

토잉 디바이스 중국 신법규 대응 방안

진재선[†]

현대자동차 환경내구개발팀

A Study to Take Action for New Chinese Regulations about car Towing Device

Jaesun Jin[†]

Hyundai Motor Company, Environmental Durability Development Team

Purpose: Recently, the government of China has established new safety regulations for towing devices. The new Chinese regulation has more unfavorable conditions than the conditions of other countries. So the various measures have been reviewed to satisfy this regulation.

Methods: The regulation conditions were compared through analysis of strain energy, and a method for improving the accuracy of analysis is suggested. In addition, the test method considering the tolerance is presented through tolerance analysis. This paper also explained importance of confirming the quality of products through a case of poor quality of Chinese products such as poor heat treatment.

Result: We could know how strong Chinese regulations are stronger than other national laws and investigated which member receives a lot of strain energy. In order to cope with these Chinese regulations, we suggested improvement of analysis accuracy, test method through tolerance analysis, and heat treatment quality.

Conclusion: This paper contributed to general counterplan of the strengthened new Chinese regulations for towing device.

Keywords: Towing Device, Chinese Regulations, Tolerance, Analysis, Teat Treatment

1. 서론

중국 자동차 시장규모는 매년 꾸준히 증가하여 2015년에는 연간판매량 2,459만 7천 대[1]를 기록한 세계에서 가장 큰 자동차 시장이다 따라서 중국 자동차 시장은 모든 자동차 제조사에게 매우 중요하다고 할 수 있다 최근 중국이 2016년 7월 1일부터 양산되는 신차(기존 양산차: 2017년 7월 1일부터 적용)에 대해, 토잉 디

바이스에 안전법규(GB 32087-2015)를 적용하였다. 토잉 디바이스는 주로 차량의 전후방에 장착되어 차량 구동 불가할 때 견인하는 용도로 비상시에 사용된다. 많은 국가들이 토잉 디바이스가 가져야하는 필요 조건과 견뎌야 하는 하중조건을 법으로 규정하고 있다. 하지만 중국이 신규로 적용하는 토잉 디바이스 법규는 기존에 대부분 국가에서 공용되는 하중 입력 조건보다 상당히 가혹하게 제정되었다.

[†] 교신저자 sun-shine@hyundai.com

2017년 9월 15일 접수, 2017년 10월 10일 수정본 접수, 2017년 10월 10일 게재 확정.

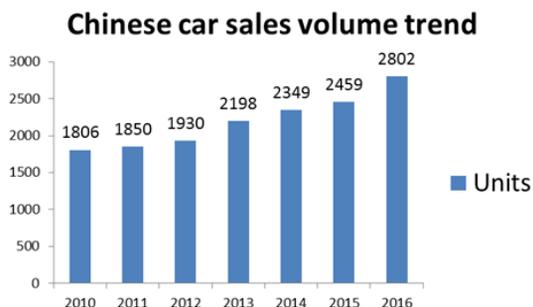


Fig. 1 Chinese car sales volume trend[1-7]

토잉 디바이스는 비상시 차량을 견인하기 위해 꼭 필요한 장치이고 법규 항목으로서 차량 및 운전자의 안전에 관련되어있기 때문에 중국에 진출한 각 자동차 제조사들의 중국 신법규 인증 대응이 매우 중요시 되고 있다.

토잉 디바이스는 개발단계에서 실차 평가 이전에 강도 해석을 실시하게 된다. 하지만 해석 만족하였어도 실차 시험에서 토잉훅이 휘어 영구 변형되는 사례가 다수 발생하였다.

본고는 토잉 디바이스의 중국 안전 법규 조건과 기

존의 타 국가 법규 조건의 차이를 토잉 디바이스에 가해지는 변형에너지 분석을 통해 비교해보고자 한다 또한 토잉 디바이스의 중국 안전법규 대응을 위해 실차 시험전 해석의 정확도를 향상시키기 위한 방안을 제시하고, 공차분석을 통해 토잉훅 설계인자 별 영향도를 파악하고 산포를 고려한 효과적인 평가 방안을 제시하였다. 개발단계의 또 다른 변수로 중국산 부품의 열처리 불량 품질수준 미흡사례를 통해 사전 품질 확인의 중요성도 설명하였다 이를 통해 강화된 새로운 중국 토잉 디바이스 안전법규에 대응하기 위한 전반적인 대응방향을 제시하였다.

2. 본론

2.1 중국 법규와 기존 법규 조건 비교

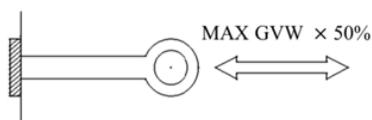
대부분 국가의 토잉 디바이스 법규 조건은 유럽 법규를 기반으로 되어 있으며 조건도 동일하다 토잉 디바이스 법규가 존재하지 않는 국가에서도 유럽 법규 조건과 동등 수준의 성능을 요구하고 있다



Fig. 2 Example of using a towing device in China

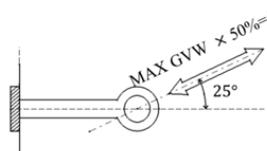


Fig. 3 Example of Towing hook deformation



※ G.V.W(Gross Vehicle Weight): 차량 총 중량

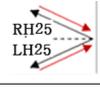
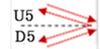
Fig. 4 European regulation



※ G.V.W(Gross Vehicle Weight): 차량 총 중량

Fig. 5 Chinese regulation(25 degrees)

Table 1 Additional contents in Chinese new regulations

Lift/Right 25° Tensile/Compress			GVW 50%
Up/Down 5° Tensile/Compress			GVW 50%

새롭게 제정된 중국의 법규조건은 유럽법규(EN1005/2010)과 ISO 기준(ISO 5422-1982)[8]기준을 통합하여 “수평 인장/압축(GVW×50%), 좌우 25도 인장/압축(GVW×50%), 상/하 5도 인장/압축(GVW×50%) 하중을 가하였을 때 토잉 디바이스의 기능상 문제가 없어야 한다”[9]로 되어 있다.

반면, 대부분의 국가들이 기준으로 사용하고 있는 유럽 법규 조건은 전후방 인장/압축(GVW×50%) 하중 조건[10]만을 요구한다.

2.2 토잉훅 형상 및 종류

각 제조사는 차량마다 다양한 토잉훅을 사용하고 있다. 각 토잉훅은 형상, 디멘션뿐만 아니라, 재질 또한 다양하다. 일반적으로 차량의 특성 및 G.V.W 따라 토잉훅을 새롭게 디자인하는 것이 아니라, 대표적인 사양의 토잉훅을 차량의 특성 및 G.V.W에 알맞게 적용한다. <Fig. 6>은 여러 가지 타입의 형상유형을 설

명하고 있다.

이중 중국 법규 대응에 많이 사용되는 토잉훅은 일자형(a) 토잉훅이다. 기존의 유럽 법규 조건보다 중국 법규 조건으로 인해 토잉훅에 부하되는 응력 값이 크기 때문에 큰 하중을 버틸 수 있는 일자형 토잉훅을 많이 사용한다.

2.3 변형에너지 분석을 통한 유럽/중국 법규 조건 비교

토잉 디바이스 강도 분석을 위해 아바쿠스(ABAQUS) 해석 프로그램의 Explicit(외연적 유한 요소법)기법을 이용해 유럽중국 법규 조건의 각 하중 부하 조건별 변형에너지와 장착되는 부품의 최대 변형에너지를 산출하였다. 이때 하중 조건은 1,000kgf로 하였으며, 해석의 용이성을 위해 부재의 소성영역 진입 전 탄성 영역하에서 각 하중에 의해 발생하는 바디 변형에너지를 분석하였다.

분석결과 중국의 25도 조건으로 좌우로 인장/압축 하중에 의한 바디 변형에너지가 가장 크며, 유럽의 전/후 인장/압축 조건 보다 최대 2.7배 이상 과다한 것을 알 수 있다.

동일한 방법으로 토잉 디바이스가 장착되는 부위에서 발생하는 최대 변형에너지를 비교해본 결과, 중국 측방 하중에 의해, 토잉훅 부분이 백빔, STAY 판넬보다 변형에너지가 과다하게 발생 하였다.



Fig. 6 Shape of Towing hook by type

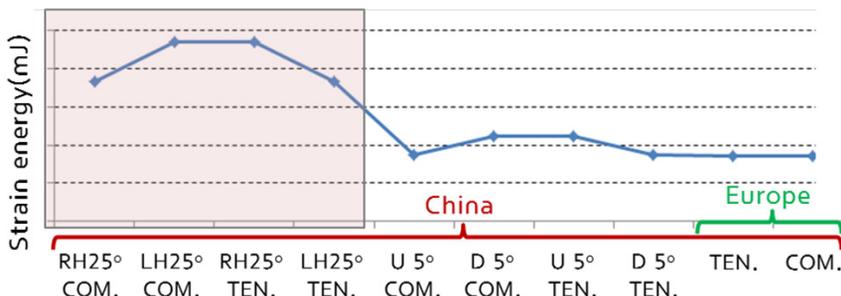


Fig. 7 Strain energy by load condition

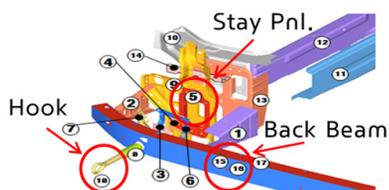


Fig. 8 Maximum strain energy per member(Crash box insert type)

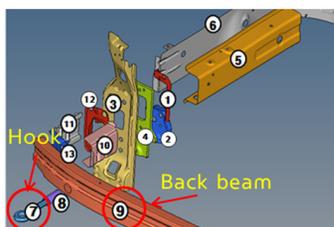
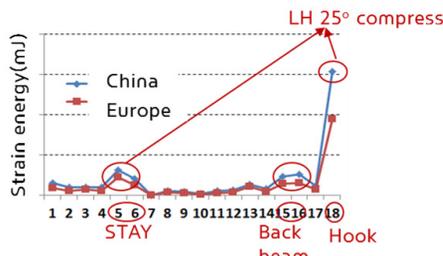
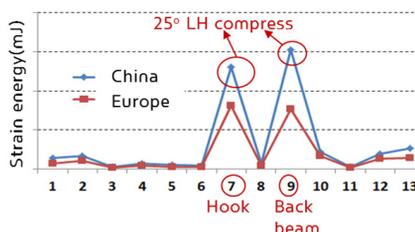


Fig. 9 Maximum strain energy per member(Back beam mounting type)



대형차중(A)의 변형에너지 분석을 통해 범규의 하중 입력 조건에 따른 바디 변형에너지의 차이를 비교하였다. 추가적으로 토잉훅이 크러쉬박스에 직접 삽입되는 [크러쉬박스 인서트 타입(<Fig. 8>)]과 토잉훅이 백빔에 장착되는 [백빔 마운팅 타입(<Fig. 9>)] 토잉 디바이스의 구조에 따라 부재별 변형에너지의 크기가 동일한가를 확인해보았다

<Fig. 8>과 <Fig. 9>의 부품별 최대 변형에너지를 비교해 본다면, 백빔의 구조와 토잉훅 장착 위치에 따라 각 부재가 받는 변형에너지의 크기가 상이하더라도 토잉훅의 구조가 상이하더라도 토잉훅과 백빔에 공통적으로 큰 변형에너지를 받는 것을 확인하였다. 실제 개발과정에서 토잉훅의 휨, 백빔의 파단이 가장 많은 불만족 사례로 발생하였으며, 그 개선 방향 또한 토잉훅, 백빔 강화에 집중되어 진행되어야 한다.

2.4 해석 정확도 향상 방향 제시

토잉 디바이스 범규 평가 해석의 정확성을 위해 본고는 실제 시험조건을 반영한 경계조건 제시 시편분석을 통한 물성치 현실화를 통해 해석의 정확성을 향상 시키는 방안을 제시하였다.

2.4.1 경계조건 현실화 통한 해석 정확도 향상

해석의 정확성을 향상 시키기 위해서는 실차 평가 조건을 최대한 반영하여 해석 경계조건을 설정할 필요가 있다. 기존의 해석은 중국의 25도 축방향 하중 조건에 대하여 입력 하중의 각도를 일정하게 유지하여 토잉훅에 하중을 입력하는 경계조건(<Fig. 10>, 해석 하중/경계조건)을 적용하였다. 하지만 실차 인증

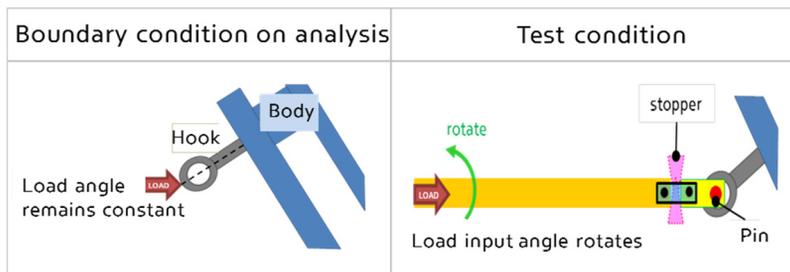


Fig. 10 Boundary condition of analysis and JIG condition of real test

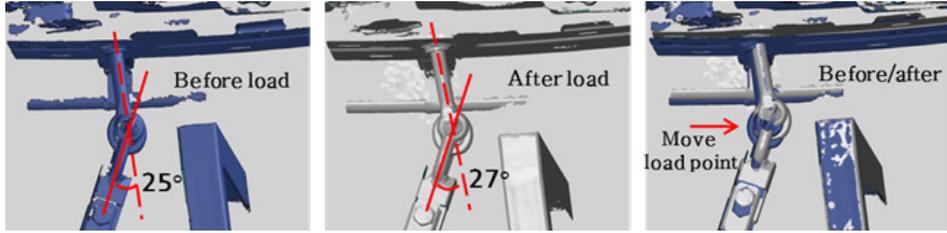


Fig. 11 Towing hook and JIG deformations, according to load(3D measurement)

평가를 위해 사용되는 엑추에이터 JIG의 경우 입력 축이 회전하는 형태로 초기 세팅 값을 25도로 맞추어도, 하중을 부하하면 토잉훅이 변형함에 따라 JIG 하중 입력 축이 회전(Fig. 10), 시험 JIG 조건하게 되어 초기 값 25도 보다 큰 입력 각도를 가지게 된다.

<Fig. 11>은 실차 평가 시 토잉훅이 변형함에 따라 JIG 입력부가 회전하여 하중 입력 각도가 변화하는 현상을 3D 스캐너를 통하여 계측한 것이다.

계측 결과 하중을 부하함에 따라 토잉훅과 하중 입력축 간의 각도가 증가하는 것을 확인하였다. 하중 입력 각도가 커지게 되면 토잉훅에 축방향 하중이 더 크게 작용하여, 토잉훅과 토잉디바이스에 부하되는 응력값이 더 커지게 된다. 해석 경계조건과 같이 하중 입력 각도가 일정하게 유지되는 조건이 실제 평가 조건을 충분히 반영해주지 못하는 현상을 발견하고 이를 보완하므로써 해석과 실제 평가 결과간의 정확도를 향상 시켰다.

이처럼 해석의 입력하중 경계조건과 실제 평가시 입력하중 조건의 상이함을 보완하는 해석 경계조건으로 반영하였으며, 이를 통해 25도 축력 조건시 해석 결과 값을 실차 평가 결과와 유사하게 향상 시켰다.

2.4.2 물성치 재검증을 통한 해석 정확도 향상

경계조건 뿐만 아니라, 재료의 물성치를 정확하게 적용할 필요가 있다. 강재료의 물성치는 열처리, 표면처리 등 다양한 제조공법과 제조 환경에 따라 다양하

게 나타난다. 따라서, 재료 물성치를 문헌값을 사용하기 보다는 실제 제품의 시편분석을 통하여 정확하게 파악하여 적용할 필요가 있다. 한 개의 토잉훅을 여러 차종이 공용화해 사용하는 토잉훅의 특성상 대표 몇 개의 부품에 대한 조사가 이루어진다면 많은 차종의 해석 정확성을 향상 시킬 수 있다

여러 타입의 토잉훅에 적용되는 3가지 강종(A, B, C)의 물성치를 시편분석을 통해 재확인하였다. A 강종은 크롬과 몰리브덴 성분이 함유된 합금강이며 B 강종은 탄소함량이 0.45%인 탄소강이다. C 강종은 B 강종과 탄소함량이 0.45%로 같은 탄소강이지만, 제조 공법이 상이하어 추가적으로 검증을 실시하였다. 물성치 분석을 위해, 각 강종당 5개의 토잉훅에서 시편을 제작하였으며, 이를 통해 토잉훅 재료의 항복강도, 인장강도, 탄성계수 등을 재확인 하였다.

그 결과 C 강종의 항복강도의, 기존 해석 틀에서 제공되는 물성 값과 실제 시편 분석 값 간에 30.8% 차이는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 제조사의 Q.T 열처리 조건 개선으로 인해 항복강도가 향상된 것으로 추정된다. 물성값 조정을 통해 해당 강종의 토잉훅이 적용 되는 여러 차종에 대한 정확도를 향상 시킬 수 있었다.

2.5 공차분석을 통해 안전율을 고려한 평가 방안 제시

중국의 법규조건이 적용되면서 하중 입력 조건이

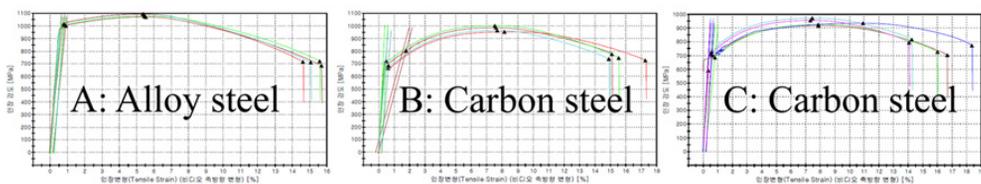


Fig. 12 Analysis results of specimens of A, B, C steel type

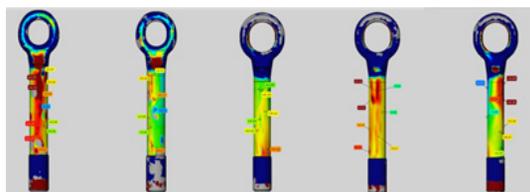


Fig. 13 Tolerance measurement result of Chinese towing hook

달라지게 되었다. 기존의 전/후방 하중 조건에서 토잉훅 응력 크기에 큰 영향을 끼치지 않던 부품 산포가 중국 좌/우 측방 하중 조건에서는 많은 영향을 끼치게 되었다. 따라서 제품의 산포를 고려한 개발 및 사전 인증 평가가 진행되어야 한다.

<Fig. 13>은 3D 스캐너를 활용하여 중국산 토잉훅 직경의 도면 스펙 대비 공차를 측정된 것이다 붉게 표시되는 곳일수록 도면과 실제 제품의 공차가 큰 것을 의미한다. 5개 제품에 대한 공차는 -0.1mm에서 0.7mm 수준으로 나타났다.

본 연구에서는 몬테카를로 시뮬레이션(Monte-Carlo) 20,000회 분석을 통해 주요 설계인자와 평가조건인 공

차에 의해 토잉훅에 발생하는 최대 응력 값에 미치는 기여도를 분석하고 누적 공차로 인해 야기되는 응력산포를 고려한 평가 방법을 제시하고자 한다.

토잉 디바이스 범규 평가 시 토잉훅의 최대 응력에 영향을 미칠 수 있는 15가지 인자들에 대해 확인하고, 그 중 토잉훅의 생산 품질과 평가 조건 산포로 인한 6가지 인자를 선별하여, 최대 응력의 산포와 각 인자별 기여도에 대해 알아보도록 하겠다.

응력 산포 유발에 주된 영향 인자 6개는 <Fig. 15>와 같이 간단한 모식도를 통해 도식화 할 수 있으며 이를 통해 응력 산포 분석식을 통해 유추할 수 있다.

몬테카를로 분석 결과 주요 영향 인자에 따른 최대/최저 응력 산포는 4.9%로 토잉훅의 디멘션 공차가 최대 응력값에 유의미한 영향을 끼치는 것을 알 수 있다.

아노바분산분석(ANOVA Analysis)을 통해 각 영향 인자별 기여도를 분석 시 토잉훅의 직경(d_2)의 기여도가 72%로 가장 컸으며, 평가 기준 각도(θ)가 23.8%, 토잉훅 장착조립 공차(G) 3.9%순으로 기여도가 큰 것으로 확인 되었으며, 전장 길이(L_1)과 나사산 길이(L_2), 고리 내경(d_1)의 응력 산포 기여도는 미비한 것을

Stress scattering factor		Standard tolerance	
1	Hook	Whole length	+ 1.0
2		Diameter	± 1.0
3		Internal diameter of ring	± 1.0
4		External diameter of ring	± 1.0
5		Thickness of ring	± 1.0
6		Length of thread	- 1.0
7	Mounting position of pipe nut	± 1.0	
8	Pipe nut	Thickness	+ 0.05
9		Length	± 1.0
10		Diameter	+ 0.5
11	Back beam	Thickness of main plate	± 0.05
12		Length of main plate	± 0.2
13		Height of main plate	± 0.2
14	Test condition	Standard angle	± 1.5°
15		Assembly tolerance	+3



Main scattering factor		Symbol	
1	Hook	Whole length	L_T
2		Internal diameter of ring	d_1
3		Diameter	d_2
4		Length of thread	L_P
5	Test condition	Standard angle	θ
6		Assembly tolerance	G

Fig. 14 The stress distribution factor and key influencers in towing hook

$$\sigma_{max} = \frac{32P_1(L - e_1)}{\pi d_2^3} + \frac{4P_2}{\pi d_2^2} + \frac{P_2 \cdot e_2 \cdot y_{max}}{I}$$

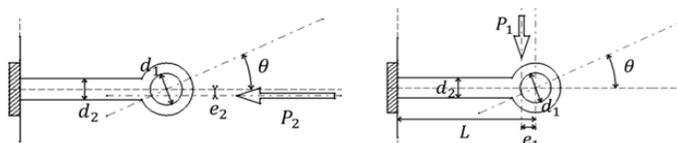


Fig. 15 A mimetic diagram for the maximum stress diagram at 25-degree axial load

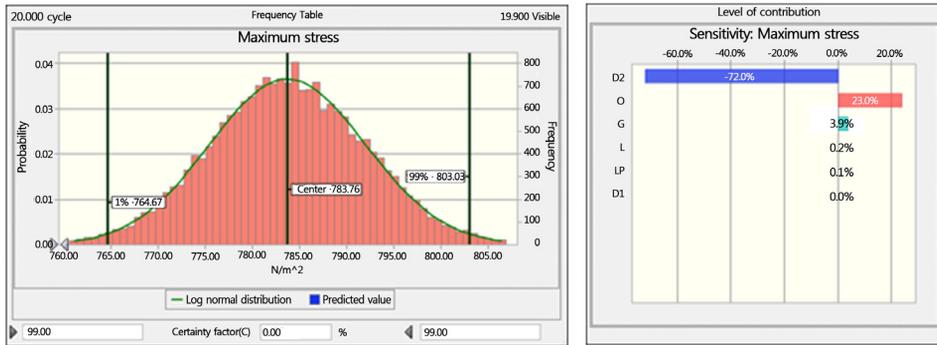


Fig. 16 Maximum stress distribution and sensitivity by tolerance analysis

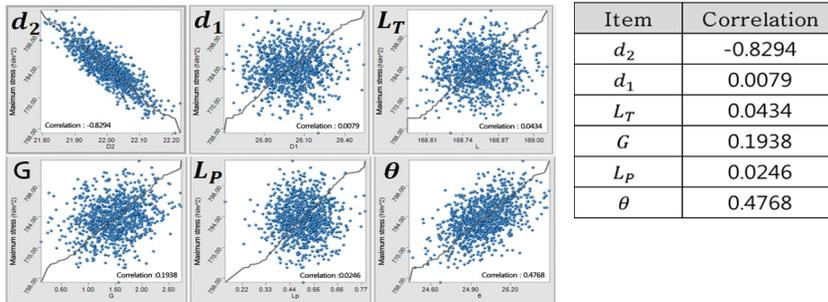


Fig. 17 Distributed graph of Contribution of stress distribution to each factor

확인 할 수 있다. 인자 별 응력 산포 기여도는 분산형 그래프(Fig. 17)을 통해 쉽게 확인할 수 있으며, 상관 관계 또한 토잉훅 직경(-0.8294), 기준각도(0.4768)가 가장 큰 값을 가진다.

전체 응력 산포의 95.8%가 토잉훅의 직경(d_2)과 평가 기준 각도(θ)에 의해 발생한다는 것을 알 수 있다. 응력 산포를 충분히 고려한 평가를 위해서는 토잉훅의 직경이 기준 공차 이내에 가장 작은 샘플을 사용하고, 하중 입력 각도를 26.5도로 설정하여 개발 및 사전 인증 평가가 진행 되어야 한다.

2.5 열처리 품질

열처리 방법 및 공정은 재료의 물성치 결정에 큰 영향을 미치므로 토잉훅의 형상과 디멘션 만큼이나 중요하다. 또한 각 제조사마다 실시하고 있는 열처리 방법과 환경이 상이하여, 제조사의 열처리 품질을 일관되게 관리해 줄 필요가 있다. 중국 토잉 디바이스 안전 법규를 대응하는 과정에서 발생한 중국 토잉훅 제품의 열처리 품질 미흡 사례를 통해 열처리 공정 및

품질관리의 중요성에 대해 논하고자 한다.

2.5.1 열처리 PROCESS 준수

실제 중국 업체 생산품의 경도가 기준치에 미달하여 가열 온도 및 방법과 시간을 개선을 통해 Q.T열처리 공정을 개선한 사례가 있다. 중국 생산품의 경도가 기준치에 미달하여 조사해본 결과 열처리 공정 내 가열 온도가 기준치 대비 30도 낮았으며, 가열 시간 또한 기준치 대비 15분 짧게 적용하고 있었다. 이로 인해 변태온도 이상에서 충분히 오스테나이트화(Austenitizing)되지 못 상태에서 냉각되어, 균일한 조직 변화가 일어나지 못하고 경도가 기준치보다 낮았다. 또한 기준 템퍼링(Tempering) 온도보다 50도 높은 온도에서 템퍼링을 실시하여, 제품의 경도 및 항복강도가 요구치에 미달한 사례가 있다.

2.5.2 열처리 제품 배열 관리

가열 및 냉각 시 토잉훅을 무작위로 쌓아 관리하여 개선한 사례가 있다. 토잉훅을 무작위로 쌓는 형태로 관리한다면 열처리 및 공차 품질에 악영향을 미칠 수

있다. 강 재료의 특성상 가열 시 물러지게 되는데, 토잉훅을 무작위로 쌓았을 때 위에 쌓인 토잉훅의 자중으로 인해 제품에 변형이 가해질 우려가 있다 또한 토잉훅 수량 관리가 힘들어서 가열로 및 냉각수의 적절한 CAPA 관리가 불가하다. 동일 시설에서 매번 열처리 제품의 수량이 달라지게 된다면 열처리를 통한 물성치를 균등하게 관리하기 어렵다.

이처럼 각 업체의 열처리 공정 조건에 따라 토잉훅의 물성치 및 품질이 달라지는 것을 확인 할 수 있다 따라서 상품의 품질 관리를 위해 현지 생산 공급하는 제품의 경우 사전 점검 및 열처리 품질 점검을 관리 항목으로 명시하여야 한다.

3. 결론

- (1) 중국의 토잉 디바이스 안전 법규 조건이 토잉 디바이스에 부과되는 변형에너지를 판단하기 위해 해석을 수행하였고, 그 결과 중국의 좌우 25도 인장압축 조건이 이전의 타 국가 법규 조건에 비해 과다하다는 것을 규명하였다.
- (2) 중국 토잉 디바이스 안전 법규 중 측방향 25도 압축 조건에 대한 토잉 디바이스 부재별 변형에너지 해석 결과, 토잉훅과 백빔에 공통적으로 변형에너지가 집중적으로 부하되며, 크기와 비율은 토잉 디바이스의 종류와 구조에 따라 상이하다는 것을 규명하였다.

기존의 토잉 디바이스 안전 법규 대비 강화되어 제정된 중국의 법규에 만족하기 위해 다음과 같은 개선 방향 및 사례를 통해 새로운 법규 대응 가이드라인을 제시할 수 있다.

- (1) 해석시 경계조건의 재검토 토잉훅 물성치 현실화를 통하여 해석과 실제 평가 결과의 정확성을 향상 시킬 수 있으며, 토잉훅 물성치 현실화를 통해 해석 정확성을 30.8% 향상 시켰다.
- (2) 제품의 산포를 고려한 개발 및 사전 인증 평가가 진행되어야 한다. 공차 분석 결과, 토잉훅에 발생하는 최대 응력에 영향을 끼치는 인자들 중 토잉훅의 직경 산포와 평가 각도 산포가 가장 큰 기여를 가지는 것을 규명하였다. 반면, 전장 길이, 고리내경, 나사산 길이, 조립공차 등의 산

포는 최대 응력에 끼치는 기여도가 매우 작음을 규명하였다. 따라서 개발 및 사전 인증 평가시 토잉훅의 직경과 평가 각도 산포를 고려하여 평가 제품 선정 및 평가가 진행되어야 한다.

- (3) 중국 업체 별로 제품의 열처리 환경 및 품질 관리 상태가 상이하며, 열처리 기준을 미준수하는 사례가 빈번하다. 그 중에 열처리 가열온도 및 템퍼링 온도가 기준치 불만족하여 토잉훅의 경도가 기준치에 미달한 사례가 발생하였으며 현지 생산품에 대한 열처리 품질 점검을 관리 항목으로 명시하고 공정관리가 필요하다.

References

- [1] China Association of Automobile Manufacturers (2017). "The sales and production hit new record".
- [2] China Association of Automobile Manufacturers (2016). "The sales and production witnessed stable growth".
- [3] China Association of Automobile Manufacturers (2015). "The sales and production of automobiles kept a steady growth".
- [4] China Association of Automobile Manufacturers (2014). "The sales and production set another record and enjoyed a dramatic growth".
- [5] China Association of Automobile Manufacturers (2013). "China automobile sales increase 7.12% in December 2012".
- [6] China Association of Automobile Manufacturers (2012). "China automobile sales increase 1.38% in December 2011".
- [7] China Association of Automobile Manufacturers (2011). "China automobile sales increase 17.90% in December 2010".
- [8] International Standard (1982). "Road vehicles-Anchorage for towing ropes, cables or bars". Ref. No. ISO 5422-1982, pp. 003-004.
- [9] National Standard of the People's Republic of China (2015). "Towing-devices for light-duty vehicle", Ref. No. GB 32087-2015, pp. 002-006.
- [10] Official Journal of the European Union (2010). "COMMISSION REGULATION (EU) No 1008/2010 of 9 November 2010". pp. 001-003.