

와이어 하네스의 커넥터 압착공정에 대한 3차원 유한요소해석

구선모¹, 윤철호¹, 박진기¹, 최현순², 김영석[#]

3D FEM simulation for connector crimping process of wire harness

S.M.Gu, Z.H.Yin, J.K.Park, H.S.Choi, Y.S.Kim

Abstract

According to the increase of intelligent vehicles many automotive electric components are installed. The wire harness which connects those also increases. The crimping process for compressing the copper wire bundle into the terminal is a key process to assure the good quality of wire harness. For the case of inadequate forming condition many shape failures such as less-filling, over-filling are happen in the crimping process. Even though the quality of crimping shape is satisfactory the quality check for electrical resistance of wire harness is sometime not satisfied the qualification due to large variation of electrical resistance of wire harness under climate test. This large variation is thought to be related with the malfunction automotive electric system and caused by the internal stress of wire, which occurred during the crimping process. In this paper we develop the 3D-FEM simulation scheme and design methodology of optimum terminal shape. Also the effect of terminal shape on the residual stress is discussed.

Key Words : Wire Harness, Terminal Shape, 3D-Finite Element Analysis, Residual Stress, Copper Wire

1. 서 론

자동차는 가혹한 환경 속에서도 탑승자의 안전을 보장하기 위해 내환경성 및 신뢰성이 요구된다. 그 노력의 일환으로 근래의 자동차 산업은 전자화의 과제를 안고 있는데, 이는 소비자들의 경제력 향상 및 고품질에 대한 욕구증대 등으로 인해 시장이 점차 증가하는 추세에 있다.[1] 이에 따라 자동차 산업에서는 자동차의 품질 및 신뢰성, 편의성, 안전성 등을 확보하기 위해 전장품, 특히 전기커넥터(Electric connector) 및 와이어(Wire)에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 대표적인 전기 커넥터 형상은 Fig 1에 나타내져 있다. 근래 자동차의 전자화로 인한 와이어 사용량의 증가

때문으로 와이어의 품질은 자동차 안전성 확보에 직결된다. 차량 급 발진, 에어백(Air-bag) 사고 등 전혀 예상치 못한 사고들이 와이어의 품질의 영향이 없음을 부인할 수는 없기 때문이다.

이에 전원공급 및 데이터 전송을 담당하는 와이어 하네스(Wire harness)제조 업체에서는 와이어의 불량 현상을 줄이기 위해 와이어 각각의 크기, 와이어와 커넥터 접착 공정에서의 압축률, 주위환경의 온도 그리고 습도 등과 같은 다양하고 가혹한 조건하에서 저항변화가 작은 품질의 제품을 제조하기 위해 노력하고 있다. 또한, 와이어 하네스와 커넥터와의 압착 기술에 대한 보다 정교한 제조 기술을 바탕으로, 와이어 하네스 및 커넥터에 대한 고품질 확보가 강력하게 요구되고 있다.

1. 경북대학교 기계공학과 대학원
2. ㈜티에이치엔 기술연구소
교신저자: 경북대학교 기계공학부,
E-mail:caekim@knu.ac.kr

지금까지의 터미널 압착 공정 연구들은 2 차원 유한요소해석을 통해 터미널과 와이어 압착 성형 및 압착 형상에 대한 연구[2]가 주이었으나 3D 모델로 해석되어 보고된 바는 적다.

이에 본 연구에서는 압착형상에 대한 기존의 연구[3~7]를 바탕으로 전기 커넥터 터미널 압착 성형 시 비드 위치 및 터미널 형상에 따른 3 차원 유한요소해석을 수행하였다. 이에 따라 해석 결과를 통해 적절한 설계 기술을 확보하고 압착 후 동 전선의 잔류응력 크기에 미치는 영향을 도출하였다. 터미널 및 압착 공구에 대한 모델 설계는 CATIA V5R16 를 이용하였고 ABAQUS V6.8 를 이용하여 압착공정 해석을 수행하였다. 해석 모델은 전기 커넥터 2D 모델을 이용하여, 최적 압착 조건을 찾았으며 3D 모델을 이용한 해석을 통해 길이 방향의 잔류응력(Residual Stress)에 미치는 터미널(Terminal)형상의 효과를 검토하였다.

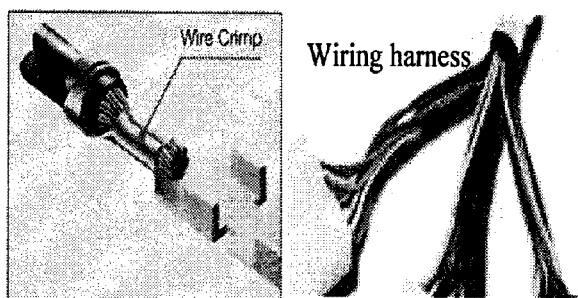


Fig. 1 Electrical connectors and wiring harness

2. 전기 커넥터 압착 공정

압착 공정 공구는 크게 Fig. 2와 같이 터미널 압착 공구 펀치(Punch)와 터미널(Terminal)을 지지해주는 고정 다이(Die)로 구성되어 있다. 터미널과 와이어 압착 공정을 간단히 설명하면 고정 다이 위에 터미널이 있고 “U”형상의 터미널 안에 와이어(Wire)가 위치해 있다. 그리고 하강하는 펀치에 의해 터미널이 와이어를 감싸면서 궁극적으로 “B”형상을 이루며 압착이 완성된다. 본 연구에서 사용된 와이어 형상 모델 및 설계치수는 Table 1에 나타내었다. 실제 현장에서 원하는 “B”형상은 압축률이 약 75%에서 85%사이를 양품으로 취급

한다.[8] 특히 80%의 압축률이 가장 이상적인 수치로 보는데 그 이유는 80%일 때 와이어의 저항 변화가 가장 적어 제품의 불량률이 낮아지기 때문이다.[2]

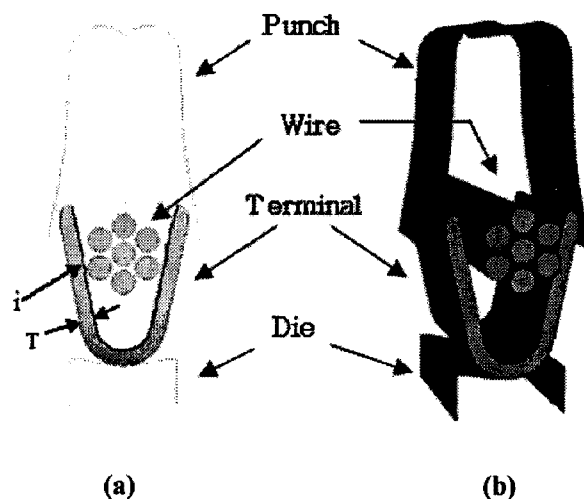


Fig. 2 2D(a) and 3D(b) views of the crimped part of an electric connector

Table 1 Description of the wires

Model	Number of wires	Radius of wires(mm)	Area (mm ²)
0.13SQ	7	0.077	0.13

3. 전기 커넥터 3D 모델 유한요소해석

3.1 압축률의 이론적 계산

와이어 모델은 0.13SQ의 극세전선을 사용하였다. 와이어 전체의 단면적(S_0)은 0.13mm^2 이고 터미널 내면 길이(i)는 2.07mm , 두께(T)는 0.1mm 로 설계하였다. 압착 후, 압축률을 계산하기 위하여 와이어 단면적을 계산한다. 하지만 압착 후의 형상이 복잡하여 정확한 넓이를 구할 수 없으므로 Fig.3(b)와 같은 형상으로 간주하여 part A 부분은 원형, part B 부분은 직사각형 형상으로 표현하여 A+B를 합한 면적(S_c)과 압축률(C.R)을 구한다.

$$S_c = (0.37L-0.1) \times (L-0.2) + (0.28L-0.1)^2 \quad (1)$$

$$C.R = (S_c/S_0) \times 100\% \quad (2)$$

따라서 본 연구에서 적용된 다이의 길이 ($L=0.69\text{mm}$)를 식(1)과 식(2)에 적용하여 도출한 압축률은 82.4%이다.

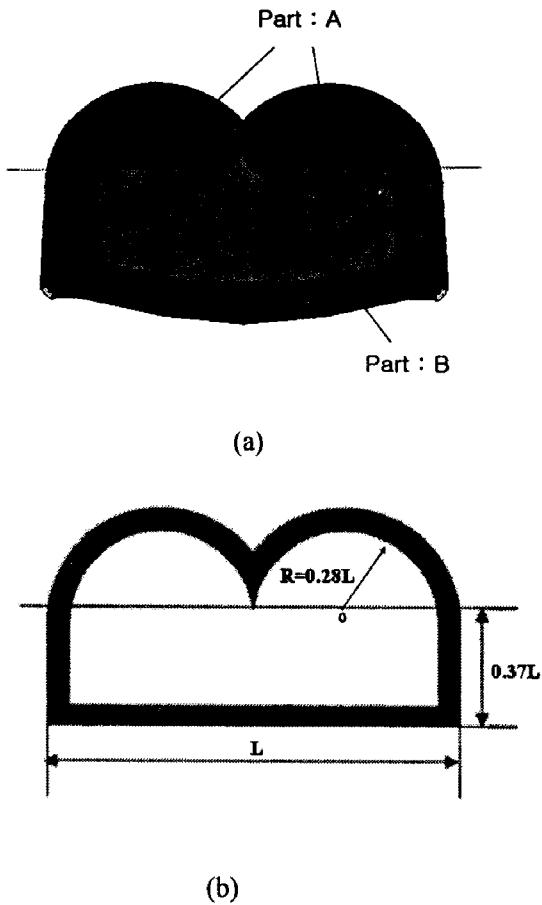


Fig. 3 2D Finite elements simulation
(a) divided parts (b) simple modeling

3.2 유한요소해석 3D모델

전기 커넥터의 터미널, 와이어 압착 공정 해석은 ABAQUS Version 6.5 및 6.8 Explicit를 이용하여 해석하였다. 터미널과 와이어의 소재는 각각 황동과 구리이다. 재료는 등방성으로 가정하였으며 재료의 기계적 특성은 Fig. 4에 나타내었다. 펀치와 다이는 강체(Rigid body)로 가정하였다. 접촉조건은 터미널과 와이어의 접촉, 펀치와 와이어의 접촉, 터미널과 펀치의 접촉, 터미널의 자가접촉, 다이와 터미널의 접촉, 펀치와 다이의 접촉, 와이어와 와이어 사이의 접촉을 설정하였다. 그리고 해석에 사용된 입력값을 Table 2에 나타내었다. 해석은 비드가 있는 경우와 없는 경우에 대하여 수행하

였다. Fig.5는 비드가 없는 경우 (a)는 2D 모델링을 기초로 3D로 구현하여 해석을 수행하였다. 비드가 있는 경우(b)에서 비드의 방향은 길이방향과 수직하게 놓인다. 비드의 개수는 3줄이며 각각의 간격은 0.27mm (2)이다. 너비는 0.06mm (3), 깊이는 0.01m , 터미널 최고점과 비드의 최고점 사이의 간격은 0.235m (1)로 설계하였다.

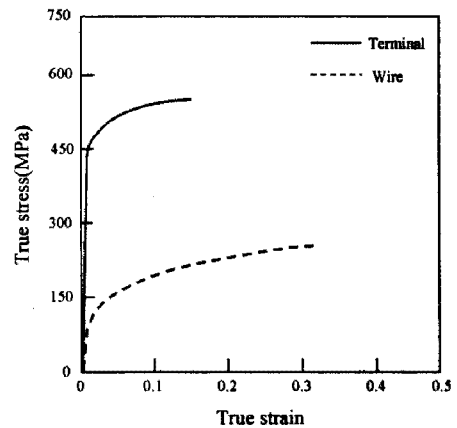


Fig. 4 Stress-strain curve from tensile test

Table 2 parameters used in simulation

	Terminal	Punch&Die	Wire
Poisson's ratio	0.3	Rigid body	0.3
Density (Kg/m^3)	8530	Rigid body	8960
Friction coefficient	0.1	0.1	0.05

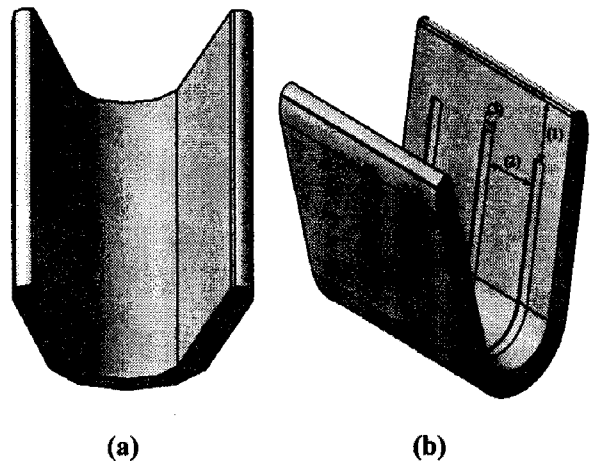


Fig. 5 (a) with bid in the terminal (b) without bid in the terminal

4. 해석 결과 및 고찰

4.1 0.13SQ 모델 해석 결과

Fig. 6 은 0.13SQ 터미널과 와이어 압착 공정에서 펀치가 움직인 거리와 하중에 따른 압착 형상 거동을 나타낸 그림이다. 거리가 증가 함에 따라 터미널이 와이어를 감싸며 “B”형상을 이루는 모습을 알 수 있다. Fig. 7 은 터미널 안에서 비드가 있는 경우를 실선으로 표현하고 없는 경우를 점선으로 표현한 그래프이다. 비드가 없는 경우, 길이방향의 잔류응력이 일정하지 않다. 0.5mm 지점을 기준으로 양쪽에서 응력이 높아지고 중간지점에서 잔류응력이 낮아짐을 알 수 있다. 그리고 0.5mm 와 0.9mm 지점에서 취약부분 임을 알 수 있다. 잔류응력의 평균값을 비교해보면 비드가 있는 경우의 잔류응력 평균값은 175.4MPa 이고 비드가 없는 경우, 잔류응력의 평균값은 127.7MPa 이다. 평균값으로 비교해보았을 때는 큰 차이를 보이지 않지만 잔류응력의 최고값과 최저값의 차이를 판단하면 비드가 없는 경우 잔류응력의 최대값과 최저값의 차이는 약 170MPa 이고 비드가 있는 경우의 차이는 약 109MPa 이다. Fig. 8 은 압착 후 길이 방향으로 절단한 형상이며 비드가 없는 경우(a)와 비드가 있는 경우 (b)이다. 잔류응력 측정 위치는 와이어를 밑에서 감싸는 터미널 부분과 접하는 와이어의 요소(elements)를 측정하였다.

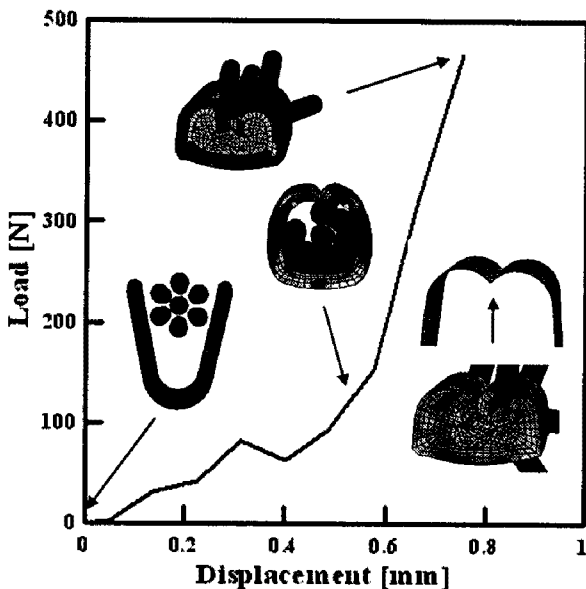


Fig. 6 Load-Displacement curve from 3D simulation

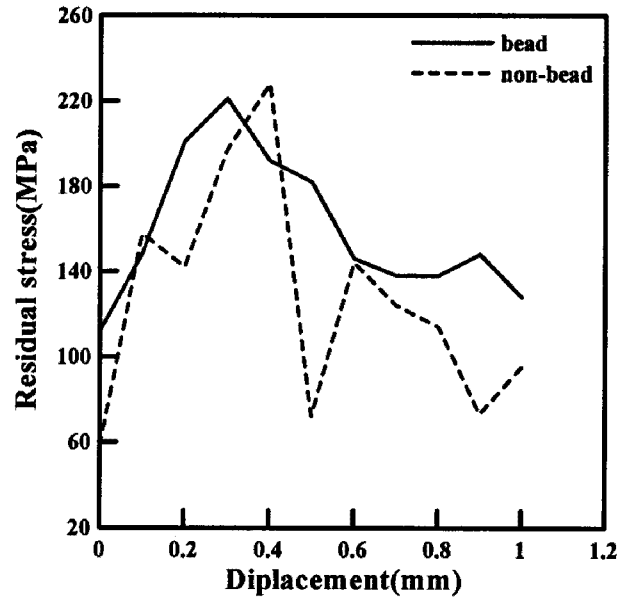
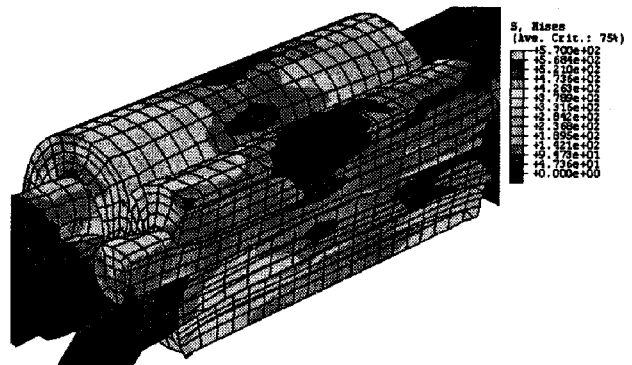


Fig. 7 Residual stress (a) with bead & (b) without bead



(a)

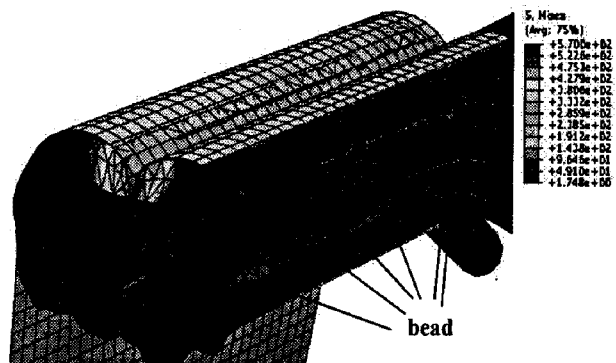


Fig. 8 3D Finite elements simulation (a) without bead (b) with bead

5. 결 론

본 연구에서는 전기 커넥터 터미널 압착 공정에서 규정된 와이어 모델에 대한 터미널 내부에 위치한 비드의 유,무 에 따라 터미널 길이 방향의 잔류응력에 미치는 효과를 도출하였다. 이에 전기 커넥터 3D 모델 유한요소해석을 수행하였으며 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 3D모델을 이용한 해석을 통해 길이 방향의 잔류응력에 미치는 터미널 형상의 효과를 검토하였다.

(2) 국내의 연구실적이 전무한 극세전선 0.13SQ에 대한 3D모델 해석 수행이 적합한 것이라고 판단된다.

(3) 2D형상을 간소화하여 압축률(C.R) 도출이 용이하게 이루어졌다.

후 기

본 연구는 경북대학교 BK21 사업의 일환으로 ㈜THN 기술연구소의 지원으로 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

[1] N. K. Cho, 2008, Electronic trends required & sensors prospect of automotive systems, Journal of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 30, No. 3, pp. 36~41.

[2] Z. H. Yin, 2008, Quality Improvement for Crimping Process of Electrical Connector Using FEM

[3] Y. S. Kim, Z. H. Yin, 2008, FEM simulation of connector manufacturing process, Internal Report, THN Co., Ltd., pp. 6~8.

[4] T. Morita, Y. Saitoh and M. Takahashi, 1996, Numerical model of crimping by finite element method, IEEE Holm, pp. 151~155.

[5] G. Villeneuve, D. Kulkarni, P. Bastnage and D. Berry, 1996, Dynamic finite element analysis simulation of the terminal crimping process, IEEE Holm, pp. 156~171.

[6] S. Kugener, 1995, Simulation of the crimping process by implicit and explicit finite element methods, AMP Journal of Technology, Vol. 4, pp. 8~15.

[7] J. J. Schindler, R. T. Axon, and R. S. Timsit, 1995, Mechanical and electrical contact properties of wedge connectors, Proceedings of the 41st IEEE Holm Conference., 0-7803-2728-4, pp. 1~9.

[8] Engineering standard of crimping process, Hyundai · Kia Motor Co., Ltd, ES91101-00.

[9] G. G. Weber and A. N. Zava Plangos, 1990, An objective time integration procedure for isotropic rate-independent elastic-constitutive equations, International Journal of plasticity, Vol. 6, pp. 701~749.

[10] Korea Electric Terminal Co., Ltd., 2007, Terminal design standard, Internal Report