Transactions of KSAE, Vol. 25, No. 6, pp.742-749 (2017)

Check for updates

Copyright © 2017 KSAE / 151-10
pISSN 1225-6382 / eISSN 2234-0149
DOI https://doi.org/10.7467/KSAE.2017.25.6.742

고강도 알루미늄 I-Shaft의 Yoke Bearing Hole 위치에 따른 토크 변동 영향도 분석

이 승 준 · 이 흥 주 · 구 광 모* · 우 종 학

남양공업 기술연구소

Effects Analysis of I-Shaft Torque Modulation according to the True Position of Yoke Bearing Hole

Seungjun Lee • Heungju Lee • Kwangmo Koo* • Jonghak Woo

R&D Team, Namyang Ind. Co., Ltd., 150 Mongnae-ro, Danwon-gu, Ansan-si, Gyeonggi 15597, Korea
(Received 23 August 2017 / Revised 4 September 2017 / Accepted 6 September 2017)

Abstract : Intermediate Shaft(hereinafter referred to as I-Shaft) is a torque transmitting device that inter-connects the steering column and the steering gear that constitute the steering system. The input/output torque fluctuation attributed to the I-shaft rotational torque is due in turn to NVH and product damage. Therefore, in this study, we tried to refine the influence of the Yoke bearing hole on the performance of the I-Shaft(NVH, torque fluctuation) by CAE analysis. The true position of the Yoke bearing hole of the sliding type I-Shaft is predicted to be insensitive to the fluctuation of its torque with respect to the variation of the position of 0.3 or less at maximum.

Key words : EPS(전기식파워스티어링), CAE(유한요소해석), Yoke(I-Shaft 구성부품), Gear box(기어박스), I-Shaft(중간축 연결대), Steering column(핸들 샤프트)

1. 서 론

차량의 스티어링 시스템은 차량 전기화 등 스마트한 자율주행 시스템화로 지속적으로 진보되어 개발되고 있다. 스티어링 시스템 구성부품 중 I-Shaft는 상부로 스티어링 컬럼 샤프트에 조립되고, 하부로 스티어링 기어 샤프트에 연결되어 스티어링 핸들의 조향력을 전달하는 주된 기능 외에 차량 주행 시 차체의 전달음 및 노면의 진동, 소음을 흡수하는 기능, 차량 충돌 시 차체에서 밀려오는 변위를 흡수하여 운전자의 하체 상해를 방지할 수 있는 충격 흡수 기능, 조립 및 탈거가 용이하도록 작업자의 조립성을 향상시키는 기능 등을 수행하는데 없어서는 안 될 중요 부품이다.

*Corresponding author, E-mail: kwongmo.koo@nyi.co.kr

I-Shaft는 차량 조건 및 상기 기능들을 만족하기 위해 다양한 형태로 개발되고 있으며 대표적인 타입으로는 슬라이딩 타입, 솔리드 타입, Rubber Coupling 타입, Disk 타입 그리고 Rubber Isolation 타입 등으로 구분된다.

최근 자동차 메이커 개발 동향을 보면 차량 전기화에 따라 민감도 증진을 위해 성능에 대한 요구사항을 꾸준히 강화하는 추세로, 특히 일부 고급 차종에 적용되는 알루미늄 I-Shaft는 특성상 I-Shaft의 Yoke bearing hole의 어긋남 위치(진위치도)에 따른 회전 토크 변동요구 사항과 관련된 기하 공차 강화가 필요한 상황이다.

따라서 본 연구과제는 회전 토크 변동 성능에 연계되어 있는 Yoke bearing hole의 어긋남 위치(진위치도)가 회전 토크 성능에 어떻게 영향을 미치는지,

그리고 요구 성능을 부합하기 위해 Yoke bearing hole의 최대 어긋남 위치로 제시되는 악의 공차(0.5 mm, 통상 0.1 mm) 내에서의 적정 설계 가능성을 확인하고자 한다.

2. 본 론

I-Shaft는 스티어링 컬럼과 스티어링 기어의 Layout을 보상하기 위해 Fig. 1과 같이 Yoke와 스파이더로 결합된 2개의 유니버셜 조인트 구조를 가진다. 이 유니버셜 조인트의 Alignment는 I-Shaft 자체의 회전 토크 변동성의 원인이 되며 이 Alignment는 Yoke bearing hole의 위치가 핵심 인자로 작용된다.

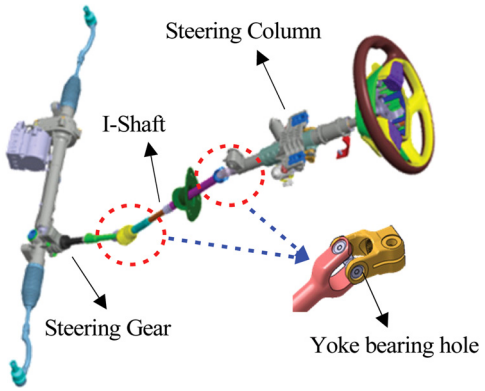


Fig. 1 Steering system main structure

본 연구에서는 Ball 슬라이딩 타입 I-Shaft의 상/하 Yoke bearing hole 위치의 방향과 크기에 따른 토크 변동의 영향력을 보고자 한다.

2.1 I-Shaft FE Modeling 구성

Fig. 2와 같이 I-Shaft 모델링을 구성하였으며, Table 1, Table 2와 같이 FE 조건 값을 설정하였다.

2.1.1 Boundary Conditions

2.1.1.1 Constraint Conditions

상부 Column-Yoke는 스티어링 컬럼 샤프트의 축 방향을 x축으로, 하부 Gear-Yoke는 스티어링 기어 샤프트의 축 방향을 x축으로 하여 좌표를 설정하였다.

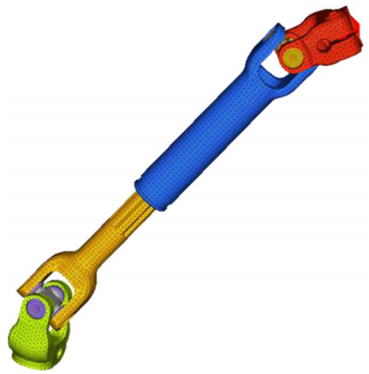


Fig. 2 I-Shaft modeling

Table 1 Model information

Item	Value
Number of nodes	29,569
Number of elements	60,584
Number of parts	24

Table 2 Element quality check

Element quality check	Criteria	Max/Min value	Failed element (%)
Warpage	< 10	0.001	0.00
Aspect ratio	< 7	6.68	0.00
Tetra collapse	> 0.1	0.11	0.00
Jacobian	> 0.6	0.67	0.00

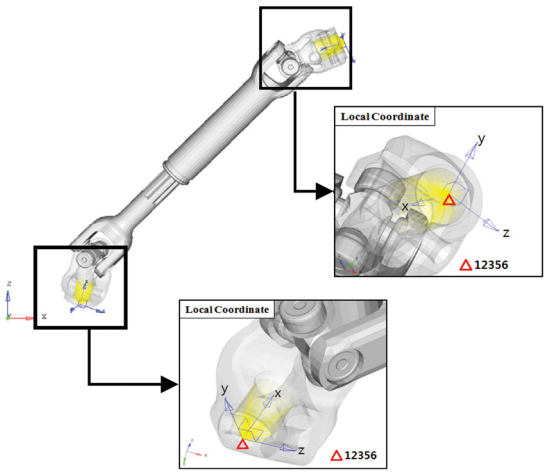


Fig. 3 Constrant conditions

2.1.1.2 Load Conditions

상부 Column-Yoke에 128 Nm를 부여하였을 때 하부 Gear-Yoke의 토크 및 변위를 관찰하였다.

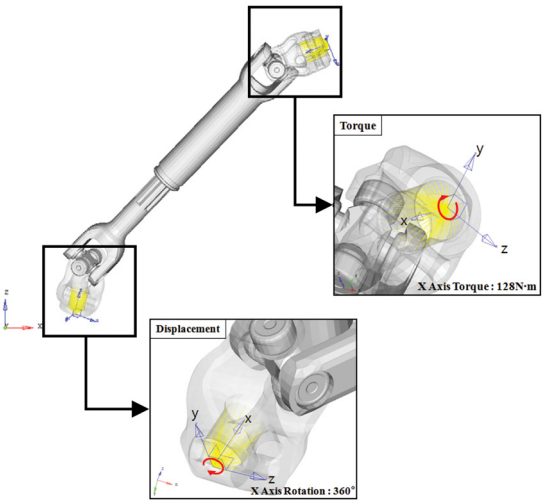
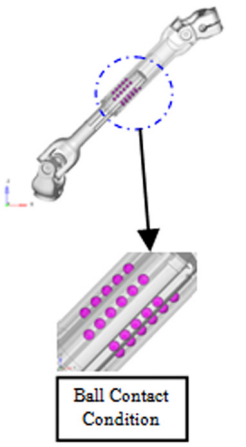
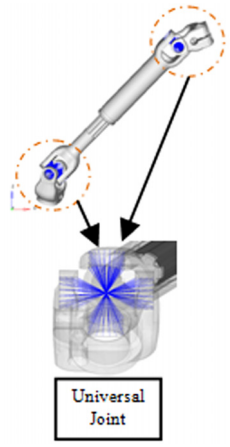


Fig. 4 Load conditions

Table 3 Base case (Case 1)

Base case (Case 1)	
	
▪ 33 Ball contact condition	▪ 2 Universal joint

2.1.2 Base Case Study

Table 3과 같이 CAE 진행 시 Universal Joint부에 두개의 Universal Joint 조건, Sliding부에 Ball contact 조건으로 Base case에 대한 X축 방향 토크 변동 결과를 관찰하였다.

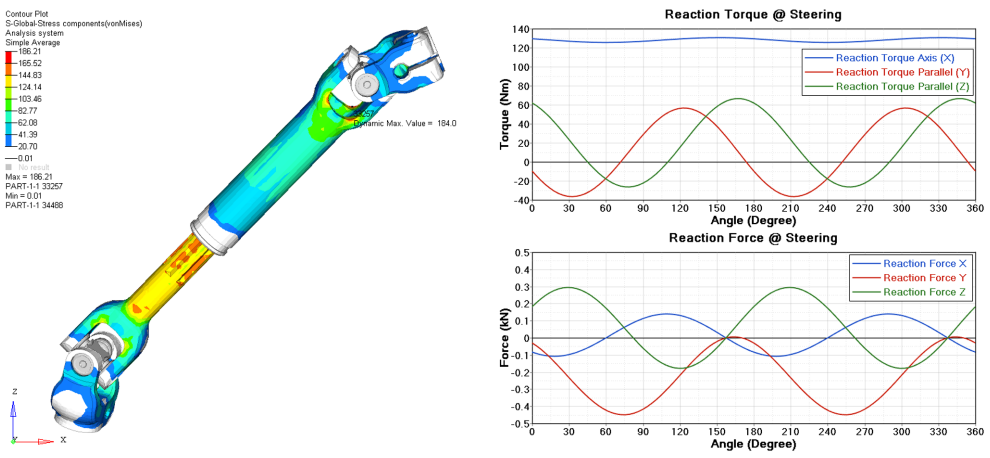
Table 4와 같이 Base case 해석 결과, X축 방향 토크 변동이 5.05 Nm 발생하는 것을 관찰할 수 있었다.

2.2 단일 Universal Joint Study

2.2.1 단일 Universal Joint Case 설정

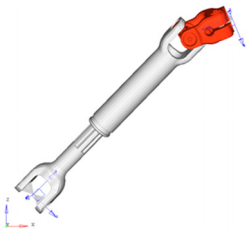
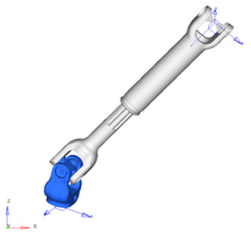
Table 5와 같이 상부에 단일 Universal Joint만 적용되었을 경우(Case 2), 하부에 단일 Universal Joint만 적용되었을 경우(Case 3)의 X축 방향 토크 변동 영향도 차이를 관찰하였다.

Table 4 Base case (Case 1) analysis results



	Reaction torque (Nm)			Reaction force (kN)			Max. stress
	X	Y	Z	X	Y	Z	
Min.	125.48	-36.63	-26.49	-0.11	-0.45	0.29	186.2 @ Tube edge
Max.	130.53	56.56	66.41	0.14	0.00	-0.18	
Amplitude	5.05	93.19	92.90	0.25	0.45	0.47	

Table 5 Universal joint case setting

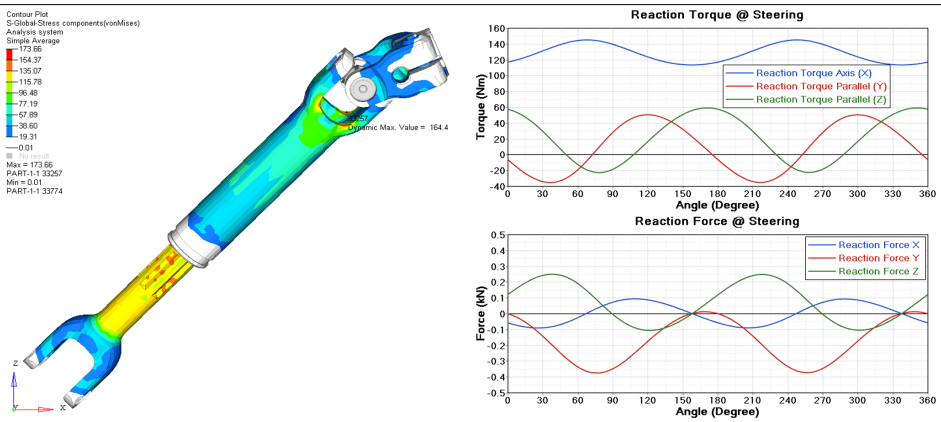
Case 2	Case 3
	
-상부 단일 Universal joint	-하부 단일 Universal joint

2.2.2 단일 Universal Joint Case 분석 결과

Case 2, 3 해석 결과는 Table 6, 7과 같으며, Table 8과 같이 해석 비교 결과, X축 토크 반력 차이값은 Case 2의 경우 31.67 Nm, Case 3의 경우 36.62 Nm로, 단일 Universal Joint는 꺾임각으로 인해 고정축에 대한 토크 반력이 상당히 크게 발생되는 것이 관찰되었다.

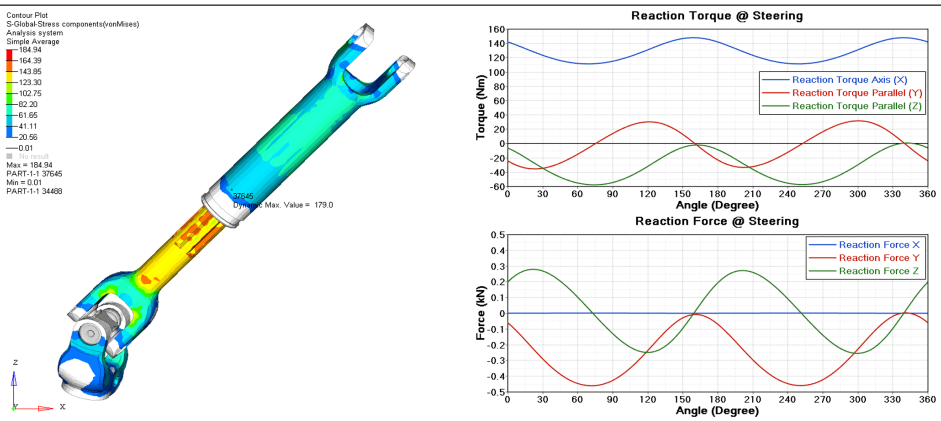
이를 위해 상부/하부 2개의 Universal Joint를 적용하고 전달 토크 위상차를 최적화함으로써 Base case(Case 1)의 경우와 같이 5.05 Nm로 최소화함을 관찰하였다.

Table 6 Case 2 analysis results



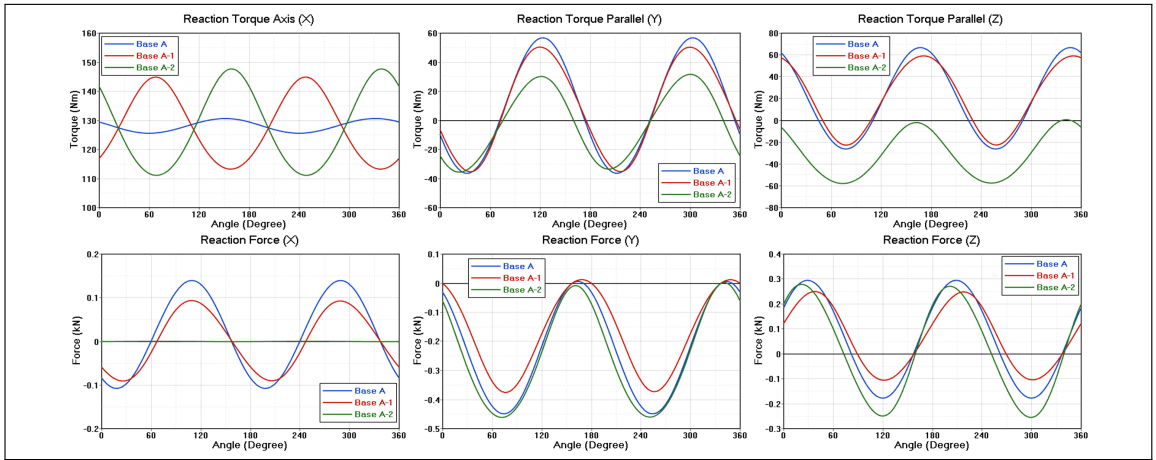
	Reaction torque (Nm)			Reaction force (kN)			Max. Stress
	X	Y	Z	X	Y	Z	
Min.	113.14	-35.54	-22.95	-0.09	-0.38	-0.11	173.6 @ Tube edge
Max.	144.81	50.20	58.81	0.09	0.01	0.25	
Amplitude	31.67	85.74	81.76	0.18	0.39	0.36	

Table 7 Case 3 analysis results



	Reaction torque (Nm)			Reaction force (kN)			Max. Stress
	X	Y	Z	X	Y	Z	
Min.	110.99	-35.78	-58.13	0.00	-0.46	-0.26	184.9@ Tube edge
Max.	147.61	31.41	0.42	0.00	0.00	0.28	
Amplitude	36.62	67.19	58.55	0.00	0.46	0.54	

Table 8 Case 1, Case 2, Case 3 comparative results



		Case 1	Case 2	Case 3
Reaction torque (N.m)	X Amplitude	5.05	31.67	36.62
	Y Amplitude	93.19	85.74	67.19
	Z Amplitude	92.90	81.76	58.55
Reaction force (kN)	X Amplitude	0.25	0.18	0.00
	Y Amplitude	0.45	0.39	0.46
	Z Amplitude	0.47	0.36	0.54
Max. Von Mises Stress (Mpa)		186.21	173.66	184.94

2.3 Yoke Bearing Hole 위치의 방향에 따른 Study

2.3.1 개별 Yoke Bearing Hole 위치의 방향에 따른 Study

Column-Yoke/ Gear-Yoke/ Tube-Yoke/ Shaft-Yoke 각각 개별적으로 Yoke bearing hole의 위치를 0.1 mm만큼 상/하 방향으로 이동시켜 Hole의 방향에 따른 X축 방향 토크 반력에 대한 영향도를 관찰하였다.

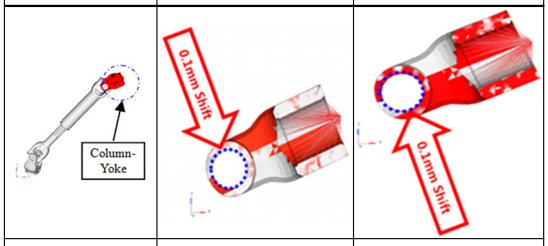
각각의 개별 Yoke의 Bearing hole을 0.1 mm 만큼 offset하여 해석한 결과,

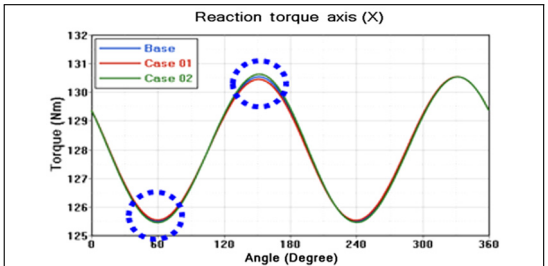
1) Bearing hole offeset에 대한 상/하 방향 영향도는 차이 없음. 2) Table 9~12와 같이 Column-Yoke와 Gear-Yoke에서의 Bearing hole 위치에 대한 영향도는 고정축의 변화에 의해 각각 0.136, 0.118만큼의 토크 진폭이 커졌음. 3) Table 10, 11과 같이 Tube-Yoke와 Shaft-Yoke에서의 영향도는 Hole offset에 따른 고정축의 변화가 없으므로 토크 진폭에 영향이 없음을 관찰하였다.

2.3.2 Yoke 조합 Baring Hole 위치의 방향에 따른 Study

Yoke bearing hole의 Offset에 따라 토크 진폭에 영향이 있는 Column-Yoke와 Gear-Yoke의 각각의 상/하 방향 조합에 대한 영향도를 관찰하였다.

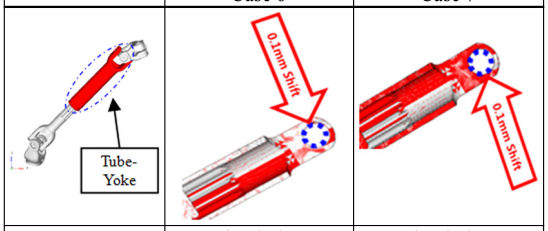
Table 9 Column-Yoke 0.1 mm offset analysis results

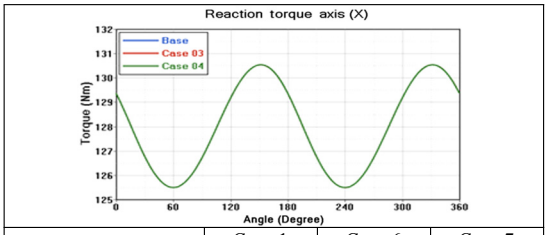
	Case 4	Case 5
	▪ Bearing hole : 0.1 mm shift down	▪ Bearing hole : 0.1 mm shift up



		Case 1	Case 4	Case 5
Reaction Torque X (N.m)	Min.	125.483	125.529	125.439
	Max.	130.533	130.443	130.622
	Amplitude	5.050	4.914 (-0.136)	5.183 (+0.133)
Max. Von Mises Stress (Mpa)		478.80	478.62	478.98

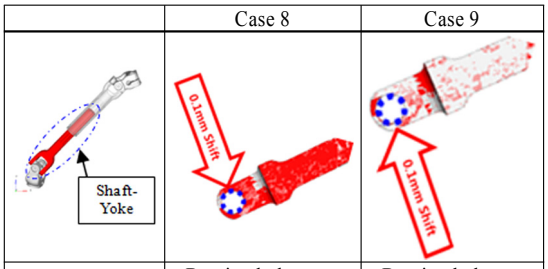
Table 10 Tube-Yoke 0.1 mm offset analysis results

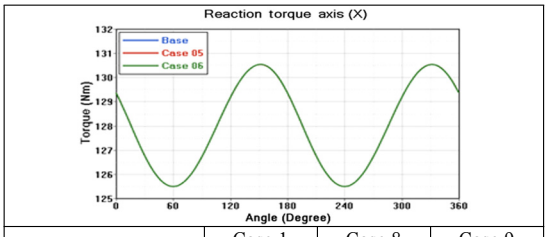
	Case 6	Case 7
		
	▪ Bearing hole : 0.1 mm shift down	▪ Bearing hole : 0.1 mm shift up



		Case 1	Case 6	Case 7
Reaction Torque X (N.m)	Min.	125.483	125.483	125.483
	Max.	130.533	130.533	130.534
	Amplitude	5.050	5.050	5.051 (+0.001)
Max. Von Mises Stress (Mpa)		478.80	478.81	478.80

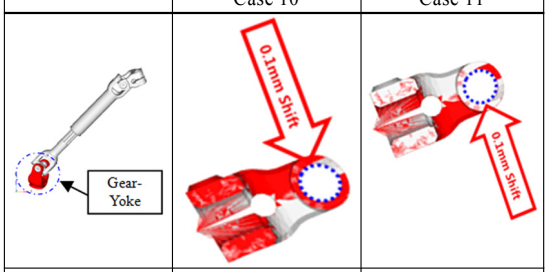
Table 11 Shaft-Yoke 0.1 mm offset analysis results

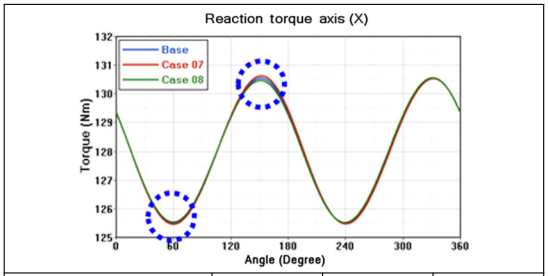
	Case 8	Case 9
		
	▪ Bearing hole : 0.1 mm shift down	▪ Bearing hole : 0.1 mm shift up



		Case 1	Case 8	Case 9
Reaction Torque X (N.m)	Min.	125.483	125.483	125.483
	Max.	130.533	130.533	130.534
	Amplitude	5.050	5.050	5.051 (+0.001)
Max. Von Mises Stress (Mpa)		478.80	478.82	478.79

Table 12 Gear-Yoke 0.1 mm offset analysis results

	Case 10	Case 11
		
	▪ Bearing hole : 0.1 mm shift down	▪ Bearing hole : 0.1 mm shift up



		Case 1	Case 10	Case 11
Reaction Torque X (N.m)	Min.	125.483	125.446	125.522
	Max.	130.533	130.612	130.453
	Amplitude	5.050	5.166 (+0.117)	4.931 (-0.118)
Max. Von Mises Stress (Mpa)		478.80	478.98	478.62

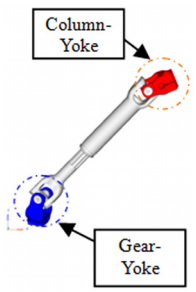
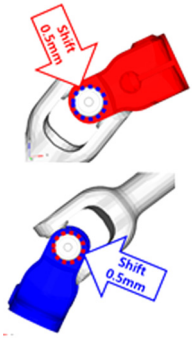
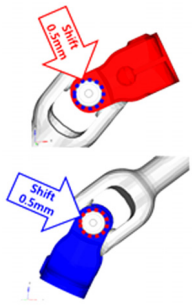
Table 13과 같이 Column-Yoke와 Gear-Yoke의 Yoke bearing hole이 같은 방향으로 0.5 mm offset되었을 경우보다, -0.086(-1.7 %), 반대 방향으로 0.5 mm offset 되었을 때, +1.281(+25 %), 토크 변동 영향이 더 큰 것으로 관찰되었다.

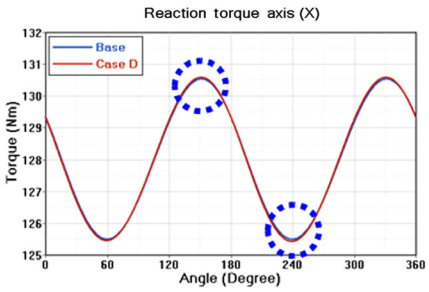
2.4 Yoke Bearing Hole 위치의 방향에 따른 Study

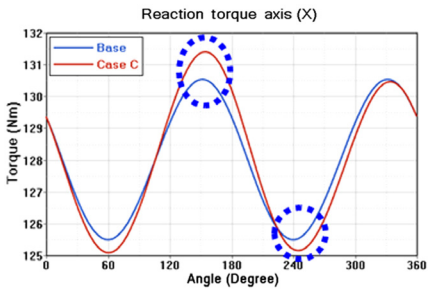
상기 2.3항의 해석 결과로부터 Column-Yoke와 Gear-Yoke의 Yoke bearing hole이 반대방향으로 Offset 되었을 경우 토크 진폭의 영향이 가장 큰 것을 확인하였고, 이 가장 악조건에서의 Offset 크기에 따른 토크 변동 영향도를 관찰하였다.

Table 14와 같이 Column-Yoke와 Gear-Yoke의 Yoke bearing hole의 Offset 크기에 따른 해석 결과, Output 토크 진폭은 Offset 0.1 mm에 약 5 %씩 증가하는 경향을 관찰하였다. 따라서 토크 변동 사용 영역은 통상적으로 자동차 메이커에서 15 % 이하로

Table 13 0.5 mm offset analysis results according to directions

	Case 12	Case 13
		
	▪ Column-Yoke : 0.5 mm shift down ▪ Gear-Yoke : 0.5 mm shift up	▪ Column- Yoke : 0.5 mm shift down ▪ Gear-Yoke : 0.5 mm shift down





		Case 1	Case 12	Case 13
Reaction Torque X (N.m)	Min.	125.483	125.071	125.520
	Max.	130.533	131.401	130.483
	Amplitude	5.050	6.330 (+1.281)	4.963 (-0.086)
Max. Von Mises Stress (Mpa)		186.21	186.79	186.26

관리됨을 고려할 때 Yoke의 Offset(위치도)은 0.3 mm 이하 수준이면 I-Shaft 성능에 미치는 영향은 둔감할 것으로 예측된다.

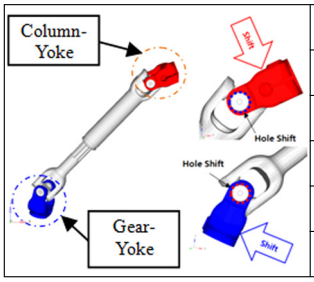
3. 결 론

알루미늄 슬라이딩 타입 I-Shaft의 회전 토크 변동 성능에 연계되어 있는 Yoke bearing hole의 진위치도를 제품성능에 대한 영향도 확인과 가용 범위를 정립하기 위해 CAE 분석을 통해 확인하였다.

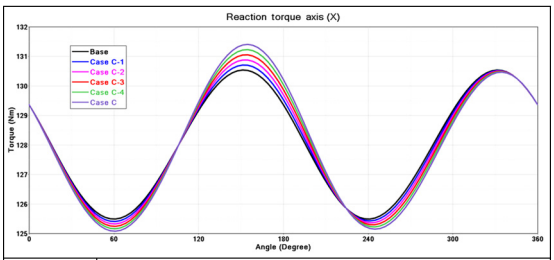
본 연구를 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 2개의 유니버셜 조인트는 조립 위치에 따라 전달 토크의 위상차를 최적화함으로써 조향 회전 토크를 최소화됨을 확인할 수 있었다.
2) 토크 변동율은 Column-Yoke와 Gear-Yoke의 Bearing hole의 Offset은 고정축의 변화를 가져오므로 회전축에 Offset 양만큼 영향이 있음을 확인할 수 있었다.
3) 토크 변동율은 Column-Yoke와 Gear-Yoke의 Bearing hole이 같은 방향으로 0.5 mm Offset되었을 경우보다(-1.7 %), 반대 방향으로 0.5 mm Offset되었을 경우에(+25 %) 영향이 더 큰 것을 확인할 수 있었다.
4) Column-Yoke와 Gear-Yoke의 Bearing hole의 Offset은 0.1 mm에 약 5 %씩 증가하는 경향을 확인할 수 있었고, 이에 따라 토크 변동 사용 영역은 통상적으로 자동차 메이커에서 15 % 이하로 관리됨을 고려할 때 Yoke의 Offset(위치도)이 0.3 mm 이하 수준이면 I-Shaft 성능에 미치는 영향은 둔감할 것으로 예측된다.

Table 14 Offset analysis results according to size



	Offset 양
Case 14	0.1 mm
Case 15	0.2 mm
Case 16	0.3 mm
Case 17	0.4 mm
Case 18	0.5 mm



	Reaction Torque X (Nm)			
	Min.	Max.	Amplitude	Max. Stress @Tube-Yoke (Mpa)
Case 1 (Base)	125.484	130.533	5.049	186.21
Case 14	125.402	130.702	5.300 (+4.97 %)	186.33
Case 15	125.319	130.871	5.552 (+9.96 %)	186.44
Case 16	125.236	131.047	5.811 (+15.09 %)	186.56
Case 17	125.153	131.224	5.300 (+20.24 %)	186.67
Case 18	125.071	131.401	6.330 (+25.37 %)	186.79

References

1) G. S. Peace, Taguchi Methods: A Hands-on Approach, Addison-Wesley Publishing Company, Boston, 1993.
2) K. H. Choi, Y. K. Jeong, B. G. Lee and H. Y. Kim, “Finite Element Analysis and Shape Design for Coated Intermediate Shaft of Steering System,” KSAE Spring Conference Proceedings, pp.1284-1288, 2009.
3) S. G. Kim, W. S. Yoo and J. B. Kim, “Design and Analysis of Intermediate Shaft of the Steering System using Vehicle Dynamics Program CADyna,” Transactions of KSAE, Vol.10, No.3, pp.185-191, 2002.
4) M. L. Culpepper and S. Szczesny, “Design of a Compliant Revolute Mechanism for Accurate Dynamic Characterization of Automotive Steering Columns,” ASME International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, 2004.
5) H. S. Yoon, C. Kim, M. S. Moon and S. Y. Oh, “Design of a Composite Propeller Shaft with the Reduced Weights and Improved NVH,” Transactions of KSAE, Vol.11, No.1, pp151-159, 2003.
6) W. J. Jung, G. T. Kim, J. Y. Oh and S. Y. Park, “Study for Steering Ratio Variation according to Tilt Angle of Tilt Type Steering Column,” KSAE Annual Conference Proceedings, pp.1751-1755, 2010.