

# 열처리공법에 따른 Sleeve의 열처리 변형 특성

윤일중 · 류성기<sup>†</sup> · 안창우\* · 안인효\*\*

경상대학교 기계항공공학부 · 항공기부품기술연구소

\*대동기어주식회사 · \*\*한국폴리텍 VII대학 한백창원캠퍼스

(2005. 11. 30. 접수 / 2006. 5. 22. 채택)

## Characteristic on the Heating Deformation of Sleeve by Heating Method

Iljoong Youn · Sung-ki Lyu<sup>†</sup> · Chang-woo An\* · In-Hyo Ahn\*\*

School of Mechanical & Aerospace Engineering, ReCAPT, Gyeongsang National University

\*Daedong gear LTD

\*\*Korea Polytechnic VII Colleges, Hanbaek Changwon Campus

(Received November 30, 2005 / Accepted May 22, 2006)

**Abstract** : Nowadays, out of other transmission parts, the sleeve is getting more and more important part for exact and smooth shifting from gear ratio change whenever drivers are needed.

To exact and smooth shifting when drivers are needed, all the parts connected with gear shifting should be machined exactly and having dimensions designers are intended. Especially, in case of the sleeve that the most important functional part to shift from gear ratio change that drivers are intended, it needs high precision grade and quality in both sides runout and outer dia runout as well as inner spline small dia & large dia. Because it's assembled with the synchro hub spline and shifted directly with the mating cone. So, it should be applied the heat treatment(hereinafter referred to H.T.M.T) to prevent the friction and percussion loss from shifting with mating cone. At this time, the deformation problems are raised from almost H.T.M.T. process and it makes the inferior part.

**Key Words** : carburizing method, setting point, gear and spline, surface hardness

## 1. 서 론

슬리브(sleeve)는 제품의 특성상 고정도 및 고정밀도를 요구함과 동시에 강한 내구성을 요구 하는 기계요소로서 반드시 열처리를 필요로 한다. 그러나 열처리시에 반드시 수반되는 열처리 변형에 의한 제품불량이 다수 발생한다. 물론 다른 열처리 기어류의 경우에도 열처리 변형을 수반하고 있지만, 절삭가공시 열처리 변형을 감안한 치형 관리나 열처리후의 치면연삭과 같은 공정을 통해 이러한 열처리변형을 보완하게 된다<sup>1,2)</sup>. 따라서 슬리브의 경우 제품형태 및 가공 공법상 열처리 변형을 감안한 제품 가공이나, 열처리후의 공정을 통한 보완이 불가능한 제품이다. 때문에 제품을 생산하고 있는 현장에서나, 금속의 열처리에 대해 연구하고 있는 많은 연구소에

서 여러 가지 방법들을 통하여 슬리브의 열처리 변형을 최소화 할 수 있는 열처리 방법을<sup>3-6)</sup> 찾기 위해 많은 노력을 기울여 왔다. 하지만 다른 제품들에 비해 만족할만한 수준의 결과를 얻고 있지 못하는 것이 현실이다.

본 연구에서는 현재 생산하고 있는 승용차용 슬리브를 고주파를 이용한 고주파 열처리법, 일반적인 침탄로 내에서의 단품 열처리법, plug quenching 열처리 방법을 적용하여 시험편 10개씩 각각의 열처리방법으로 열처리를 실시한 후 Over pin diameter, Minor diameter, Major diameter 및 외경 및 내경의 Runout 치수의 열처리 전과 후의 치수변화를 고찰하여, 열처리 공법에 따른 열처리 변형특성을 고찰하고자 한다.

## 2. 시험편 및 열처리방법

### 2.1. 시험편

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
sklyu@gsnu.ac.kr

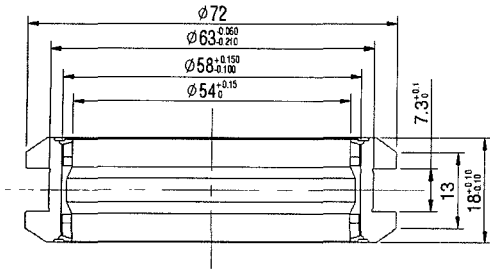


Fig. 1. Shape of PD0004 sleeve for automobile.

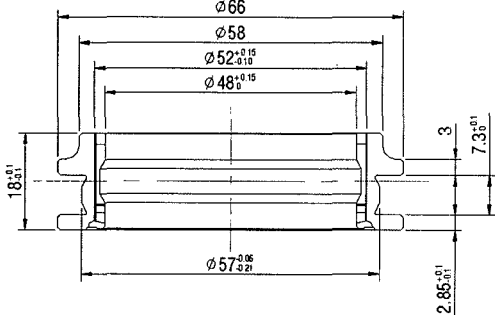


Fig. 2. Shape of PD0013 sleeve for automobile.

Table 1. Chemical composition of SCR420 [wt %]

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
Range	0.18 ~ 0.23	0.15 ~ 0.35	0.60 ~ 0.85	≤0.03	≤0.03	≤0.3	≤0.25	0.9~1.2
Measured	0.21	0.28	0.73	0.026	0.019	0.12	0.20	0.96

자동차용 슬리브의 열처리 변형제어를 연구하기 위하여 현재 단품 열처리 공정으로 생산 중인 승용차용 슬리브 2종을 선정하였다.

승용차용 슬리브 형상은 Fig 1, 2와 같으며, PD0004와 PD0013이라는 품번으로 생산되고 있는 제품으로서 PD004의 경우 외경은  $\varnothing 72$  mm, 모두울 2.0, 잇수 27개의 제품이며, PD0013은 외경  $\varnothing 66$  mm, 모두울 2.0, 잇수 24개인 제품이다. 본 연구에 사용한 시험편의 재질은 SCR420을 사용하였으며 화학성분은 Table 1과 같다.

## 2.2. 슬리브의 열처리 방법

본 연구에 사용한 슬리브의 열처리방법은 일반적인 침탄 열처리로를 사용하는 단품 열처리, 침탄 열처리 후 고주파 가열을 이용한 고주파 열처리, 침탄 열처리 후 plug quenching 장비를 사용하여 고주파 가열을 한 다음 plug quenching 열처리방법 3가지 열처리 공법을 사용하였다. Fig 3~5에서 Oil Temp는

oil quenching시 oil의 온도, C.P %는 열처리 로내 탄소 함유량, 0.9, 08는 열처리 로내 탄소 함유량, O.Q 15min는 oil quenching 시간, Vol. R.X. Gas %는 열처리 로내 반응 분위기 조성용 gas의 함유량을 나타내고 있다.

### 2.2.1. 단품 열처리

슬리브류의 열처리방법 중 가장 널리 사용되고 있는 방법으로서 일반적인 침탄 열처리로에서 침탄 담금질 뜨임 공정을 거쳐 제품을 완성하는 방법으로 열처리 선도는 Fig. 3과 같다.

이 방법은 고주파 열처리와 같이 열처리 전후에 별도 처리가 없으므로 열처리 공정이 절감되며, 기존의 열처리로를 사용하기 때문에 장비의 효율성을 높일 수 있으며, 상용화되어 있는 치수의 절삭공구를 사용하기 때문에 공구의 선택도 비교적 자유롭다. 또한 고주파 열처리와 달리 로내 가열을 하기 때문에 제품의 형상에 대한 규제를 받지 않는다.

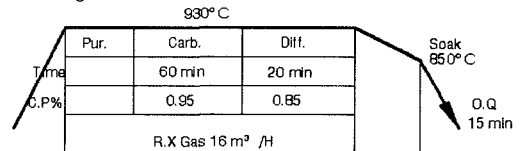
하지만 이방법의 경우 열처리 변형량을 제어할 수 있는 방법이 없으며, 제품의 소량 생산시 생산단가가 높은 단점이 있다. 또한 각 생산 lot 및 lot내 열처리 변형편차가 고주파 열처리 보다는 적지만 비교적 크다.

### 2.2.2. 고주파 열처리

고주파 열처리법은 현재 슬리브류에 대하여 일반적으로 널리 사용되고 있는 방법은 아니며, 침탄 처리된 제품을 고주파 코일을 이용하여 가열 후 담금질·뜨임처리 공정을 거쳐 원하는 경도와 경화층을 얻는 방법으로 열처리 선도는 Fig. 4와 같다.

이 방법은 기존의 고주파 열처리 장비를 보완하지 않고 그대로 이용가능하다.

### Carburizing



### Tempering

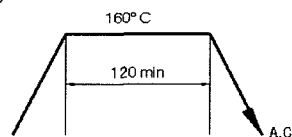


Fig. 3. Schematic diagrams of single part heating.

그리고 상용화 되어 있는 표준치수의 브로치 공구를 사용하기 때문에 공구 공용화가 용이하다. 또한 각 부품별 작업이므로 생산 lot의 다양화가 가능하여 필요로 하는 수량만큼 언제라도 열처리가 가능하기 때문에 소량 다품종 생산의 대응이 용이하다.

하지만 고주파 코일을 사용하여야 하기 때문에 제품의 외형에 급격한 변화가 있을 경우에는 적용이 곤란하며, 고주파를 사용하여 아주 짧은 시간에 가열 후 즉시 냉매를 투입하기 때문에 급격한 온도 변화로 인한 열처리 균열발생의 빈도가 높기 때문에 모든 고주파 열처리 제품에 대해서는 자분탐상법에 의한 균열확인을 하여야만 한다. 그리고 열처리 작업을 하고 있는 환경이 항상 변화하고 있기 때문에 각 생산 lot 및 lot내 열처리 변형량의 편차가 큰 단점이 있다.

### 2.2.3. Plug quenching

Plug quenching법은 침탄 공정을 거친 제품을 고주파를 이용하여 재 가열 후 plug에 삽입한 상태로 담금질한 다음 plug에서 분리하는 방법으로 열처리 선도는 Fig. 5와 같다.

이 방법은 담금질시에 plug를 이용하여 슬리브 내경부로 들어드는 변형량을 조절하여 열처리 변형의 최소화 및 제품별 일률적인 열처리변형을 유도하여, 제품별 정도가 향상되므로 제품의 사용시 싱크로론의 이상마모 방지 및 소음을 줄일 수 있다.

Plug quenching시에는 각 제품별로 시험을 통해 이미 검증된 치수의 plug 및 절삭공구를 사용하므로 각 생산 lot 및 각 생산 lot내 열처리 변형의 편차가

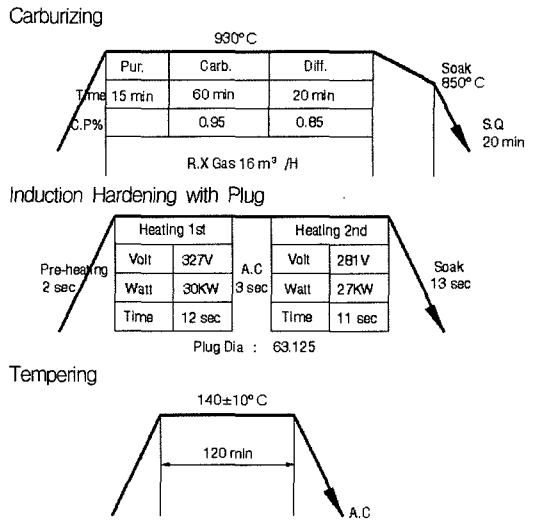


Fig. 5. Schematic diagrams of plug quenching.

거의 없다. 또한 Sleeve 단품별 열처리이므로 형상에 대한 규제가 없으며, 소량 다품종 생산의 대응에 유리하다.

하지만 Plug quenching법을 도입하기 위해서는 별도 Plug quenching장비의 도입이 필요하며, 기존의 슬리브에 비해 내경부의 수축량이 변화하게 되므로 기존의 브로치로 작업시 도면에서 요구하는 공차를 만족시킬 수 없기 때문에 다른 치수의 전용 브로치를 필요하게 된다. 또한 많은 실험과 수정을 통하여 plug의 외경 치수 및 브로치 공구 치수를 확인할 수 있기 때문에 많은 개발비용과 개발기간을 요구하며, 침탄 공정을 위하여 별도의 침탄로가 소요된다.

## 3. 열처리 변형결과

본 연구에서는 승용차용 슬리브 2종 PD0004와 PD0013 시험편 10개씩을 각각 고주파 열처리방법, 단품 열처리법, plug quenching 열처리법으로 열처리한 다음 기어 측정장비를 이용하여 over pin diameter, minor diameter, major diameter, 외경떨림 등을 측정하여 열처리공법에 따른 열처리변형특성을 고찰 한 결과 다음과 같다.

### 3.1. PD0004의 열처리 변형

#### 3.1.1. PD0004 over pin diameter

PD0004 슬리브 제품의 치두께 값을 측정할 Over pin diameter의 경우 도면 치수는 측정용 편 Ø4.5mm를 사용할 경우 50.163~50.301mm이다.

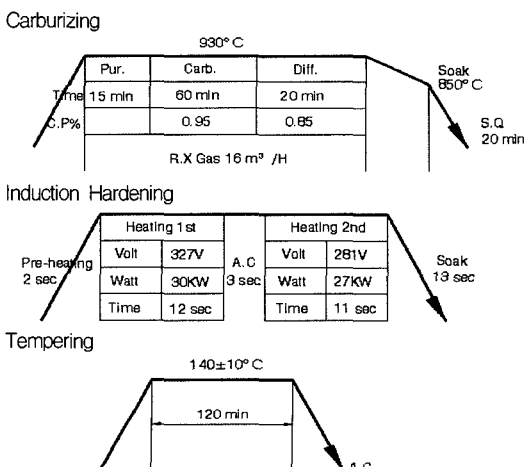


Fig. 4. Schematic diagrams of induction hardening heating.

고주파 열처리방법, 단품 열처리법, plug quenching 열처리법으로 열처리한 PD0004 슬리브 시험편 각 10개의 직경(O.P.D : over pin diameter)을 측정하여 구한 평균직경값과 편차값을 Table 2와 Fig. 6에 나타냈다.

Table 2와 Fig. 6에서 나타난 바와 같이 plug quenching 열처리법이 고주파 열처리법과 단품 열처리법보다 편차가 적게 나타났으며, plug quenching 열처리법의 경우 도면 spec.을 대부분 만족하는 것으로 나타났다.

**3.1.2. PD0004 minor diameter**

상대 부품과의 조립성능을 결정하는 제품의 Minor diameter의 경우 PD0004의 도면공차는 54.0±0.15mm 이다.

고주파 열처리법, 단품 열처리법, plug quenching 열처리법으로 열처리한 PD0004 슬리브 시험편 각 10개의 Minor diameter를 측정하여 구한 평균측정값과 편차값을 Table 3과 Fig. 7에 나타냈다. Table 3과 Fig. 7에서 나타난 바와 같이 고주파 열처리법, 단품 열처리법, plug quenching 열처리법 모두 도면공차 spec.을 만족하였으며, plug quenching 열처리법이 고주파 열처리법과 단품 열처리법보다 편차가 적게 나타나는 것을 알 수 있었다.

Table 2. Over pin diameter of PD0004 [mm]

Item	Induction hardening	Single part heating	Plug quen.
DIM. average	50.219	50.241	50.252
DIM. deviation	0.120	0.050	0.025

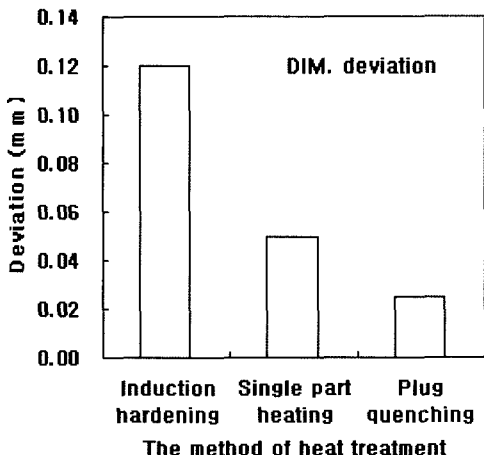


Fig. 6. Over pin diameter of PD0004.

Table 3. Minor diameter of PD0004 [mm]

Item	Induction hardening	Single part heating	Plug quen.
DIM. average	54.012	54.069	54.104
DIM. deviation	0.047	0.011	0.008

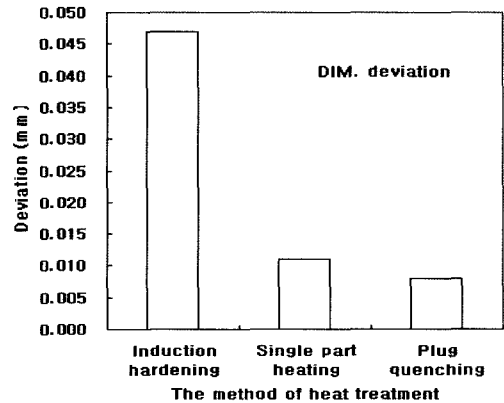


Fig. 7. Minor diameter of PD0004.

**3.1.3. PD0004 major diameter**

Minor diameter와 같이 상대 부품의 조립성능을 결정하는 Major diameter에 대한 PD0004의 평균측정값과 편차값을 Table 4와 Fig 8에 나타냈다.

PD0004의 도면 치수는 58.0  $\pm$ 0.15<sub>-1.0</sub> mm이다. 여기에서도 앞의 결과와 비슷하게 plug quenching법에 의한 열처리방법이 다른 방법의 열처리방법 보다 제품의 품질 안정성이 우수한 것으로 결과가 나타났다.

**3.1.4 PD0004 runout**

슬리브가 상대 부품과 변속동작을 할 경우 가장 많은 영향을 끼치게 되는 것이 측면과 외경 떨림이다. 측면과 외경 떨림은 내경부 스플라인 구멍 사양과 동일한 규격의 스플라인축에 제품을 조립 후 스플라인 축의 중심 센터 기준 외경부와 측면부에 다이얼게이지의 눈금 떨림량을 말하며, 현재 생산되고 있는 대부분의 슬리브의 경우 외경 떨림과 측면 떨림 정도를 0.1로 규제 하고 있다. PD0004의 측면과 외경 떨림에 대한 평균측정값과 편차값을 Table 5와 Fig. 9에 나타냈다.

고주파 열처리방법의 경우 다수가 도면에서 요구하는 공차를 벗어났다. 단품 열처리법과 plug quenching 열처리법의 경우 도면에서 요구하는 공차를 만족하고 있으며 비슷한 수준의 Runout 값으로 나타났다.

Table 4. Major diameter of PD0004 [mm]

Item	Induction hardening	Single part heating	Plug quen.
DIM. average	54.976	58.044	58.049
DIM. deviation	0.040	0.010	0.006

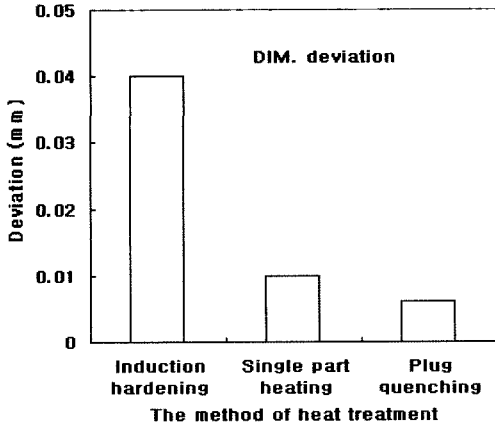


Fig. 8. Major diameter of PD0004.

Table 5. Runout of PD0004 [mm]

Item	Induction hardening	Single part heating	Plug quen.
Runout O.D	0.116	0.057	0.061
Runout side	0.058	0.029	0.024

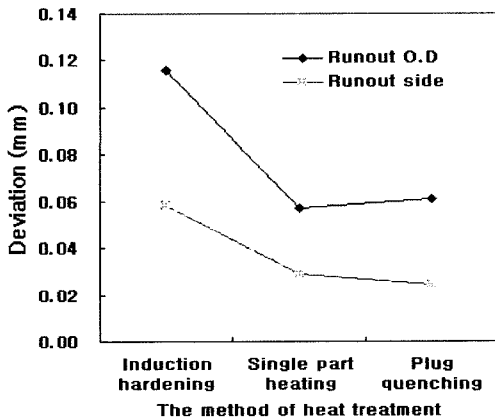


Fig. 9. Runout of PD0004.

## 3.2. PD0013의 열처리 변형

### 3.2.1. PD0013 over pin diameter

PD0013에 대하여 실시한 실험결과 중 O.P.D에 대한 평균측정값과 편차값을 Table 6과 Fig. 10에 나타냈다. PD0013의 O.P.D는 측정용 핀  $\varnothing 4.0$ 을 사용하였으며 도면치수값은 44.351~44.244mm이다.

Table 6. Over pin diameter of PD0013 [mm]

Item	Induction hardening	Single part heating	Plug quen.
DIM. average	44.272	44.287	44.295
DIM. deviation	0.060	0.025	0.015

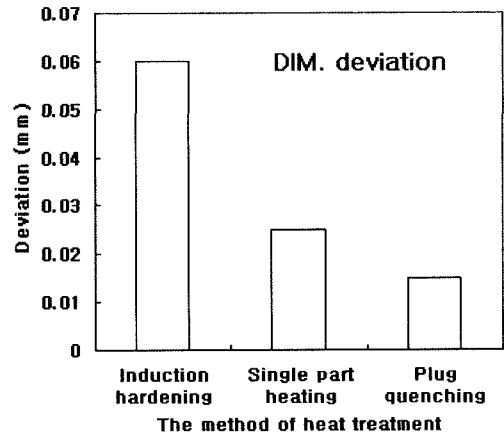


Fig. 10. Over pin diameter of PD0013.

Table 6과 Fig. 10에서 알 수 있듯이 고주파 열처리방법, 단품 열처리법, plug quenching 열처리법 모두 도면공차 spec.을 만족하였으며, plug quenching 열처리법이 고주파 열처리방법과 단품 열처리방법보다 편차가 적게 나타나는 것을 알 수 있었다.

### 3.2.2. PD0013 minor diameter

PD0013의 minor diameter에 대한 설계치수는  $48.0 \pm 0.15_0$  mm이다. PD0013에 대한 Minor diameter의 실험결과를 Table 7과 Fig. 11에 나타냈다.

여기에서도 고주파 열처리방법, 단품 열처리법, Plug quenching법 모두 도면공차 spec.을 만족하였으며, 단품 열처리법과 plug quenching방법의 경우 표준 편차가 비슷한 값으로 나타났다.

### 3.2.3. PD0013 major diameter

PD0013의 Major diameter의 설계 치수는  $52.0 + 0.15_0$  mm이다. Major diameter의 측정결과를 Table 8

Table 7. Minor diameter of PD0013 [mm]

Item	Induction hardening	Single part heating	Plug quen.
DIM. average	48.072	48.077	48.093
DIM. deviation	0.040	0.010	0.007

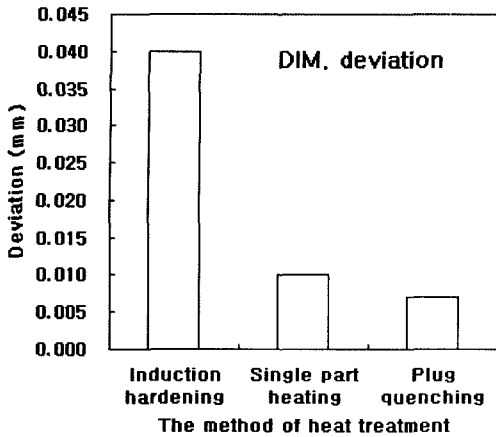


Fig. 11. Minor Diameter of PD0013.

Table 8. Major diameter of PD0013 [mm]

Item	Induction hardening	Single part heating	Plug quen.
DIM. average	52.064	52.049	52.152
DIM. deviation	0.040	0.012	0.010

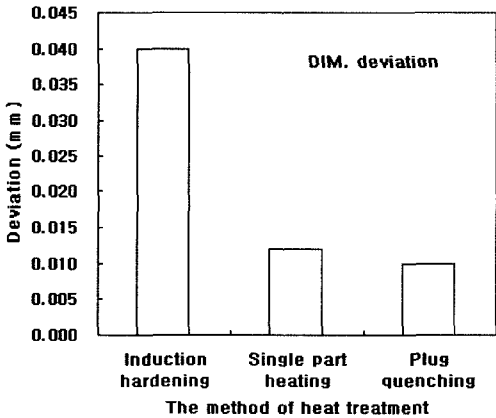


Fig. 12. Major diameter of PD0013.

과 Fig. 12에 나타냈다. Major diameter의 경우에도 Minor diameter와 유사한 실험결과로 나타났다.

### 3.2.4. PD0013 Runout

도면에서 요구하고 있는 PD0013의 runout 값은 다른 슬리브류와 같이 0.1범위 이내이며, 실험 결과 값은 Table 9와 Fig. 13에서 보는 것과 같다. 고주파 열처리방법의 경우 다수가 도면에서 요구하는 공차를 벗어났으며, 단품 열처리법과 Plug quenching방법의 경우 도면에서 요구하는 공차를 만족하고 있으며 비슷한 수준의 Runout 값으로 나타났다.

Table 9. Runout of PD0013 [mm]

Item	Induction hardening	Single part heating	Plug quen.
Runout O.D	0.144	0.064	0.052
Runout side	0.030	0.029	0.022

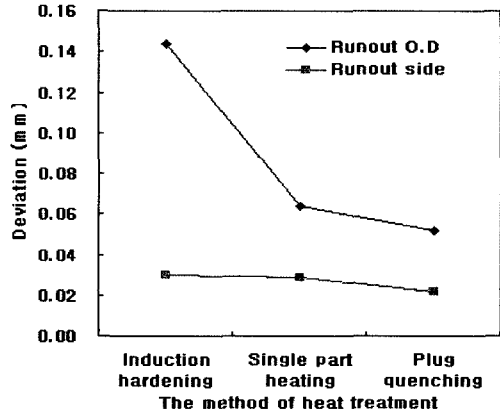


Fig. 13. Runout of PD0013.

## 4. 열처리 변형 실험 결과 및 고찰

### 4.1. PD0004의 열처리 변형 실험 결과와 고찰

고주파 열처리방법, 단품 열처리법, Plug quenching법으로 처리한 PD0004의 열처리 변형 결과 분석은 Table 10과 같다.

Table 10에서 알 수 있듯이 PD0004의 경우 현재 적용하고 있는 단품열처리법보다는 plug quenching 열처리법을 적용할 경우 최저 8.5%에서 최대 50% 정도 향상된 품질의 제품을 생산할 수 있을 것으로 분석되었다.

특히 현재 단품 열처리법에 사용하고 있는 절삭 공구인 표준화된 치수의 범용 브로치를 적용하여도 고객이 요구하고 있는 도면 spec.을 충분히 만족 시킬 수 있기 때문에 양산적용에 많은 잇점이 있을 것으로 판단된다.

그러나 보다 나은 품질의 제품을 생산하기 위해서는 전용 절삭용 브로치를 현재의 표준규격을 사용하는 것보다 전용 브로치를 소경  $\varnothing 54.125\text{mm}$ , 대경  $\varnothing 58.110\text{mm}$ , O.P.D  $50.270\text{mm}$ 로 설계하여 사용하는 것이 바람직 할 것으로 생각된다.

### 4.2. PD0013의 열처리 변형 실험 결과와 고찰

PD0013의 열처리 변형 결과 분석은 Table 11과 같다.

Table 10. Deformation reducing effect from plug quenching in PD0004 [%]

Item	Induction hardening	Single part heating
O.P.D	79.2	50.0
Minor diameter	83.0	27.3
Major diameter	85.0	40.0
Runout O.D	47.4	8.5
Runout side	58.6	17.2

Table 11. Deformation reducing effect from Plug quenching in PD0013 [%]

Item	Induction hardening	Single part heating
O.P.D	75.0	40.0
Minor diameter	82.5	30.0
Major diameter	75.0	16.7
Runout O.D	63.9	18.8
Runout side	26.7	24.1

PD0013의 경우에는 현재 적용되고 있는 단품열처리방법 대비 plug quenching법을 적용할 경우 최저 16.7%에서 최대 40%의 제품품질 향상을 가져올 수 있을 것으로 분석 되었다.

그러나 보다 나은 품질의 제품을 생산하기 위해서는 전용 절삭용 브로치를 현재의 표준규격을 사용하는 것보다 전용 브로치를 소경  $\varnothing 48.110\text{mm}$ , 대경  $\varnothing 52.095\text{mm}$ , O.P.D  $44.335\text{mm}$ 로 설계 제작하여 사용하는 것이 바람직 할 것으로 생각된다.

### 5. 결론

본 연구에서는 현재 생산되고 있는 많은 기계요소 중 열처리 변형에 많은 영향을 받고 있는 승용차용 슬라이브류에 대한 열처리공법에 따른 열처리 변형 특성을 고찰하기 위하여 고주파열처리법, 단품열처리법, Plug quenching법으로 열처리를 실시한 후 열처리 변형량을 고찰 한 결과 승용차용 슬라이브의 경우 본 연구에서 얻은 결과는 다음과 같다.

1) Plug quenching 열처리법이 고주파열처리와 단품열처리 보다 O.P.D 40~79.2% 향상되었다.

2) Plug quenching 열처리법이 고주파열처리와 단품열처리 보다 소경 27.3~83% 향상되었다.

3) Plug quenching 열처리법이 고주파열처리와 단품열처리 보다 대경 16.7~85% 향상되었다.

4) Plug quenching 열처리법이 고주파열처리와 단품열처리 보다 외경떨림 12.3~63.9%, 측면떨림 17.2~58.6% 향상되었다.

5) Plug quenching 열처리법이 다른 방법의 열처리방법보다 변형량이 가장 적으므로 제품의 품질 안정성이 우수하여 슬라이브의 품질을 향상 시킬 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글 : 이 논문은 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI04-01-03) 지원에 의해 연구되었으며 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

- 1) 仙波正莊 외 1명, 기어便覽解説, 형설출판사, pp. 222~240, 1998.
- 2) 정태형, 기어설계 및 해석, 대우중공업주식회사, pp. 52~65, 1992.
- 3) 이상운 외 5명, 최신 금속 열처리, 원창출판사, pp. 299~306, 1993.
- 4) 대우중공업, 재료선택법 및 열처리 기술, 대우중공업주식회사, pp. 111~126, 1997.
- 5) H. Kim and S. Im, "Analysis of Beam Landing Shifts due to Thermal Deformation of Shadow Mask", IEEE Transaction on Consumer Electronics, Vol. 40, No 1, pp. 44~54, 1993.
- 6) Sungki Lyu, "Characteristic of Quenching Refrigerant for Heat Treatment Deformation Control of SM45C Steel", KSME International Journal, Vol. 16, No. 5, pp. 647~654, 2002.