 1.0E-4를 공차로 사용하였다. 색이나 선의 종류 등 기하 특성이외의 속성은 이 후 해석에서 필요한 요소가 아니므로 이 연구에서는 취급하지 않았다.

**4.1 점(Point)**

점은 기하 속성은 공간상의 절대 좌표이다. 공간상의 절대 좌표가 동일하면 동일한 점으로 판단한다.

**4.2 직선(Line)**

직선의 기하 속성은 양끝점이다. 끝의 두 점이 동일하면 동일한 직선으로 판단한다. 한 직선이 다른 직선의 일부분일 수도 있으며, 다른 직선과 일부분이 중첩되어 있을 수도 있다. 한 직선이 다른 직선의 일부분일 경우에는 중첩된 구간을 분할하

여 동일한 직선인지 검사한다.

Fig. 6은 직선이 다른 직선과 중첩되는 지 검사하고 중첩되는 부분을 삭제하는 알고리즘으로 다음과 같이 수행된다.

- (1) 기하 요소에서 모든 직선을 추출한다.
- (2) 각 직선마다 양 끝 점이 상대 직선의 내부에 있는지 검사하여, 내부에 있는 경우에는 상대 직선을 그 내부 점을 기준으로 분할한다. 이를 위해 Fig. 7에서와 같이 점  $\vec{P}$ 와 직선의 두 점  $\vec{P}_1, \vec{P}_2$ 로 다음과 같이 식을 구성해 검사한다. 일반적으로 사용되는 평면에서 직선과 점 사이의 거리 식을 이용할 수도 있으나, 거리 식을 사용해 계산된 거리가 0이 나와도 양 끝 점이 있는 직선의 내부에 있는지 다시 확인해야 하므로, 다음 식 (1)을 사용하는 것이 정확하고 편리하다.

$$\begin{aligned} \vec{V}_1 &= \vec{P} - \vec{P}_1 \\ \vec{V}_2 &= \vec{P}_2 - \vec{P} \\ \text{value} &= \vec{V}_1 \cdot \vec{V}_2 \end{aligned} \tag{1}$$

식 (1)에서 value가 0인 경우 Fig. 7(b) 경우가 되어 점  $\vec{P}$ 는 양 끝 점이  $\vec{P}_1, \vec{P}_2$ 인 직선 내부에 있게 된다. 만약 value가 음수이면 Fig. 7(a)처럼 점  $\vec{P}$ 를 직선에 투영하여도 직선 외부에 있게 되고,

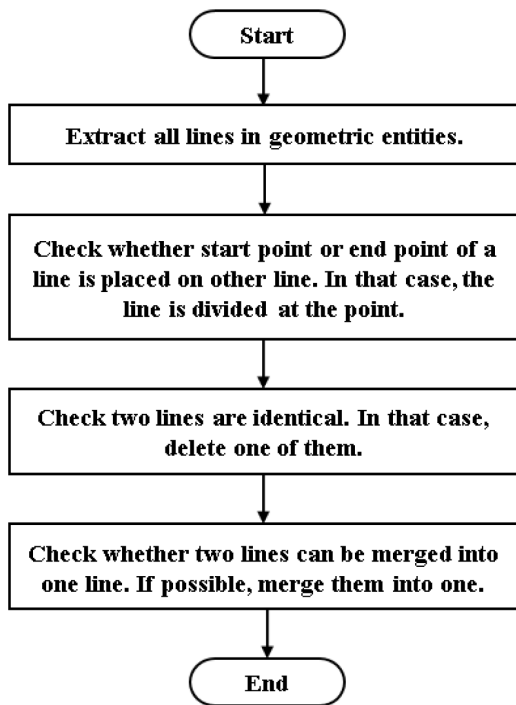


Fig. 6 An algorithm that detects overlapped lines and deletes one of them

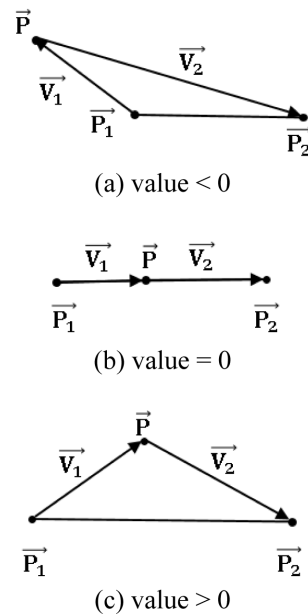


Fig. 7 A method to find out whether a point is on a line or not

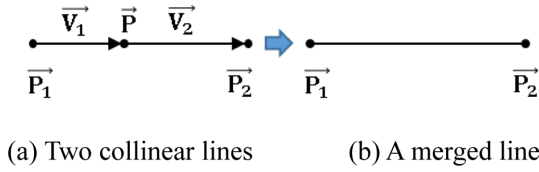


Fig. 8 Merging two collinear lines

양수이면 Fig. 7(c)처럼 점  $\vec{P}$ 를 직선에 투영하면 직선 위에 있지만 value 만큼 거리가 떨어져 있게 된다. Fig. 7(b)의 경우에는 기존의 직선  $\overline{P_1P_2}$ 는 두 개의 직선  $\overline{P_1P}$ 와  $\overline{PP_2}$ , 두 개로 분할된다.

(3) 각 직선마다 다른 직선과 중첩되는지 검사한다. 중첩되면 직선 하나를 삭제한다.

(4) 각 직선마다 다른 직선과 결합할 수 있는 지 검사하여, 결합할 수 있는 경우 결합한다. Fig. 8(a)에 있는 두 직선  $\overline{P_1P}$ 와  $\overline{PP_2}$ 는 끝 점이 일치하고 일직선 상에 있게 되어 다음 식 (2)를 만족한다. 이때 점  $\vec{P}$ 를 삭제하고 하나의 직선  $\overline{P_1P_2}$ 로 만든다.

$$\begin{aligned} \vec{V}_1 &= \vec{P} - \vec{P}_1 \\ \vec{V}_2 &= \vec{P}_2 - \vec{P} \\ \vec{V}_1 \cdot \vec{V}_2 &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

4.3 호(Arc)

호의 기하 속성은 다음과 같이 시작 위치와 끝 위치를 점으로 표현하는 방법과 각도로 표현하는 방법이 있다.

- (1) 중심점, 반지름, 시작 각, 끝 각
- (2) 중심점, 시작점, 끝점
- (3) 원호 상의 세 점

A 사의 경우 타이어 패턴과 타이어 본체는 XY 평면에서 모델링 되므로, 이러한 설계 환경에 맞춰 호의 중첩을 처리하는 알고리즘을 개발하였다. 그래서 이 연구에서는 호를 정의하는 첫 번째 방법, 즉, 중심점과 반지름, 시작 각, 끝 각으로 호를 정의하였다. 또한 XY 평면에서 +Z 축을 회전축으로 하여 호가 시계 반대 방향으로 진행하도록 모든 호를 재정의 하여 사용하였다. 그리고 원호가 시작 위치를 지나며 정의되는 경우, 예를 들어 시작 각이 340°이고 끝 각이 10°인 경우, 끝 각에 360°를 더해 주어 끝 각을 370°로 변경하여, 끝 각이 반드시 시작 각보다 크도록 재정의 하였다. 직

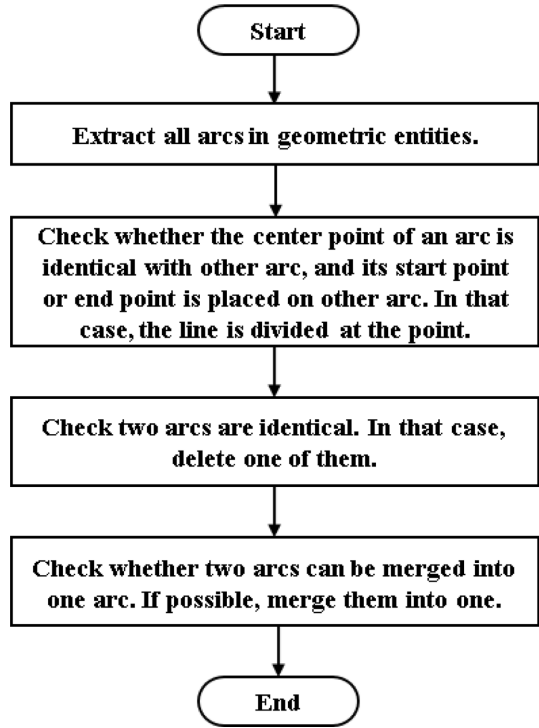


Fig. 9 An algorithm that detects overlapped arcs and deletes one of them

선에서와 마찬가지로, 호의 일부 구간이 중첩되어 있을 경우에는 중첩된 구간을 분할하여 동일한 호인지 검사한다.

Fig. 9는 직선이 다른 직선과 중첩되는 지 검사하고 중첩되는 부분을 삭제하는 알고리즘으로 다음과 같이 수행된다.

- (1) 기하 요소에서 모든 원호를 추출한다.
- (2) 추출된 원호를 +Z 축을 중심으로 시계 반대 방향으로 진행하고, 끝 각이 반드시 시작 각보다 크도록 재정의한다.
- (3) 각 원호마다 상대 원호와 중심점이 일치하고 시작 각과 끝 각이 상대 원호의 내부에 있는지 검사하여, 내부에 있는 경우에는 상대 원호를 그 각을 기준으로 분할한다. 시작 각과 끝 각이 상대 원호의 내부에 있는지 검사할 때에는 작업 평면이 지정되어 있으므로 단순히 숫자 비교만 하면 된다.
- (4) 각 원호마다 다른 원호와 중첩되는 지 검사한다. 중심점, 시작 각, 끝 각이 모두 같으면 두 원호는 중첩되는 것이고, 중첩되면 원호 하나를 삭제한다.

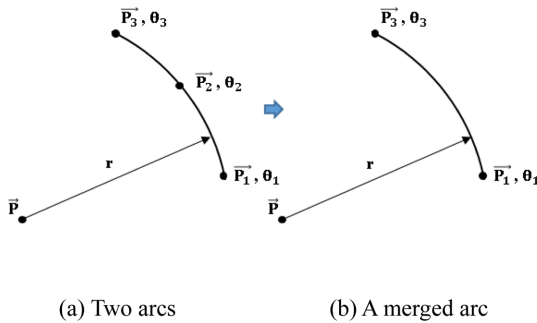


Fig. 10 Merging two arcs

(5) 각 원호마다 다른 원호와 결합될 수 있는 지 검사한다. 연속된 두 원호가 결합되려면 중심점이 동일해야 하고 한 원호의 끝 각이 다른 원호의 시작 각이어야 하며, 결합될 수 있는 경우 결합한다. Fig. 10(a)에는 중심점이  $\vec{P}$ , 반지름  $r$ 로 동일한 두 원호가 있다. 한 원호는 시작 각이  $\theta_1$ , 끝 각이  $\theta_2$ 이고, 다른 원호는 시작 각이  $\theta_2$ , 끝 각이  $\theta_3$ 로, 첫 번째 원호의 끝 각과 두 번째 원호의 시작 각이 동일하여 두 원호는 결합이 가능하다. 두 원호를 결합하면 Fig. 10(b)와 같이 중심점이  $\vec{P}$ , 반지름  $r$ , 시작 각이  $\theta_1$ , 끝 각이  $\theta_3$ 인 하나의 원호가 된다.

4.4 원(Circle)

원이 기하 속성은 중심점과 반지름이다. 두 원의 중심점과 반지름이 동일하면 중첩된 원으로 판정하고 둘 중 하나를 삭제한다.

5. 타이어의 중첩 기하 요소를 제거하는 프로그램 개발

본 연구에서 제안한 알고리즘으로, 다음과 같은 환경에서 타이어 본체와 타이어 패턴의 중첩 기하 요소를 제거하는 프로그램 개발하였다.

- OS: Windows 7 Professional
- Neutral Format: IGES
- CAD/CAE System: NX 9.0
- API: NX OPEN
- Program Language: C# on Visual Studio 2010

Fig. 11은 4장에서 제안한 알고리즘으로 본 연구에서 개발한 프로그램의 GUI를 보여준다. 이 프로그램은 NX의 API인 NX OPEN과 C#을 이용하

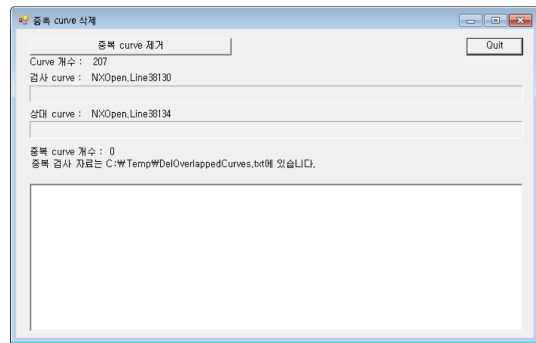


Fig. 11 GUI of the developed program

여 개발되어 NX 환경에서 구동된다. 이 프로그램이 구동될 때 현재 NX에서 작업 중인 CAD 데이터를 조회해 직선과 호, 원 등 곡선의 개수를 왼쪽 위에 표시한다. Fig. 11의 GUI에는 현재 작업 중인 CAD 데이터에서 중첩 검사를 해야 할 대상 곡선이 207개 있음을 보여준다. 그 아래 쪽에는 검사하는 곡선과 상대편 곡선을 나타낸다. 검사 곡선으로 NXOpen.Line38130이라고 되어 있으며, 이는 NX의 API인 NX OPEN으로 조회되었으며 조회된 곡선이 직선이고 NX에서 고유 ID가 38130인 것을 의미한다. 검사할 곡선과 상대 곡선의 아래에는 프로그레스바로 검사의 진행률을 표시한다. 그 아래쪽에는 중첩 곡선으로 판정된 곡선의 개수가 나타나고, 검사를 수행한 상세한 정보는 C:\Temp\DelOverlappedCurves.txt에 저장되는 것을 나타낸다. 가장 아래쪽 리스트 창에는 중첩 곡선으로 판정되어 삭제된 곡선에 대한 간략한 정보가 표시된다.

6. CASE STUDY

6.1 타이어 패턴

Fig. 12는 NX에서 타이어 패턴을 IGES 포맷으로 읽은 모습이다. 이전에 설명한 대로 타이어 패턴은 XY 평면상에서 모델링 되어 전달된다. Fig. 13은 본 논문에서 제안한 알고리즘을 적용한 적용한 화면을 보여주며, 화면에서 전달받은 곡선은 총 109개이고 이 중 직선이 6개, 원호가 6개 중첩되어 삭제되었음을 알 수 있다. 개발된 프로그램을 사용하기 전, 즉, 중첩된 기하 요소가 있을 경우에는 격자를 생성하는데 약 2시간이 걸리던 작업이, 개발된 프로그램을 사용하여 중첩된 기하 요



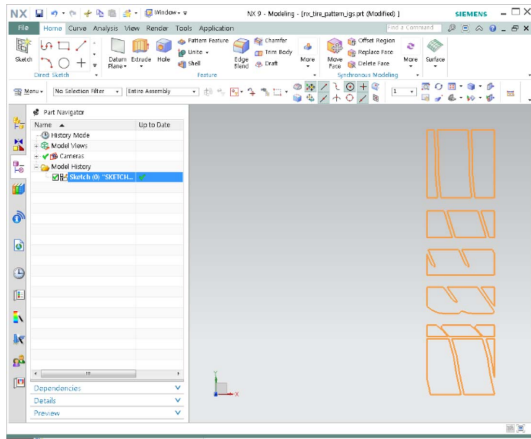


Fig. 12 An example of a shape of a tire pattern

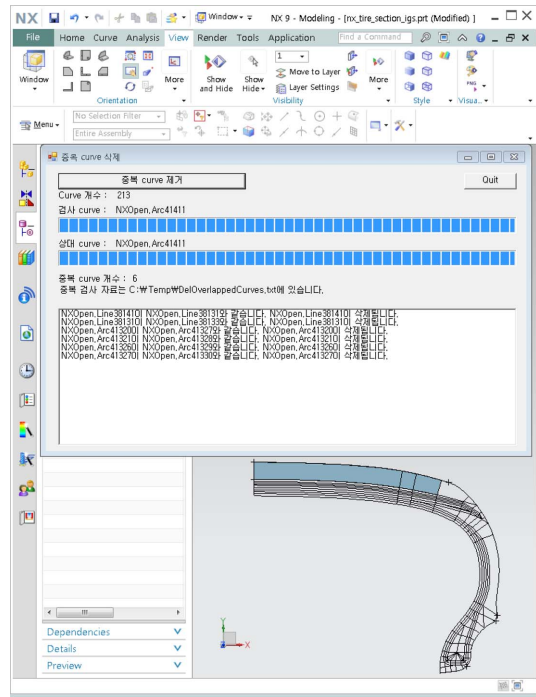


Fig. 14 The developed program was applied to a tire case

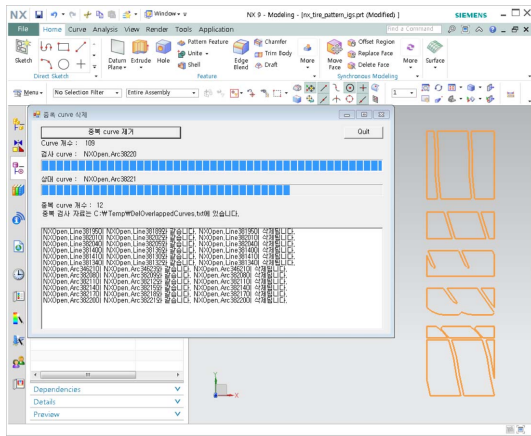


Fig. 13 The developed program was applied to a tire pattern

소를 제거한 후에는 격자를 생성하는데 약 10분이 걸렸다.

6.2 타이어 본체

Fig. 14는 NX에서 타이어 본체를 IGES 포맷으로 읽은 후, 본 논문에서 제안한 알고리즘을 적용한 적용한 화면을 보여준다. 화면에서 전달받은 곡선은 총 213개이고 이 중 직선이 2개, 원호가 6개 중첩되어 삭제되었음을 알 수 있다. 중첩된 기하 요소가 있을 경우에는 격자를 생성하는데 약 4시간이 걸리던 작업이, 개발된 프로그램을 사용하여 중첩된 기하 요소를 제거한 후에는 격자를 생성하는데 약 20분이 걸렸다.

7. 결 론

본 연구에서는 타이어 해석을 위해 타이어 패턴과 타이어 본체에서 중첩된 기하 요소를 찾아내어 제거하는 연구를 수행하였다. 타이어 형상 모델링을 위해 사용되는 곡선으로는 직선과 호, 원이 있으며, 이러한 기하 요소가 중첩되어 있을 때에는 해석을 위해 경계 곡선으로 만들어지는 곡면을 자동으로 격자를 생성할지 못 하여, 격자를 생성하는데 시간이 많이 걸렸다. 이번 연구로 개발된 프로그램을 사용하여 중첩된 기하 요소를 제거한 후에는 시간이 많이 단축되는 것을 알 수 있어, 본 연구로 인해 개발된 프로그램이 격자 생성 업무가 많은 타이어 해석 엔지니어에게 도움이 됨을 알 수 있었다.

중첩된 기하 요소를 제거하는 것 이 외에도 타이어 해석 업무를 더욱 잘 하기 위해서는 그루브, 타이 바, 패턴의 리브 형상, 패턴의 구배, 홈의 챔퍼 등 실제 타이어 패턴을 표현할 수 있는 3차원 격자 생성 기술 등 아직 해결해야 할 기술적인 문제가 많다. 이러한 기술적인 문제가 많이 해결될

수록 타이어 해석 기술은 더욱 발전할 것이므로, 이러한 기술에 대한 지속적인 연구가 수행되어야 한다.

### 감사의 글

이 논문은 2013년도 한밭대학교 교내 학술연구비의 지원을 받았음.

### References

1. Cho, J.R., Kim, K.W., Hong, S.I., Kim, N.J. and Kim, K.W., 2003, 3-D Finite Element Mesh Generation of Tires Considering Detailed Tread Pattern, *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, 27(10), pp.1615-1622.
2. Kim, K.W., Jeong, H.S., Cho, J.R. and Yang, Y.S., 2004, Finite Element Analysis on Residual Aligning Torque and Frictional Energy of a Tire with Detailed Tread Blocks, *Transactions of KSAE*, 12(4), pp.173-180.
3. Kim, K.W. and Jeong, H.S., 2004, Dynamic Behavior Analysis of a Tire Considering Tread Pattern, *Proceedings of Spring Conference of KSAE 2004*, pp.35-49.
4. Kim, K.W. and Jeong, H.S., 2006, Finite Element Analysis on Standing Wave Phenomenon of a Tire Considering Tread Pattern, *Transactions of KSAE*, 14(2), pp.76-83.
5. Kang, S.J., Jeong, K.M., Kim, K.W. and Chang, D.H., 2012, Prediction of Temperature Distribution of a Tire Considering Tread Pattern, *Proceedings of KSAE*, pp.1224-1229.
6. Ryu, C.H., Han, S.G., Cho, N.D., Jeon, S.M., Kim, K.H. and Woo, J.H., 2010, Development of a Mesh Generation Tool of a Tire Tread Pattern, *Proceedings of the Society of CAD/CAM Engineers Conference*, p.509.
7. Kim, Y. and Kim, J., 2006, Data Translation from 2D MEMS Design Data by the Removal of Superposed Entity to the 3D CAD Model, *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 11(6), pp.447-454.
8. Atia, M.R.A., 2014, Classification and Elimination of Overlapped Entities in DXF Files, *Ain Shams Engineering Journal*, 5, pp.851-860.
9. Park, S.H., Park, J.W., Han, S.H., Choi, Y., Yang, J.S. and Lee, B.H., 2003, Diagnostic System of Modeling Errors Generated from IGES CAD Data Exchange, *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, 20(10), pp.218-225.
10. K. Lee, 1999, *Principles of CAD/CAD/CAE Systems*, Addison Wesley.



### 이 강 수

1987년 서울대학교 기계설계학과 학사  
 1989년 서울대학교 기계설계학과 석사  
 1999년 서울대학교 기계설계학과 박사  
 1989년~2000년 대우중합기계(현 두산인프라코어) 선임연구원  
 2000년~2002년 국민대학교 연구교수  
 2004년 MIT 기계공학과 Visiting Scholar  
 2002년~현재 한밭대학교 기계공학과 교수  
 관심분야: CAD/CAM, Intelligent CAD, Product Design, Design Automation System, Digital Mockup