

X-by wire용 여유 구동형 Haptic Shift Device 개발

Development of Redundant Type Haptic Shift Device for X-by Wire

**이혁진¹, 우상민², 이재원³

**H. J. Lee(mach_lhj@hanmail.net)¹, S. M. Woo², J.W. Lee³

¹ 영남대학교 기계공학부, ²영남대학교 기계공학부, ³영남대학교 기계공학부

Key words : shift device, haptic device, torque distribution, redundant actuation

1. 서론

최근 차량 기술은 전자기술의 발전과 더불어 전자 및 제어 기술과 접목 되고 있다. 특히 X-by-wire 시스템은 기존의 기계적인 장치에 의해 구동되는 것을 전기신호로 구동하는 시스템을 말한다. 이런 X-by-wire 시스템은 시스템의 무게를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 친환경적이며 모듈화를 통해 쉽게 모델변경이 가능하다. 하지만 기계적 링크가 없기 때문에 기존 장치와 비교하여 조작에 이질감을 느끼게 된다. 이러한 이질감을 줄이기 위해 운전자에게 적절한 조작감을 제공해 줄 수 있는 장치인 HSD(Haptic Shift Device)가 필요하다.

X-by Wire용 HSD(Haptic Shift Device)에서 기계식 Shift Device 조작감을 모사하기 위해 구동기를 사용한다. 이러한 구동기로 Shift Device nobe에 토크를 전달하기 위해 모터와 감속기를 사용하였다. 본 논문에서는 Shift Device nobe에 토크를 전달하는 방식에 있어 여유 구동형 3RRR Haptic Device를 제안하였다.

이러한 여유 구동형¹ Shift Device는 nobe에 힘이 결정되면 각 구동축에 토크는 유일해가 아닌 수많은 경우의 토크로 결정될 수 있다. 따라서 구동축의 수많은 토크 해중 최적의 해를 결정하는 토크분배 알고리즘을 사용하여² 기계식 Shift Device의 조작감을 모사하였다.³

2. Haptic Shift Device 기구 설계

3RRR 형 HSD는 링크구조가 3개로 이루어진 구조로 여유구동 장치이다. 기구 해석은 식(1),(2)와 같다.

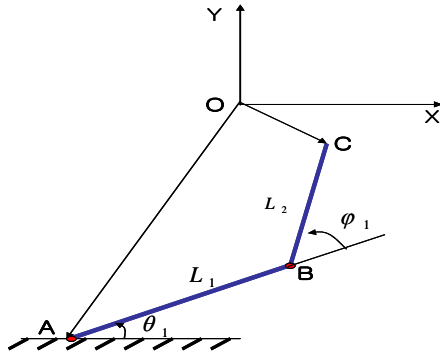


Fig.1 3RRR기구한쪽 링크 부분

Fig. 1에서, A 점은 구동부분이고 C 점은 3RRR End effector이며 L1, L2는 링크길이, ψ 는 수동조인트(Passive-Joint)의 각도, θ_1 은 구동조인트(Active-Joint)이다. 정기구학 해석은 구동축 각도 $[\theta_1, \theta_2, \theta_3]^T$ 가 주어지면 End effector의 좌표 (x_C, y_C) 를 구하면 다음과 같다.

$$y_c = \frac{-\left(\frac{(-e_{a333} + e_{i333})(e_{b111} - e_{c111})}{e_{a111} - e_{b111}} + e_{i333} - e_{a333}\right)}{e_{i222} - e_{a222} - (e_{b111} - e_{c111})\left(\frac{e_{a222} - e_{i222}}{e_{a111} - e_{b111}}\right)} \quad (1)$$

$$x_c = -\left(\frac{e_{a222} - e_{i222}}{e_{a111} - e_{b111}}\right)y_c + \frac{-e_{a333} + e_{i333}}{e_{a111} - e_{b111}} \quad (2)$$

여기서,

$$\begin{aligned} e_{a111} &= -2x_A - 2L_1 \cos\theta_1 \\ e_{a222} &= -2y_A - 2L_1 \sin\theta_1 \\ e_{a333} &= x_A^2 + y_A^2 + L_1^2 - L_2^2 + 2x_A L_1 \cos\theta_1 + 2y_A L_1 \sin\theta_1 \end{aligned}$$

자코비안 해석식은 식(3),(4),(5)와 같다.

$$J = J_q^{-1} J_x \quad (3)$$

$$J_x = \begin{bmatrix} b_{1x} & b_{1y} & 0 \\ b_{1x} & b_{1y} & 0 \\ b_{1x} & b_{1y} & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$J_q = \begin{bmatrix} a_{1x}b_{1y} - a_{1y}b_{1x} & 0 & 0 \\ 0 & a_{2x}b_{2y} - a_{2y}b_{2x} & 0 \\ 0 & 0 & a_{3x}b_{3y} - a_{3y}b_{3x} \end{bmatrix} \quad (5)$$

식 (1),(2)는 한 링크에 관한 식으로 동일한 방식으로 나머지 2링크의 End effector 위치를 구할 수 있다.

본 연구에서 설계한 기구는 5링크형태의 비여유구동 HSD와 이를 개량한 3RRR 형태의 여유구동 HSD이다. 이 중 Fig. 2는 비여유구동 HSD인 5링크 형태의 기구를 나타낸다.

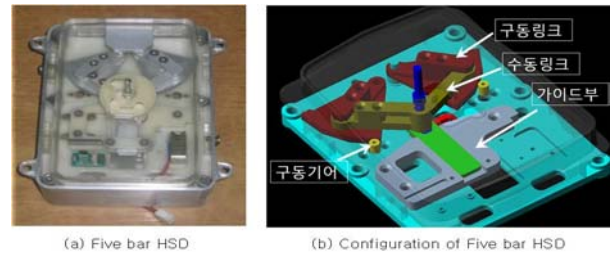


Fig. 2 Five bar HSD

Fig. 2에서와 같이 구동링크 두 개와 수동링크 두 개로 구성된 5링크 형태로 설계된 장치이다. 부채꼴 모양은 모터의 토크를 증가시키기 위한 기어이고 레버 밑에 가이드부(guide plate)를 설치함으로써 레버의 유격을 감소시켰다. 또한 홀 IC 센서를 장착하여 레버의 최종 위치를 파악할 수 있도록 하였다.

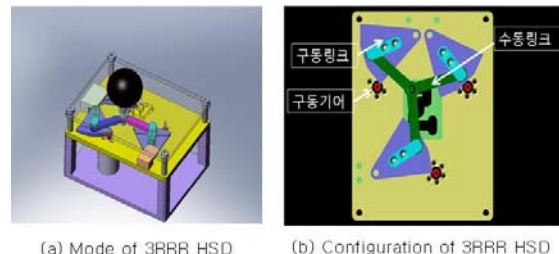


Fig. 3 3RRR HSD

Fig. 3은 2개의 모터를 사용하는 기존 5링크 형 HSD에 모터 하나 더 추가하여 구동하는 구조이다. 이로 인해 기구적으로 강성이 증가하고 여유구동을 가지는 구조가 된다. 이러한 여유구동형 3RRR HSD는 각 축의 토크를 최적으로 분배할 경우 비여유구동형인 5링크형 HSD보다 전체 토크가 감소하는 장점을 가진다.

3. 조작감 모사를 위한 제어 시스템

기존 기계식 자동 변속기는 Fig. 4와 같은 상하 방향 및 좌우 방향의 조작감 패턴을 가지고 있다.

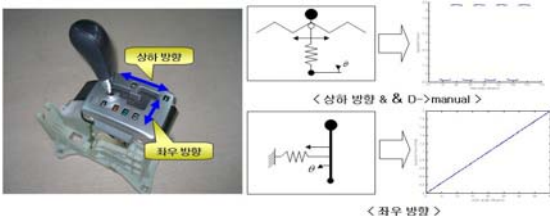


Fig. 4 Handling feel pattern of mechanical shift

Fig. 5은 기계식 변속기의 조작감 모사를 위한 전체 시스템으로 크게 HSD, Torque Amplifier, Haptic Rendering Program 세부분으로 나눌 수 있다.

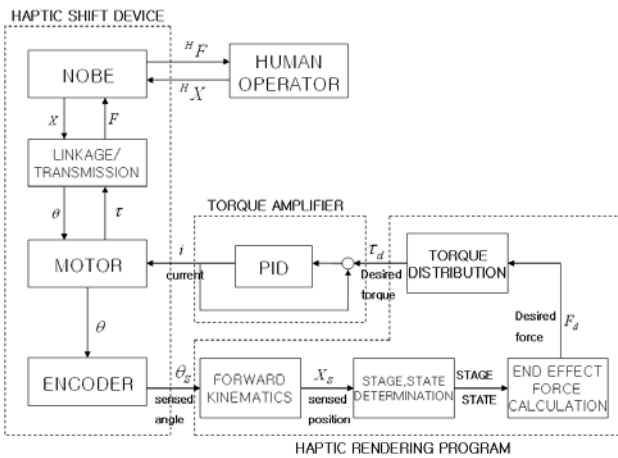


Fig. 5 Haptic rendering System

이중 Haptic Rendering Program의 "TORQUE DISTRIBUTION" 블록에서는 HSD의 End Effect 힘을 각 모터에 토크로 분배하는 알고리즘이다. 비여유 구동형 HSD인 경우, 이 블록에서는 식 (6)과 같이 토크를 분배하는 반면,

$$\tau = J^T F_C \quad (6)$$

여유 구동형 HSD인 경우에는 식 (7)와 같이 토크를 분배한다.

$$\tau = W^{-1} J (J^T W^{-1} J)^{-1} F_C \quad (7)$$

여기서 W 는 각축 토크에 대한 가중치 행렬로써 $diag\{w_1, w_2, w_3\}$ 로 나타낸다.

4. 실험

Fig. 6은 비여유구동형인 5 링크형태와 여유구동형인 3RRR 형태의 HSD에 대해 상하 방향으로 레버를 조작 했을 경우 각 축에 분배된 토크를 나타내었으며

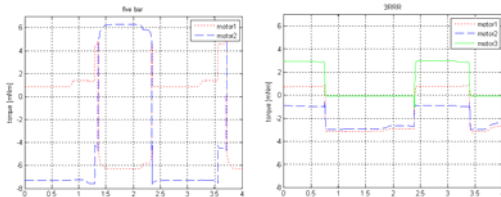


Fig. 6 Comparison of vertical direction torque

Table. 1은 상하 방향과 좌우 방향으로 HSD의 레버를 조작 했을 경우 전체 모터의 평균 토크를 RMS (Root Mean Square)로

나타내었다.

Table. 1 RMS of vertical and horizontal torque

기구형태	상하 방향 [mm-N]	좌우 방향 [mm-N]
5 링크 형	0.3168	0.2629
3RRR 형	0.2061	0.1555

Table 1에서 보는바와 같이 3RRR형 HSD에서 최적의 토크를 분배할 경우가 5링크형 HSD보다 전체 토크가 상하방향 조작시 35%감소 하였고 좌우방향 조작시는 40% 감소 하였다.

Fig. 7은 HSD의 레버를 상하방향과 좌우 방향으로 조작할 경우 레버에서 받는 힘을 측정한 그래프로써 정상 상태에서 오차 평균 값은 각각 0.0028과 0.0051[Kgf]이다. 따라서 기준 힘을 잘 추종함으로써 기계식 변속기 조작감을 잘 모사 했다고 할 수 있다.

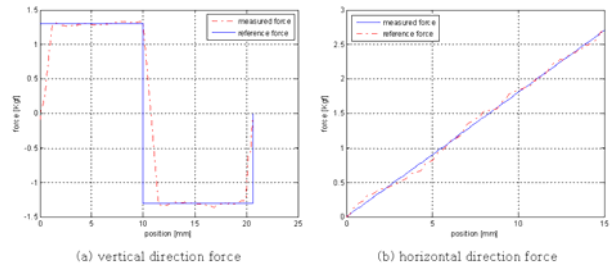


Fig 7 Measured Force of End Effect

5. 결론

본 논문에서는 기계식 shift device의 조작감을 모사하기위해 5링크형태의 HSD를 개발하였다. 하지만 이 형태의 HSD는 비여유구동을 사용하기 때문에 조작감이 떨어질 뿐만 아니라 상하방향의 힘을 충분히 모사할 수 없었다. 따라서 이 문제를 보완하기 위하여 3개의 모터를 사용한 3RRR 형태의 여유구동형 HSD를 개발하였다. 여유구동형 3RRR HSD에는 3개의 모터에 대한 여러 가지 토크분배가 있을 수 있다. 본 연구에서 제시한 최적의 토크 분배를 사용하여 조작감을 모사한 결과 비여유 구동형인 5링크에 비해 35~40%의 전체 모터의 토크 절감 효과를 나타내었다.

후기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신 인력양성사업으로 수행된 연구결과임

참고문헌

- 이상문, 심호석, 이재원, "여유구동3RRR 병렬로봇의 힘분배 제어에 관한 연구". 한국정밀공학회 2007년도 춘계 학술대회 논문집 pp.59~60.
- 박동일, 김수현, 광윤근, "가중의사역행렬을 이용한 여유구동의 힘분배기법에 관한 연구", 대한기계학회 2002년도 기계관련 산학연 연합심포지움, pp. 727~732, 2002
- Antonio Frisoli, Carlo A. Avizzano, Massimo Bergamasco, "Simulation of a manual gearshift with a 2 DOF force-feedback joystick", Proceeding of the 2001 IEEE International Conference on Robotics & Automation Seoul, Korea, pp. 1364~1369