

ITR의 회전토크저감을 위한 조립인자에 대한 연구

최 석 우 · 김 인 호 · 임 성 주*

한국생산기술연구원 디지털생산공정팀

Study on the Parameters to Decrease the Torque in ITR Part

Seougou Choi · In Ho Kim · Seong Joo Lim*

Digital Production Processing Team, KITECH, 944-32 Dongchun-dong, Yeonsu-gu, Incheon 406-130, Korea

(Received 15 July 2004 / Accepted 13 May 2005)

Abstract : ITR(Inner Tie Rod) is one of the core parts in an automobile steering system. The front wheels are connected to the steering system, which are controlled by steering wheel through the ITR. Improvement of assembling ITR is needed for drivers' satisfaction. Therefore, the parameters influencing the rotational torque were studied and analyzed. The useful results can be obtained, and could be applied to manufacture ITR. Through these manufacturing technologies, high quality ITR have been manufactured with high productivity.

Key words : Tie rod(타이로드), Rotational torque(회전토크), Process control(공정 제어), Stabilization of quality(품질안정화), Assembling tech(조립기술)

1. 서 론

ITR(Inner Tie Rod, 이하 ITR 이라고 칭함)은 자동차 스티어링의 핵심부품 중의 하나로서, Fig. 1에서 보는 바와 같이 스티어링의 회전운동을 직선의 좌우운동으로 변경하여주는 랙과 피니언(Rack & Pinion)기어와 후속의 링크(Link) 및 바퀴(Wheel)와 연결되어 자동차 바퀴의 좌우 회전운동을 원활하게 하는 중요 안전부품으로, 바깥쪽의 OTR(Outer Tie Rod)과 함께 자동차 스티어링계통에 사용되는 주요 관절부품이다.^{1,4)}

ITR은 볼스터드(Ball Stud), 볼시트(Ball Seat, PE 재질), 볼소켓(Ball Socket) 등의 부품으로 구성되며, 볼스터드 구(球)부분에 그리스를 적당량 도포한 볼시트를 끼우고 볼소켓과 함께 조립한후, 볼소켓을

코킹공정으로 오므림으로써, 완성되는 조립부품으로서, 회전·요동토크의 안정화 및 관절부 유격의 최소화 그리고, 부품안전성에 영향을 미치는 풀아웃(Pull-Out)특성의 안정화가 요구되고 있는 스티어링 계통의 부분조립 부품이다. 즉, 풀아웃 특성을 만족시키면서 운전자 스티어링 감촉과 직결되는 회전·요동토크의 저감 안정화가 더욱 요구되는 부품이다. Table 1은 ITR부품에 요구되는 사항이다.

따라서 본 연구에서는 제품의 품질을 향상시키고 제품제조공정의 안정화를 통한, 부품 성능의 최적화를 위하여 제품 회전토크 특성에 미치는 인자들을 도출하고 각 인자들이 사용상에 어떠한 영향을 주는지를 분석함으로써, ITR의 최적화된 조립 공정 방안을 제시하고 나아가 원가절감 및 부품의 품질 안정화를 위한 자료를 제시하고자 한다.

*To whom correspondence should be addressed.
lim@kitech.re.kr

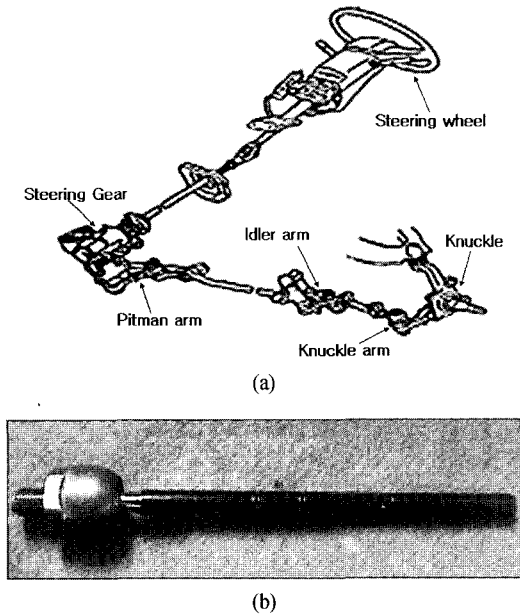


Fig. 1 (a) Steering system of the automobile; (b) ITR parts

2. 회전 기동 토크 영향인자

2.1 ITR 조립공정

ITR의 조립공정을 아래의 Fig. 2에 나타내었다.

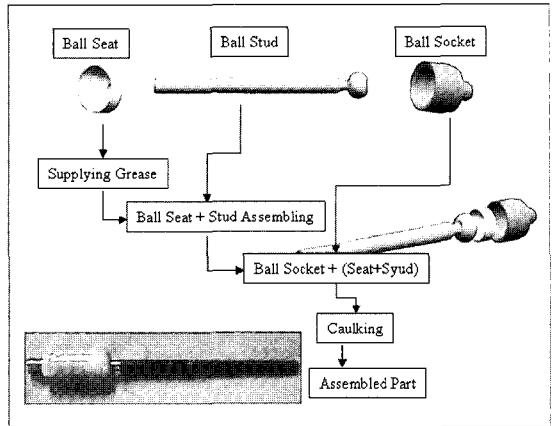


Fig. 2 Schematic diagram of assembling process for the ITR parts

Table 1 The specifications of ITR³⁾

ITEM	Spec.	ITEM	Spec.
Angle of working	$\leq 55^\circ$	Aperture (3KN Load)	$\leq 0.1\text{mm}$
Rotational movement torque	$\leq 15[\text{Nm}]$	Pull-Out	$\geq 50\text{KN}$
Rotational working torque	$\leq 3[\text{Nm}]$		

2.2 토크 품질에 영향을 미치는 인자도출

ITR은 궁극적으로 자동차 앞바퀴의 원활한 좌우 운동을 보장하기 위한 부품으로서, 제품과 부품의 특성을 고려하여 일반적으로 회전토크에 영향을 미칠 수 있는 인자들을 모두 정리하여 보았다. 그 결과는 Fig. 3과 같다.

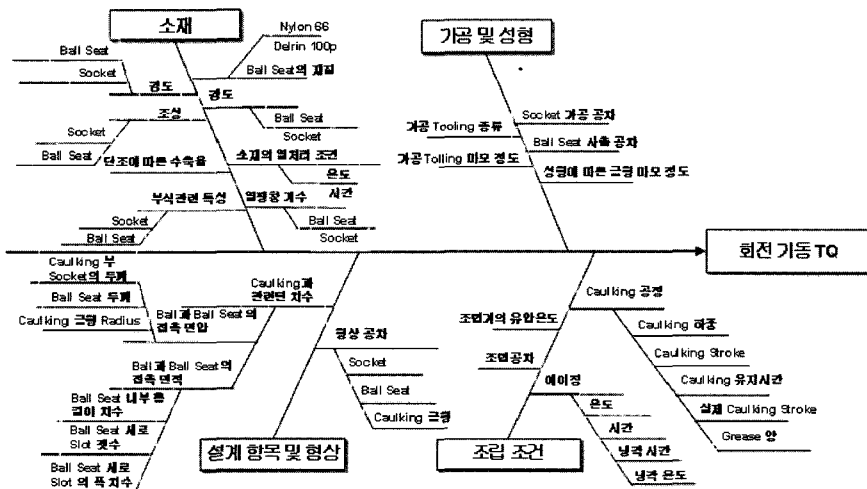


Fig. 3 Potential parameters having an effect on the rotational torque of ITR part³⁾

2.3 토크품질에 영향을 미치는 인자 분석

Fig. 3의 물고기뼈(Fish Bone)차트의 인자들 중에서 회전기동토크, 회전작동토크, 인발하중 및 유격에 영향을 줄 수 있는 주요인자를 선정하기 위하여 제어할 수 있는 인자에 대하여 선별해석(Screening Analysis)를 수행하였다.²⁾

영향도 7이상의 인자들을 살펴보면, 토크 측면에서는 코킹하중, 그리스양, 볼시트 내부홈 치수, 에이징 시간 등이고, 인발하중과 유격에 있어서는 코킹하중, 그리스양, 소켓형상 공차, 열처리 시간 등이다. 이 중에서 코킹 하중과 그리스양은 전반적으로 제품품질에 크게 영향을 미치는 주요 인자임을 Table 2의 분석을 통하여 알 수 있었다.

Table 2 The analysis of the effects of the parameters influencing the torque quality of ITR

Item	R.M	R.W	Drawing	Gap
	T.Q	T.Q	load	
Weight	9	3	3	3
Potential X Factor	Association Table			
Crimping load	9	6	9	9
Grease QTY	9	9	6	9
Ball Seat inner length dimension	9	9	3	6
Aging Time	9	9	3	6
Cooling Temp	9	6	3	6
Cooling Time	9	6	3	9
Aging Temp	9	6	3	6
Crimping Stroke	9	3	6	3
Crimping Stroke	6	6	6	6
Ball Seat Hardness	6	6	6	3
Ball Seat Slot number	6	6	3	3
Ball Seat Slot dimension	6	6	3	3
Crimping Time	6	3	6	3
Ball Seat Hardness	3	3	9	6
Socket shape tolerance	3	3	6	9
Ball Seat shape tolerance	3	3	6	9
Socket strength	3	3	9	3
Socket heat treatment time	3	3	9	3
Crimping die tolerance	3	3	9	3
Socket heat treatment time	3	3	6	3
Socket hardness	3	3	6	3

분석결과 코킹하중과 소켓의 형상공차 및 코킹스트로크는 서로 상관관계가 있으며, 이들 간의 적절

한 조화로 불량품 발생을 최소화시킬 수 있는 가장 중요한 인자들이라고 판단된다. 이는 소켓의 치수 변화를 실시간으로 측정하고, 측정치수에 따라 코킹스트로크와 코킹하중을 달리 할 수 있는 조립 시스템의 구축 즉, 소위 말하는 적응조립시스템의 구축으로 가능한 일이라고 판단된다. 따라서 우선 현 시점에서 적용이 가능하고, 개선이 가능한 인자들을 선정하고 분석하는 연구를 수행하였다.

따라서 나머지 그리스양, 에이징시간/온도, 냉각 시간/온도 등에 대한 인자를 선정하여, 이들 인자들이 회전기동토크에 미치는 영향을 분석하였다. Table 3과 같은 현재 조립조건에서 회전기동토크가 평균 21.17 ± 2Nm이고 토크산포가 심하여 불량률이 높았다. 따라서 이와 같은 인자들을 조정하여 고품질의 제품을 생산할 방안을 도출하였다.

Table 3 The conditions of assembling parameters in current used process

Experimentation condition				
QTY of grease	Caulking load	Caulking stroke	Aging temp/ Time	Cooling temp/ Time
0.8±0.2	15300±300	117 - 120	105/50	Natural/24[hr]
[g]	[kgf]	[mm]	[°C]/[min]	[°C]/[hr]

3. 영향 인자 분석 결과

도출된 인자들이 회전기동토크에 미치는 영향을 분석하기 위하여, Table 3과 같은 조건을 선정하여 각 인자들에 영향을 분석하여 보았다. 각 인자들의 범위는 기존의 실험결과를 참고로 적절하다고 인정된 값이나, 현재 생산라인에서 적용 가능한 값을 기본으로 하여 정하였기 때문에 인자들의 범위에 큰 과오는 없을 것이라고 판단된다.

Table 4 The conditions of parameters for experiment

Experimentation condition				
QTY of grease	Caulking load	Caulking stroke	Aging temp/ Time	Cooling temp/ Time
0.4 - 06	15300±300	118	80-120/30-50	10-27/24-26[hr]
[g]	[kgf]	[mm]	[°C]/[min]	[°C]/[hr]

3.1 그리스양의 영향

Table 4와 같은 조건에서 에이징온도/시간(105°C/50분), 냉각 온도/시간(10°C/24시간)을 주고 그리스양의 영향 도를 분석한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 분석결과 그리스 도포량이 회전기동토크와 깊은 상관관계를 가지고 있음을 알 수 있었으며, 그리스 도포량이 많을수록 회전기동토크 값이 작아지는 것을 알 수 있었다. 95%신뢰도 수준에서 회전기동토크와 그리스양과의 관계는 식 (1)과 같은 관계식으로 표현될 수 있다.

그리스양이 한도이상 많을 경우, 넘치는 양에 대한 세척비용등에 문제가 발생할 수 있다. 0.5g 정도의 양이 비교적 회전기동토크의 저감에 안정적이면서도 최소양이기 때문에 이후의 실험에서는 이정도수준의 그리스양을 표준으로 채택하였으며, 0.55g은 그리스투입기 조정과정에서 반복성이 양호한 범위여서 자연스럽게 채택된 양이다.

$$T_g = 20.0 - 18.2X_g \quad (1)$$

T_g : 그리스양에 따른 회전기동토크 [N·m]

X_g : 그리스양 [°C]

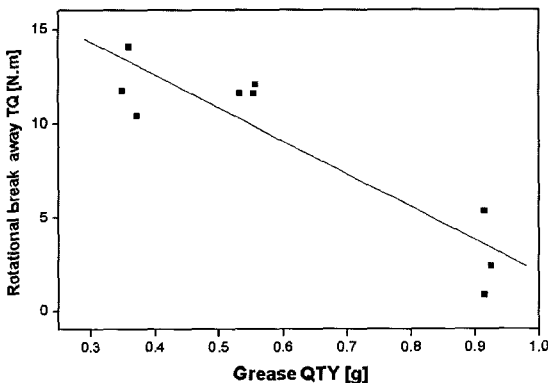


Fig. 3 Relationship with the rotational break-away torque and QTY of grease

3.2 코킹 하중의 영향

Fig. 4는 그리스양을 0.55g로 고정하였을 경우, 코킹하중과 회전기동토크와의 관계를 나타내었다. 회전기동토크와 코킹하중은 깊은 상관관계를 가지고 있으며, 코킹하중이 작을수록 회전기동토크도 작아

지고 있음을 파악할 수 있다. 이들의 상관관계도 95%신뢰도 수준에서 다음과 같은 관계식으로 표현할 수 있다.

$$T_L = 20.0 - 18.2X_L \quad (2)$$

T_L : 코킹하중에 따른 회전기동토크 [N·m]

X_L : 코킹하중 [°C]

그러나 회전기동토크를 저감하기 위하여 코킹하중을 한도이상 작게 하는 것은 ITR의 유격을 크게 하고, 풀 아웃 특성을 저하시키는 결과를 초래한다. 풀 아웃 하중은 조립된 부품이 역으로 분해파손(축방향)되는 하중을 나타내는 것으로, 부품사양상 50KN이상이 되어야 한다. 풀 아웃에 영향을 미치는 인자는 코킹부단면형상, 코킹하중, 소재특성등이 영향을 미치는 것으로 파악되고 있다. 현재 금형의 형상(코킹부단면형상) 및 소재조건에서 코킹하중 150KN이상이 되었을 경우 풀 아웃 실험을 통하여 파악할 수 있었다.³⁾ 따라서 현재공정에서 표준으로 채택하고 있는 코킹하중 150KN이 최소 코킹하중임을 알 수 있었다.

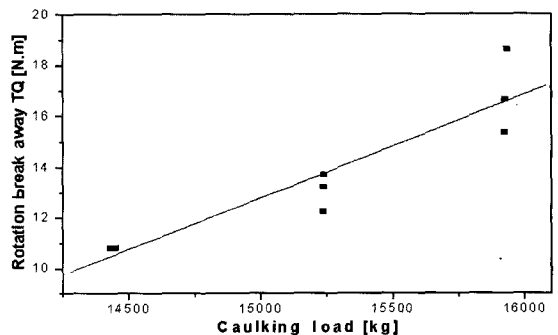


Fig. 4 Relationship with the rotational break-away torque and caulking load

3.3 에이징(Aging)의 영향

에이징온도와 시간이 회전기동토크에 미치는 영향을 파악하기 위하여, Table 3의 기본 실험조건 및 그리스양(0.55g)의 조건에서 에이징온도를 80, 105, 120°C, 에이징시간을 30, 40, 50분으로 변화를 주면서 실험하였다.

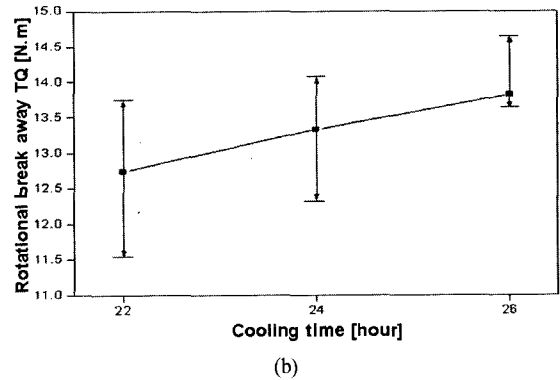
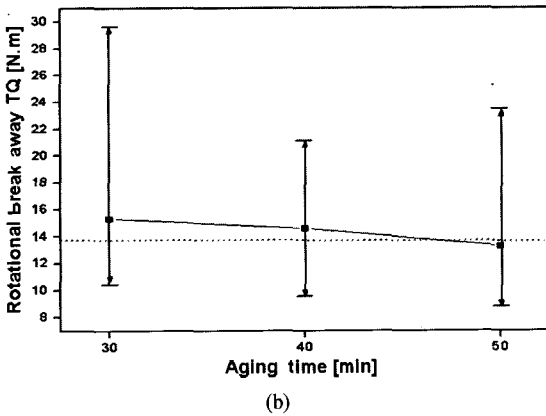
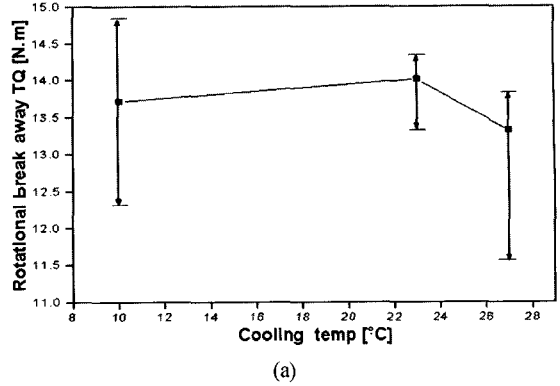
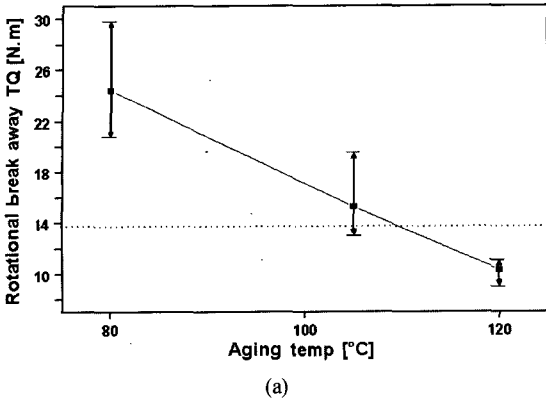


Fig. 5 Influence of aging temperature and aging time on the rotational break-away torque

Fig. 6 Relationship with the rotational break-away torque and cooling time & temp

Fig. 5는 에이징온도 및 에이징시간에 따른 회전기동토크의 변화를 나타내고 있다. 에이징온도가 높을수록, 에이징시간이 길어질수록, 회전기동토크가 작아짐을 알 수 있다. 에이징시간보다는 에이징온도가 보다 큰 영향을 주고 있음을 파악할 수 있다.

95%신뢰도 수준에서 Aging온도와 회전기동토크와의 상관관계를 식으로 표현하면 식 (3)과 같다

$$T_T = 20.0 - 18.2X_T \quad (3)$$

T_T : 에이징온도에 따른 회전기동토크 [N · m]

X_T : 에이징온도 [°C]

3.4 냉각온도와 냉각시간의 영향

냉각온도와 냉각시간이 회전기동토크에 미치는 영향을 파악하기 위하여 실험을 수행하였다. Fig. 6

과 같이 실험결과 냉각시간은 회전기동토크와 상관관계를 가지고 있는 것으로 파악되었으나, 냉각온도는 상관관계를 찾기 어려웠다.

냉각시간을 짧게 할수록 회전기동토크가 작아진다는 것은 열 변형이 쉬운 PE계 재질의 볼시트가 에이징을 통하여 볼소켓과 볼스터드사이에서 접촉면적 측면에서 안정화되었을 경우, 이 상태가 냉각과정에서도 유지될 수 있도록 볼시트를 급랭시키는 것이 유리하다는 것을 의미하는 것이라고 판단된다.

4. 결론

자동차 스티어링 계통용 ITR관절의 토크품질 안정화를 위하여 그리스 양, 코킹하중, 에이징온도/시간, 냉각 온도/시간에 대하여 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 그리스 양, 코킹하중, 에이징온도, 냉각속도가 회전기동토크와 깊은 상관관계를 가지고 있음을 알 수 있었다. 에이징시간과 냉각온도는 상대적으로 그 영향도가 낮다는 것을 파악할 수 있었다.
- 2) 회전기동토크를 저감시키기 위하여서는 그리스 양을 많게 하고, 코킹하중을 적게 하고, 에이징온도를 높이고, 냉각속도를 크게 하는 것이 유리함을 파악할 수 있었다. 그러나 코킹하중은 ITR의 폴아웃 특성과도 관계가 있어, 150KN이하로 내릴 수 없음을 알 수 있었다.
- 3) 따라서 현재의 시스템에서 그리스양을 0.55G, 코킹하중을 150KN, 코킹스트로크 118MM, 에이징온도 120℃, 에이징시간 50분, 냉각시간을 20시간 이하로 하는 것이 가장 타당하다는 것을 파악할 수 있었다. 그리스양이 한도이상 되었을 경우 코킹하중은 감소하지만 과도한 그리스양은 제품의 외관과 관리에 어려움이 있고, 한도이상의 에이징온도/시간 등은 제조비용의 급상승을 초래한다. 현재 수준에서 검토한 결과 요구되는 토크수준(규격 15.0Nm, 달성수준 13.0Nm)을 향상시키고 있기 때문에 본 연구에서 제시한 값이 적절한 값으로 판단된다.
- 4) 보다 우수한 토크 품질과 불량률의 저감을 위하여서는 향후 다차원적인 실험과 적응조립시스템에

대한 연구가 필요한 것으로 판단된다.

글로벌 경쟁시대에 부품품질을 최적화 시키는 노력이 꾸준히 연구되어야 한다고 사료된다.

후 기

본 논문은 산업자원부의 지원을 받아 (주)센트랄의 참여 속에 수행된 사업임을 알려드리며, (주)센트랄의 협조에 감사드립니다.

References

- 1) H. R. Kim, M. G. Seo and W. B. Bae, "A Study of the Manufacturing of Tie-rod Ends with Casting/Forging Process," JMPT, 125-126, pp. 471-476, 2002.
- 2) S. H. Park, Design of Experiment, Min-youngSa, Korea, 1998.
- 3) ITR TS16949 Documents, CTR Co. Ltd. 2003.
- 4) D. J. Cung, "Trend of Steering System," Journal of KSAE, Vol.25, No.1, pp.34-37, 2003.
- 5) K. J. Hong and D. H. Choi, "Optimum Design for Reducing Steering Error of Rack-and-Pinion Steering Linkage," Journal of the KSAE, Vol.6, No.2, pp.43-53, 1998.