

종이컵 성형기용 원통 캠 설계 프로그램 개발

Development of a Cylindrical Cam Design Program for a Cup Forming Machine

*정광열¹, #박태원², 전갑진¹, 윤지원¹, 조재익¹, 최지훈³

*K. Y. Cheong¹, #T. W. Park(park@ajou.ac.kr)², K. J. Jun¹, J. W. Yoon¹, J. I. Cho¹ and J. H. Choi³

¹아주대학교 기계공학과대학원, ²아주대학교 기계공학부, ³아주대학교 기계공학과

Key words : Barrel cam, Conjugate surface, Three dimensional mechanism, Matlab, Multibody Dynamic

1. 서론

자동화 기계의 한 종류인 종이컵 성형기는 원통 캠, 터렛, 킬, 모터, 펌프 등의 여러 부품으로 구성된다. 종이컵 성형기의 여러 부품들 중, 원통 캠은 터렛을 회전시켜 종이컵 성형기를 작동시키는 부품이다. 따라서 어떻게 원통 캠을 설계하느냐에 따라 종이컵 성형기의 성능이 결정된다. 종이컵 성형기에 사용되는 원통 캠은 종동절에 회전운동을 주는 배럴 캠이다.

입체 캠의 형상을 설계하기 위하여 많은 연구가 진행되어왔다. Chakraborty와 Dhande은 스크류 이론을 이용하여 캠과 종동절의 접촉조건을 결정하였으며^[1] Gonzalez-Palacios와 Angeles는 순간 스크류 운동 이론을 적용하여 입체 캠의 형상을 생성하였다.^[2] Wu-jung Tsai, Jyh-Jone Lee, Jung-Fa Hsieh는 접촉조건을 이용하여 입체 캠을 설계하였으며 가공 및 검사과정까지의 과정을 연구하였다.^[3-4] 신중호는 상대속도를 이용하여 입체 캠을 설계 하였으며^[5] 조승래는 접촉점 이론을 이용한 모델의 가공에 대한 연구를 하였다.^[6] 이렇게 입체 캠의 설계, 프로그램, 가공까지의 많은 연구가 이루어졌지만 프로그램을 이용하여 생성한 입체 캠 모델의 동역학 검증까지는 활발하게 이루어지지 못한 상황이다. 캠 모델의 동역학적 검증은 프로그램으로 생성한 캠의 동역학 모델의 신뢰성을 확보시켜주며 캠 성능을 미리 파악 할 수 있을 뿐 아니라 사전에 원하는 성능으로 개발하기가 용이해 진다.

본 논문에서는 접촉이론을 적용한 배럴 캠 설계프로그램을 개발하였으며 프로그램에서 얻어진 접촉점 데이터를 CAD 프로그램에서 3차원 모델로 생성하였다. 생성된 3차원 모델은 다물체 동역학 프로그램을 이용하여 동역학 해석이 되었으며 모델의 검증을 위해 실제 배럴 캠을 레이저 측정된 3차원 모델의 동역학 해석결과와 프로그램을 이용하여 생성한 3차원 모델의 동역학 해석 결과를 비교 하였다.

2. 배럴 캠 설계

캠의 형상은 종동절의 움직임에 따라 결정이 된다. 따라서 종동절의 변위선도는 중요한 입력 변수이다. 배럴 캠 설계 프로그램에 이용된 변위 선도는 변형 사인 곡선이다. 식 (1-7)은 변위선도로 사용된 변형사인곡선의 식을 보여준다. T와 S는 무차원 수와 무차원 거리이다. 변형사인곡선은 곡선의 연속성과 최대 가속도 값을 낮게 한다는 조건을 만족시키면서 최대 속도값을 낮게 하는 장점을 가진다.^[7] T_a 가 0 또는 1/4일 경우 변의 선도는 각각 단현곡선과 사이클로이드 곡선의 특징을 보이기 때문에 T_a 의 범위는 $0 < T_a < 1/4$ 로 한다.^[8] 사용된 T_a 값은 1/8로써 표준 변형사인 곡선의 대표적인 값이다. Fig. 1 은 현재 종이컵 성형기에 맞게 위 식을 스케일링한 변위선도 그림이다.

$$A_m = \frac{1}{\frac{2T_a}{\pi} + \frac{8T_a}{\pi^2}}, \quad V_a = \frac{2T_a A_m}{\pi} \quad (1-2)$$

$$S_a = \frac{2T_a^2 A_m}{\pi} - \frac{4T_a^2 A_m}{\pi^2}, \quad S_b = 1 - S_a \quad (3-4)$$

구간 1 ($0 \leq T \leq T_a$)

$$S_a = \frac{2T_a^2 A_m}{\pi} T - \frac{4T_a^2 A_m}{\pi^2} \sin \frac{\pi T}{2T_a} \quad (5)$$

구간 2 ($T_a \leq T \leq 1 - T_a$)

$$S_a = \frac{(1 - 2T_a)^2 A_m}{\pi^2} \left\{ 1 - \cos \frac{\pi(T - T_a)}{1 - 2T_a} \right\} + V_a(T - T_a) + S_a \quad (6)$$

구간 3 ($1 - T_a \leq T \leq 1$)

$$S_a = \frac{4T_a^2 A_m}{\pi^2} \left\{ \cos \frac{\pi(T - 1 + T_a)}{2T_a} - 1 \right\} + V_a(T - 1 - T_a) + S_b \quad (7)$$

Fig. 2는 배럴 캠과 터렛의 지오메트리를 보여준다. 캠축은 터렛의 축과 직교하고 있으며 캠 설계 변수들은 롤러의 반지름 r , 롤러의 높이 h , 0부터 h 까지 롤러의 높이 h_{ri} , 롤러의 원뿔 각도 β , 캠의 회전각 θ_1 , 터렛의 회전각 θ_2 , 롤러의 위치 θ_i , 접촉 각 $\overline{\theta_{ri}}$, 1좌표계에서 2좌표계 까지 z방향 거리 h_r , 2좌표계에서 롤러좌표계 까지 거리 l_3 , 0좌표계에서 1좌표계 까지 z방향 거리 l_2 , 0좌표계에서 1좌표계 까지 x방향 거리 l_1 , 캠의 좌표계 xyz_0 , 터렛의 좌표계 xyz_2 , 롤러의 좌표계 xyz_r 이다. 식 (8)은 접촉이론과 캠 좌표계에서 접촉이 생기는 롤러 좌표계까지 변환행렬을 이용하여 얻은 롤러와 캠의 접촉점을 보여준다.^[4]

$${}^0S = \begin{bmatrix} (r + (h - h_{ri}) \tan \beta) \cos \theta_1 \cos (\theta_2 - \theta_i - \overline{\theta_{ri}}) \\ -(r + (h - h_{ri}) \tan \beta) \sin \theta_1 \cos (\theta_2 - \theta_i - \overline{\theta_{ri}}) \\ -(r + (h - h_{ri}) \tan \beta) \sin (\theta_2 - \theta_i - \overline{\theta_{ri}}) \\ 1 \\ + l_3 \cos \theta_1 \cos (\theta_2 - \theta_i) - h_{ri} \sin \theta_1 - l_1 \cos \theta_1 + h_r \sin \theta_1 \\ - l_3 \sin \theta_1 \cos (\theta_2 - \theta_i) - h_{ri} \cos \theta_1 - l_1 \sin \theta_1 + h_r \cos \theta_1 \\ - l_3 \sin (\theta_2 - \theta_i) - l_2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

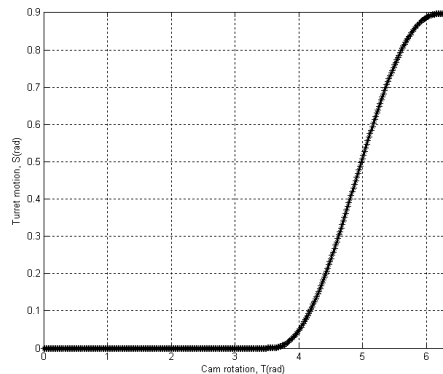


Fig. 1 Displacement curve of turret.

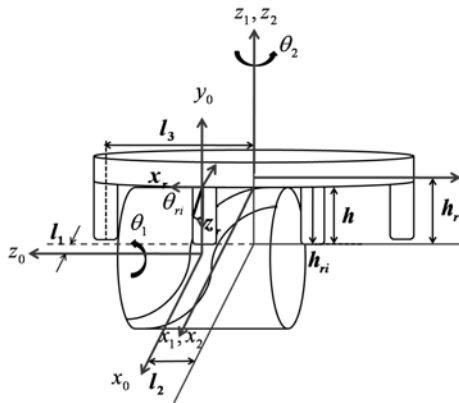


Fig. 2 Geometry of the barrel cam and the turret.

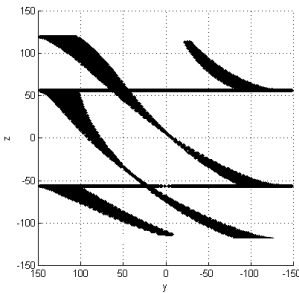


Fig. 3 Contact points in Matlab.

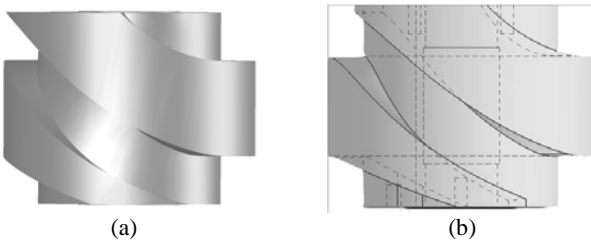


Fig. 4 3D Model of barrel cam, (a) Designed model (b) Scanned model.

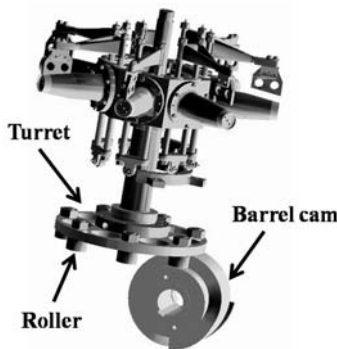


Fig. 5 Dynamic model of a paper cup forming machine.

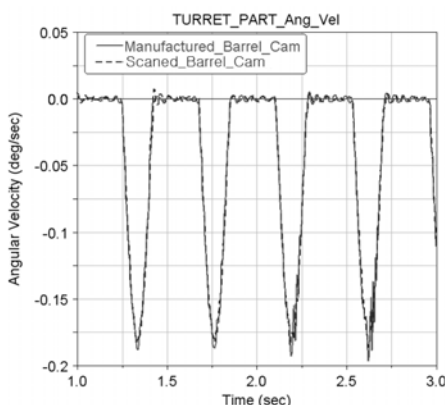


Fig. 6 Comparison of angular velocity between designed barrel cam model and scanned barrel cam model.

Fig. 3 은 Matlab을 이용한 배럴 캠 설계 프로그램으로 생성한 배럴 캠 홈의 상하 접촉점을 보여준다. Fig. 4(a)는 3차원 캐드 프로그램 Pro-e를 이용하여 배럴 캠 설계 프로그램에서 생성된 접촉점 데이터를 3차원 형상으로 만든 그림이다.

3. 동역학 해석

Fig. 5는 다물체 동역학 프로그램인 Adams를 이용한 동역학 모델을 보여준다. 배럴 캠 설계 프로그램으로 생성한 캠의 동역학 모델이 타당한지를 검증하기 위해 실제 캠의 3차원 측정 모델을 이용한 다물체 동역학 모델과 회전 속도 결과를 비교하였다. Fig. 4(b)는 실제 캠의 3D 스캔 모델을 보여준다. 설계 프로그램을 통해 생성한 배럴 캠과 차이가 나는 진입, 진출 끝부분은 응력집중으로 발생하는 파손을 막기 위한 후처리로 인한 차이이다. Fig. 6는 두 모델의 해석 결과를 보여준다. 배럴 캠의 회전속도는 140rpm으로 설정하였으며 롤러 면이 배럴 캠의 안내 홈과 접촉되어 움직이게 설정하였다. 3초간의 각속도 비교 결과 네 개의 구간에서 피크 점의 차이가 약 3%정도 차이가 나는 것을 제외하고 선도가 일치하는 것을 확인하였다.

4. 결론

본 논문에서는 Matlab을 이용하여 종이컵 성형기에 사용되는 배럴 캠 설계 프로그램을 개발하였으며 프로그램을 통해 얻은 접촉점을 CAD프로그램인 Pro-e를 이용하여 3차원 솔리드 모델로 생성하였다. 실제 사용 중인 배럴 캠을 레이저 측정하여 3차원 모델로 생성하였으며 이 두 모델을 다물체 동역학 프로그램인 Adams를 이용하여 회전 각속도 비교를 함으로써 두 모델의 결과가 일치함을 보였다. 본 논문을 통해 캠 설계 프로그램의 신뢰성을 확인하였으며 차후 종이컵 성형기 성능에 맞는 배럴 캠 개발에 이용될 것이다.

참고문헌

1. Chakraborty, J., Dhande, S. G., "Kinematics and Geometry of Planar and Spatial Cam Mechanisms, John Wiley & Don, New York, 1977.
2. Gonzalez-Palacios, M. A., Angles, J., Cai, C., "Generation of Contact Surfaces of Indexing Cam Mechanisms - A Unified Approach", ASME, 2, 369-374, 1994.
3. Tsai, W. J., Lee, J. J., "An automated system for cam design and manufacture", The 23rd Biennial Mechanisms Conf., ASME, 71, 121-128, 1994.
4. Hsieh, J., "Design and Machining of Cylindrical Cam with Meshing Indexing Disc", Journal of Mechanical Engineering Science, 221(3), 341-351, 2007.
5. Shin, J. H., Kim, S. W., Kang, D. W., Yoon, H. E., "A Study on Design of Barrel Cam Using Relative Velocity", Journal of the Korean Society of Precision Engineering, 19(8), 2002.
6. Cho, S. R., Lee, C. M., Chung, W. J., "A Study on The Modeling of Roller Gear Cam", Transaction of the korean society of machine tool engineers, 10(3), 2001.
7. Neklutin, C. N., "Mechanism and Cams for Automatic Machines", Elsevier, 1969.
8. Yang, Y. M., "Kinematics of Automatic Machine", Gijunyungsoo, 1982.