

상세 트레드 패턴을 반영한 3차원 타이어 메쉬 생성

Three-Dimensional Finite Element Mesh Generation of Tires Considering Detailed Tread Patterns

조진래* · 김기환** · 홍상일** / 김남전*** · 김기운***

J. R. Cho, K. W. Kim and S. I. Hong/ N. J. Kim and K. W. Kim

Key Words: Tire(타이어), FEM Mesh(유한요소 메쉬), Detailed Tread Pattern(상세 트레드 패턴), A-SD(Anti-Skid Depth), Groove(그루브), Case(타이어 본체)

ABSTRACT

While contacting directly with ground, the tire tread part is in shape of complex patterns of variable ASDs(anti-skid depth) for various tire performances. However, owing to the painstaking mesh generation job and the extremely long CPU-time, conventional 3-D tire analyses have been performed by either neglecting tread pattern or modeling circumferential grooves only. As a result, such simplified analysis models lead to considerably poor numerical expectations. This paper addresses the development of a systematic 3-D mesh generation of tires considering the detailed tread pattern. Basically, tire body and tread meshes are separately generated, and then both are to be combined. For the systematic mesh generation, which consists of a series of meshing steps, we develop in-house subroutines which utilize the useful functions of I-DEAS solid modeler. The detailed pattern mesh can be imparted partially or completely.

1. 서론

타이어는 주행 중인 자동차의 하중을 지지하는 부품으로, 자동차의 안정성과 주행에 크게 기여하고, 핸들링, 지면과의 마찰 특성, 구름 저항, 마모 특성 등을 좌우하는 중요한 부품이다.[1] 트레드(tread)는 타이어가 전동할 때 노면과 직접 접촉하는 부분으로, 카카스를 보호함과 동시에 타이어와 노면간의 마찰계수를 확보하여 유효한

제동력이나 조종성을 발휘시키기 때문에 중요한 부분이다. 기존의 유한요소해석에 사용된 타이어 메쉬에서는 트레드 부분을 원주방향의 주 그루브(main groove)만을 모델링하고, 축방향의 그루브는 반영하지 못 하였다. 결국 트레드 부분의 신뢰할 수 있는 유한요소 해석이 어려웠다. 하지만, 컴퓨터 성능과 모델러의 발전은 상세패턴을 고려한 메쉬 생성을 가능하게 하였다.

본 연구에서는 트레드 부분의 상세패턴을 ASD(anti-skid depth)의 변화를 고려하여 타이어의 3차원 유한요소 메쉬를 생성하였다. 트레드 부분과 타이어 본체 부분을 분리하여 메쉬를 생

* 회원, 부산대학교 기계기술 연구소
E-mail : jrcho@hyowon.pusan.ac.kr
Tel : (051)510-2467 FAX : (051)514-7640
** 부산대학교 대학원 기계설계공학과
*** (주)금호산업 R&D Center

성하고, 두 메쉬를 다시 결합하여 하나의 타이어 메쉬를 만들게 된다. 상세패턴 또는 ASD의 변화를 고려한 트레드의 메쉬는 타이어 본체 메쉬에 대해 부분적 또는 전체적으로 결합되어 다양한 해석을 효율적으로 수행할 수 있다. 생성된 3차원 유한요소 메쉬를 통해 유한요소 해석결과와 성능 향상, 해석 범위의 확대 그리고, 유한요소 모델링 오차의 감소를 기대할 수 있다.

2. 메쉬 생성 절차 및 합체 방식

2.1 메쉬 생성 절차

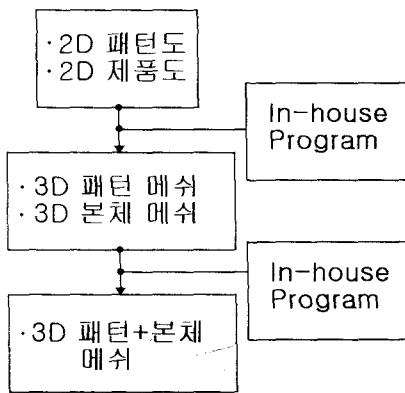


Fig. 1 Flowchart of 3-D tire mesh generation

상세패턴이 적용된 타이어의 유한요소 메쉬를 생성하기 위해서 5개의 In-house 프로그램을 개발하였다. 프로그램은 Fortran언어를 이용하였으며, 일반 PC환경에서 충분히 모델링 작업을 할 수 있도록 하였다.

모델링 절차를 Fig. 1의 플로차트에 나타내었다. 먼저, 타이어 상세패턴의 제품도로부터 2차원 1피치의 패턴메쉬를 생성한다. 생성된 2차원 1피치의 패턴메쉬를 In-house 프로그램을 이용하여 2차원 멀티피치 패턴으로 확장한 후, In-house 프로그램을 이용하여 3차원 멀티피치의 상세패턴 메쉬를 생성한다. 한편, 케이스는 2차원 축대칭 형상의 메쉬를 In-house 프로그램을 이용하여 3차원 케이스 메쉬를 만든다. 끝으로, 형성된 3차원 상세패턴 메쉬와 타이어 본체 메쉬를 결합하

여 상세패턴이 적용된 타이어의 유한요소 메쉬를 생성한다.

2.2 합체 방식

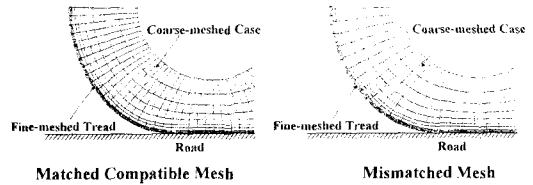


Fig. 2 Combining methods of fine-meshed tread and coarse-meshed tire body

지면에 의해 트레드에 작용하는 압력분포의 변화는 매우 크다. 따라서, 정교한 3차원 타이어 해석을 위해 트레드 부분에 세밀한 메쉬가 필요하다. 하지만, 모델링과 해석에 수반되는 CPU시간을 줄이기 위해 케이스 부분에 비교적 성근 메쉬를 적용할 필요가 있다.[3] 이를 위해 Fig. 2와 같이 트레드 부분과 케이스 부분에 따로 메쉬를 생성하고, 두 메쉬를 붙이는 형식으로 전체 타이어의 메쉬를 생성하였다. 그 결과, 트레드 부분과 케이스 부분이 접하는 면에서 절점이 서로 일치하지 않게 된다. 하지만, 트레드 부분과 케이스 부분이 분리된 두 개의 구조물로서 매우 큰 접촉 압력에 의해 서로 접촉되어 있어, 이 두 부분은 제약 조건으로 인해 서로 미끄러지지 않고, 공유면의 절점들의 불일치는 문제되지 않는다.

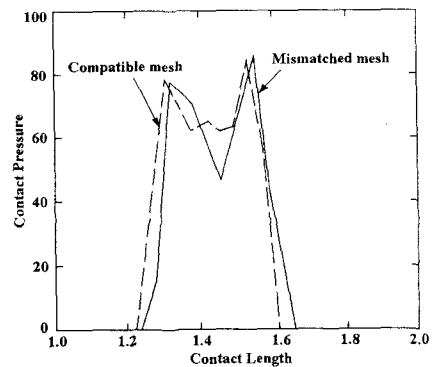


Fig. 3 Contact pressure comparison between compatible and mismatched meshes

공유면의 절점이 불일치하는 메쉬와 일치하는 메쉬에 대해 각각 2차원 모델을 생성하여 불일치하는 메쉬의 타당성을 검증하였다. 접지압 해석을 수행하였고, 해석결과를 Fig. 3에 나타내었다. 해석 결과로부터 두 경우가 거의 같은 경향을 가짐을 알 수 있다.[9]

3. 패턴 메쉬 생성

2차원 멀티피치의 패턴으로 만드는 과정은 1피치 패턴의 단순 확장으로 이루어져 있다. 먼저, Fig. 4와 같이 1피치 패턴의 제품도로부터 상용 프로그램인 I-deas를 이용하여 메쉬를 생성한다.

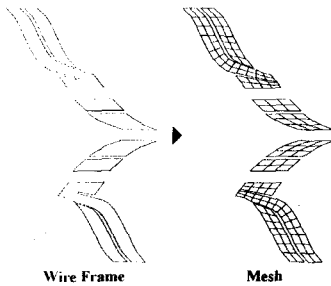
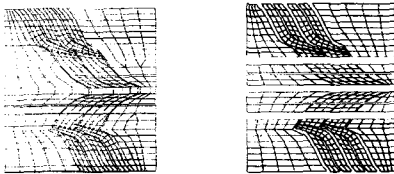


Fig. 4 Generation of 2-D 1-pitch pattern mesh

생성된 메쉬의 피치부분은 In-house프로그램에 의해 여러 개로 복사되어 하나의 멀티피치를 이루게 된다. 2차원 멀티피치 패턴을 Fig. 5에 나타내었다. (a)는 ASD의 변화를 고려한 것이고, (b)는 ASD의 변화를 고려하지 않은 패턴이다. ASD의 변화를 고려한 메쉬의 경우에는 피치와 피치사이에 새로운 메쉬가 생성되는데, 이 메쉬도 상용프로그램을 이용하여 제품도로부터 생성된 것이다.



(a) with ASD (b) without ASD

Fig. 5 2-D multi-pitch pattern mesh

앞에서 생성된 2차원 멀티피치의 메쉬를 Fig. 6에 나타낸 트레드의 표면으로 사상(mapping)함으로써 3차원 멀티피치의 메쉬가 생성된다. 트레드 단면은 좌우 대칭이며, 윗면과 아랫면은 각각 4개의 원호로 표현된다. 이 단면의 윗면이 타이어의 바깥면이 되고, 아랫면은 타이어 본체에 부착되는 면에 해당한다. 2차원 멀티피치의 메쉬를 트레드 단면의 윗면과 아랫면으로의 사상을 통해 1개 또는 여러개의 메쉬층으로 이루어진 상세패턴이 적용된 트레드의 유한요소 메쉬모델을 얻을 수 있다.

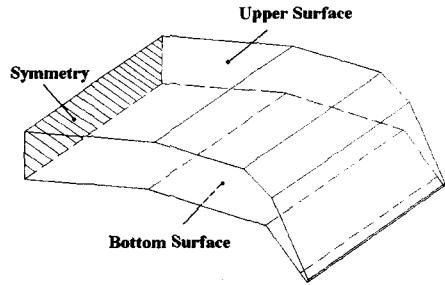
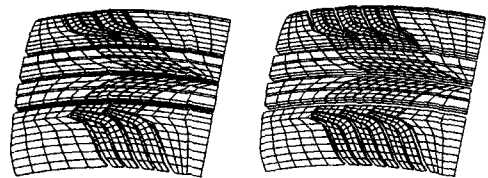


Fig. 6 3-D geometry of tread

사상과정은 In-house프로그램에 의해 이루어지는데, 접지압 해석 등에 이용되는 부분적으로 생성된 3차원 멀티피치의 상세패턴 메쉬를 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7의 (a)는 ASD의 변화를 고려한 것이고, (b)는 ASD의 변화를 고려하지 않은 것이다. 본고에서 모델링한 타이어에는 4개의 ASD가 적용되었고, 이를 Fig. 8에 나타내었다.



(a) with ASD (b) without ASD

Fig. 7 3-D multi-pitch pattern meshes

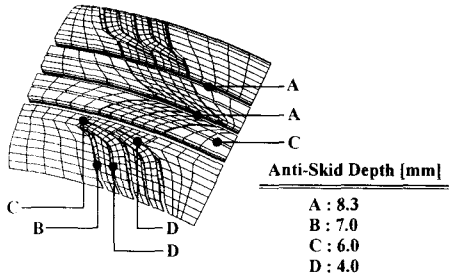


Fig. 8 Variable anti-skid depth

ASD의 변화를 고려하여 생성한 3차원 상세 패턴 메쉬를 Fig. 9에 부분적으로 자세하게 나타내었다. ASD의 변화는 타이어 성능 제어를 위해 필요한 요소이다. 타이어가 건조 노면에서 전동할 때에는 접지부분에 요철이 없을 때가 주행 성능이 제일 우수하다. 하지만, 젖은 노면에서는 타이어의 배수능력을 위해 ASD가 반드시 필요하고, 이로 인해 소음, 마모 등의 문제가 발생하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 부분적으로 서로 다른 ASD를 적용한다. 소음의 경우에는 ASD의 길이를 다르게 하여, 공명을 억제한다. 마모의 경우에는 ASD에 따라 패턴의 굽힘 강성이 달라지는 것을 이용하여, 마모가 심한 곳에 작은 ASD를 적용하면 굽힘 강성은 커지게 되고 마모가 잘 일어나지 않게 된다. ASD의 변화를 적용하여 메쉬를 생성함으로써, 서로 다른 ASD의 변화에 대한 마모 경향, 배수 상태 등을 유한요소 해석만으로도 분석할 수 있도록 하였다.

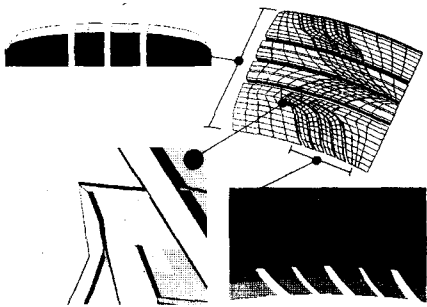
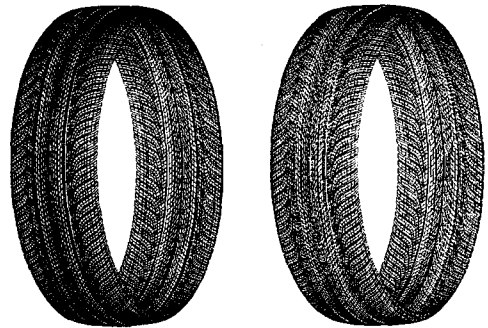


Fig. 9 Implementation of variable ASD

다음으로, 수막현상 등의 해석에 이용되는 3차원 전체 상세 패턴 메쉬를 Fig. 10에 나타내었다. (a)는 ASD의 변화를 고려한 경우로서 41076개의 요소와 68670개의 절점으로 이루어져 있고, (b)는 ASD의 변화를 무시한 경우로 20466개의 요소와 39690개의 절점으로 구성된다. 메쉬의 바깥면은 접촉조건을 적용할 수 있도록 하여, 접지압, 마찰에너지, 승월 특성 등의 해석을 할 수 있도록 하였다.



(a) with ASD (b) without ASD

Fig. 10 3-D full pattern meshes

4. 타이어 본체 메쉬 생성

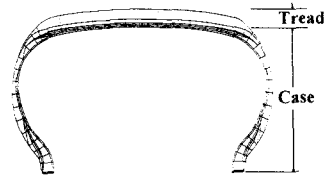


Fig. 11 Axisymmetric FEM mesh of tire body

케이스 부분의 유한요소 메쉬는 Fig. 11에서 나타낸 2차원 축대칭 형상을 360° 회전시켜 Fig. 12와 같이 3차원 케이스 메쉬를 생성하게 된다. 케이스 메쉬는 패턴이 전혀 없는 트레드 부분과 케이스 부분으로 구성되어 있고, 케이스 부분은 벨트(belt)와 플라이(ply) 등으로 이루어져 있다. 각각의 부분을 그룹으로 지정하여 물성부여가 용이하도록 하였다. 메쉬의 개수는 원주 방향에 따라 조절할 수 있는데, 상세 패턴 메쉬가 삽입되

는 부분에는 메쉬 밀도를 높여서 모델링 한다. 이 때, 삼입부위에 위치한 트레드 부분의 메쉬는 제거된다.

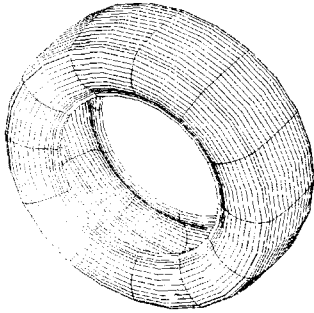


Fig. 12 3-D FEM mesh of tire body

5. 패턴과 본체 메쉬의 결합

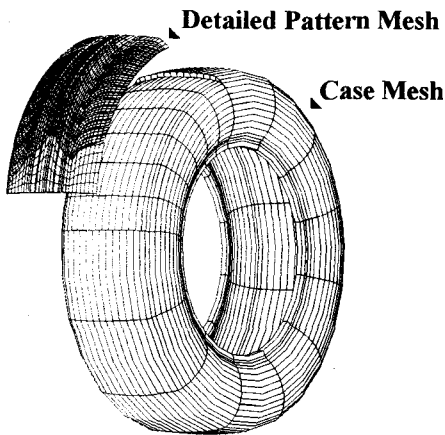


Fig. 13. Combining of detailed pattern mesh and coarse body mesh

해석정도의 향상과 계산비용의 감소를 동시에 만족시키기 위해 케이스와 패턴을 분리해서 메쉬를 생성한 후, 두 개의 모델을 붙이는 방식으로 모델링한다. 케이스 메쉬와 부분 상세패턴 메쉬의 결합을 Fig. 13에 나타내었다. 먼저, 3차원 케이스 메쉬를 생성할 때, 상세패턴 메쉬가 위치할 부분에는 트레드 부분의 메쉬를 제거한다. 그리고, 결합면에 매우 큰 압력을 제약조건으로 적용하여 두 면이 서로 미끌어지지 않도록 접촉시킨

다. 접촉 과정은 in-house 프로그램에 의해 수행된다.

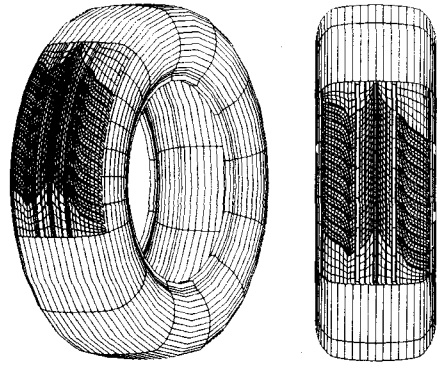


Fig. 14 3-D tire mesh with partly imbedded detailed pattern mesh

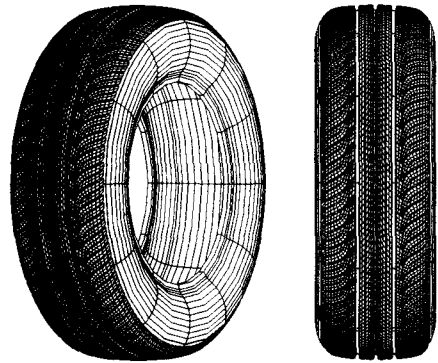


Fig. 15 3-D tire mesh with fully imbedded detailed pattern mesh

결합된 전체 메쉬를 Fig. 14과 15에 나타내었다. Fig. 14는 상세패턴 메쉬가 부분적으로 적용된 것으로, 접지압 해석과 같이 타이어가 지면과 접촉하는 부분에서의 압력분포나 변형 등이 관심의 대상일 때, 접지부에만 부분적으로 상세패턴 메쉬를 삼입하면 계산 비용을 줄일 수 있어, 효과적으로 쓰일 수 있다. 반면, 구름 저항, 수막 현상 등의 해석에서는 타이어가 지면과 접촉하여 회전하는 상태를 해석하기 때문에, 타이어 전체에 상세패턴이 부착되어야 한다. 전체적으로 상세패턴 메쉬가 적용된 것을 Fig. 15에 나타내었

나. 전자의 모델에서는 8개의 피치가 상세패턴으로 모델링되었고, 요소의 개수는 6942개, 절점은 34252개이다. 후자의 모델을 구성하는 요소의 개수는 26250개이고, 절점은 58626개이다.

6. 결론

기존의 주그루브만을 적용한 타이어의 유한요소 메쉬를 개선하여, 상세패턴과 ASD의 변화가 적용된 트레드를 가지는 3차원 유한요소 메쉬를 생성하였다. 트레드 부분에는 세밀한 요소를 적용하고, 케이스 부분에는 성근 메쉬를 적용하여 계산비용의 절감과 해석정도의 향상을 꾀하였다. 특히, 상세패턴과 ASD의 변화를 적용함으로써 다양한 해석을 수행할 수 있는 타이어의 3차원 유한요소 메쉬를 생성하였다.

후기

본 연구는 (주) 금호산업 타이어 사업부의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분들께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) R. Gall, P. Tkacik, and M. Andrews, "On the Incorporation of Frictional Effects in the Tire/Ground Contact Area", *Tire Science and Technology*, Vol. 21, No. 1, January-March, 1993, pp.2-22.
- (2) F. Mancosu, "Finite-Element Analysis for Tire Design", *Tire Technology International 1995*.
- (3) F. Mancosu, "Overview of Abaqus Applications at Pirelli", Abaqus Users' Conference 1995, Paris
- (4) F. Mancosu, G. Matrascia and F. Cheli, "Techniques for determining the parameters of a 2-dimensional tire model for the study of ride comfort", 15th Annual Conference of the Tire Society, Ardon, Ohio, 1996
- (5) S. R. Su, I. Gu and H. Chen, "Airbag Tire Modelling by the Explicit Finite Element

- Method", 15th Annual Conference of the Tire Society, Arkon, Ohio, 1996
- (6) B. G. Kao and M. Muthukrishnan, "Tire Transient Analysis with an explicit Finite Element Method", 15th Annual Conference of the Tire Society, Arkon, Ohio, 1996
- (7) F. Mancosu and G. Matrascia, "Integrated Models for Tire Comfort Analysis: 2D rigid Ring Model and 3D Finite Element Model", 16th Annual Conference of the Tire Society, Arkon, Ohio, 1997
- (8) G. Orjela and G. Riva, "The Compression Properties of Tire Cord", 16th Annual Conference of the Tire Society, Arkon, Ohio, 1997
- (9) "Technical Report: Tire Tread Pattern Modeling and Technology Development for KUMHO Tire", AS Engineering, Inc.