

# 쇼트피닝 가공에 의한 자동차용 Drive Plate의 내구성 향상

이국진<sup>+</sup>, 이동선<sup>+</sup>, 이재현<sup>++</sup>, 정성균<sup>\*</sup>

## A Study on the Improvement of the Durability of Drive Plate in Automobiles by Shot Peening

Kookjin Lee<sup>+</sup>, Dongsun Lee<sup>+</sup>, Jaeheon Lee<sup>++</sup>, Seongkyun Cheong<sup>\*</sup>

### Abstract

The effects of shot peening on the fatigue strength of SK-5M steel is investigated by experiment.

The shot peening process is investigated optimum peening condition by changing impeller speed and exposure time. Bending fatigue test is accomplished to investigate the effect of optimum peening condition on the fatigue characteristics. As exposure time is increased, fatigue life in high stress is increased in early stage, become the maximum from 60 to 100 seconds, and then is decreased. Observing fracture surface through SEM after fatigue test, we can see clear configuration of cracks and peening layer.

**Key Words :** Optimum peening(최적피닝), Almen intensity(알멘강도), Fatigue life(피로수명), Saturation curve(포화선도), Arc height(아크하이트), Coverage(커버리지)

## 1. 서론

자동차 산업은 기계, 전기, 전자, 디자인 등 여러 산업에 밀접한 관련이 있는 기술 집약적인 산업이다.

자동차는 관련 산업에 의해 생산된 2만여개의 부품으로 이루어진 제품이다. 산업이 발전함에 따라 소비자의 선호도나 만족도가 달라지면서 자동차 회사는 보증제를 실시하는 등 소비자가 원하는 제품을 만들기 위해 노력을 하고 있다. 따라서 자동차의 각 부품에 작용하는 피로하중, 사용환경, 신뢰성등 설계기준 선정에 필요한 자료 확보가 중요

하다. 자동차는 각 부품간의 상호적인 운동에 의해 운전이 되지만 그에 따른 피로도 받는다. 이러한 피로손상을 받는 부품의 수명을 연장시키기 위해서 냉간 가공 방법인 쇼트 피닝(shot peening) 기술을 자동차 부품 및 항공 산업에 폭넓게 사용되고 있다.

일반적으로 쇼트피닝은 금속의 표면에 쇼트볼을 투사하여 표면에 압축잔류응력을 형성시켜 피로특성을 향상시키는 이론으로 보편화 되었으나. 금속소재나 부품의 최대수명효과를 낼 수 있는 최적의 피닝강도 탐색에 대한 지식은 부족한 실정이다.

\* 주저자, 서울산업대학교 기계공학과 (skjung@snut.ac.kr)

주소: 139-743 서울시 노원구 공릉2동 172

+ 서울산업대학교 산업대학원

++ 서울산업대학교 에너지대학원

이에 본 연구에서는 drive plate의 소재인 SK-5M에 대한 쇼트피닝 기술을 적용하여 피로수명 평가를 수행하여 최적의 피닝강도를 탐색하였다.

## 2. 관련이론

### 2-1. Drive plate

자동차 구동연결 부품인 drive plate는 고정밀 프레스 성형 기술이 필요한 A/T(Auto Transmission)에 핵심부품의 하나이며 Fig. 1과 같다. 토크 컨버터와 엔진의 크랭크 샤프트를 체결하여 엔진의 동력을 자동 미션에 전달하는 중요한 매개체 역할을 하며, 자체적으로 진동을 흡수하는 기능도 보유하고 있다.

또한, 오토미션에 연결되는 토크 컨버터의 변화와 상호작용을 완충시키는 기능과 스프링처럼 변화가 일어난다.

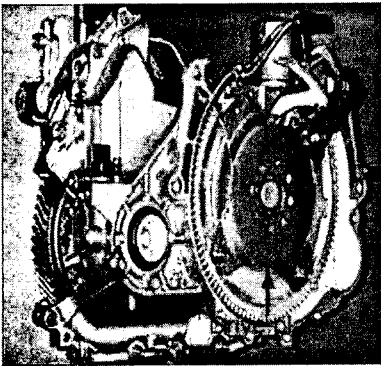


Fig. 1 Drive plate

이 drive plate가 엔진의 회전 토크를 미션에 균일하게 전달되지 않으면 제품에 굽힘응력을 받게 되어 피로에 의한 파손의 원인이 되며, 안전성에도 치명적일 수 있다.

### 2-2 쇼트피닝

금속부품의 표면에 쇼트볼이 고속 충돌하면 쇼트볼이 지나고 있는 운동에너지가 순간 표면에 전이(transformation)되면서 표면부에 얇은 소성 변형층을 형성한다. 이 소성 변형층은 변형 전의 상태로 유지하려는 반력이 작용하고 표면에는 압축응력, 내부는 인장응력을 갖고 평형을 이룬다.<sup>1)</sup>

쇼트피닝의 정도를 나타내는 알멘강도(Almen intensity)는 쇼트볼의 속도, 경도, 크기, 투사각 등에 따라 변하며 이 모든 것이 적절해야만 최적의 피닝강도를 갖는다.<sup>2-3)</sup> 이러한 최적 피닝

강도는 아크하이트와 커버리지로 표시되며 일반적으로 100% 커버리지에서의 아크하이트를 기준으로 한다. 아크하이트는 알멘스트립의 굽어진 정도로서 SAE에서 규정하고 있다. 알멘강도를 측정하는 또 하나의 기준이 되는 커버리지는 투사된 쇼트볼이 표면을 타격한 밀도를 말하며 피닝 자국면적을 백분율로 나타낸다. 투사된 노출시간과 커버리지 정도의 사이에는 함수관계가 성립되며 다음 식과 같이 표현된다.<sup>4)</sup>

$$C = 1 - (1 - C_1)^{n_e}$$

여기서, C는  $n_e$ 회 노출된 커버리지(%)를 나타내며,  $C_1$ 은 1회 노출된 커버리지(%), 그리고  $n_e$ 는 노출 횟수를 의미한다.

## 3. 실험

본 연구에서 자동차용 drive plate에 사용된 금속 소재는 SK-5M이다. 이 소재에 대한 화학적 성분과 기계적 성질은 Table 1 및 Table 2에 나타내었다.

Table 1 Chemical composition of SK-5M steel

C	Si	Mn	P	Ni	Cr	Cu
0.9	0.18	0.4	0.013	0.02	0.18	0.04

Table 2 Mechanical properties of SK-5M steel

	Tensile strength (MPa)	Yield strength (MPa)	Elongation (%)
Normal	395	315	31
Heat treated	635	541	19

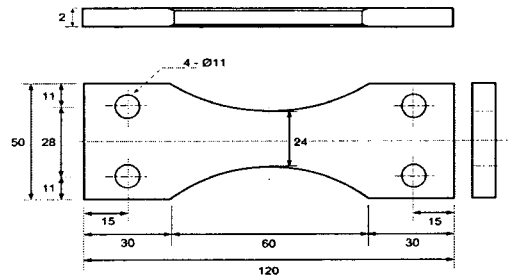


Fig. 2 Bending fatigue test specimen

굽힘 피로시험편은 Fig. 2와 같이 최소 단면부를 24mm로 가공 후 열처리 하였으며, 인장시험편은 ASTM E 8M의 규격에 따라 실험하였다.

본 연구에서 모든 피닝공정은 벨트 컨베이어 쇼트기 (JIBC-600)를 사용하여 장비 성능을 분석하였으며, 사용된 쇼트볼 직경은 0.6mm이고 경도는 약 530Hv이다.

쇼트피닝의 강도측정을 위해 SAE J442에 규정된 알멘스트립 A-type을 사용하여 임펠러 속도와 컨베이어 벨트변화에 따른 노출시간을 변화시켜 쇼트피닝하였다.

최적의 피닝강도 선정에 필요한 인자인 100% 커버리지를 탐색하였다.<sup>9)</sup> 쇼트볼에 의한 알멘스트립의 압흔 밀집도를 광학현미경(XJZ-6A)을 이용하여 40배율 이미지로 커버리지 100%를 관찰하였다.

열처리 시험편과 임펠러 속도 및 노출시간의 변화에 따른 시험편에 대한 경도를 측정하기 위해 마이크로 비커스 경도계(MOK-E3)를 이용하여 압입하중은 100gf, 압입시간은 20초로하여 표면에서부터 깊이방향으로 0.3mm까지 0.02mm 간격으로 측정하였고 그 이후부터는 수렴할 때까지 측정하였다.

또한 시험편의 표면 거칠기를 측정하기 위해 표면조도계(Mitutoyo, SJ-400)를 이용하여 최대 거칠기(Rmax), 중심선 평균거칠기(Ra), 그리고 10점 평균거칠기(Rz)를 측정하였다. 측정구간은 1.2mm이고 탐촉자의 속도는 4mm/s로 하였다.

Drive plate에 작용하는 굽힘응력을 고려하여 굽힘 피로시험기(TOHSI FTS-10)를 사용하였고 최적의 피닝조건 선정을 위해 적용응력 573MPa일 때 각각의 피로수명을 측정하였다. 피로시험후 시험편의 파단면을 관찰하기 위해 주사전자현미경(SEM)으로 표면부위를 촬영하여 이미지를 얻었고 광학현미경 200배율로 쇼트피닝에 위한 표면층을 관찰하였다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 포화선도(saturation curve)로서 장비성능 및 강도평가 기준이 되는 자료이다. 임펠러 속도 33Hz, 38Hz에 대한 노출시간의 변화에 따른 아크하이트를 측정하였다.

노출시간을 70초로 했을 경우 33Hz와 38Hz에서 모두 0.251mmA 이상의 아크하이트를 얻었다. 또한 70초를 경과하면서 서서히 포화가 일어나는 경향이 나타나고 있다.

Fig. 4는 노출시간의 변화에 따라 커버리지를 측정한 이미

지이다. 각각의 임펠러 속도에서 노출시간이 35초 이상에서 100% 커버리지가 관찰되었다.

각각의 임펠러 속도에서 시간을 변화시켜 피로수명의 극대를 갖는 최적의 피닝조건을 실험적으로 탐색하기 위해 동일한 적용응력 573MPa일 때 피로수명을 탐색하였다.

Fig. 5는 시간에 따른 피로수명의 변화를 나타낸 것이다.

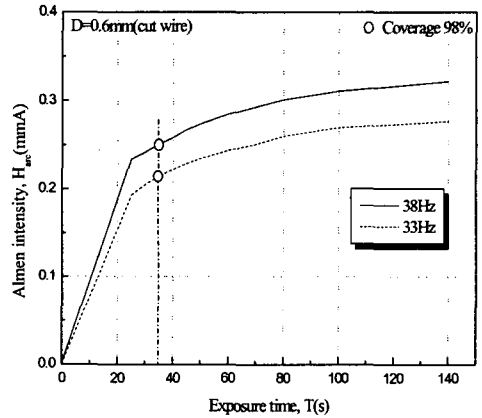


Fig. 3 Saturation curves

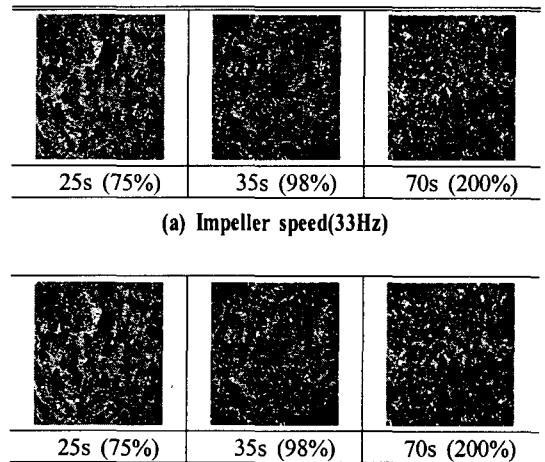


Fig. 4 Comparison of coverage

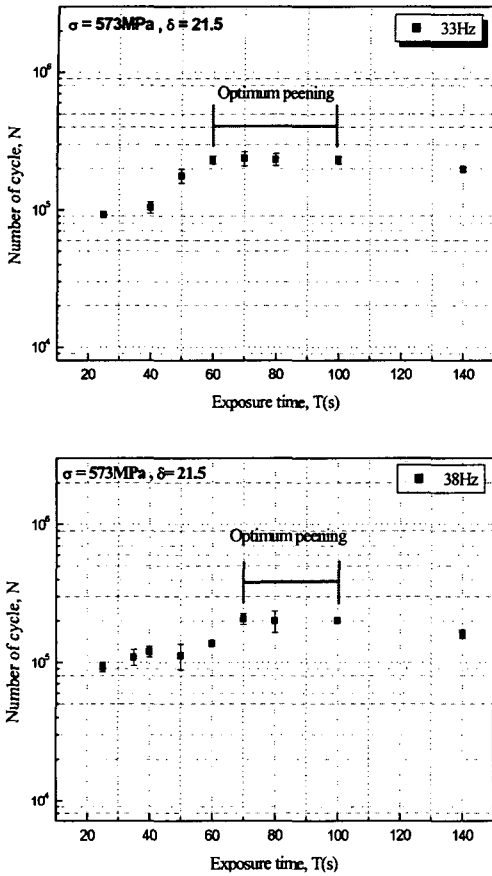


Fig. 5 Effect of exposure time on the fatigue life

결과로부터 노출시간이 증가할수록 피로수명은 점차 증가하다가 60~100초 구간에서 최대수명이 나타났으며, 시간이 경과하면서 점차 감소하였다. 그러나 임펠러 속도를 증가시키면 피로수명이 감소하는 경향이 나타났다. 따라서 임펠러 속도 33Hz에서는 최적 수명을 갖는 60~100초 구간에서 최적 피닝구간이 나타났으며, 임펠러 속도 38Hz로 했을 경우 최적 피닝구간이 70~100초에서 나타났다.

Fig. 6은 경도 분포를 나타내고 있다. 임펠러 속도를 변화시켜 피닝처리한 시험편의 경우 극표면부에서 592Hv 정도의 경도값이 측정되었으며 열처리 시험편 경우 극표면부에서 530Hv 정도의 경도값이 측정되었으며 피닝처리한 시험편이 열처리 시험편보다는 약 11%정도 증가된 결과가 측정되었다. 또한 시험편 모두 대략 0.3mm에서 수렴되어짐을 알 수 있었다.

Table 3은 시험편 표면조도의 변화를 알아보기 위해 표면부를 수치적으로 측정된 결과이다. Fig. 7의 결과에서 알 수

있듯이 피닝처리한 시험편이 열처리만 한 시험편보다 요철이 많이 생겨 표면조도가 거칠어 진 것을 볼 수 있다.

Drive plate가 동력을 전달하는 매개체 역할을 하는데 있어서 표면조도의 영향 또한 상당히 크게 좌우되기 때문에 최적 피닝구간에서 표면조도의 개선효과는 의미가 있다.

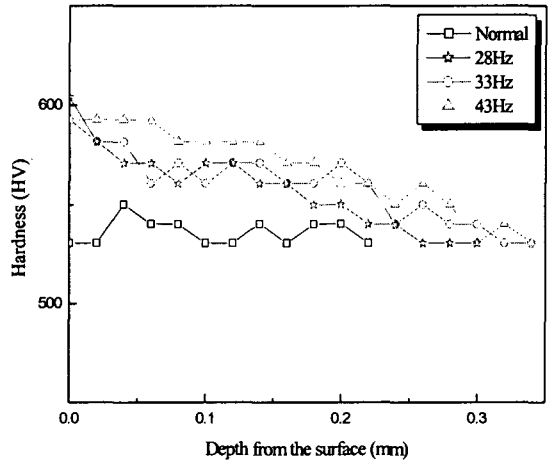
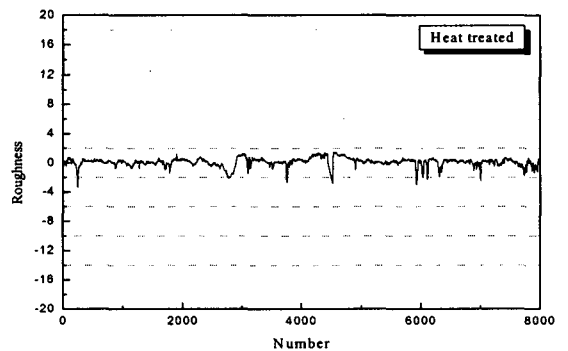


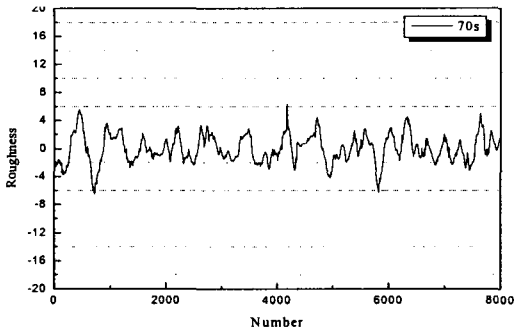
Fig. 6 Hardness distribution of specimens

Table 3 Roughness of specimen

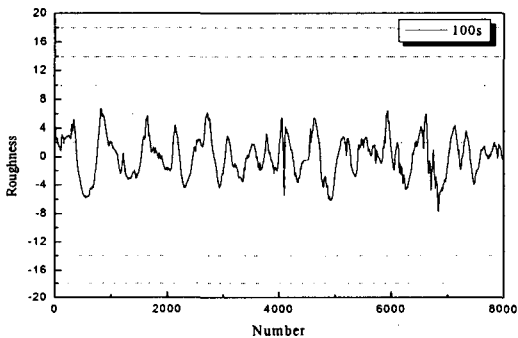
	Heat treated	Exposure time (70s)	Exposure time (140s)
Rmax	6	9.3	8.2
Ra	0.52	1.62	1.51
Rz	7.8	6.1	5.6



(a) Heat treated

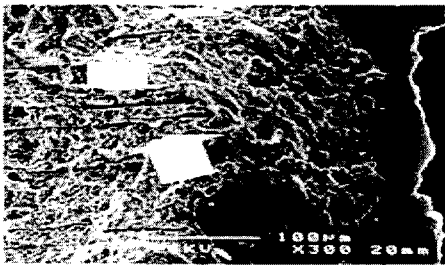


(b) Exposure time (70s)



(c) Exposure time (100s)

Fig. 7 Profile of roughness

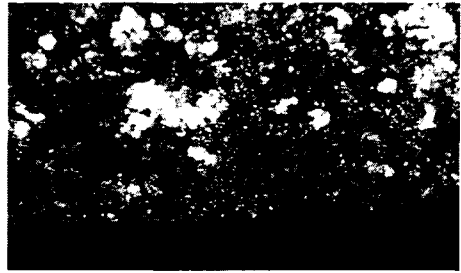


(a) Heat treated



(b) Exposure time (70sec)

Fig. 8 Metallographic observation by SEM



(a) Heat treated



(b) Exposure time (70sec)

Fig. 9 Metallographic observation by microscope

Fig. 8은 피로시험 후 열처리 시험편과 피닝처리한 시험편의 파단면을 주사전자현미경(SEM)으로 관찰한 이미지이다. 크랙이 발생된 최초의 지점은 찾지 못 했지만 열처리 시험편과 피닝처리한 시험편 모두 크랙의 형상을 선명히 관찰되었다.

Fig. 9는 광학현미경 200배율로 관찰한 이미지이다. 열처리 시험편과 피닝처리된 시험편을 관찰한 결과 피닝처리된 시험편 표면부위에서 피닝층이 생성된 것을 볼 수 있었다.

## 5. 결론

본 연구에서는 노출시간에 따른 피로수명의 변화를 통하여 고탄소강(SK-5M)의 최적 피닝조건을 탐색하였고, 피로 시험 및 파단면 이미지를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 적용응력 573MPa에서 노출시간에 따른 피로수명 변화를 나타낸 결과 노출시간이 증가할수록 초기에는 피로 수명이 증가하다가 60~100초 구간에서 최대수명을 나타내었다.

(2) 피닝처리된 시험편들의 경도값은 큰 차이를 보이지 않았지만 열처리 시험편보다는 피닝처리된 시험편이 극표면부에서 약 11%정도 증가하였다.

(3) 주어진 임펠러 속도에서 노출시간을 변화시켜 표면조도를 측정한 결과 노출시간이 증가할수록 표면조도는 개선되었다.

(4) 피로시험 후 파단면을 관찰한 결과 크랙의 형상을 관찰할 수 있었으며 광학현미경으로 피닝처리된 시험편의 표면을 관찰한 결과 피닝층이 형성되었다.

## 6. 참고문헌

(1) M. C. Sharma, "Assesment of Over Peening by time on Fatigue behavior of Spring Steel," Proc. of 6th International Fatigue Congress, pp.1397~1402, 1996.

(2) S. K. Cheong., S. H. Lee and S. C. Chung, "Effect of the Peening Intensity by Shot Peening," Transations of the KSME A, Vol. 25, No. 10, pp. 1590~1596, 2001.

(3) Al-Hassani, S.T.S., "Mechanical Aspects of Residual Stress Development in Shot Peening," Proc. of the 4th International Conference on Shot Peening, Tokyo, pp. 583~602, 1990.

(4) Eckersley, J. S., "Shot Peening Plays a Vital Roll in Rejuvenation of Aging Aircraft", Shot Peening Theory and Application, Institute for Industrial Technology Transfer International, pp.241~255, 1991.

(5) S. K. Cheong, T. H. Kim, "A Study on the Optimum Shot Peening Condition for Al7075-T6," Transations of the KSAS, Vol. 31, No. 7, pp. 63~68, 2003.

(6) J. G. Lee, J. K. Kim, "Influence of Residual Stress due to Shot Peening on Fatigue Strength and Life", Transations of the KSME, Vol. 21, No. 9, pp. 1498~1506, 1997.