

## 파쇄기용 코일스프링의 파손에 관한 연구 A study on the Fracture of Coil Spring

정형식\*, 안세원\*\*, 이종형\*\*\*, 최성대\*\*\*  
Hyung-Sik Jeong\*, Se-Won An\*\*, Jong-Hyung Lee\*\*\*, Seong-Dae Choi\*\*\*

### <Abstract>

The study is diagnosis about fatigue failure phenomenon of heating coil spring (sup9) and heat treatment method that is used to crusher. Because more than 80~90% of damage announcement of breakdown of machine and construction is been caused in fatigue present state, fatigue failure became important leading person at design. Calculated design load is imposed repeatedly that fatigue breakdown is safe. Is phenomenon that change load is imposed in the construction continuously. Used coil spring applies heat 30minute by Quenching temperature 86 0°C if see manufacturing process and temperature of gasoline of 50°C keep after quench that know tempering a 460°C 90minute a product be. If doto apply heat 950°C material at rolling process historically before quenching, austenite formation clay pipe being done AGS(Austenite Grain Size) by 2.5~4 become. Apply heat quenching 30minute by 820°C by improvement method and after quench that keep 50°C in oil tempering if do 450°C, 90minute spring ideal formation sorbite formation of the river form and condition that satisfy most more than AGS 7 appeared. Also, we can secure authoritativeness through MT since shot peening processing.

**Key Words : Quenching, Tempering, AGS, MT**

### 1. 서 론

산업기계의 거대화 및 대량화에 따라 각종 산업기계, 기계부품, 자동차, 선박, 항공기, 교량 등 대부분이 반복하중을 받고 있고, 기계적 성질이 우수하고 합금에 따라 강인한 재질로

서 완충류, 비틀림류 등 강인성, 내열성, 내식성을 필요로 하는 기계부품에 스프링강이 많이 사용되고 있다.<sup>(1)</sup>

기계나 구조물 파괴의 파손사고 중 80~90% 이상이 직·간접적으로 피로현상에 기인되고 있다. 이러한 사정으로 인하여 피로현상이 중요시되고 있다. 피로현상은 안전하다고 계산된

\* 정회원 현대아이앤아이스틸(주) 포항공장  
\*\* 정회원 금오공과대학교 생산기계 대학원  
\*\*\* 정회원 금오공과대학교 기계공학부 교수

\* Manager, HyunDai INI STEEL Company, Pohang Plant  
\*\* Student, Grad. School of production & Mechanical Engineering, KIT  
\*\*\* Professor, School of Mechanical Engineering, KIT

저하중의 설계 하중하에 반복적으로 가해지거나, 임의의 변동 하중이 계속적으로 구조물에 가해지는 현상이다. 일반적으로 피로파괴는 아주 미세한 결함(Crack)에서 반복적(Repetitive) 하중을 받게 되면 균열이 발생(Initiation) 하게 되고 시간이 지남에 따라 균열은 성장(Crack propagation)하여 결국은 파괴(Final fracture)에 이르게 된다고 알려져 있다. 파면관찰은 파괴진행 중의 관찰이 아니고 파괴 후에 남겨진 흔적으로 관찰하는 것으로 파괴사고에 있어서 귀중한 증거를 제공한다.

본 연구는 파쇄기(Jaw Crusher)에 사용하는 코일스프링(소재;SUP9)이 996시간( $3 \times 10^5$ )에 서 피로파괴현상이 발생한 것에 대하여 제조공정을 조사하고 파손의 원인 중 하나인 열처리조건에 따른 기계적 성질 변화 및 경도, 결정입도(AGS)를 검토하여 수명예측을 하고, 이상적인 열처리법과 공정관리에 관하여 연구 분석하여 신뢰성 있는 스프링 제조공정 정립 및 사용 중 재발방지 하는데 그 연구 목적이 있다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 스프링의 개요

스프링은 기계 구조물이나 자동차 현가장치에서 외부에서의 하중이나 충격으로 전달되는 에너지를 자신의 변형을 통해 일시 저장했다가 다시 복원시켜 주는 요소로써 사용된다. 스프링을 기능면으로 구분해 보면, 힘을 제거하면 스스로 본래 상태로 돌아가는 기능, 진동을 흡수 또는 이용하는 기능, 충격을 완화하는 기능, 에너지를 저장 및 방출하는 기능, 힘을 계측하는 기능 등으로 구분할 수 있다. 사용 재료로는 금속, 고무, 플라스틱, 공기 등의 재료를 이용하여 보다 유용한 형태의 에너지 흡수, 에너지의 저축 및 복원, 진동 및 충격의 완화 등의 목적으로 필요한 형상으로 제작된 기초적인 기계요소라고 정의할 수 있다.<sup>(2)</sup> 이 중에서도 코일스프링은 그 종류가 매우 다양하고 가장 광범위하게 사용되고 있는데, 이중 코일스프링은 제작이 용이 하고, 그 효율성에 비해 가격이 저렴할 뿐만 아니라 취급이 용이하기 때문이다.

에너지의 축적이라는 관점에서 보면 판 스프링은 굽힘 탄성 에너지를 가장 크게 축적하는데 비해 코일 스프링은 주로 비틀림 탄성 에너지를 받는다. 산업용의 코일 스프링은 경량화와 좁은 공간에서 설치하려는 경향으로 인해 스프링의 소선경은 작아지고, 권수는 적어지며, 스프링의 하중이 커짐에 따라 복잡한 하중상태에서 높은 응력 상태로 설계하려는 경향이 두드러지고 있다.<sup>(4)</sup>

### 2.2 스프링 분류

코일 스프링의 종류는 크게 압축 하중을 받고 있는 압축 코일 스프링, 인장 하중을 받고 있는 인장 코일 스프링, 비틀림 하중을 받고 있는 비틀림 코일 스프링으로 구분되며, 다시 압축 코일스프링은 형상에 따라 원통형(Cylindrical Coil Spring), 원추형(Conical Coil Spring), 장고형(Hourglass shaped Coil Spring), 장독형(Barrel shaped Coil Spring) 등으로 구분하며,<sup>(3)</sup> Fig.1에 나타내었다.

또 제조방법에 따라 열간 성형 스프링, 냉간 성형 코일 스프링으로 분류된다. 주로 열간 성형은 선의 지름이 선경 10mm 를 초과하는 스프링이고, 냉간 성형은 10mm 이하의 스프링에 적용 되고 있다. 첫째 열간성형용 스프링강(Weaving Spring steel)으로 내식용과 내열용은 특수한 용도를 제외하고는 열간성형용을 일반적으로 스프링 강(Spring steel)이라 부른다.

고합금 스프링강(高合金 Spring steel)은 마르텐사이트계 스텐레스강과 석출경화형 스텐레스강이 쓰여지고 있고, 내열스프링강(內熱 Spring steel) 스프링의 내열성, 강도, 인성이 특히 높도록 한 오일템퍼션이 있다. 둘째 냉간 성형용 스프링강(Cold Heading Spring Steel)은 피아노선(Piano Wire)에는 순도가 높은 원료를 전기로로 용해한 피아노선 로드를 소재로 파텐팅이라고 하는 열처리 과정을 거친 고급재료로서 자동차, 전자기기, 정밀기계, 기타 고급 스프링용등에 사용되고 있다.<sup>(5)</sup> 경강선(Hard Drawn Steel Wire)는 피아노선에 비하여 약간의 불순물을 함유하고 있으며, 오일템퍼링 강선(Oil Tempered Steel Wire)은 최종 선경으로 신선된 담금질, 뜨임 처리를 하여 특히 내열성 및 인성을 높인 상급의 강선이다.

스테인레스강(Stainless Steel) 마르텐사이트계, 페라이트계, 오오스테나이트, 석출경화계 등으로 생산되며, 강인성과 내식성이 우수하다. 마지막으로 비철금속(Spring用 非鐵金屬) 스프링재료로 인칭동(Cu-Sn계) 예로부터 가장 많이 사용 되었었고 니켈실버(Cu-Ni-Zn)라고 불리는 양백, 베리늄 동합금, 동티타늄 합금 등이 사용되었다.

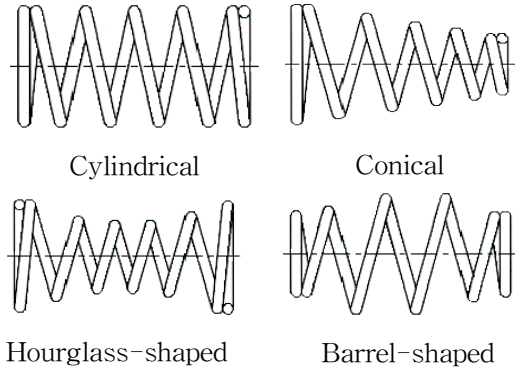


Fig. 1 Coil Spring models

2.3 코일 스프링의 제조과정

산업기계용 코일 스프링재료로 사용되고 있는 소재는 크게 두 종류로 다음과 같이 분류할 수 있다. 첫째 patenting 처리 후 성형하는 cold-drawn carbon steel과 성형 후 Q/T처리하는 carbon and low-alloy steel이다. 후자의 경우 pre-hardende and tempered wire에 속하며 안정된 제조과정으로 인해 전자의 경우 보다 낮은 relaxation을 나타내기 때문에 선호하는 경향이 있다. 개괄적인 공정은 Fig. 2 에 나타내었고 공정은 다음과 같다.

1. 재료투입 : 스프링 작업시 필요한 재료를 기계에 투입 시킨다.
2. 권선가공 : 평균경, 권수, 자유장, 밴딩가공 등을 기계에서 스프링의 사양에 맞추어 행한다.
3. 열 처 리 : 스프링의 재료에 따라 저온 풀림을 행한다.
4. 바렐연마 : 제품 특성에 따라 표면에 광택 과 절단부위의 면처리를 행한다.
5. 열 처 리 : 콤페아 및 박스형 전기로에서 저온 풀림을 행한다.
6. 연 삭 : 원형 연마판을 이용하여 스프링의

- 양면을 연삭한다.
7. 숏피닝 : 내구성을 요하는 스프링에 대하여 숏피닝을 행한다.
8. 탄성치 셋팅 : 유효저온에서 2차 열처리를 행하다.
9. 표면처리 : 제품의 특성에 따라 전기아연, 니켈도금 또는 방청도장을 행한다.
10. 검 사 : 기계적 특성 및 성질에 부합한가 검사한다.

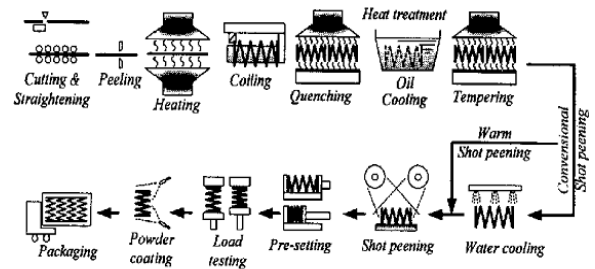


Fig. 2 Manufacture process of suspension coil spring

2.4 열처리(Heat Treatment)의 종류

(1) 담금질 (Quenching)

페라이트에 탄소가 억지로 고용당한 조직을 마텐자이트(Martensite)라 한다. 이 조직을 얻기 위한 목적으로 강을 오스테나이트 상태의 고온, 즉 A<sub>3</sub> (아공석강의 경우) 또는 A<sub>1</sub>(공석강과 과공석강의 경우)변태점 이상 830~850℃의 고온으로부터 물과 기름 중에서 급랭하는 것에 의해 금속을 경화시키기 위한 조작을 담금질(Quenching, Hardening)이 라고 한다.<sup>(6)</sup>

(2) 뜨임 (Tempering)

담금질한 강은 경도는 크나 그 반면에 여림이 있다. 그러나 경도가 다소 떨어져도 인성이 필요한 기계부품에는 담금질한 강을 다시 가열하여 인성을 증가시킨다. 이와 같이 담금질한 강을 적당한 온도로 A<sub>1</sub> 변태점 이하에서 재 가열하여 인성을 증가시키는 열적 조작을 뜨임처리라 한다. 뜨임을 하면 담금질할 때 생긴 내부응력이 감소 또는 제거되고 불안정한 조직이 온도에 따라 비교적 균일하게 안정된 조직으로 변한다.

2.5 입도와 기계적 성질

특수강을 포함한 철강재료와 Al합금, Cu합금 등과 같은 비철재료는 생명체의 세포와 유사한 결정 또는 결정립(grain)이라 하는 것이 존재한다. 이 결정립이 무생물이면서도 세포와 같이 고유의 특성을 가지고 온도와 시간에 따라 변태하고 성장한다는 것이다. 이러한 결정의 집합체를 조직(microstructure)라 부르며 열처리의 근원이 여기에서 시작한다.

특수강은 강도와 인성을 중요시하는 강종이다. 특히 동력을 전달하는 부품, 큰 힘을 받는 부품 및 내피로, 내충격, 내열성이 요구되는 부품의 경우는 더욱 더 그 중요성이 강조된다. 주요 미세조직을 보면 다음과 같고 기계적 성질과 연관성을 나타내었다. Fig.3는 전형적인 조직사진의 일예이다.

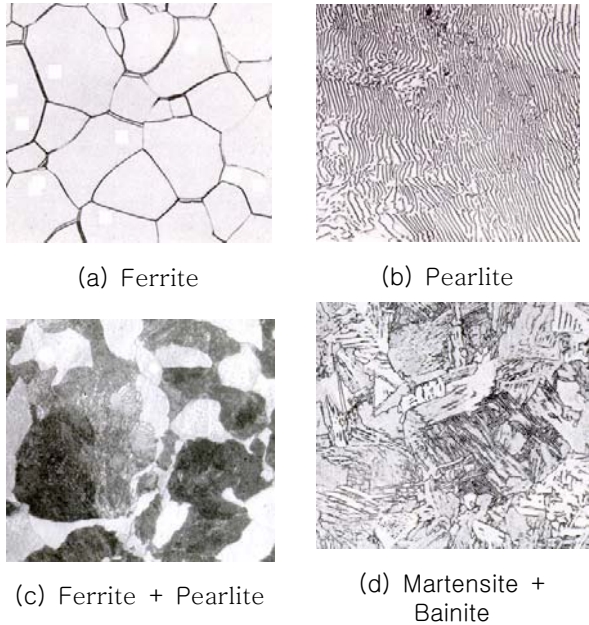


Fig. 3 A photograph of surface (X100)

Fig. 3 (a) 페라이트는 대부분 극 저탄소로 (0.001% C 이하) 매우 연한 특징을 가지고 있다. (b) 펄라이트는 경한 세멘타이트( $Fe_3C$ )를 포함하고 있어 페라이트보다 강하다. (c) 아공석강은 페라이트와 펄라이트의 공존 조직 (0.001 - 0.8% C)으로 탄소량의 증가하는 것에 펄라이트 량도 증가되어 탄소량이 증가함에 따라 강도는 높아지고 반대로 연성과 충격치는 낮아진다. (d) 페라이트와 베이나이트의 공존 조직은 탄소량이 같은 베이나이트는 펄라이트보다 강도가 높다. 이러한 경우도 탄소량

이 증가하면 베이나이트량의 증가하고 탄소량이 많아지면 강도도 높아지고 반대로 연신율과 충격치는 낮아진다.<sup>(7)</sup>

## 2.6 쇼트피닝 가공

스프링 강종은 높은 인성과 경도의 증가가 가져왔지만, 반면에 경도의 증가에 따른 노치 민감성을 동반하게 되었다. 이러한 노치 민감성에 대한 저감의 목적으로 쇼트피닝 가공이 사용 되었다. 스프링강의 쇼트피닝가공(shot peening)에 있어서 템퍼링(tempering)온도 이하에서의 가공하는 온간쇼트피닝가공법(warm shot peening)이 사용한다.<sup>(9,10)</sup>

쇼트피닝 가공은 금속의 작은 쇼트볼을 고속으로 투사하여 제품의 표면을 타격하고 튀어나간다. 쇼트피닝 가공을 하면 재료의 표면경도는 증가하고, 표면 근처에 생성된 압축잔류응력은 피로수명의 증가에 상당한 영향을 미친다고 연구보고 되고 있다.<sup>(9)</sup>

쇼트피닝 가공의 효과는 지극히 표면에만 잔류하는 압축응력에 의한 것이므로, 탄성한계의 증가나 인성의 증가는 없다. 또한 저 사이클 영역보다는  $10^5$  사이클 이상의 반복되는 하중을 받는 부분에서 피로수명 연장에 효과적이다. 또한 응력이 집중되는 라운드 부분, 홈 부분, 노치, 급격한 단면 변화부, 작은 구멍부분, 나사부분, 키 홈 부분, 베어링 자리 등에 쇼트피닝 가공을 하면 응력집중을 완화시키는 효과가 있다. 금속 제품에서 쇼트피닝 가공에 의한 피로수명증가 원인은 첫째로 표면에 균일한 슬립밴드를 형성하여 응력 집중을 감소시키는 작용을 한다. Fig. 4(a)과 같이 쇼트피닝 가공하지 않은 제품의 표면에 대한 조직을 나타내는 재료인 경우에 고유의 슬립밴드가 상

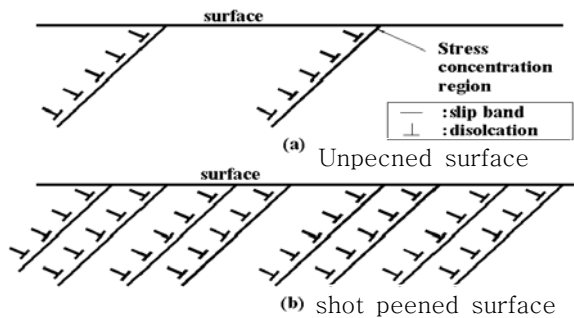


Fig. 4 Surfaces of shot peening

대적으로 적은 곳에서 응력집중에 의한 절손 기점으로 작용하게 된다. 하지만 쇼트피닝 가공을 하게 되면 Fig. 4(b)과 같이 가공 후에 재료의 전표면부가 균일하게 소성 변형이 되어 슬립밴드가 골고루 형성되어 제품에 반복적인 외력이 작용할 때 표면의 응력 집중을 분산시키는 작용을 하게 되어 피로수명을 향상시키는 요인으로 작용하게 된다.<sup>(10)</sup> 둘째로 쇼트피닝 가공을 함으로써 스프링 표면에 발생하는 소성변형에 의해 압축잔류응력이 발생된다. 일반적으로 균열의 발생은 인장응력에 기인하기 때문에 표면부의 발생된 압축잔류응력은 제품에 반복적인 하중 부하시에 표면부의 인장력을 상쇄시켜 균열의 발생을 지연시켜 피로수명의 향상을 가져온다.

## 2.7 SINGLE TOGGLE JAW CRUSHER 구조 및 개요

본 파쇄기는 반자동(SA;Semi Auto) Type Sing Toggle Jaw Crusher로써 Swing Jaw 상부의 편심축의 회전과 1개의 Toggle Plate의 운동에 의해, Swing Jaw의 Swing 운동에 의해 주 왕복 운동을 한다. 투입구로부터 공급된 파쇄물은 Swing Jaw에 취부된 동치판과 Frame에 고정된 수치판 사이에서 파쇄된 후 낙하 배출된다. Fig. 5는 파쇄기 단면 모형도이다.

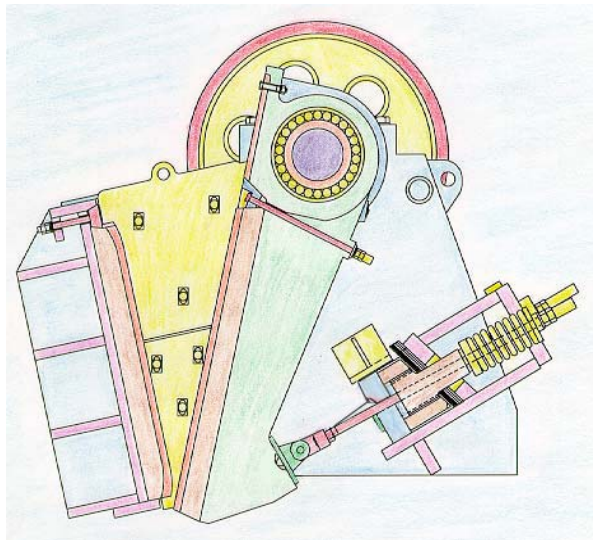


Fig. 5 Structure of JAW CRUSHER

본 파쇄기의 특징은 파쇄각도가 작고 파쇄실

높이가 높게 설계되어 파쇄비가 크고, 동시에 파쇄능력이 증대된다. 본 Crusher 부품중 동치판의 복구를 도와주는 텐션용 압축코일스프링의 파손에 관하여 연구하였다.

## 3. 파면현상 및 분석 방법

### 3. 1 시험편

Fig. 6은 파쇄기에 사용하는 코일스프링의 파손에 대하여 시료를 구하여 원인 분석 및 제조공정의 개선점에 대하여 연구하였다. 본 연구에서 사용한 시험편은 열간 성형된 원통형의 코일 스프링으로, 재료는 SUP9종이며, 유효 권수 n 은 9, 코일의 지름 D 는 135mm, 소선경(d)는 25mm이고, 화학적 성분은 Table 1와 같다.

시험편은 평균응력이 55.2kg/mm<sup>2</sup> 이고, 응력 진폭이 13.5kg/mm<sup>2</sup>의 조건에서 사용된 열간성형한 코일 스프링이다.



Fig. 6 A photograph of coil spring

Table 1 Chemical composition of spring steel

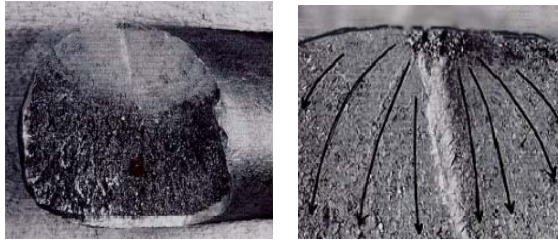
	C	Si	Mn	P	S	Cr
규정치	0.50~ 0.60	0.15~ 0.35	0.65~ 0.95	0.035 이하	0.035 이하	0.65~ 0.95
실측치	0.57	0.20	0.82	0.019	0.029	0.77

### 3. 2 파면조사

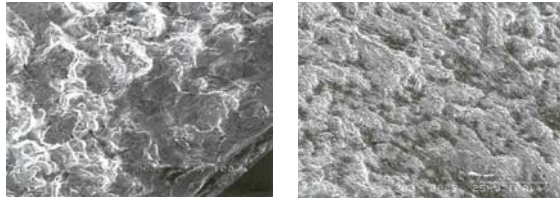
시험편은 원통형 코일 스프링의 피로시험 중 파괴된 시험편으로 전체적인 코일 스프링에서 파괴된 면을 기준으로 잘라낸 시험편이다. Fig. 6에 파단된 스프링이다. Fig. 7의 (a) 파단된 단면이고 (b)는 20배 확대한 사진으로 시작부분에서 미소 균열이 보인다. 또한 SEM의 사



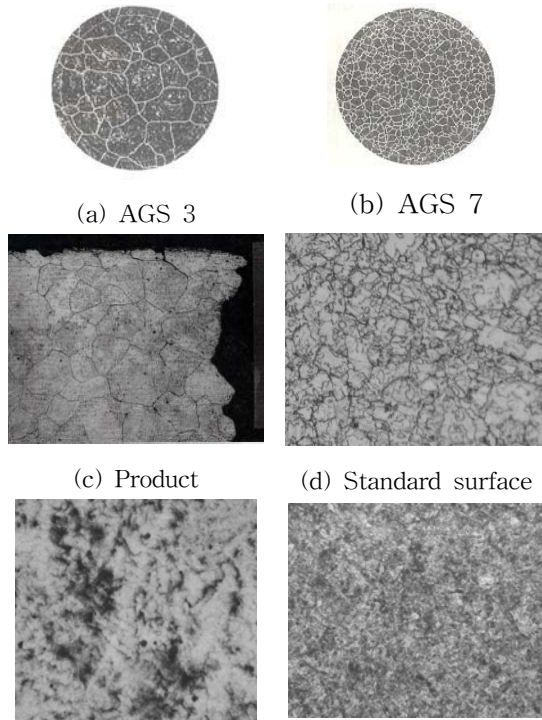
진으로 Fig. 8에서 (a)는 파단시작부분에서 입계파면이 나왔고, (b)는 내부의 연성파면으로 나타났다. 재료의 피로파면을 관찰하기 위해서 주사형전자현미경(Scanning Electron Microscope)과 광학입체현미경(Stereoscopic Microscope) 및 마이크로 비커스 경도계를 사용하였다.



(a) a photograph of surface (b) photograph of surface (X20)  
Fig. 7 A photograph of surface



Surface (X300) Inside(X300)  
Fig. 8 A photograph of surface



(a) AGS 3 (b) AGS 7  
(c) Product (d) Standard surface  
(e) Martensite (f) Sorbite  
Fig. 9 A photograph of AGS

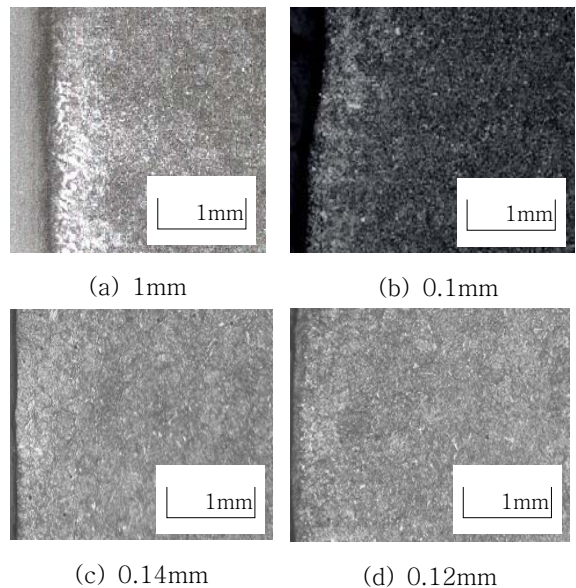
### 3.3 입도결정(Grain Size)

조직관찰은 광학입체현미경으로 하였으며 부식액으로 2% nital로서 30초간 부식 하였고 기준입도와 시편의 입도 및 조직사진을 Fig. 9에 나타내었다.<sup>(11,12)</sup>

Fig. 9에서 KS의 규격을 기초로 하여 비교한 것으로 (a)는 AGS 3 일때 (b)는 AGS 7 일때의 입도 조직을 나타내었다. (c)는 사고품에서의 입도로 (a)와 입도크기가 비슷하다. (d)는 개선 후 열처리의 이상적인 입도크기로 (b)와 매우 유사하다. 또한 (e)는 조대한 마텐자이트 조직이 되어 있고, (f)는 이상적인 소르바이트 조직으로 되어있다.

### 3.4 표면탈탄

후피 상태로 사용되는 열간성형 스프링강은 표면상태와 탈탄이 기계적 성질, 특히 피로강도에 미치는 영향이 매우 크다. 표면이 거칠어지고 탈탄층이 증가할수록 피로 한도는 급격히 떨어진다. 스프링강의 압연재는 보통 탈탄 깊이가 1mm 이하로 규정되고 있다. 또한 보관 중에 녹이 생기거나, 표면에 흠이 발생하면 피로강도가 현저히 떨어진다.<sup>(8)</sup>



(a) 1mm (b) 0.1mm  
(c) 0.14mm (d) 0.12mm  
Fig. 10 A photograph of Decarburization depth

스프링강의 탈탄 깊이는 가열 온도의 상승

에 따라서 급격히 탈탄층이 증가하므로 스프링의 열간성형을 위한 450℃로 낮은 온도로 유지한 시료의 탈탄 깊이는 0.5mm 이내로 Fig. 10 에 나타내었다.

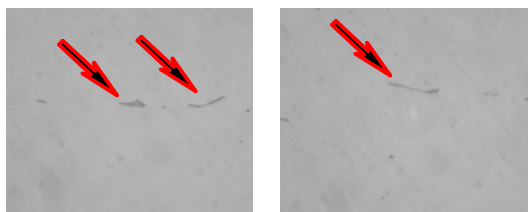
### 3.5 비금속 개재물

개재물은 제강시의 잘못으로 인하여 강 내부에 대형 비금속 개재물이 포함되는 현상으로 인한 것이다. 이러한 개재물은 제강처에서 탈산제로 사용하는 원소가 산화되어 슬래그 성분이 혼입되어 나타나는 것이라고 한다. 제조 과정에서 산소는 금속표면에 흡착되어 이로부터 오스테나이트 결정입계와 2차 결정입계(subgrain boundary)를 따라 확산되면서 표면속으로 침투 한다.

심한 경우에는 표면으로부터 상당히 깊게(60 μ 정도) 또는 비금속개재물과 관련 되어 존재하는 경우도 있지만 일반적인 광학 현미경으로 내부 산화물의 깊이는 25μ부터 검출 한다.

산소의 확산은 주로 오스테나이트 결정입계를 따라서 일어나기 때문에 산화물은 연속 또는 반연속적인 상으로 관찰 될 수 있으나 산화의 정도가 심한 경우나 강의 조성이 산화성이 큰 경우는 산화 석출물이 결정입 내부에서도 발견될 수 있다

KS의 규격에 의하면 미소면적 60 × 400(μm)에서 0.15%이하로 규정되어 있다. Fig. 11은 비금속 개재물의 0.08%로 불순물이 규격 이하로 나타나고 있다. 개재물이 규정치 이하이므로 피로파괴의 직접적인 원인이 없음을 알 수 있다.



Product Standard

Fig. 11 Non Metallic inclusions

### 3.7 열처리 조건

Table 2는 사고 스프링강의 경도 측정된 것

이다. 또한 Table 3는 열처리 조건은 담금질로 810℃에서 30분간 가열하고 오일에 온도 50℃로 급냉을 시킨후 뜨임의 온도를 450, 500℃ 두 종류로 하여 담금질의 온도를 10℃증가하면서 데이터를 얻었다.

오오스테나이트화(담금질) 온도가 높을수록 AGS (Austenite Grain Size)가 커진다. 굉장히 민감하게 반응하고, 입계에 탄화물이 없는 것으로 보아 현재보다 Γ화 온도를 낮추는 것이 바람직하다.

Table 2 Result of hardness test of spring steel

Temperature (℃)		Hardness (H <sub>B</sub> )					
Quenching 30 min	Tempering 90 min	Surface	R/2	R	R3/2	2R	Average
860 ℃	460 ℃	327	389	420	390	327	370

Table 3 Hardness properties of heat treatment of spring steel

Temperature (℃)		Hardness (H <sub>B</sub> )					
Quenching 30 min	Tempering 90 min	Surface	R/2	R	R3/2	2R	Average
840	500	360	377	382	374	358	370
	450	364	380	410	378	361	378
830	500	382	390	418	387	378	391
	450	385	389	424	387	379	392
820	500	394	418	420	414	392	407
	450	414	430	423	432	421	424
810	500	475	478	472	482	480	477
	450	478	480	484	483	484	481

### 4. 표면관찰결과 및 고찰

스프링의 피로특성에 미치는 주요 인자는 다음과 같다. 첫째 표면상태(표면흠, 표면조도, 표면탈탄 및 표면경도), 청정도(비금속 개재물), 미세조직 (Grain size) 의 3가지로 분류할 수 있다.

파괴의 원인을 살펴 보기 위해 균열이 시작된 부분의 입체 광학현미경으로 사진을 찍어서 파괴의 원인을 살펴보았다. Fig. 7 (a)는 파단면과 (b)에서 금속현미경으로 20배 확대한 사

진으로 균열진전 방향을 표기하였다.

Fig. 7 (a)에서 가장 윗부분에서 쇼트피닝공정에서 발생한 미소균열부분에서 파괴가 시작하여 아래쪽으로 전파 되고 있음을 알 수 있다. 명확한 beach mark의 구별이 난해함을 알 수 있는데, beach mark 는 응력 레벨이나 응력 주파수의 차이로 인해 생긴다는 사실에서 유추해 보면, 가해진 하중 환경이 균일하였음을 알 수 있다. 일반적으로 Radial marking은 비교적 뚜렷하게 나타나 있는데, 이 선들을 따라가 보면 균열이 시작된 부분을 찾아 낼 수 있게 된다. Fast fracture 면은 상대적으로 작는데, 이는 응력 집중이 상대적으로 균열이 발생한 곳에서 많이 되었고, 작용한 응력의 레벨이 상대적으로 큰 Low cycle fatigue 임을 알 수 있다.

Fig. 7에서 비교적 고운 파단면과 거친 파단면을 살펴 볼 수 있는데, shear lib 부분도 가장 바깥 면에서 발견 할 수 있었다. 이는 소성 변형이 일어난 구간으로 앞에서 유추된 결론을 뒷받침 해주는 증거라고 할 수 있을 것이다. 또한 Fig. 8 (a)에서 300배인 SEM사진에서 파면을 관찰해보면 균열 초기에는 입계파면 현상이 나타나며 에 의해서 발생하였고 (b)는 내부파면은 연성파면이 나왔다.

파단면 이외 검사를 하기 위해서 압연방향의 LT 방향으로 시료 채취를 AGS, 비금속 개재물, 경도 측정검사를 하였다. 부식액으로 2% nitel용액으로 30초 부식하여 조직을 관찰한 결과 Fig. 9 (c)에서와 같이 AGS 2.5 ~ 4로 오스테나이트화가 조대조직으로 나타났다. 이때의 열처리 방법은 담금질의 온도를 860℃로 30분 50℃의 Oil에서 급냉과 510℃에서 90분 뜨임이 되어 있었다. 반면 Fig.9 (d) 는 실험에서 820℃의 담금질과 450℃의 뜨임한것으로 조직이 조밀한 소르바이트조직으로 나타났다. 이때 AGS 7로 나타났다. 또한 뜨임온도는 인성을 증가시키기 위해서 460 ~ 510℃가 KS 표준이나 경도가 스프링강의 요구 경도보다 표면에서 미달하는 현상이 나타났다. 뜨임온도 또한 450℃일때가 원하는 소르바이트 조직과 입도로 이상적이라 생각된다.

열처리 온도가 낮아지면서 Fig 10 (a)의 사고 품이 1mm 인것이 0.12mm로 이 표면탈탄의 깊이가 점차 낮아지고 있을 알 수 있다. 담금

질, 뜨임의 온도가 탈탄에 현상에 미치는 영향이 크다는 것을 알게 되었다.

비금속 개재물(불순물)은 KS 규격에 미소면적(60×400 μm)에서 0.15% 미만으로 규정하고 있으며, Fig. 11에서 개재물의 존재는 0.08%로 매우 작았으며, 이 비금속 개재물로 인하여 응력 집중 현상은 발생하지 않았다.

쇼트 피닝 공정에서 발생한 미소 크랙부분에서 응력 집중으로 인한 미소균열이 발생하여 성장하여 파단에 이른 것으로 파악되어진다. 제품의 균열은 코일링 및 끝면 가공에서 제품을 교정하는 JIG에서 발생이 많아지고 있다. 이러한 미소균열을 파악하기 위해서 표면처리 공정 전에 비파괴 검사인 자분탐상검사(MT)를 추가하는 것을 제안하여 신뢰성 있는 제품이 생산 될 것으로 사료된다.

## 5. 결 론

본 연구에서 파쇄기용 코일 스프링의 최대하중은 3,420kg이고, 최저 하중은 1,635kg, 평균 하중은 2,528kg, 주기는 5.8Hz 조건하에서의 일반적인 스프링의 피로수명은 10<sup>6</sup>이나 996시간(3×10<sup>5</sup>)에 파괴된 코일 스프링의 문제점에 대하여 연구하였다.

1. 담금질의 최고 860℃이나 일반적으로 900 ~ 1050℃의 고온도에서 사상압연을 실시하고 있으며 이 구간을 지나면서 오스트나이트는 급속히 조대화 되어 재결정이 일어나는 문제점이 있다.
2. 담금질 온도는 830 ~ 860℃가 표준이지만, 가열 온도가 높으면 오스테나이트 결정립이 성장해서 연성, 인성을 해치고 표면이 나빠며, 탈탄층이 증가하기 때문에 최고 가열온도는 820℃로 뜨임온도는 450℃일 때 최적의 조건에 만족하였다.
3. 표면결함부의 입도는 AGS 2.5 ~ 4정도로 조대한 것을 담금질, 뜨임온도를 낮추어서 AGS 7 정도의 입도미세화 하게 하였다.
4. 입계에 탄화물이 적고 파괴현상으로 보아 재질상의 문제는 없고 제조공정에서 쇼트피닝에서 생기는 미소균열에 주의를 하여야 한다고 생각된다.



### 후 기

본 연구는 2004년도 금오공과대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구된 논문으로 관계자 여러분께 감사드립니다.

### 참고문헌

- 1) 송지호, "파괴역학의 현황", 대한기계학회지, Vol. 20, No. 6, pp. 448-456, 1980
- 2) 한국 자동차 공학회, 자동차 기술 핸드북 제2권 설계편, 사단법인 한국 자동차 공학회, 1996
- 3) SAE Inc., "Manual on Design and Application of Helical and Spiral Springs", HSJ795, 1992
- 4) J. P. Hastey, J. Baudalet, E. Gerard, C. Jones and C. Viel, "Optimization on MacPherson Suspensions with a Spring", SAE Technical pp. 970100 (1997).
- 5) 이종형, 선진기계재료학, 문운당, PP.1 09-114, 2000
- 6) 김학윤, 김한군, 백승호, 표면열처리, 원창출판사, PP. 91-97, 1991
- 7) 오세욱, 윤한기, 차용훈, 남기우, 재료강도학, 원창출판사, PP. 8-16, 1999
- 8) A. W. Thompson and W. A. Backofen, Acta Metall., Vol.19, PP. 597-606, 1971
- 9) 김기진, 정석주, "현가장치용 코일 스프링의 피로특성에 미치는 온간쇼트피닝 가공의 영향" 대한기계학회논문집 A권 제26권 제6호 PP. 1209-1216, 2002
- 10) Al-obid Y. F., "A Rudimentary Analysis of Improving fatigue Life of Metal by Shot peeting," J. of Applied Mechanics, Vol. 57, PP. 307-312, 1990
- 11) 김정근, 박해웅, 금속재료의 균열과 파괴, 골드출판사, PP. 37-68, 2003
- 12) 김정근, 김기영, 박해웅, 금속 현미경 조직화, 골드출판사, PP. 189-247, 1999

---

(2005년 8월 20일 접수, 2006년 1월 10일 채택)