

## Differential gear case와 피니언 샤프트 체결을 위한 핀 압입 장치설계 및 측정에 관한 연구

장태환\* · 권진욱\* · 엄지현\*\* · 김정아\*\* · 김태규\*<sup>†</sup>

\*부산대학교 나노메카트로닉스공학과, \*\* (주) SMEC 융복합사업부

### A Study on the Design and Measurement of Pin Press-Fit Device for Fastening Differential Gear Case and Pinion Shaft

T.H. Jang\*, J.U. Gwon\*, J.H. Eum\*\*, J.A. Kim\*\*, T.G. Kim\*<sup>†</sup>

\*Dept. of Nanomechatronics Engineering, Pusan National University, Busan 46241, Korea

\*\*Convergence Business Division, SMEC Co., Ltd, Gimhae 50969, Korea

**Abstract** The differential gear system is a device designed to distribute the driving force of both vehicle wheels and control the rotational speed when the vehicle turns on a curve. The differential device consists of a differential gear case, a ring gear, and a pressure ring. A differential pinion gear and side gear are mounted on the differential pinion shaft inside the differential gear case. In this study, a pin press-fitting device that mounts the pinion gear and side gear to the differential pinion shaft in the differential gear case was designed, and a jig device for pin press-fitting using servo press was developed. In addition, by precisely measuring the pin press-in load and press-in distance according to the pin hole diameter of the differential gear shaft, the optimization of the pin press-in process was established.

(Received January 7, 2021; Revised January 14, 2021; Accepted January 18, 2021)

**Key words** : Differential gear case, Pin press-in process, Pinion gear, Side gear, Pinion shaft

### 1. 서 론

차동기어 장치(differential gear system)는 자동차가 커브길을 선회할 때 양쪽 차량 휠의 구동력을 분배하고 회전속도를 원활하게 조절할 수 있도록 고안된 필수적인 구동장치이다[1]. 차동기어 장치는 내부에 사이드기어와 피니언 기어가 장착된 차동기어 케이스, 링 기어, 압력 링 등으로 구성되어 있다[2]. 자동차의 차동기어는 FF, FR, AWD 방식으로 엔진의 위치와 구동바퀴의 위치에 따라 다양하게 장착된다. 차동기어 장치를 구성하고 있는 기어변속 장치는 기어의 감속비와 입출력 토크에 따라 강도해석이 필요하며, 구동 시 내구성과 안전성이 확보되어야 한다[3]. 한편, 차동기어 케이스의 질량 불평형(mass unbalance) 문제는 차량의 구동 시 소음과 진동을 유발하는 한 원인이 된다. 따라서 차동기어 케이스에

대한 질량 불평형의 정확한 진단을 통해서 불평형 위치설정과 동시에 불평형 질량을 제거하는 balancing 공정이 필요하다[4]. 차동기어 장치를 조립하기 위해서는 생산설비 구성에 있어 다양한 공정의 체계화와 생산제품의 오차를 줄이고 정밀한 조립공정이 확보되어야 한다. 차동기어 장치의 조립공정에서 차동기어 케이스 내부에 피니언 기어와 사이드 기어가 피니언 샤프트에 체결되고, 피니언 샤프트는 압입 핀으로 고정하게 되는데 이때 피니언 샤프트에 가공된 pin hole 직경과 압입하중의 결정은 매우 중요한 변수가 된다. 압입 핀의 체결은 Servo press를 주로 사용한다[5]. Servo press는 서보모터의 회전운동을 볼 스크류를 통한 상하운동으로 변환하여 압입하중을 가하는 원리로서 공작기계의 조립 공정이나 금속성형 공정에서 다양하게 활용되고 있다[6]. 서보모터에 의한 정밀제어는 압입공정과 같은 고압력, 고정밀 공정

<sup>†</sup>Corresponding author. E-mail : [tgkim@pusan.ac.kr](mailto:tgkim@pusan.ac.kr)

에서 안정성과 정확성이 있고, 공정효율을 극대화하여 생산된 제품의 신뢰성을 높일 수 있는 장점이 있다[7].

본 연구에서는 차동기어 케이스의 위치를 고정하고 핀 압입을 위한 장치를 설계하였으며, Servo press를 이용한 핀 압입 전용지그 장비를 개발하였다. 그리고 차동기어 케이스 조립 시 피니언 샤프트에 체결되는 핀의 압입조건은 중요한 공정변수이기 때문에 Pin hole 직경에 따른 최적의 압입하중과 압입거리를 측정하고자 하였다.

## 2. 실험 및 실험방법

### 2.1 Pin 압입장치 설계 및 시스템 구성

Fig. 1은 차동기어 케이스에 피니언과 사이드 기어가 피니언 샤프트에 장착되고, 샤프트 핀은 압입 핀에 의하여 체결되는 구조로서 압입 핀이 서보모터의 압입하중으로 체결되는 핀 압입 장치의 개략도 및

설계 제작된 장비의 사진이다. 핀 압입공정은 차동기어 케이스에 장착된 피니언 기어의 구동 시 소음과 진동을 유발하는 원인이 된다. 따라서 장착된 피니언 기어장치에 최적의 핀 압입공정 변수를 확립하여 향후 자동조립라인에서 적용할 수 있도록 설계하였다. 핀 압입을 위한 차동기어 케이스의 위치고정을 위한 전용 지그를 제작 하였으며, 포토센서를 통하여 차동기어 케이스의 장착 유무를 판단할 수 있도록 하였다. 차동기어 케이스의 Pin hole 위치를 감안하여 수직방향의 하중이 작용되는 수직형 Pin 압입장치로 설계하였다.

핀 압입을 위한 Servo press는 모터의 동력원을 Timing belt와 볼 스크류에 전달하여 회전운동을 직선운동 변환하여 압입하중이 작용하는 구조이다. 핀 압입 시 최대 1000 kgf의 하중이 작용할 수 있도록 설계하였다. 핀 압입 공정이 완료되면, 핀의 압입 여부를 확인하기 위해 실린더와 근접센서를 장착하여 Shaft를 밀어서 측정 할 수 있는 구조이다. 핀

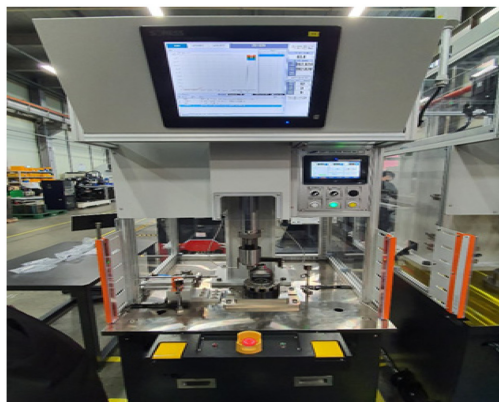
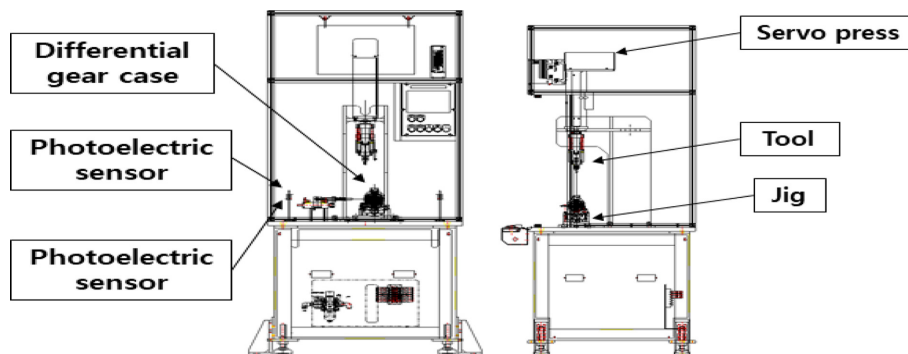


Fig. 1. Schematic diagram and device photo of pin press-in machine for fastening differential gear case and pinion shaft.

압입용 Servo press는 H사 모델의 SLIM TYPE (SORESS-010S)를 사용 하였다.

Fig. 2은 Pressing station을 비롯한 Pin pressing 장비의 구성도를 나타내었다. 본 모델은 가동하중 40~1,000 kgf, 램 스트로크 0~200 mm, 램 스피드 0.01~250 mm/s, 정격전압 220 V의 사양이다. Servo press는 PC 제어를 통해 제어하고, PC 제어기에는 Motion control board와 Load cell과 A/DC Converter가 탑재되며, 터치스크린을 통해 메인프로그램 제어가 가능한 구조이다. 메인프로그램은 SORESS\_V020027 소프트웨어가 사용되었으며, 이 프로그램에 기종과 명칭입력, 대기위치 입력, 서보이동거리, 속도, 이동조건 그래프의 생성여부, 데이터 저장 유/무, 거리 및 작용하중 등의 설정과 입력이 가능하다. 설계된 구동프로그램을 통해 프레스 공정

이 완료된 후, 데이터 관리 및 분석에는 데이터 관리 소프트웨어인 SvList\_Ver2\_0\_2를 사용했다. 이 소프트웨어는 Load cell condition check, Jig weight reward, Interference check 등 설정거리 내 부하감지 기능과 Inflection point detection 등의 기능을 가지고 있으며, 이를 통해 데이터 조회와 압입하중과 압입거리에 따른 raw data 등을 분석할 수 있다.

## 2.2 Servo press

Fig. 3은 핀 압입장치 설계를 위하여 사용된 Servo press의 구성도이다. 높은 생산성과 저소음 및 에너지 효율이 큰 장점이 있는 구조로 설계하였다. 또한, 압입공정 시 실시간으로 압입하중과 압입거리를 측정할 수 있고, 압입변수에 따른 품질관리가 가

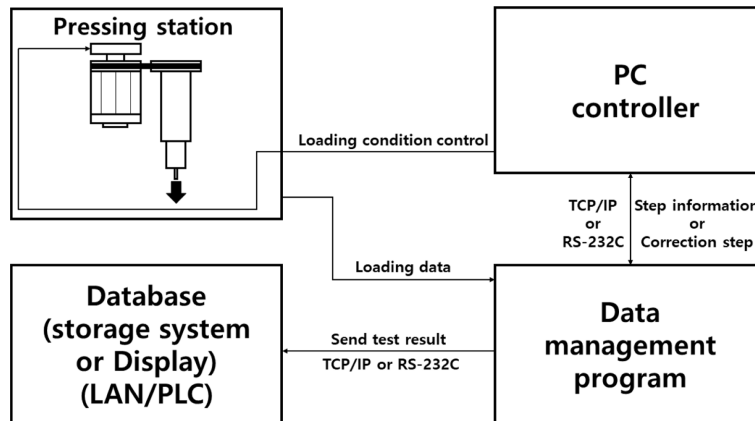


Fig. 2. Configuration diagram of pin pressing device.

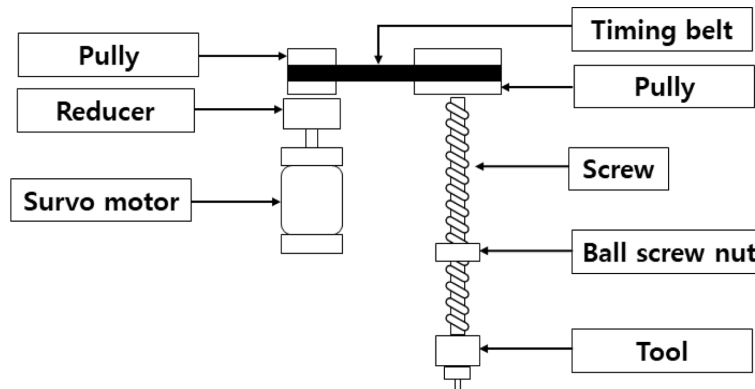


Fig. 3. Configuration diagram of Servo press.

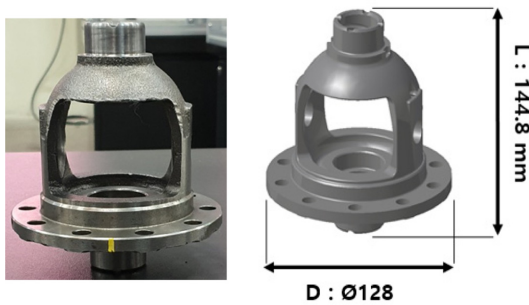


Fig. 4. Differential gear case dimensions and shape.

능한 구조이다. Servo motor의 회전속도와 토크를 제어하기 위하여 감속기를 장착하였다. Screw를 회전시키기 위하여 풀리에 Timing belt를 설치하여 회전력을 전달하고, 회전력은 Screw와 Ball screw nut에 의하여 회전운동이 직선운동으로 변환되어 압입하중이 작용하는 구조이다.

### 2.3 Differential gear case

Fig. 4는 본 연구에서 핀 압입 대상인 차동기어 케이스의 구조와 크기를 나타내었고, 내부에는 차동피니언 기어와 사이드 기어가 피니언 샤프트에 체결되는 구조이다. 직경은 Ø128, 길이는 144.8 mm 이다.

### 2.4 Pin shaft and Spring pin

Fig. 5는 본 연구의 차동기어 장치에 체결되는 피니언 샤프트의 형상 및 치수를 나타내었다. 피니언 샤프트는 차동기어 케이스 내부에 조립되는 차동 피니언 기어와 사이드 기어를 지지하는 역할을 한다. 피니언 샤프트는 S45C 재질이고, 직경 Ø17, 길이는 87 mm이다.

실제 제품에 사용되는 피니언 샤프트의 Pin hole의 직경은 Ø4.3이며 Pin hole 직경에 따른 압입하중 시험을 위해 Pin hole의 직경을 Ø3.9, Ø4.1, Ø4.3, Ø4.5, Ø4.7로 제작하였다.

Fig. 6은 Spring pin의 형상 및 치수로서 직경이 Ø4.3, 길이가 40 mm 이다. 길이 방향으로 갈라져 있어 쉬운 탄성 압축력이 가해지고, 바깥지름 보다 작은 구멍에 끼워 스프링 작용과 동시에 부품이 체결되는 구조이다.

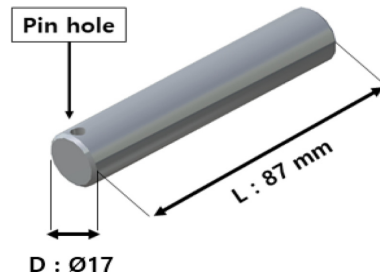


Fig. 5. Pinion shaft dimension.

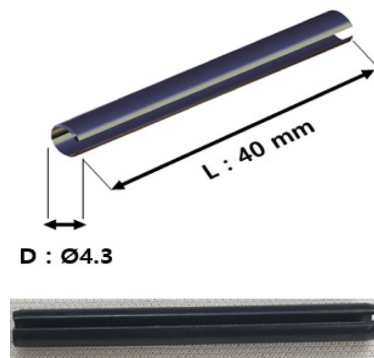


Fig. 6. Spring pin dimension.

### 2.5 핀 압입시험

핀 압입시험의 공정은 Fig. 7과 같이 나타내었다. 차동기어 케이스 내부에 장착되는 차동 피니언 기어 와 사이드 기어 및 피니언 샤프트가 차동기어 케이스의 Pin hole에 스프링 핀이 프레스에 의해 체결되는 구조를 나타내고 있다. 핀 압입 시험을 위해 피니언 샤프트를 차동기어 케이스에 체결한 상태에서 핀 압입장비에 제작된 전용 지그를 장착하였다. 핀의 압입하중은 0~400 kgf로 지정하였으며, 압입거리는 핀의 최초 위치를 고려하여 225 mm로 지정하였다. 동일한 직경의 차동기어 케이스의 Pin hole을 기준으로 Pin hole의 직경이 다른 Pinion shaft를 장착하여 압입 공정 중 실시간 압입하중과 압입거리를 도출할 수 있도록 하였다. 피니언 샤프트 Pin hole의 직경에 따른 압입 하중과 압입거리를 측정하여 조립공정에서 중요변수인 압입량 범위를 도출하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

핀압입 공정에 있어 압입 품질의 경우 물체의 파

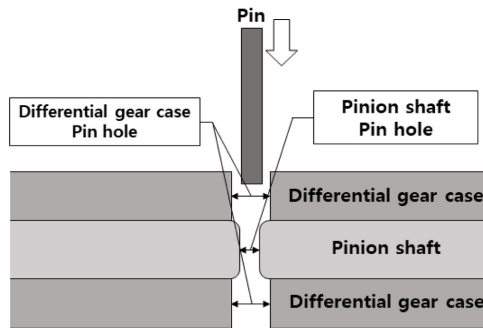
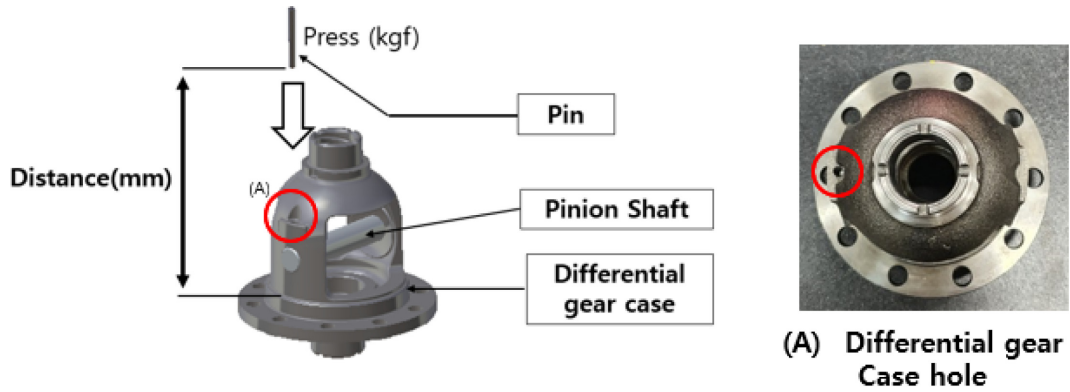


Fig. 7. Pin press-in process diagram.

Table 1. Comparison of pin press test results

Shaft pin hole diameter (mm)	Max. press-in load (kgf)	Press-in distance (mm)
Ø 4.7	148.8	225
Ø 4.5	177.3	225
Ø 4.3	217	225
Ø 4.1	348.9	225
Ø 3.9	418.6	206.9

단 및 파괴가 일어나지 않는 이상 절대적인 기준은 없으며, 실험자의 실험 경험을 통한 판정 기준이 요구 된다. Table 1은 핀 압입하중과 압입거리의 측정 결과를 나타낸 그래프이다. 압입 대상의 품질 상태에 따라 압입하중과 압입거리에 변수가 생기므로 Fig. 5와 같이 피니언 샤프트의 Pin hole 직경을 다르게 제작하여 동일한 조건으로 핀 압입 시험을 진행 후 압입하중과 압입거리 간의 관계를 도출하였다. 핀압입 시험은 체결대상인 차동기어 케이스에 피니언 사

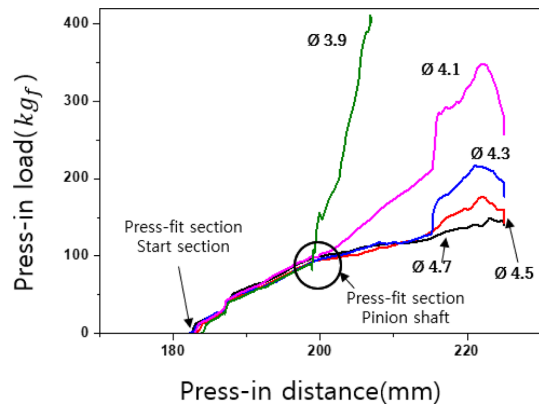


Fig. 8. Press-in load and distance according to the diameter of pinion shaft.

프트를 삽입 후 핀 압입장치에 제작된 차동기어 케이스의 전용 지그에 장착하여, 스프링 핀을 수직 방향으로 하중을 가하여 압입하중과 압입거리를 측정 하였다.

Fig. 8은 핀 압입 공정에 있어 스프링 핀 이동 구간에 따른 압입하중과 압입거리를 그래프로 나타낸

결과이다. 핀 압입공정에서 Spring pin이 차동기어 케이스의 Pin hole 구간에서는 유사한 경향성을 보였으며, 피니언 샤프트의 Pin hole 구간에서 압입공정이 진행된 경우는 직경에 따른 그래프의 경향성이 큰 차이가 보이는 것을 확인 할 수 있다.

Fig. 8의 결과와 같이 피니언 샤프트의 Pin hole 직경이 04.1, 04.3, 04.5, 04.7인 경우는 압입거리가 225 mm까지 도달 하는 것으로 확인되었다. 하지만, Pin hole 직경이 03.9인 경우에는 압입거리 설정 값 목표치인 225 mm에 도달하지 못하였고, 압입하중도 급격하게 증가되는 현상을 보였다. 핀 압입하중은 압입기의 사양을 고려하고, 적절한 휨새를 갖는 구조인 최적 압입하중의 범위를 190-250 kgf로 설정하였다. Fig. 8과 Fig. 7의 압입조건을 고려한 결과를 보면, Pin hole 직경이 03.9와 04.1에서는 압입하중이 휨새 과다 범위에 해당되고, 반면에 04.5, 04.7에서는 휨새 미달 압입하중 범위에 해당한다. 따라서 피니언 샤프트의 조립공정에서는 Pin hole의 직경의 적절한 휨새를 가져야 하기때문에 04.3이 최적의 휨새가 됨을 관찰 할 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 자동차용 차동기어 케이스의 위치를 고정하고 핀 압입을 위한 장치를 설계하고 핀 압입 전용지그 장비를 제작하였다. 차동기어의 피니언 샤프트에 체결되는 핀의 압입량은 중요한 공정변수이다. Pin hole 직경에 따른 최적의 압입하중과 압입거리를 측정하여 조립공정에서 중요변수인 압입량 범위를 도출하였다. 피니언 샤프트의 체결은 Servo press를 사용하였고, 피니언 샤프트의 hole size에 따

른 압입하중과 압입거리를 정밀 측정할 수 있는 장비를 개발하였다. 피니언 샤프트의 hole 직경을 03.9, 04.1, 04.3, 04.5, 04.7로 제작하였으며, 측정결과 피니언 샤프트의 hole 직경이 커질수록 핀 압입거리는 설정 값인 225 mm를 달성하였다. 하지만 hole 직경이 03.9 mm인 경우에는 압입 시작점부터 하중이 급격히 상승하는 경향을 나타내었고, 압입거리도 206.9 mm로 설정 값에 미달하는 결과를 나타냄을 확인 할 수 있었다.

#### 후 기

본 연구는 중소벤처기업부의 WC300프로젝트 기술개발사업 지원에 의한 연구임(공정모듈 교환방식의 윈스탑 다공정 제조혁신 솔루션 개발, NO. S2641371)

#### References

1. Mizoguchi, Norihiro, Susumu Okada : U.S. Patent No.10,167,945 (2019).
2. Patrick Adebisi Olusegun Adegbuyi, Opeyemi Lukuman : International Journal of Science, Technology and Society 5(3) (2017) 41-45.
3. 장태환 외 4인 : 열처리공학회지, 32(6) (2019) 270-274.
4. 장태환 외 4인 : 열처리공학회지, 33(6) (2020) 303-309.
5. 정성훈 외 4인 : 한국자동차공학회 학술발표대회, (2009) 2705-2710.
6. K. Mori, K. Akita and Y. Abe : International Journal of Machine Tools and Manufacture, 47(2) (2007) 321-325.
7. K. Osakada, K. Mori, T. Altan and P. Groche : CIRP Annals, 60(2) (2011) 651-672.