

# 영상처리 기법에 의한 합섬방사용 미터링 펌프의 시뮬레이션 소프트웨어 개발

배명호<sup>#</sup>, 조연상<sup>\*</sup>

## Development of Simulation Software for Metering Pump of Synthetic Fibers with Image Processing

Myung Ho Bae<sup>#</sup> and Yon Sang Cho<sup>\*</sup>

### ABSTRACT

It needs to accumulate a store of know-how on the design, precision processing and appraisalment for metering pump which is a kind of gear pump for synthetic fibers. But the period and cost for development is not effective, because designers experience many trial and error for the pump design and manufacturing process. Therefore, in order to curtail the period and cut down expenses, the analysis and simulation system is required for a designed metering pump. In this study, the pump simulation software was developed with the visual C++ language and the image processing algorithm, and was investigated through a discharge test for the planetary gear type metering pump.

**Key Words** : Discharge Test (토출량 시험), Gear Pump (치차펌프), Image Processing (영상처리), Pump Simulation Software (펌프 시뮬레이션 소프트웨어), Planetary Gear Type Metering Pump(유성기어식 미터링 펌프), Synthetic Fibers(합성섬유)

### 1. 서론

수영복, 스타킹, 항공산업, 타이어, 팬 벨트, 에어백(air-bag), 각종 필터, 우주복 및 방탄복 등에 사용되는 합성섬유(synthetic fibers) 제작용 합섬설비의 핵심 부품인 합섬 방사용 미터링 펌프(metering pump)<sup>1</sup>는 고온, 고압의 용융 폴리머(polymers)를 균일한 유량으로 계량하여 수백 마일의 섬사를 끊어 지지 않게 방사시키는 특수 치차펌프의 일종이다. 이 펌프는 현재 국내의 합섬 생산 산업체인 (주)코오롱, 태광산업(주), (주)고합, (주)대한합섬, (주)새한, 동국합섬(주) 등에서 생산 소모용으로 사용되고 있

다. 그러나 전량 수입에 의존하고 있기 때문에 가격이 비싸고, 납기 내 조달 애로 등으로 인한 생산차질 및 원가상승 등의 문제점이 발생하여 국산화 개발에 의한 수입대체가 시급하다.

이러한 미터링 펌프의 국산화를 위해서는 핵심 부품인 치차류의 설계, 정밀 가공, 신뢰성 평가 기술<sup>2</sup> 등 여러 관련 분야에 대한 노하우의 축적이 필요하다. 특히 이러한 기술에 대한 축적을 위해서는 펌프의 설계 단계에서 가공 및 평가 단계까지의 과정 중에 무수히 많은 시행착오를 거치게 되고, 고가의 시험 장비들을 필요로 하기 때문에 개발 기간 및 소요 비용 면에 있어서 매우 효율성이 떨어진다. 따라서 개발 기간 단축 및 비용 절

<sup>1,2</sup> 접수일: 2004년 5월 31일; 게재승인일: 2004년 12월 10일

<sup>#</sup> 교신저자: 창원전문대학 자동차기계열

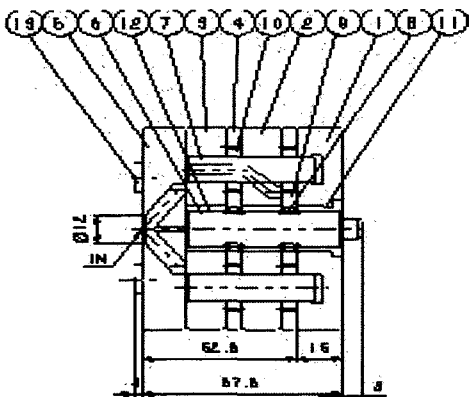
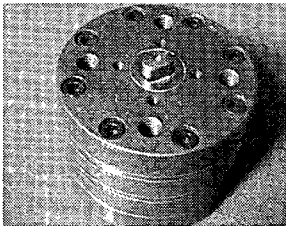
E-mail mbbae@changwon-c.ac.kr Tel. (055) 279-5137

<sup>\*</sup> 동아대학교 기계공학과

감을 위하여 설계한 펌프를 정밀 가공을 하기 전에 그 치형을 분석하고 그 성능을 예측을 할 수 있는 시스템이 필요한 실정이다.

이를 위하여 현재 치차의 기본 설계 제원으로 부터 치형의 자동 드로잉(drawing)을 위한 소프트웨어 또는 CAD 시스템에 대하여 많은 연구가 이루어지고 있다.<sup>3-5</sup> 하지만 대부분 치형을 작도하여 CAD 적인 데이터화만 하고 있을 뿐 펌프의 내부 용적의 변화 및 토출량 검토와 같은 성능 예측을 위한 방법은 구축되어 있지 않다.

따라서 본 연구에서는 유성기어식 합섬방사용 미터링 펌프의 핵심 부품인 치차류의 설계된 제원에 따른 치형작도 모듈을 개발하고 영상처리 기법<sup>6</sup>을 사용하여 맞물린 치차의 밀폐용적 변화와 펌프 토출량을 예측할 수 있는 펌프 시뮬레이션 소프트웨어를 개발하여 보다 효율적으로 미터링 펌프를 개발하기 위함을 목적으로 하였다.



| No | Element name | No | Element name |
|----|--------------|----|--------------|
| 1  | Front Plate  | 8  | Key          |
| 2  | Middle Plate | 9  | Drive Gear   |
| 3  | Back Plate   | 10 | Free Gear    |
| 4  | Gear Case    | 11 | Bush-A       |
| 5  | Wear Plate   | 12 | Bush-B       |

|   |             |    |       |
|---|-------------|----|-------|
| 6 | Drive Arbor | 13 | Dowel |
| 7 | Stud        |    |       |

Fig. 1 Photograph & Drawing of 1-inlet and 8-outlet type metering pump with planetary gear

## 2. 미터링 펌프

본 연구에서 개발한 펌프는 섬유기계용 고풍가가치의 특수 치차펌프인 스판덱스(spandex) 합섬용용 계량방사용 1-inlet 8-outlet type 유성기어식 미터링 펌프(metering pump)로서 Fig. 1에 시제품의 사진과 단면도를 나타내었다. 이 펌프는 멜터(melter) 또는 부스터(booster) 펌프에서 공급된 용융 폴리머를 정밀하게 계량하여 토출 측의 큰 저항을 이기고 용융 폴리머를 균일하게 토출시키기 위한 것으로 각 토출구마다 회전당 0.3cm<sup>3</sup>의 용융 폴리머를 토출시킬 수 있도록 설계하여 개발하였다. Fig. 2는 Fig. 1의 미터링 펌프의 핵심 부품인 치차류가 조립된 사진을 나타낸 것으로 하나의 구동(drive) 치차와 4개의 피동(driven) 치차로써 2열로 구성되어 있다. 피동 치차와 구동 치차는 평치차(spur gear)로서 Table 1에 기본제원을 나타내었으며 피치오차 및 치형오차는 ±3 마이크론 이내가 되도록 치연삭 공법으로 정밀 제작하였다.

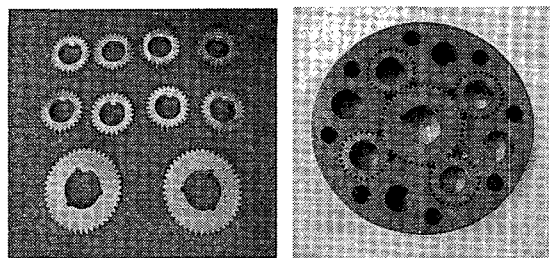


Fig. 2 Photograph of drive and driven gears

Table 1 Specification of driving and driven gears

| specification      | drive gear | driven gear |
|--------------------|------------|-------------|
| module             | 0.75       | 0.75        |
| pressure angle(°)  | 20         | 20          |
| number of tooth    | 44         | 26          |
| width of tooth(mm) | 2.94       | 2.94        |



Fig. 7 은 Fig. 6 에서 작도한 치형을 치차의 중심에 대해 회전 복사하여 치차의 맞물림 상태를 시뮬레이션 한 것으로 한 픽셀의 길이를 1/100 mm 로 설정하여 작도한 형상이다.

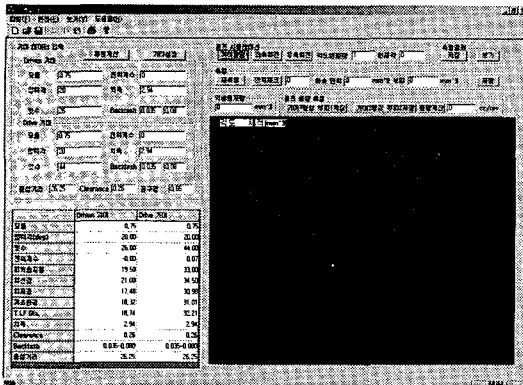


Fig. 7 Engagement of drive and driven gear

3.2 영상처리

Fig. 7과 같이 작도된 치차의 맞물림 형상으로 부터 밀폐용적과 각 치차 사이의 이송용적을 계산 하기 위하여 영상처리기법을 이용하였다. 영상처리 기법<sup>7</sup>은 디지털화 되어 픽셀(pixel) 단위로 나타내 어지는 컴퓨터 영상으로부터 물체의 크기, 둘레 및 면적 등의 각종 정보를 추출하는 것으로 본 연구 에서는 맞물린 치차의 밀폐된 영역의 면적을 구하 는데 이용하였다.

Fig. 8은 밀폐된 영역, V에 대한 영상처리 결과 를 나타낸 것으로서 식 (3)과 같이 한 픽셀의 면적 에 밀폐된 영역의 픽셀 개수를 곱하여 그 영역의 면적, A를 근사적으로 구하였다. 여기서 한 픽셀의 면적은 1/10000mm<sup>2</sup> 이고, 이와 같이 구한 면적에 치 차의 폭, b를 곱하여 밀폐용적을 구한다.

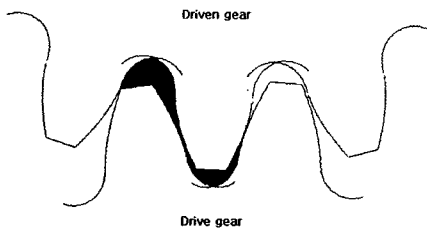


Fig. 8 Image processing of closed area

A = area of 1 pixel × number of pixels

$$V = A \times b \tag{3}$$

3.3 토출량 계산

펌프의 토출량, Vp는 식 (4)와 같이 회전당 파 동치차의 토출량, Vdriven 과 구동치차의 토출량, Vdrive 을 합하고 기어의 맞물림에 의해 역송되는 최저 밀폐용적, Vc 를 빼냄으로써 구할 수 있다. 여기서 각 기어의 토출량 및 기어의 밀폐용적은 영상처리를 이용하여 구하였으며, 각 치차의 토출 량은 각 치차의 이빨 사이의 이송용적에 이빨의 수를 곱한 량을 나타낸다.

$$V_p = V_{driven} + V_{drive} - V_c \tag{4}$$

이와 같이 펌프의 회전당 용적을 계산하기 위 하여 Fig. 7 과 같이 기어의 맞물림 형상을 시뮬레 이션하고 1 도씩 회전 시키면서 밀폐용적을 구하 였다. Fig. 9 는 맞물린 치차의 회전각도 변화에 따 른 밀폐용적의 계산방법을 나타낸 것으로서 그 결 과를 Fig. 11 에 나타내었다. 그림에서 보면 치차가 맞물리기 시작하여 회전함에 따라 밀폐용적이 점 차 감소하였다가 중심을 지나 점차 증가하는 것을 볼 수 있다. 이러한 밀폐용적의 변화는 펌프에서 토출 압력의 변화를 초래하는 요인으로 작용한다.

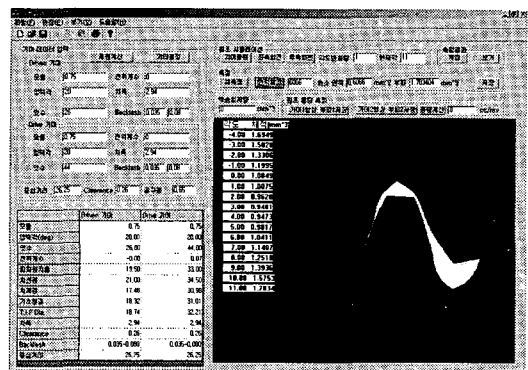


Fig. 9 Calculation of closed volume for the rotation angle

따라서 펌프 설계 시 Fig. 10 에 나타낸 바와 같이 토출구 측에 도출홈(outlet groove) 을 두어 역 송되는 유량을 감소시킴으로써 밀폐용적의 변화에

따른 압력변화를 최소화 하기 때문에 역송되는 유량은 최저밀폐용적으로 나타낼 수 있다. Fig. 11 의 회전 각도당 밀폐용적으로부터 최소자승법에 의해 곡선의 식을 구하고 미분하여 체적의 변화가 0 이 되는 각도에서 역송되는 최저밀폐용적을 계산한다. Fig. 12 (a)와 (b)에 나타낸 바와 같이 구동 및 피동 치차의 이송용적을 구한 뒤 식 (4)에 의하여 펌프의 회전당 토출량을 구하였다.

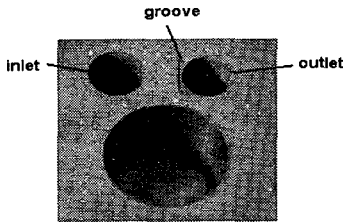


Fig. 10 Structure of outlet groove

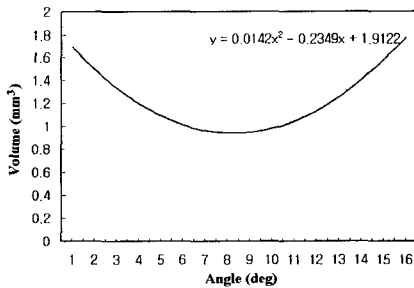
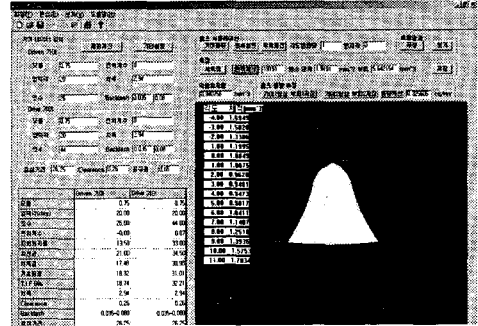


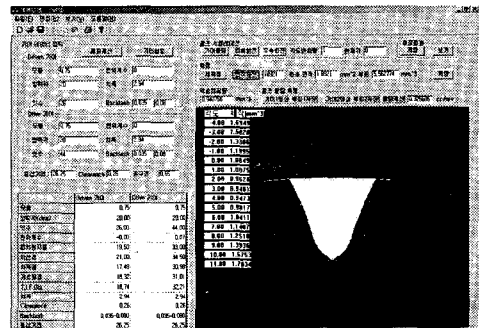
Fig. 11 Variation of closed volume for the rotation angle

#### 4. 미터링 펌프의 토출량

Table 2 는 본 연구에서 개발한 펌프 시뮬레이션 소프트웨어를 이용하여 토출량을 예측한 결과이다. 목표 토출량, 0.3 cm<sup>3</sup>/rev 으로 설계한 펌프에 대하여 해석치는 0.3256 cm<sup>3</sup>/rev 로 예측되었다. 목표 토출량 보다 약 8.5% 정도 크게 나타나는 것은 토출구 측의 압력상승에 의한 토출량의 감소를 나타내는 펌프의 체적효율 (volume efficiency)을 고려하지 않은 결과인데 체적효율을 고려하면 토출량 해석치는 목표 토출량 대비 3.1%의 오차율이 있으나 충분히 목표 토출량에 근접한 결과라고 생각된다. 본 연구를 통해 직접 개발 및 제작 한 미터링 펌프의 실제 토출량을 측정하여 체적효율을 구했다.



(a) driven gear



(b) drive gear

Fig. 12 Calculation of capacity for drive & driven gear

Table 2 Result of prediction of discharge with pump simulation software

| specification                 | value                       |
|-------------------------------|-----------------------------|
| the minimum of close vol.     | 0.9408 mm <sup>3</sup>      |
| the capacity of drive gear    | 5.5628 mm <sup>3</sup>      |
| the capacity of driven gear   | 5.6422 mm <sup>3</sup>      |
| the capacity per 1 revolution | 0.3256 cm <sup>3</sup> /rev |

Table 3 Experimental condition

|                           |                          |
|---------------------------|--------------------------|
| the number of rotation    | 60 revolutions           |
| inlet pressure(A)         | 5 kg/cm <sup>2</sup>     |
| outlet pressure(B)        | 5, 55 kg/cm <sup>2</sup> |
| the number of measurement | 8                        |

실험조건은 Table 3 에 나타낸 바와 같이 미터링 펌프의 구동속은 20rpm 으로 설정하여 60 회전 하고 시험용 오일의 입구 압력을 5 kg/cm<sup>2</sup>, 출구

압력을 5 및 55 kg/cm<sup>2</sup>으로 설정하여 각 8 회씩 토출량을 측정하였다. 그리고 Table 4 에는 실험에 사용된 오일의 특성을 나타내었다.

Table 4 Specification of oil

|                  |                  |
|------------------|------------------|
| viscosity        | 10 poise at 20°C |
| specific gravity | 0.972            |
| temperure        | 20°C             |

Table 5 는 Fig. 3 의 토출량 시험기를 이용한 토출량 시험을 통하여 실제 제작한 미터링 펌프에서의 토출량을 측정한 결과를 나타낸 것으로 펌프 회전수의 미소 변화, 토출 압력의 미소 변화 및 시험기의 측정 정밀도 등을 감안하여 8 회 측정하였다. 여기서 (B)의 경우 출구 압력의 증가로 인하여 토출량이 감소하는 것을 볼 수 있으며, 8 회 측정된 체적효율의 평균값인 평균체적효율은 95.15%였다.

Table 5 Result of discharge measurement

| No. | Discharge (cm <sup>3</sup> ) |       | Volume efficiency,<br>E (%) |
|-----|------------------------------|-------|-----------------------------|
|     | (A)                          | (B)   |                             |
| 1   | 18.24                        | 17.32 | 94.95                       |
| 2   | 18.11                        | 17.18 | 94.86                       |
| 3   | 18.07                        | 17.48 | 96.73                       |
| 4   | 18.02                        | 17.25 | 95.72                       |
| 5   | 18.18                        | 17.21 | 94.66                       |
| 6   | 18.10                        | 17.31 | 95.63                       |
| 7   | 18.25                        | 17.12 | 93.80                       |
| 8   | 18.20                        | 17.27 | 94.89                       |

\* (A) ; outlet pressure, 5 kg/cm<sup>2</sup> 일때의 토출량

\* (B) ; outlet pressure, 55 kg/cm<sup>2</sup> 일때의 토출량

\* 체적효율 E (%) = B/A x 100

### 5. 결론

스판덱스(spandex) 합섬 용융 계량방사용 1-inlet 8-outlet type 유성기어식 미터링 펌프를 개발하기 위하여 비주얼 C++로써 자체 개발한 펌프 시뮬레이션 소프트웨어를 이용하여 미터링 펌프용 치차에 대한 여러 가지 사항과 토출량을 예측하고 실제 제작한 펌프의 토출량과 비교 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 영상처리 기법을 이용하여 미터링 펌프용 맞물린 치차의 내부 용적의 변화 및 펌프 토출량을 효과적으로 구할 수 있었다. 이를 통하여 설계된 합섬방사용 미터링 펌프의 치차 밀폐용적의 변화에 따른 토출압력의 변화를 최소화하는 “최적 도출홈의 산출” 및 “토출량 성능예측”이 가능하게 되어 산업현장에서의 펌프 개발기간 단축 및 비용절감에 크게 기여하리라고 판단된다.
- 2) 목표 토출량, 0.3 cm<sup>3</sup>/rev 로 설계된 미터링 펌프에 대하여 개발된 펌프 시뮬레이션 소프트웨어 이용하여 계산한 결과, 펌프의 토출량 해석치는 0.3256 cm<sup>3</sup>/rev 로서 목표 토출량 대비 약 8.5% 정도 크게 예측된다.
- 3) 토출량 시험을 통하여 미터링 펌프의 토출량을 측정한 결과, 펌프의 평균 체적효율은 95.15%였고 이것을 고려하면 토출량 해석결과는 목표 토출량 대비 3.1%의 오차율이 있으나 충분히 목표 토출량에 근접한 결과라고 생각되며, 개발된 펌프 시뮬레이션 소프트웨어의 타당성이 입증되었다고 판단된다.

### 참고문헌

1. Cheon, G.J., "Optimal Design of a Gear Pump for Yarning," journal of the KSTLE, Vol. 18, No. 4, pp. 279-284, 2002.
2. Chen, C.K. and Yang, S.C., "Geometric Modelling for Cylindrical and Helical Gear Pumps with Circular Arc Teeth," IMechE, Vol. 214, Part C, pp. 599-607, 2000.
3. Cho, H.Y., Kim, S.C., Choi, J.U. and Song, J.C., "A Study on the Development of Computer-Aided Automatic Design System for Gears," Journal of the KSPE, Vol. 13, No. 5, pp. 95-103, 1996.
4. Kim, S.C., Chung, W.J., Cho, S.R. and Lee, C.M., "A Study on the Design and Manufacturing of Cycloid Gear," Journal of the KSPE, Vol.16, No. 9, pp. 48-53, 1999.
5. Lee, K.W., Ban, J.S., Kim, J.S. and Cho, K.Z., "A Study on the Development of the Gear Design Program Using Auto-LISP," Journal of the KSMTE, Vol. 11, No. 2, pp. 36-42, 2002.
6. Gonzalez, Rafael C., "Digital Image Processing," Addison Wesley, 1993.