

# CNC 와이어 성형기의 피딩박스 구동장치 개발

조현덕\*

(논문접수일 2006. 8. 31, 심사완료일 2007. 2. 23)

## Development of Power Train for Feeding Box of CNC Wire Forming Machine

Hyun Deog Cho\*

### Abstract

Wire forming machine is widely used in industries to make a variety of wire products such as coil springs and links. Along with the rapid development of CNC technologies, the usage of wire forming machine varies from single-purpose machinery to universal CNC machinery. Rotating the wires while feeding them simultaneously, we can improve the performance of the machines with aspects of efficient tooling and complicated geometric forming. In this study, a new gear train is developed for the control of both feeding and rotating wires independently at the same time. The developed mechanism has many benefits as following, making more complicated geometric and precision products, easier tooling, and simpler programming.

**Key Words** : Compensation Device(보상장치), Feeding Box(피딩박스), Feeding Roller(피딩 롤러), Power Train(구동장치), Wire Forming Machine(와이어 성형기)

## 1. 서론

일반적으로 기어로 구성된 동력전달장치(power train)는 기계의 구성에서 매우 큰 비중을 차지하고 있으며 대부분 기어설계 및 감속비 최적분할 등 정밀 구동장치에 관한 연구는 많이 이루어지고 있으나<sup>(1-3)</sup> 동력전달장치 전체설계에 대한 연구논문 발표는 거의 없는 실정이다. 또한 와이어(wire)는 일상생활의 문구류 및 낚시 바늘에서부터 자동차, 금형, 항공기, 전자제품, IT 기기 등의 산업용 부품에 이르기까지 광

범위하게 사용되고 있다. 최근 CNC 기술의 발달, 다품종 소량생산, 제품의 라이프 사이클 단축 등의 추세에 따라 와이어 성형기는 전용기 형태에서 CNC기술이 접목된 일반성형 기계로 발달되고 있다<sup>(4)</sup>. CNC 와이어 성형기의 성능을 증대시킬 수 있는 방법 중의 하나는 피딩 박스(feeding box)가 기존과 같이 와이어를 피딩하면서 와이어의 회전을 동시에 제어하는 것이다. 이러한 기능부가는 와이어 성형 공구의 효율성을 증대시켜 공구(tool) 제작비용을 절약할 수 있고 와이어 성형 종류를 다양하게 할 수 있으면서 더욱 정밀한 성

\* 경일대학교 기계자동차학부 (hdcho@kiu.ac.kr)  
주소: 712-701 경북 경산시 하양읍 부호리 33

형이 가능하기 때문에 매우 중요한 기술이라 하겠다. 이러한 기능실현은 서보모터 제어 프로그램에서 상대운동을 보상하는 방법과 기계식으로 자체 보상되도록 하는 방법이 있다. 서보모터 제어 프로그램의 보상방법은 미소 회전에 대하여 스텝(step)식으로 빈번히 보상제어하기 때문에 운전속도가 늦은 단점이 있고, 기계식 보상방법은 기구적 구성에 의하여 자동으로 보상되므로 운전속도에 구애 받지 않는 장점이 있다<sup>(4)</sup>.

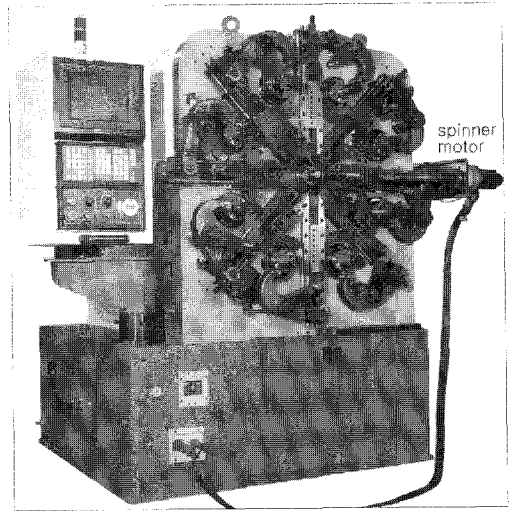
본 연구는 와이어성형기(wire forming machine)의 특수 기능을 위한 구동장치의 전체 구성에 관한 연구로, 개발된 구동장치는 고정된 2개의 서보모터로부터 전달되는 두 운동인 기어박스의 회전운동과 회전하는 기어박스 상부에 기어 연결로 설치된 피딩롤러(feeding roller)회전이 서로 독립적으로 작용할 수 있도록 한다. 즉 개발된 피딩박스 구동장치는 내부기어 일부를 유성치차로 구성하여 피딩박스 회전과 회전하는 피딩박스 내부에 설치된 피딩롤러 구동기어 회전을 동시에 전달하면서 상호작용에 관련된 운동량을 보상할 수 있도록 하여 본래의 운동량만을 독립적으로 필요 요소에 분배하도록 하였다<sup>(5)</sup>. 개발된 구동장치를 적용한 CNC 와이어 성형기를 제작하여 시운전한 결과, 두 운동이 상호 연동되지 않았고 툴링(tooling) 및 프로그래밍 등이 쉬우면서도 복잡한 형상의 성형에 유리함을 확인할 수 있었다.

## 2. CNC 와이어 성형기

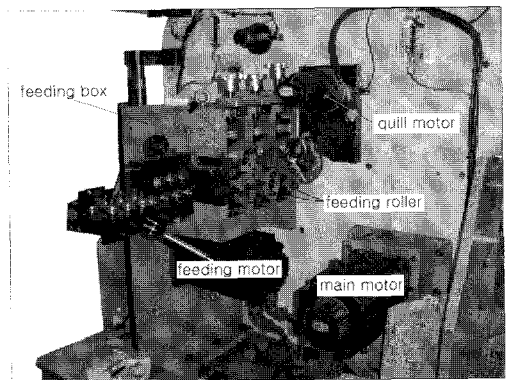
CNC 와이어 성형기는 축 수에 따라 4-축, 5-축, 12-축 CNC 와이어 성형기 등으로 분류된다. CNC 와이어 성형기의 축 수는 운동의 자유도 수를 의미하며 부착된 서보모터의 개수와 같다.

4-축 CNC 와이어 성형기는 Fig. 1과 같이 메인모터, 피딩모터, 킬모터, 스피너모터 등 4개의 서보모터가 부착되어 각각 성형(공구 슬라이딩), 와이어 피딩, 킬(quill) 회전, 스피너(spinner) 부가 축에 의한 와이어 벤딩 등의 기능을 한다. 와이어 성형은 전방에 부착된 8개의 슬라이더(slides) 상부에 조립된 공구의 왕복운동에 의해 실현되고, 와이어 피딩은 피딩박스 상부에 있는 피딩롤러에 의해 이루어지고, 킬은 와이어 성형을 위한 공구의 작업을 돕는 것으로 와이어가 통과할 수 있도록 구멍이 뚫린 축으로서 성형기 앞쪽 중앙에 설치되어 있고, 스피너 부가 축은 슬라이더 상부에 공구 대신 설치된 것으로 와이어를 벤딩(bending)할 수 있도록 핀(pin)으로 된 공구가 축과 감속기와 함께 별도의 서보모터에 연결되어 있다.

5-축 CNC 와이어 성형기는 4-축 CNC 와이어 성형기의



(a) Front



(b) Rear

Fig. 1 4-axis CNC wire forming machine

축 수에 본 연구에서 개발된 기능으로서 와이어를 회전할 수 있도록 Fig. 1의 고정된 피딩박스를 회전할 수 있도록 구성하여 별도의 서보모터를 추가한 성형기이다. 4-축과 5-축 CNC 와이어 성형기는 Fig. 1(a)와 같이 와이어 성형을 직접 실현하는 8개의 공구 슬라이더가 모두 기어 및 캠(cam)으로 연동되어 1자유도가 되는 반면, 12-축 와이어 성형기는 8개 공구 슬라이더에 별도의 서보모터를 부착하여 개별 동작이 가능하도록 한 기계이다.

## 3. 피딩박스 구동장치

와이어 성형은 Fig. 2와 같이 슬라이더 상부에 설치된 공

구와 와이어를 고정하는 쥘에 의하여 이루어진다. Fig. 2와 같이 피딩박스가 고정되고 피딩롤러에 의해 와이어 전후 피딩만 가능한 기계의 경우 2방향의 굽힘 성형은 ① 작동 후 근접 각도에 위치한 ②가 작동하여야 한다. 여기서 ③ 슬라이더 배치위치가 필요로 하는 각도가 아닐 경우 공구의 형상 설계로 보완하여야 하기 때문에 공구제작비용이 상승할 수 있고 성형정밀도가 떨어지는 경향이 있다. 그러나 피딩박스가 회전할 수 있으면 와이어를 회전시킬 수 있어 1개의 공구로 1차 성형 후 와이어를 필요한 각도만큼 회전시켜 동일 공구로 다시 한 번 성형하면 된다. 따라서 피딩박스를 회전시킬 수 있으면 1개의 공구로 성형이 가능하여 툴링(tooling) 및 NC 프로그래밍이 쉽고, 성형정밀도가 좋아지며, 더욱 복잡한 형상 성형이 가능한 장점이 있다.

기존 피딩박스 회전을 위한 구동장치는 Fig. 3과 같으며, Fig. 3 (a)의 경우 피딩롤러를 구동하는 서보모터의 케이블 처리에 문제가 있고, Fig. 3 (b)의 경우 피딩박스 회전모터 구동 시 고정된 구동 베벨기어와 연결된 종동 베벨기어가 회전하여 결국 피딩롤러를 회전시켜 와이어 피딩이 발생하는 문제가 있다. Fig. 3 (b)의 경우 상기 문제점을 해결하기 위하여 피딩모터 제어 프로그램에서 자발적으로 생성되는 피딩롤러 회전을 보상하도록 시간 분할에 대하여 피딩모터를 역회전시키는 보상원리를 이용하기도 한다. 즉, Fig. 4와 같이 X-방향 회전을 피딩박스 회전구동이라 하고 Y-방향 회전을 피딩롤러 보상구동이라 할 때 일정 회전각에 대하여 분할구동을 하기 때문에 서보모터의 빈번한 작동반복에 의한 응답성의 한계로 작업속도가 늦어지는 단점이 있다.

본 연구에서는 피딩박스의 회전이 이송롤러 회전과 완전히 독립될 수 있도록 Fig. 5와 같이 별도의 피딩박스를 구동하는 기어장치에서 기계적으로 자체 보상이 이루어지도록

하였다. 본 연구에서 개발한 피딩박스를 구동장치는 Fig. 5 (b)와 같으며 기어배열은 선기어(sun gear, ①)와 유성기어(planet gear, ⑦,⑧)로 구성하였으며 피딩박스를 회전시킬 때는 피딩롤러를 회전시키는 서보모터가 정지해 있더라도 항상 피딩롤러를 회전시키는 기어와 연결되는 베벨기어(②)이 선기어(①)과 동일 회전속도를 갖도록 하였다. 여기서 속

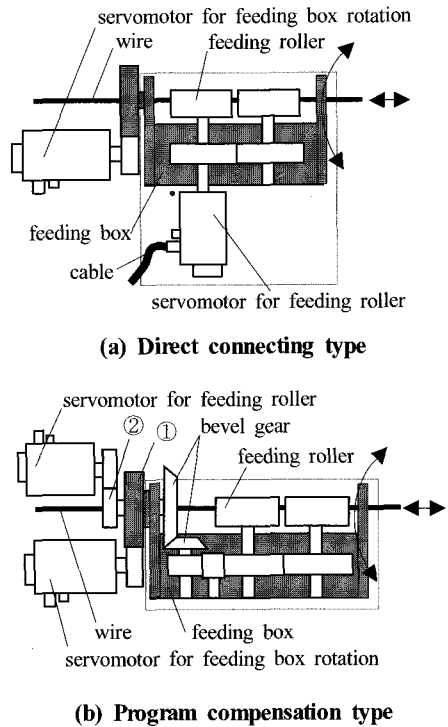


Fig. 3 Typical gear train for feeding box rotation

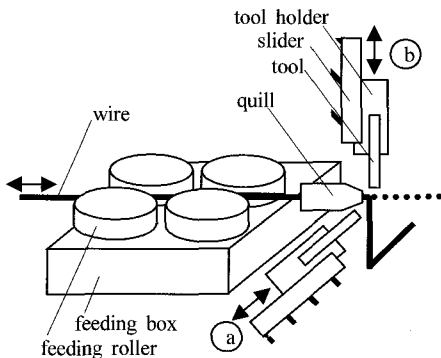


Fig. 2 The representation of wire bending mechanism

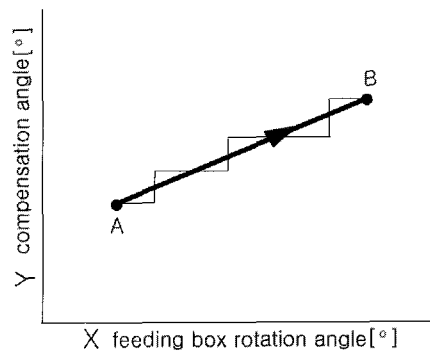
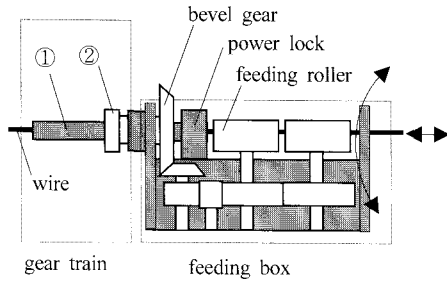
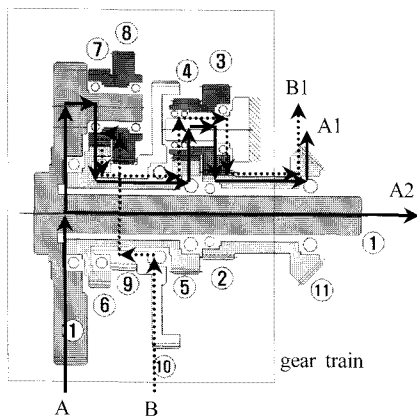


Fig. 4 Program compensation principle



(a) Feeding box



(b) Gear train for feeding box rotation

Fig. 5 Developed driven construction and feeding box

도비는 선기어와 유성기어의 관계에서 구할 수 있다<sup>(5)</sup>.

본 연구의 피딩박스 구동장치 구성은 Fig. 3 (b)에서 피딩 박스와 일체형으로 연결된 스퍼기어 ①과 피딩롤러를 구동시키는 베벨기어와 연결되는 스퍼기어 ②의 구성을 Fig. 5 (a)와 같이 상호 위치를 바꾸어 축으로 설계된 ①을 파워 락(power lock)으로 피딩박스와 일체형으로 연결되도록 하였다. Fig. 5 (a)의 ①과 ②는 Fig. 5 (b)의 ①과 ②에 연결된다. Fig. 5 (b)는 전체구성을 쉽게 이해할 수 있도록 하기 위하여 조립 및 고정부 관계를 무시하여 형상화 한 것으로 화살표는 동력전달 흐름을 나타낸다. 동력흐름 A는 스퍼기어 ①에서 동력전달이 2개로 분리되어 하나는 중심축을 통하여 피딩박스를 1:1회전시키고, 다른 하나는 스퍼기어 ① 상부에 유성치차로 연결된 ⑦, ⑥, ⑤, ④, ③을 통하여 피딩롤러를 구동하는 ②를 ①과 동일한 회전속도가 되도록 한다. 피딩롤러를 위한 동력흐름 B는 ⑩, ⑨, ⑧, ⑦, ⑥, ⑤, ④, ③, ②의 순서로 전달되어 피딩박스 내부에 있는 기어배

Table 1 Calculation of velocity ratios for developed gear train

gear	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
condition	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
module	-	2	2	2	2	2.5	2.5	2.5	2.5	-	2.5
teeth number	-	39	39	26	52	52	26	39	39	-	50
fixed ⑦ to ①	1	2	-2	-2	1	1	1	1	1	1	2
① fix alone	0	-1	1	1	-0.5	-0.5	1	1	-1	-1	-1
velocity ratio	1	1	-1	-1	0.5	0.5	2	2	0	0	1

열을 거쳐 피딩롤러를 회전시켜 와이어의 전후 피딩을 제어하게 된다. 여기서 중복되어 있는 ⑦, ⑥, ⑤, ④, ③, ②의 동력전달 구성이 피딩박스와 피딩롤러가 상호 독립적으로 구동될 수 있도록 한다.

기어의 사양은 기존 피딩박스를 회전하지 않도록 설계되고 생산되는 와이어 최대사양 2mm 기계에 대하여 이송롤러 하부에 연결된 기어(모듈 2, 폭 20mm)를 기준으로 결정하였는데, Fig. 5 (b)의 기어⑧은 1:1로 회전되고 기어⑦은 1:2로 감속되므로 ⑦과 ⑧을 모듈 2.5로 설정하였고 기어④는 1:2로 증속되고 기어③은 1:1로 회전되므로 ③과 ④는 모듈 2로 설정하였다. 피딩박스를 회전은 구동축으로 직결하기 때문에 구동장치 내부기어와는 무관하고, 실제 작업상황이 두 운동이 동시에 이루어지는 경우는 있으나 피딩박스 회전중에 와이어 성형작업이 이루어지는 경우는 없기 때문에 상기 기어 강도 설계는 충분히 안전하고 효율감소도 문제되지 않음을 파악할 수 있다. 여기서 속도비, 기어 모듈 및 이수는 Table 1과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

## 4. 결과

피딩박스 회전이 피딩롤러 회전과 독립적인 관계를 갖기 위해서는, Fig. 5 (a)의 ①이 n회전할 경우 ②는 피딩롤러 구동에 항상 n회전이 추가되어야 한다. 즉, Fig. 5 (b)에서 동력 B의 시작인 기어 ⑩이 정지해 있을 경우 동력 A의 시작인 ①이 n 속도로 회전하면 ②도 n 속도로 회전하여야 하고, 동력 A와 동력 B에 의하여 ②의 속도가 각각 n과 m이 필요할 경우 ②는 m+n 속도로 회전하여야 한다. 만일 ①이 회전할 동안 ②가 정지할 경우 회전하는 피딩박스에 조립되어 있는 Fig. 5 (a)의 피딩 베벨기어가 고정된 베벨기어 ⑩ 상부를 타고 도는 현상이 생겨 결국 피딩롤러의 자체 회전을 초래하게 된다. 따라서 ②의 회전에 피딩박스의 회전이 자동적으로 추가된다면 피딩박스와 ②의 상대운동을 제거하게

되어 피딩롤러의 자체 회전은 발생하지 않게 된다.

Fig. 5 (b)는 피딩박스 회전 시 피딩롤러의 자체 회전이 발생하지 않도록 개발한 피딩박스 구동장치로서, 상기 조건이 성립하는지를 확인하기 위하여 Table 1과 같이 회전수 관계를 계산하였다. Table 1에서 우선 유성치차 ⑦과 ⑧의 중심을 ①에 고정했을 경우에 대하여 ①을 1회전했을 때 ①에 고정된 ⑦과 ⑧이 1회전하고 ⑦과 ⑧에 연결되어 있는 ⑥과 ⑨가 1회전하고 ⑥과 ⑨와 각각 일체형으로 되어 있는 ⑤와 ⑩이 1회전하고, ②, ③, ④, ⑪의 회전 비는 각각 연결된 이수 비를 고려하여 계산하였다. 그리고 ①만을 고정했을 경우, ②의 회전비가 최종적으로 ①과 같이 1회전이 되도록 하기 위해 -1회전을 지정한 초기조건에 대하여 연결된 기어들의 이수 비를 고려하여 모든 기어들의 회전 비를 계산하였다. 두 조건을 중첩함으로써 최종적인 회전 비를 모

두 구한 결과 ⑩이 고정되고 ①을 1회전 했을 경우 ②가 ①과 동일한 1회전이 됨을 확인할 수 있다. 따라서 본 연구에서 개발한 구동장치는 피딩롤러 구동모터에 영향을 미치지 않고 피딩박스를 회전시킬 수 있음을 알 수 있다.

본 연구 결과 기어의 이수를 Z라고 하면 ②의 각속도( $\theta_2$ ), 피딩박스의 회전속도( $\dot{\theta}_{feeding\ box}$ ), 와이어 피딩을 위한 피딩롤러 회전속도( $\dot{\theta}_{feeding\ roller}$ )는 각각 다음 식이 된다.

$$\theta_2 = \theta_1 + \frac{Z_9 Z_7 Z_5 Z_3}{Z_8 Z_6 Z_4 Z_2} \theta_{10} \quad (1)$$

$$\dot{\theta}_{feeding\ box} = \dot{\theta}_1 \quad (2)$$

$$\dot{\theta}_{feeding\ roller} = \frac{Z_9 Z_7 Z_5 Z_3}{Z_8 Z_6 Z_4 Z_2} \cdot (ratio\ within\ box) \dot{\theta}_{10} \quad (3)$$

Fig. 5의 구동기구와 CNC 와이어 포밍머신의 전체적인 설계결과를 Fig. 6과 같고 Fig. 7은 3차원 모델링 결과를 보여주며 Fig. 8은 제작결과를 보여주며 Table 2는 제작사양을 보여주는데, 피딩박스와 피딩롤러의 구동을 위한 Fig. 5 (b)의 기어 ①과 ⑩의 제작비를 줄이기 위해 타이밍 벨트(timing belt)를 사용하여 2단 감속하였으며 기계 정밀도를

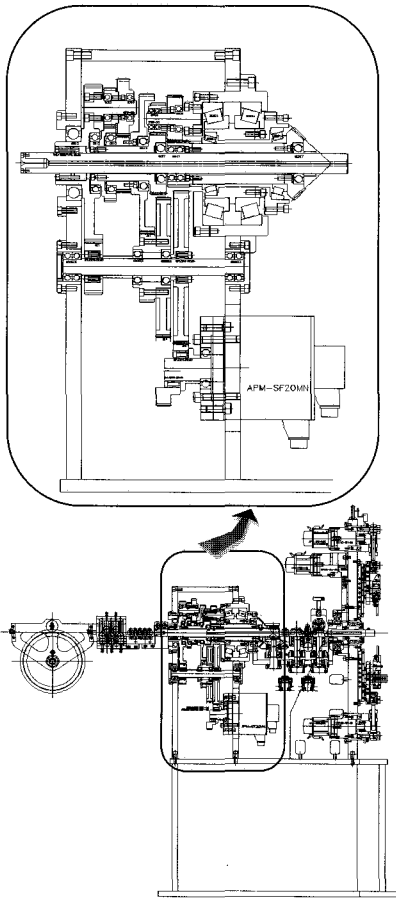
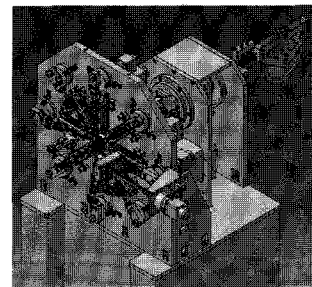
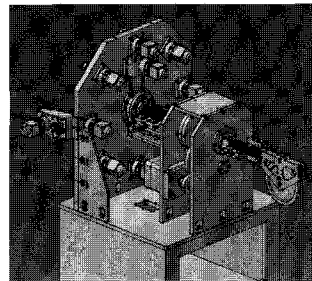


Fig. 6 Drawing result of CNC wire forming machine

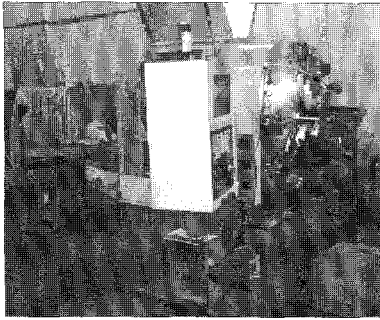


(a) Front view

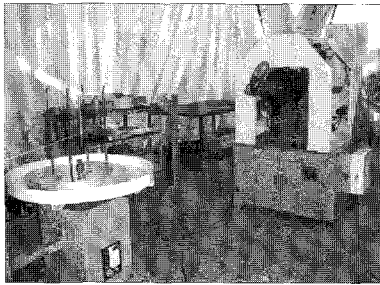


(b) Rear view

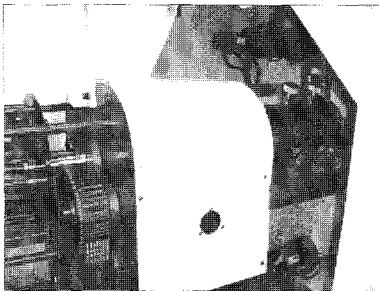
Fig. 7 3D modeling result of CNC wire forming machine



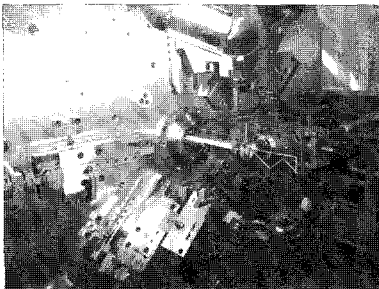
(a) Front view



(b) Rear view



(c) Power train for rotation both feeding box and feeding roller



(d) Wire forming work

Fig. 8 Manufacturing result of CNC wire forming machine

높이기 위해 모든 기어를 연삭하고 축간거리를 미소 조정할 수 있도록 하여 백래시(back lash)를 최소화하였다. 그리고 본 연구와 같은 2개의 연동운동을 독립적으로 구동하는 기구는 다른 기어 배열을 사용해도 되지만 반드시 유성치차로 구성되어야 함을 알 수 있다.

## 5. 결론

본 연구의 CNC 와이어 성형기의 피딩박스 구동장치 개발을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 피딩롤러와 피딩박스를 회전하는 2개의 서보모터를 프레임에 설치한 상태에서 상호 독립적인 구동이 될 수 있는 피딩박스 구동장치를 개발하였다. 개발된 구동장치는 기존의 프로그램 보상방법에서 발생할 수 있는 서보모터의 응답성에 구애되지 않음을 알 수 있었다.
- (2) 피딩박스 구동모터의 회전 시 피딩롤러의 자체회전을 상쇄시키기 위해서는 피딩롤러를 회전시키는 베벨기어가 모터를 제어하지 않고 자체적으로 동일한 속도로 회전되어야함을 알 수 있었고, 이는 유성치차를 사용함으로써 가능하게 되었다.
- (3) 회전수비 계산과 CNC 와이어 포밍머신의 제작 및 운전을 통해 개발된 구동장치의 타당성을 검증하였고, 다양한 종류의 CNC 와이어 포밍머신에 적용할 수 있음을 알 수 있었다.
- (4) 개발된 구동장치를 적용한 CNC 와이어 포밍머신은 틀링, 프로그래밍, 운전조작 등이 쉬우면서 성형 형상범위 및 성형 정밀도 등 성능이 크게 개선됨을 알 수 있었다.

## 참고 문헌

- (1) Bae, I. H. and Chong, T. H., 2002, "New Methods to Split Overall Gear Ratio of the Cylindrical Multi-Stage Gear Train," *Transactions of KSMTE*, Vol. 11, No. 6, pp. 45~51.
- (2) Chong, T. H., Lee, J. S. and Choi, H. R., 2001, "A Study on the Vibration of 2-Stage Gear System Considering the Change of Gear Meshing Stiffness and Imbalance of Motor," *Transactions of KSMTE*, Vol. 10, No. 6, pp. 8~14.
- (3) Chong, T. H., Kim, J. S. and Park, S. H., 2005, "Generation and Preliminary Design of Compound

Multi-Stage Gear Driver Mechanisms,” *Transactions of KSMTE*, Vol. 14, No. 4, pp. 41~48.

(4) Cho, H. D., 2004, *Development of CNC Wire Forming Machine with Power Train for Feeding and Spinning*, Project Report for DMC Company, pp. 12~24.

(5) Cho, S. H. and Lee, J. M., 1984, *Kinematics and*

*Dynamics of Machine*, Heejeungdang, Seoul, pp. 286~309.

(6) Cho, H. D., 2005, “Development of Working Tractor with Four-Type Wheel Steering System I (Development of Power Train System),” *Transactions of KSMTE*, Vol. 14, No. 1, pp. 66~72.