

유니버설조인트 어셈블리 공차해석

Tolerance analysis of universal joint

*이장용¹

*J.Y Lee¹

¹ 한국생산기술연구원 생산자동화센터

Key words : Tolerance analysis, Universal joint, Monte Carlo simulation

1. 서론

공차해석은 기계부품이나 조립체의 누적된 치수 변화량에 대한 공학적 해석을 의미한다¹. 많은 부품으로 이루어진 제품이나 변화량에 대한 정밀한 예측이 필요한 조립체인 경우 공차해석을 통하여 전체 어셈블리의 작동범위를 알 수 있다. 특히 설계자의 관점에서는 설계변수에 대한 조립체의 변위에 대한 민감도를 알게 되어 보다 정밀한 설계가 가능하게 된다.

대량생산되는 제품의 품질관리 측면에서 공차해석 결과는 검사기준을 세우는데 유용한 결과를 제공해 준다. 또한 제품 제작을 위해 과도하게 엄격하지 않은 공차를 지정하는 것은 생산단가를 낮추는데 크게 도움을 주는 요소인데 이것 또한 공차해석 결과에 기반하여 수행된다.

공차해석은 크게 세 가지 방법으로 수행된다. 첫 번째는 누적공차의 최대,최소값을 산술적인 방법으로 계산하는 것으로서 이것은 너무 엄격한 치수공차가 될 수 있다. 두 번째 방법은 확률적인 고려를 하여 누적공차를 추정하는데, 이것은 품질평가를 통과한 부품의 치수는 주어진 공차범위 안에서 변동하게 되고 이러한 치수의 변동값이 정규분포를 따른다는 가정하에 누적공차를 계산하는 방법이다. 세 번째 방법은 컴퓨터 프로그램을 이용하여 각 부품의 치수를 일정 횟수 이상 시뮬레이션하고 각 경우에 누적공차를 계산하여 이중에서 최대, 최소값을 구하는 것으로서 세가지 방법 중 가장 여유 있는(공차폭이 큰) 공차값을 산출하여 산 현장에서 많이 사용된다.

Table 1 에 세가지 공차해석법에 대한 최대/최소값 계산의 정확도를 나타내었다.

Table 1 Comparison of tolerance analysis methods

공차해석법	최대,최소값 정확도	비고
산술적 방법	100 %	공차간격 가장 엄격함
확률(RSS)적 방법	99.73%	공차에 의한 치수값이 정규분포 가정
시뮬레이션 방법 (Monte carlo 시뮬레이션)	99 %	시뮬레이션 횟수 1 만회 이상

본 논문에서는 자동차 조향장치에 사용되는 U-joint 어셈블리에 대해 상기한 세가지 방법으로 공차해석을 수행하여 그 차이점과 효용성을 분석해 보고자 한다.

2. 산술적/통계적 공차해석

산술적 방법에 의한 누적공차 계산과 통계적 공차해석 방법인 RSS(Root Sum of Squares) 방법에 의한 공차계산은 대수적 방법에 의한 해석이라는 점에서 서로 유사하다. 그리고 세가지 공차해석 방법에서 누적공차 계산을 위해 공히 사용되는 것은 분석대상으로 삼은 universal joint 어셈블리에 대한 기하학적 분석이다. Fig. 1 에 자동차용 조향장치에 사용되는 유니버설조인트 어셈블리를 나타내었다. 상측 유니버설조인트에 전달된 핸들의 회전력은 Tube 와 Shaft 및 하측 유니버설조인트 거쳐 앞 바퀴에 연결된 rack and pinion 에 전달된다.

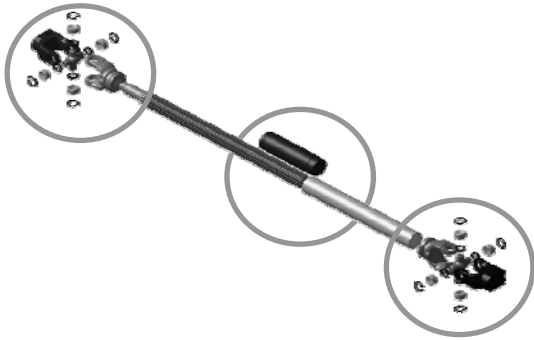


Fig. 1 Universal joint assembly²

유니버설조인트 어셈블리에서 공차해석이 필요한 부위는 Fig. 1 에서 타원으로 표시한 세 개의 구역이다. 이 중에서 좌,우 유니버설조인트 부위는 3 차원적 운동이므로 평면적 해석이 어렵고 spline shaft 와 tube 의 연결부위가 2 차원적인 해석이 가능하다. Fig. 2 에 spline shaft 와 접촉하는 tube 를 수식화 하기 위한 개념도를 나타내었다.

Fig. 1 에 나타낸 각 부품의 치수가 주어졌을 때 기하학적 분석에 의해 누적공차의 최대/최소 값을 구할 수 있다. RSS 공차계산은 각 부품 치수의 평균값(기준치수, μ)에 공차 표준편차(σ)의 세 배인 값을 더하고 뺀 ($=\mu \pm 3\sigma$) 범위 안에 실제 치수 값의 99.73% 속한다는 확률이론에 근거하여 비교적 간단히 계산할 수 있다.

3. 3DCS 에 의한 Monte carlo 시뮬레이션

Monte carlo 시뮬레이션을 활용한 상용 공차해석 소프트웨어인 3DCS 를 사용하여 유니버설조인트 어셈블리의 공차해석을 수행하였다. Fig. 2 에는 공차해석을 통해 구한 공차발생 세 곳의 상대적 회전량을 도시하였는데 좌,우 두 개의 유니버설조인트 어셈블리는 서로 회전량이 같고 spline shaft 와 tube 사이의 회전각이 0.248° 이다.(두 부품의 축은 서로 일치한다고 가정했다) 이 값은 수치적 계산에 의해 얻은 값(0.25°)과 잘 일치한다. 좌,우 유니버설조인트 어셈블리의 회전각(0.318°)은 평면기하를 활용한 수식적 계산에 의해서는 구하기 어려우므로 Fig. 2 의 결과를 활용하는 것이 타당하다.

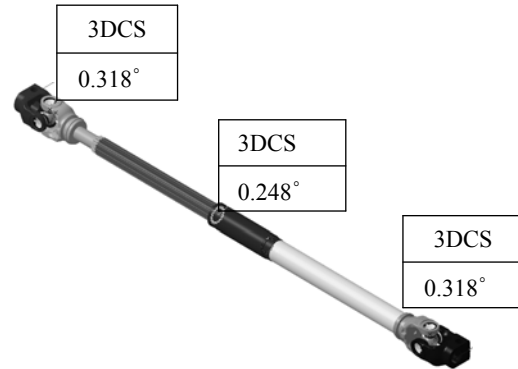


Fig. 2 Tolerance analysis of universal joint assembly²

4. 결 론

본 논문에서 제시한 세 가지 공차해석 방법을 spline shaft 와 tube 사이의 회전각 계산에 적용한 결과를 비교하면 Table 2 와 같다. Fig. 2 의 결과와 마찬가지로 Monte carlo 시뮬레이션의 경우가 가장 회전각이 적음을 알 수 있다.

Table 2 Simulation result of tolerance analysis methods

공차해석법	산술적 방법	RSS	Monte carlo 시뮬레이션
회전각	0.159°	0.135°	0.122°

후기

이 논문은 지식경제부에서 시행한 부품·소재전문기업기술지원사업의 기술지원 결과임.

참고문헌

1. http://en.wikipedia.org/wiki/Tolerance_analysis
2. 이장용. “자동차 조향장치용 16 산(山)형 정밀 U-joint 어셈블리 개발 기술지원,” 지식경제부. 2010 바탕체 9pt.