

# 시험평가법을 이용한 IRB 면진장치 롤러 설계 : Part 2. 소재 열처리

## Roller Design of IRB Seismic Isolation Device Using Test Evaluation : Part II. Heat Treatment of Material

박 영 기\* · 하 성 훈\* · 성 민 상\* · 전 준 철\* · 최 승 복\*

Young-Gee Park, Sung Hoon Ha, Min-Sang Seong, Junchul Jeon and Seung-Bok Choi

(Received December 27, 2012 ; Revised December 27, 2012 ; Accepted February 5, 2013)

**Key Words** : Seismic Isolation Device(면진장치), IRB(isolation roller bearing), Roller(롤러), Heat Treatment(열처리), Material(소재)

### ABSTRACT

This paper presents a subsequent research work on the roller design of IRB(isolation roller bearing) seismic isolation device presented in Part 1 by focusing on heat treatment. The hardness and friction factor are very important factors of material and after-treatment process selection. Normally, roller bearing consists of roller and retainer. The roller gets high pressure constantly, while the retainer gets tensile and compressive stress. Therefore, sensitive material selection and heat treatment of each part is quite important. In this experimental evaluation, carbon steel, chrome special steel and others are employed and their characteristics after heat treatment are identified. Each material is prepared by refining high frequency heat treatment. The friction factor and static load capacity of manufactured material are experimentally identified and destructive test of material is processed. Optimal material and heat treatment conditions for IRB roller bearing are determined based on experiment results.

### 1. 서 론

IRB(isolation roller bearing)과 같이 구름 베어링을 사용하는 제품은 각 부품들의 경도 및 마찰상태를 결정짓는 재료와 후처리 공정의 선택이 중요하다. 일반적으로 구름 베어링은 부하를 직접 받는 궤도를 및 전동체와 전동체를 등간격으로 유지하기 위한 리테이너로 구성되어 있다. 베어링의 전동체는 높은 압력을 반복하여 받으면서 미끄럼 운동을 수반하는 구름 접촉을 하며, 플레이트는 궤도를 및 전동

체와 혹은 어느 한쪽과 미끄럼 접촉을 하면서 인장력과 압축력을 받게 된다. 베어링은 이와 같이 높은 반복 응력을 받으면서 장시간 사용하게 되면 재료 조직에 피로 현상이 일어나며 또한 미끄럼 접촉부에서는 마찰과 마모가 발생하여 결국은 베어링 손상에 이르게 된다<sup>(1)</sup>. 따라서 베어링 재료의 선정은 베어링 각 부품마다의 응력 조건뿐만 아니라 윤활 조건, 사용 온도 및 사용 환경 등을 모두 고려하여야 한다. 롤러 베어링과 같은 구름 베어링에서 전동체는 기계적 강도 및 구름 피로 강도가 크고 경도가 높아야 하며 내마모성이 요구된다. 또한 사용 중 치수

† Corresponding Author ; Member, Mechanical Engineering,  
Inha University  
E-mail : seungbok@inha.ac.kr  
Tel : +82-32-860-7319, Fax : +82-32-868-1716  
\* Member, Mechanical Engineering, Inha University

‡ Recommended by Editor Moon Kyu Kwak  
© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

변화에 따른 성능 저하가 일어나지 않기 위해서는 재료의 치수 안정성이 우수해야 함은 물론이다. 그 외에 생산면에 있어서는 가공성이 좋아야 할 것이다. 베어링 전동체 재료로는 이와 같은 요구를 만족하는 강종으로서 고탄소 크롬 베어링강과 표면 강화강이 주로 쓰이고 있다<sup>(2)</sup>. 또한 베어링의 경량화, 사용 조건의 가혹화에 대비한 특수 열처리도 필요하다<sup>(3)</sup>. 베어링 표면에 인성을 갖는 금속상을 분산시키므로써 이물을 포함하는 윤활조건에서의 균열 전파를 억제할 수 있으며, 미세한 금속 조직을 부여하는 열처리에 의해서는 구름 피로 수명을 더욱 향상시킬 수 있다.

따라서 이 연구에서는 먼진장치용 롤러 베어링의 전동체인 롤러 부품의 재료를 탄소강, 크롬 특수강 등을 도입하고 각 재료를 열처리 공정 후 그의 성능을 확인할 것이다. 열처리 공정은 QT, 고주파, 조질 고주파 및 진공 고주파를 도입하여 재료를 가공할 것이다. 또한 열처리된 재료는 압축시험을 통해 기본 정적 부하용량 및 마찰계수를 도출하고, 최종적으로 열처리된 재료의 성능을 검증하기 위하여 파괴 시험 평가도 수행하여 IRB 먼진장치용 롤러에 적합한 열처리 공정을 선택할 것이다.

## 2. 롤러용 소재 특성 및 열처리 효과

IRB와 같은 먼진장치의 성능을 제대로 발휘하기 위해서는 각 부품들의 후처리 가공 중 열처리 효과에 의한 소재특성 분석 변화도 살펴봐야 한다. 따라서 이 연구에서는 롤러 장치에 적합한 SCM440C, STB2, SKD11 총 3가지의 소재를 도입하고 각 소재 별 열처리 기법에 대해 설명하겠다.

### 2.1 부품 소재의 열처리

이 연구에서 채택한 SCM440C, STB2, SKD11을 이용하여 롤러를 제작하고 소재에 따라 열처리를 수행하였다. 제안된 소재 및 열처리의 품질을 정량적으로 파악하기 위하여 재질별 열처리방법을 달리하여 열처리를 수행한 후, 열처리한 시편을 이용하여 압축, 마찰 파괴시험을 수행하고 그 결과를 토대로 최적의 소재 및 열처리 공정을 선택하였다.

롤러의 열처리 상태를 파악하기 위하여 단면의 금속조직 및 경도를 분석하였다. SCM440C은 고주

파, 조질-고주파, QT(quenching tempering)처리를 수행하였고, STB2는 고주파, 조질-고주파, QT처리를 하였으며, SKD11은 진공열처리를 하여 그 특성을 비교 파악하였다.

#### (1) QT처리<sup>(4)</sup>

환봉의 SCM440C 소재를 롤러 형상으로 선삭을 한 후 가열로에서 930 °C에서 840분을 열처리한 후, 870 °C로 낮춘 후 60분을 재처리한 후, 유냉을 한다. 이후 치수 안정성 및 인성 확보를 위하여 담금질한 소재를 템퍼링(tempering : 180 °C)처리를 하여 공냉시키는 과정을 거쳐 조직연화, 내부응력을 제거시켰다. 이를 통하여 열처리후 표면 경도를 HRC60~63을 유지하였다. 이와 달리 STB2는 가열로에서 850 °C에서 150분~180분가량을 열처리한 후, 치수 안정성 확보를 위하여 유냉과정을 통해 담금질한 소재를 SCM440C 소재와 마찬가지로 가공하여 표면 경도를 HRC60~63을 유지하였다. QT 처리의 단점은 롤러의 단면적 전체에서 유효경화층(Hmv 513)을 나타내어 압축 시험 시 하중에 대하여 변형량이 적다는 점이다.

#### (2) 고주파 열처리<sup>(5,6)</sup>

고주파 열처리는 소재 SCM440C와 STB2를 선정하여 롤러 형상으로 선삭을 한 후 고주파 유도가열하는 방법으로, 빠른 속도로 소재의 표피만을 가열하여 소입하는 표면경화법이다. 냉각에는 분수(挀水)를 사용한다. 고주파 소입후에는 150~200 °C의 저온 템퍼링을 실시하여 인성을 부여하고 내마균열을 방지하였으며 내마모성을 향상시켰다. 고주파 열처리를 통하여 열처리 후 표면 경도를 QT와 마찬가지로 HRC60~63을 유지하였다.

#### (3) 조질 고주파 열처리

조질 고주파 열처리는 고주파 소입전 소재를 조질처리하여 내부경도를 일정하게 향상시킨 후 고주파 열처리하는 방법이다. SCM440C은 가열로에서 870 °C에서 240분을 조질처리, 유냉한 후, 소재를 템퍼링 처리 후 공냉시켜 이후 고주파 열처리를 통하여 표면 경도는 HRC60~63을 유지하였다.

STB2는 가열로에서 850 °C에서 210분을 조질처리, 유냉한 후, 치수 안정성 확보를 위하여 소재를

템퍼링(tempering : 680 °C)처리를 약 240분 정도 가열하여 공냉시키는 과정을 거친다. 이를 통하여 소재의 탄성 및 인성을 향상시키고 내부응력을 제거할 수 있다. 이후 고주파 열처리를 통하여 경도는 HRC60~63을 유지하였다.

(4) 진공 열처리

소재 SKD11을 선정하여 물리형상으로 선삭을 한 후 밀폐된 용기 내에서 어느 압력수준까지 공기를 빼기시킨 상태에서 790 °C에서 120분, 910 °C에서 30분, 1020 °C에서 120분을 열처리한 후 냉각 공정을 거쳐, 치수 안정성 확보를 위하여 담금질한 소재를 템퍼링(tempering : 500 °C)처리를 약 120분 정도 가열하여 공냉시키는 과정을 거쳐 조직연화, 내부응력을 제거시켰다. 이를 통하여 표면경도는 HRC60을 유지하였다.

3. 부품소재 열처리에 따른 성능 해석

3.1 STB2 소재 롤러

(1) 기본 정적 부하용량

이 시험에서는 고정된 형상(직경 40 mm, 길이 60 mm, 크라우닝 반지름 R5,000)의 STB2 소재의 롤러를 이용하여 열처리 방법과 경화층 깊이가 기본 정적 부하용량 C<sub>0</sub>의 크기에 미치는 영향을 분석하였다. 시험에 사용한 롤러 시편의 종류는 Table 1과 같으며, 압축시험 결과는 각각 5회 압축 시험에서 나온 데이터를 바탕으로 C<sub>0</sub>값에 해당하는 변형량에서 하중을 결정하였다. 여기서 HF는 고주파 열처리, CHF는 조질 고주파 열처리를 의미한다.

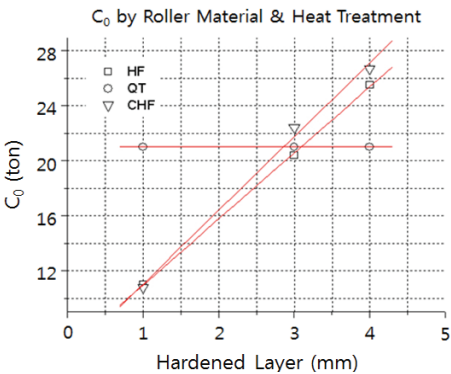


Fig. 1 C<sub>0</sub> by Heat Treatment with STB2

Fig. 1의 결과를 보면, 조질처리 후 고주파 열처리 한 시편이 고주파 열처리만 한 시편보다 다소 우수한 특성을 보여준다. QT 처리한 롤러는 전반적으로 우수한 결과를 보이나 경화층 3 mm 이상과 비교할 경우엔 불리하다.

(2) 마찰계수 시험

이상의 C<sub>0</sub> 하중을 기준으로 하여 마찰시험을 수행하였다. 시편은 기본 정적 부하용량에서 사용한 시편들과 같다.

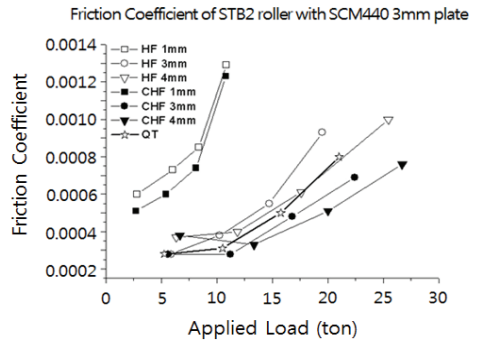


Fig. 2 Friction coefficient with STB2

Table 1 Specimen of STB2

Material	Heat treatment	Hardening depth	C <sub>0</sub>
STB2	HF	1 mm	11.0
		3 mm	20.4
		4 mm	25.5
	QT		21.0
	CHF	1 mm	10.8
		3 mm	22.4
4 mm		26.7	

Table 2 Specimen of SCM440

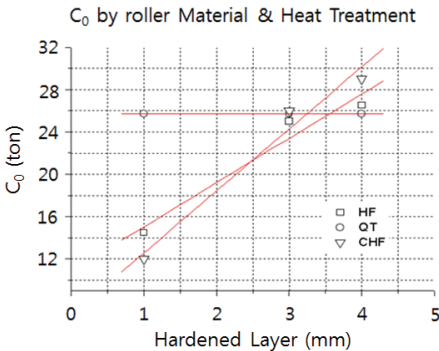
Material	Heat treatment	Hardening depth	C <sub>0</sub>
SCM440	HF	1 mm	14.5
		3 mm	25.0
		4 mm	26.5
	QT		25.5
	CHF	1 mm	12.0
		3 mm	26.0
4 mm		29.0	

마찰시험 평가를 수행한 결과, 하중별 기본 정적 부하용량의 결과를 확인하면 롤러의 가공정도로 인해 그래프의 변동이 발생하고 있으며, 하중이 증가할수록 변동이 줄어드는 것을 관찰할 수 있다. 그러나 표면의 불규칙한 정도가 심할 경우 하중이  $C_0$ 에 가까워져도 여전히 그래프의 변동이 나타난다.  $C_0$ 보다 훨씬 큰 하중에서 사용할 경우 표면의 연구변형이 커져 이런 불규칙한 변동은 거의 없어지나, 하중에 비례하여 마찰계수값은 커진다. 이상의 결과를 최대진폭에서 산출한 마찰계수들의 경향을 Fig. 2에 나타냈다. 경화층의 깊이가 깊을수록, 그리고 조질고주파 처리한 시편이 고주파 처리한 시편보다 다소 낮은 마찰계수값을 보였으며, QT 처리한 시편은 중간 정도의 마찰계수값을 가지는 것으로 나타났다.

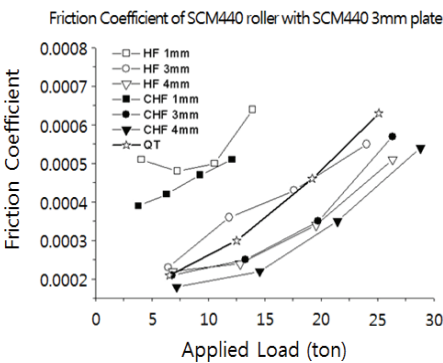
**3.2 SCM440 소재 롤러**

(1) 기본 정적 부하용량

앞 절의 STB2 소재 롤러 시험과 같은 방법으로



**Fig. 3**  $C_0$  by heat treatment with SCM440



**Fig. 4** Friction coefficient with SCM440

열처리 방법을 달리 하여 SCM440 소재의 롤러에서 열처리 방법과 경화층 깊이가  $C_0$ 와 마찰계수에 미치는 영향을 평가하였다. 시험에 사용한 롤러 시편의 종류는 Table 2와 같으며, 압축시험 결과는 각각 5회의 압축시험에서 나온 데이터를 바탕으로  $C_0$ 에 해당하는 변형량에서의 하중을 결정하였다.

Fig. 3에 따르면 SCM440 롤러의 경우와 같이 경화층의 깊이가 증가함에 따라  $C_0$ 가 증가한다. QT 처리한 시편의  $C_0$ 는 고주파나 조질 고주파 열처리에 비하여 대체로 높았으나 3 mm 이상에서는 비슷하거나 더 작은  $C_0$  값을 나타냈다.

(2) 마찰계수 시험

앞에서 구한  $C_0$ 값들을 기준으로 마찰시험을 수행하였다. Fig. 4는 마찰계수 시험결과로, QT 처리한 시편의 마찰계수값은 중간에 위치하며, 경화층 깊이가 비슷한 시편끼리 거의 비슷한 마찰계수값을 보이나, 조질 고주파 처리한 것이 다소 낮은 값들을 보여준다. 그러므로 마찰계수는 해당 하중에 의한 변형량에 비례하며,  $C_0$ 와 반비례하는 관계를 가진다고 할 수 있다.

**3.3 SKD11 소재 롤러**

(1) 기본 정적 부하용량

이 시험에서는 SKD11 소재의 롤러를 시험하여 소재가  $C_0$ 와 마찰계수에 미치는 영향을 평가하고자 한다. 시험 방법은 앞 절과 같으며, 사용된 시편은 Table 3과 같다.

**Table 3** Specimen of SKD11

Material	Geometry	Heat treatment
SKD 11	Diameter : 40 mm Length : 60 mm Crowing : R5,000	HF

**Table 4** Results of  $C_0$  test

Heat treatment	Load(ton)	Deflection( $\mu$ m)
SCM440	25.2	1.5
	26.7	2.0
	28.2	2.0
	29.5	2.0
	30.8	2.5

압축시험 결과는 Table 4와 같으며, 내삽법에 의해 계산한  $C_0$ 값은 약 26 ton으로 도출되었다.

(2) 마찰계수 시험

압축시험에서 구한  $C_0$ 값을 기준으로 하여 마찰시험을 수행하였다. Fig. 5에서 마찰계수값은 0.0003에서 0.0006 사이의 범위에 있으며, 대체로 STB2롤러의 마찰계수값들보다는 낮고 SCM440과는 비슷한 수준이다. 최종적으로 기하학적 형상이 결정된 롤러 중 각 소재 STB2, SCM440, SKD11와 R5,000 크라우닝 롤러에 대하여 열처리 방법과 경화층 깊이를 달리 주어 시험한 결과로는 첫 번째로 기본 정적 부하용량  $C_0$ 는 조질 고주파, QT, 고주파 열처리 순으로 높으며, 같은 열처리에 대하여 경화층 깊이가 깊어질수록  $C_0$ 가 커지나 그 증가정도는 점점 감소하고 마찰계수는 대체로  $C_0$ 와 반비례하는 경향을 가진다. 따라서 SCM440 고주파 4 mm 롤러가 가장 높은  $C_0$ 값과 낮은 마찰계수값을 가져 이 연구에서 IRB 면진장치용 롤러에 사용될 소재 및 열처리는 SCM440 및 조질 고주파 방법으로 결정하였다.

4. 부품소재 열처리별 파괴시험

이 절에서는 소재가 열처리되어 경도가 강화된

재료를 파괴시험을 통하여 이 연구에서 제안한 열처리 방법을 검증하도록 하겠다. 직경 40 mm 길이 60 mm의 SCM440 롤러에 대하여 압축 파괴시험을 수행하였다. 열처리는 QT, 조질 고주파 4 mm, 고주파

Table 5 Results of destruction test

Material and heat treatment		Load	Note
SCM440	CHF 4 mm	90~95 ton	Crack
	HF 4 mm	80~85 ton	Crack
	QT	93 ton	Destruction

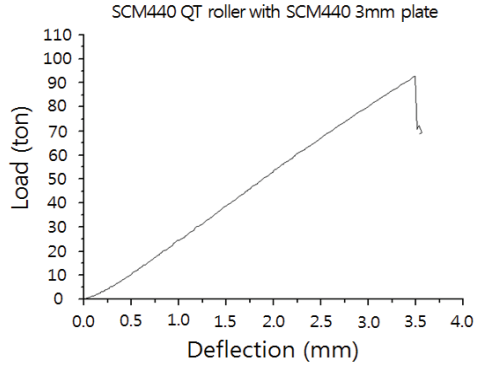


Fig. 6 QT roller

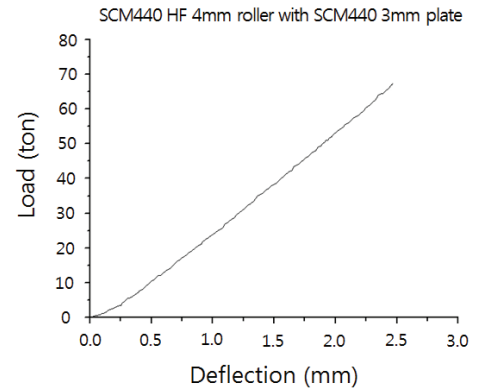


Fig. 7 HF roller

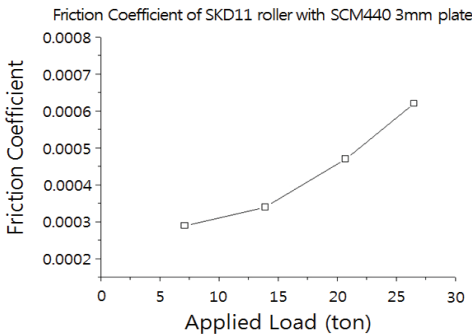


Fig. 5 Friction coefficient with SKD11

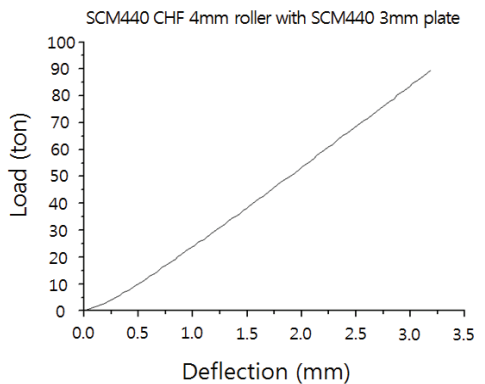


Fig. 8 CHF roller

4 mm의 세 가지로 하였다. 파괴시험 방식은 시편에 하중을 인가했을 때 하중이 임계값에 이르면 크랙이 시편 표면에서 발생하지만 시험기의 그래프상에서 감지되지 않아 5 ton 단위로 하중을 증가시키며, 표면을 육안 관찰하며 시험하였다.

Figs. 6~8은 하중에 대한 변형량 결과 그래프이다. 결과로 나타난 주요 특징을 Table 5에 도시하였다. 이에 따르면 전경화 열처리인 QT 롤러는 크랙이 발생한 순간 전체적으로 진전하여 파괴되었다. 조질 고주파와 고주파 열처리된 롤러는 내부 경도가 QT 처리한 것보다 상대적으로 낮아 표면에서 크랙이 발생하여도 전체로 진전하는 것을 막아준 것으로 판단된다. 이는 이 연구에서 제작하여 시험 평가된 롤러 장치의 경도 성능을 검증한 것으로 기본 정적 부하 용량, 마찰계수로 평가되어 선정된 롤러의 신뢰성을 만족시킬 수 있는 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

이 연구에서는 먼진장치용 롤러 베어링의 진동체 인 롤러 부품의 재료를 탄소강, 크롬 특수강 등을 도입하고 각 재료를 열처리 공정 후 그의 성능을 확인하였다. 각 재료들은 QT, 고주파 및 조질 고주파 열처리를 통해 가공되었으며, 가공된 재료들은 기본 정적 부하용량 및 마찰계수를 측정하였다. 또한 측정된 결과를 평가하기 위하여 파괴시험도 수행하여 열처리 방법을 검증하였다. 최종적으로 측정된 결과를 바탕으로 IRB 먼진장치에 적합한 롤러 재료를 열처리 방식을 결정하였다. 이 연구에서 결정된 재료 및 열처리 방법은 이 연구의 선행 연구로 도출된 기하학적 형상과 더불어 실제 IRB 시스템에 사용될 것이다. 향후 연구에는 롤러, 플레이트, 베이스판 및 리테이너를 일체형으로 하는 IRB를 제작의 그의 성능을 평가할 것이다.

## 참 고 문 헌

(1) Lee, Y. K., Lee, S. H., Jung, I. K. and Cha, C. H., 2006, Bearing Vibration and Fatigue Life Analysis According to Fitting between Ball Bear and Housing with Geometrical Errors, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 16,

No. 5, pp. 441~451.

(2) Yoon, D. J., Shin, J. H. and Choi, B. Y., 1994, Production of High - C Cr Bearing Steel with Excellent Resistance to Rolling Contact Fatigue by Heat Treatment, Journal of the Korean institute of metals and materials, Vol. 32, No. 3, pp. 329~335.

(3) Kim, H. J., 2009, A Study on Heat Treatment for Improving Cold Forge-ability of a Bearing Steel, SUJ2, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 8, No. 1, pp. 24~30.

(4) Kim, N. S., Nam, K. W., Park, J. N., Ahn, S. H. and Kim, H. S., 2010, Wear Property of SACM645 Material with DLC Coating, Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol. 24, No. 6, pp. 76~80.

(5) Ji, T. G., Koga, H., Misaka, Y., Kiyosawa, Y., Ikuta, F. and Kawasaki, K., 2011, Technical Materials : Recent Progress on Induction Heat Treatment Technology, Journal of the Korean Society for Heat Treatment, Vol. 24, No. 2, pp. 99~108.

(6) Kim, M. H., Rhee, K. Y., Paik, Y. N., Hong, J. S. and Ham, Y. S., A Study on the Wear Behavior of SPS5 Steel Surface-treated by Induction Hardening Method, Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 23, No. 10, pp. 74~79.



**Seung-Bok Choi** is currently a fellow professor with the department of mechanical engineering at Inha University, Korea. He has published more than 250 refereed international journal papers in the area of smart material applications, such as electrorheological fluids, magnetorheological fluids, piezoelectric materials and shape memory alloys.



**Young-Gee Park** is currently a CEO of SKM corporation at Bucheon, Korea. He received his PhD in mechanical engineering from Inha University in 2013. His research interests seismic isolation system and factory automation using servo motor.