

◆ 특집 ◆ 직선·회전모터 구동 이송·회전체 연구 V

## 특허분석을 통한 공작기계 주축기술현황과 발전방향

### The Technical Trend and Future Development Direction of Machine Tools Spindle System by Patent Analysis

박동근<sup>1</sup>, 최준영<sup>2</sup>, 최치혁<sup>1</sup>, 이춘만<sup>2,✉</sup>  
Dong Keun Park<sup>1</sup>, Jun Young Choi<sup>2</sup>, Chi Hyuk Choi<sup>1</sup> and Choon Man Lee<sup>2,✉</sup>

<sup>1</sup> 창원대학교 R&D 클러스터사업단 (R&D Cluster, Changwon National Univ.)

<sup>2</sup> 창원대학교 기계설계공학과 (Department of Mechanical Design & Manufacturing Engineering, Changwon National Univ.)

✉ Corresponding author: cmlee@changwon.ac.kr, Tel: 055-213-3622

Manuscript received: 2012.3.13 / Accepted: 2012.3.19

*Recently, a high speed spindle is an essential part of machine tools to satisfy latest demand of high precision product and machining of hard materials. But, there are many disadvantages such as heat generation of built-in-motor, bearing friction, noise, vibration and displacement because of the high speed. Many researches on spindle systems have been conducted for solving these problems. In this study, technical trend of machine tools spindle systems are analyzed with patent PSM, mapping and grouping. The analysis is carried out for the applied patent during January 2000 and December 2009 in Korea, Japan, EU and U.S.A. And development of the direction, strategy and promising technologies of the spindle system are suggested.*

Key Words: Machine Tools (공작기계), Spindle (주축), Patent (특허), Paper (논문), Marketability (시장성)

#### 1. 서론

최근 공작기계는 정밀기계분야에 사용되는 소재나 경량합금재료의 사용이 늘어남에 따라 이들 부품의 정밀가공 및 생산성 향상을 위한 공작기계의 고속화와 복합화는 필수적으로 요구되고 있다.<sup>1,2</sup>

70년대 초 모터동력을 주축으로 전달하기 위해 커플링(coupling), 벨트(belt), 기어(gear) 등을 사용하였다. 그러나 2,000년대 들어와서 12,000rpm에서 45,000rpm까지 주축이 고속화됨에 따라 주축과 모터 사이의 조정 불량(misalignment)에 의한 진동과 소음이 증가하였다. 또한 원심력에 의한 벨트 장력 증가 및 벨트의 피짐 현상, 벨트와 폴리

간의 미끄럼 현상, 그리고 기어구동에서는 기어간의 금속접촉에 의한 진동, 소음의 한계 등으로 종래의 동력 전달장치는 많은 문제점이 발생하게 되었다.<sup>3</sup> 따라서 12,000rpm 이상 고속 주축에서는 모터내장형 구동방법이 주목 받게 되었다. 모터내장형(built-in-motor) 주축계는 구조가 간단하고, 주축계가 운동하는 구조에 적합하기 때문에 공작기계의 가공 유연성을 대폭적으로 향상시킬 수 있다. 하지만 주축의 고속화에서는 내장된 모터의 발열, 베어링의 마찰 발열, 소음, 진동, 변위 발생 등 여러 단점으로 인하여 공작기계 메이커나 학회에서도 이 문제를 해결하고 개선하기 위한 방법들을 연구하고 있다.<sup>3-5</sup>

본 연구에서는 유럽, 중국, 일본, 한국내의 공

작기계의 핵심부품인 주축 관련 특허 및 연구논문들을 검색 분석하여 공작기계 주축의 기술 수준을 파악하고자 한다. 그리고 공작기계 개발에 종사하는 전문업체에 정보를 제공하고 공작기계 분야의 R&D 전략방향을 설정하는데 도움을 주고자 한다.<sup>10</sup>

2. 특허 및 연구논문 조사방법

본 연구를 위한 특허조사는 최신 기술 파악을 위하여 2,000 년도 이후로 검색 구간을 한정하였으며 약 2,000 건의 특허를 선별 분석하였다. 여기에는 한국 320 건, 미국 480 건, 일본 1,000 건, 유럽 300 건이 포함되어 있다. 유망 기술을 선정할 때 특허와 논문 데이터 분석을 사용하였는데, 우선 특허 및 논문을 대상으로 PSM(Problem solution map)을 작성하여 최신 트렌드(Trend) 및 연구방향을 그루핑(Grouping)하였다. 그 후 기술 분류와 맵핑(Mapping)을 이용하고 핵심 기술내용을 발취하는 방법으로 진행하였다. 우선 주축 관련분야에 대한 특허검색을 위해 IPC(International patent classification) 국제 특허분류검색 식(1)을 아래와 같이 정의하였다.

[(공작기계), (공작 adj 기계), (machine\* adj tool), (machine center), (B23Q\*, B23B\*), (IPCM), (spindle axis shaft)] (1)

식(1)은 주축계와 관련된 구동 요소, 구동 장치 제어 장치 등을 나타낸 것이다. B23 은 공작기계 관련 IPC 코드이다.

식 (1)을 이용하여 주축과 관련된 자료를 출력하고, 주축에 관한 특허 및 논문 분석 평가는 공작기계 전체와 연관하여 3P(Product market patent, paper)분석에 의해 최종 선정하였다. 선정된 결과를 다시 PSM 으로 작성하고 특허 및 기술논문 데이터는 최종 분류와 맵핑을 이용하여 최종 결론을 도출하였다.

Fig. 1 은 PSM 분석 결과이다. PSM 이란, 제품의 문제점을 해결하기 위한 수단을 살펴볼 수 있는 분석도구로서, 문제점과 해결수단의 그루핑을 통하여 세부기술의 연구방향 및 핵심내용을 추적할 수 있다. 본 연구 활용된 PSM 은 특허와 논문을 공동으로 적용하여 수행하였다.

순번	공개번호	발명의 명칭	해결과제 (문제점)	해결수단	대표도	검토의견
3	2010-084809 2010-084811 2010-084812	크랭크 샤프트 를 가공해 기 위한 방법	크랭크축의 가공에 있어서, 가공 시 위치 제어를 위해 한 상용 서로 하는 데, XXXX	크랭크축의 일단 (A)으로 고정하고, 각도 위치를 조정함. 크랭크축을 일원에서 일자로 유지하며, 제1의 직을 XXX		기기 구성
4	2010-020971 2009-038115 2010-084812	침착 결지 방법, 스펀들 장치 시스템, 판동 장치 및 공작 기계 시스템	미세한 공구를 이용한 고속 절삭 가공에 있어서, 가공 시 공구가 XXXXX	스핀들 장치(A)의 회전 주축(B)과 공구(C) 또는 공작물(D)을 포함과 진동, 여기시, 공구와 공작물이 접촉할 때 진기 부위의 변위를 감지하여 침착 판동 XXXXXX		기기 구성
	2010-084812 2010-084813	구동 기구 장치	영을 가공에 있어서, 구동 기구(2)는 적어도 세 개의 기어가 같이 병행으로 서로 인접한 토크가 필요 하여 작동하는 기어기(2a)의 구성을 포함함 XXXX			구동 전달 기어

Fig. 1 Problem and solution by PSM

Fig. 2 와 같이 특허와 논문의 특성을 파악함과 동시에 유형별 그루핑과 기술분류에 맞는 맵핑을 통하여 전체적인 트렌드를 추적하거나 설계할 수 있다.

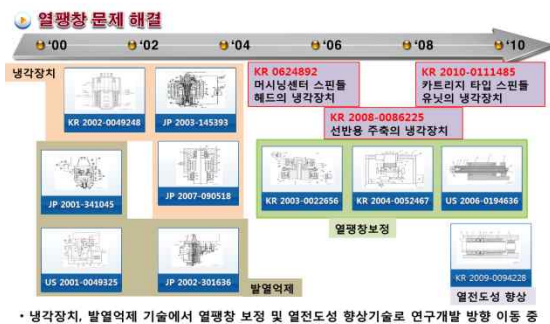


Fig. 2 Trend analysis

Fig. 3 과 같이 선정된 유망 기술은 기술체계에 맞게 용어를 정의하고 카테고리(Category)를 지정하여 최종 유망기술이 확정된다.

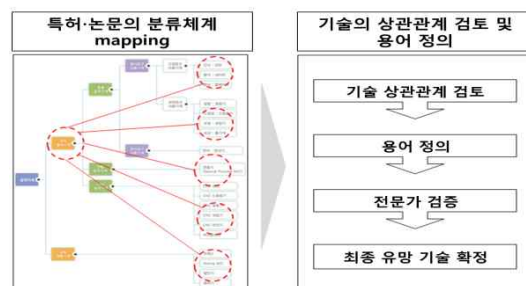


Fig. 3 Classification plan chart mapping

스핀들의 고속, 고정밀화는 초정밀 가공을 필요로 하는 각종 생산 시스템의 핵심 기술이며, 환경과 안전문제는 최근의 공작기계 산업의 중요한 핵심기술이 되고 있다. 따라서 Table 1 과 같이 스핀들의 주요 특허를 선정하였다.

Table 1 Key technologies

·Spindle design for high speed/precision machining
·Components for high speed/precision machining
·Environment of field
·Safety technologies

3. 특허 및 논문 집계 현황

3.1 국내의 특허 현황

공작기계 관련 국내의 특허 총 2,000 건을 출력하여 주축 분야만 국내의를 구분하여 집계하였다. Fig. 4 은 스핀들 분야 기술의 국가별 연도별 출원 건수를 분석한 것이다. 일본이 가장 많은 특허를 출원한 것으로 나타났으나, 최근 들어 한국, 미국, 일본 및 유럽 모두 특허출원 건수가 감소하는 추세를 나타내고 있다.

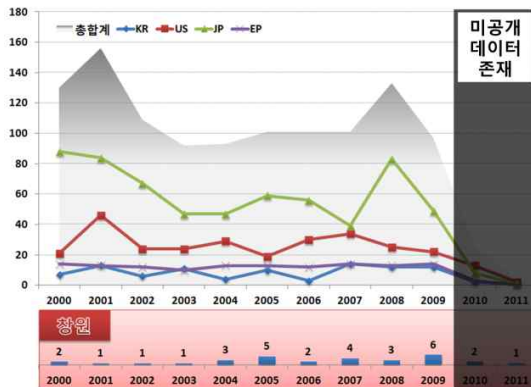


Fig. 4 Trend of patent applications by country and year

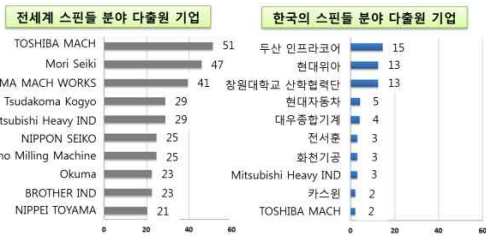


Fig. 5 Number of patent applications by applicant and country

Fig. 5 는 국내의 주축 관련 특허출원의 주요 기업 현황을 집계한 결과를 보여준다. 국제적으로는 TOSHIBA MACH, Moriseki, OKUMA 등 일본업체가 출원건수가 많고 국내는 두산인프라코어(주), 현대위아(주), 창원대학교 순으로 나타났다.

주축 분야의 기술 발전도를 알아보기 위해 포트폴리오(portfolio)를 분석해 본 결과 Fig. 6 과 같은 결과가 나타났다. 전세계적으로 공작기계 주축은 출원건수 및 출원인수 모두 증가하고 있어 성숙기 단계에 진입하고 있다. 한국은 출원건수 및 출원인수가 감소하다가 다시 증가추세를 나타내고 있어 성장기 단계에 진입하고 있는 것으로 나타났다. 일본은 퇴조기 단계에서 다시 출원건수 및 출원인수가 증가하여 발전기 단계에 진입하고 있는 것으로 분석된다. 또한 미국은 출원건수 및 출원인수가 감소하는 퇴조기 단계에 진입하고 있다.

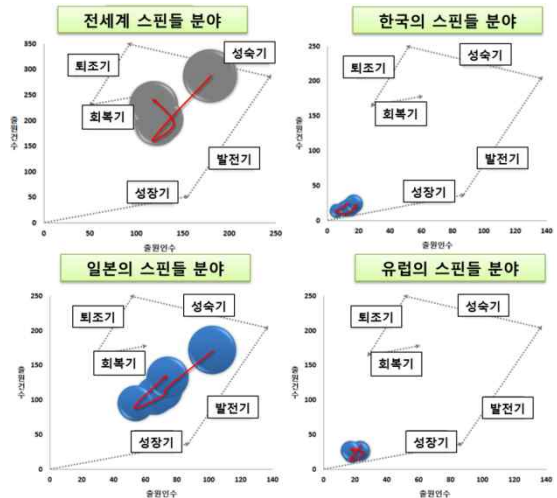


Fig. 6 Portfolio of spindle patent application

Fig. 7 은 스핀들 분야에서 국가별 출원인의 국적 분포도를 나타내었다. 전세계의 특허출원은 일본 국적의 출원인에게 집중되었으며, 한국 특허출원은 한국 국적의 출원인에게 집중되어 있는 것으로 나타났다. 미국의 특허는 일본 국적의 출원인이 113 건, 독일 국적의 출원인이 66 건, 미국 국적의 출원인이 61 건을 출원하여 다른 국가에 비해 분포도가 높은 것으로 나타났다. 일본의 특허는 자국인의 분포도가 가장 높은 것으로 나타났으며, 유럽의 특허는 일본 국적의 출원인이 63 건, 독일 국적의 출원인이 37 건, 이탈리아 국적의 출원인이

18 건을 출원하여 다른 국가에 비해 분포도가 높은 것으로 나타났다.

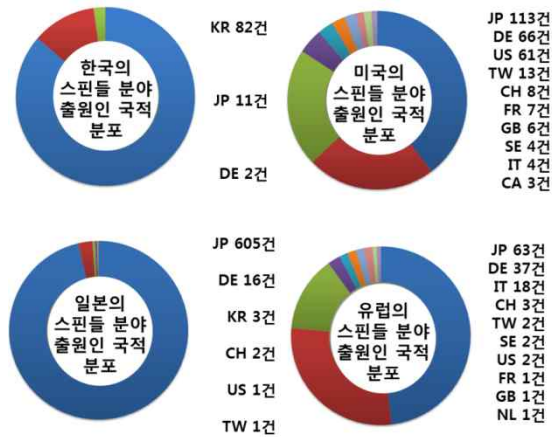


Fig. 7 The nationality distribution of applicant by country

기술의존도란 내국인과 외국인의 특허출원건수를 비교하여 기술 분야별로 내국인의 기술보호가 어느 정도 이루어지고 있는지를 살펴보는 지표자료이다. Fig. 8에서는 특허 출원건수 및 포트폴리오 차트를 종합 평가해서 국가별 기술의존도를 분석해 보았다. 내국인의 출원비율이 높을 수록 기술의존도가 낮으며, 반대로 외국인의 출원 비율이 높을수록 기술의존도는 증가한다. 한국은 내국인의 출원 비율이 높은 것으로 나타나 기술의존도가 낮은 것으로 분석되었다. 미국은 외국인의 출원 비율이 높아 기술 의존도가 높고, 일본은 내국인의 출원비율이 높아 기술의존도가 낮으며, 유럽은 내국인 및 외국인의 출원비율이 비슷하여 한쪽에 의존하고 있지 않은 것으로 분석되었다.

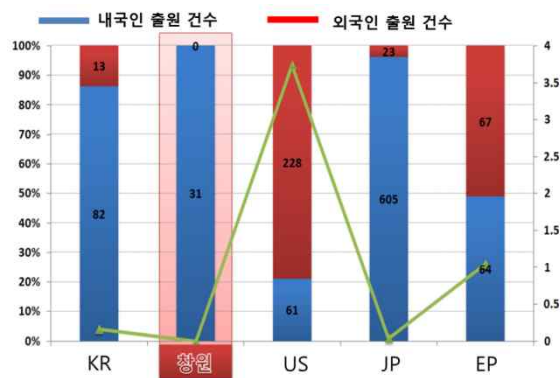


Fig. 8 Dependence on technology of spindle system

### 3.2 특허 포트폴리오(Portfolio)

고효율의 초정밀 가공을 위해서는 높은 소재 제거율과 생산성 향상, 가공정밀도 향상, 제품 품위의 향상 등의 효과가 필요할 뿐만 아니라 정강성과 동강성을 충분히 확보하여야 한다. 고속 절삭에 있어 가공기의 수명 단축 및 생산 제품의 불량을 초래하는 가공기의 진동을 제어하기 위한 기술개발이 지속적으로 이루어지고 있다. 또한 안전한 성능뿐만 아니라 가공속도를 결정하는 고속회전까지의 급가·감속이 매우 중요한 요소이다. 주축의 가·감속 시간을 짧게 할수록 고속 가공의 효율성을 높일 수 있다. 스피들의 특성을 개선시키기 위해 최적 스피들 설계 및 진동제어기술, 주축가·감속 시간 단축, 열특성 향상기술 등이 주요 과제로 주목받고 있다.

특허 분석을 통한 스피들의 주요 기술적 이슈는 열팽창 문제 해결, 진동 문제 해결, 공정 정밀도 향상, 에러 검출 및 보정 그리고 친환경 가공을 위한 절삭유 공급제어 및 회수 등이 있다.

### 3.3 국내외 논문 현황

특허조사에 이어 공작기계 주축 관련 국내·외 논문을 검색하여 주요 연구내용을 발췌하였다. 향후 국가 산업이 IT, NT 및 BT 등 신산업 중심으로 성장할 것임을 생각할 때, 고속, 고정밀 스피들 시스템의 개발은 기술적, 경제적 및 전략적으로 매우 중요하다. 또한 고속 주축 기술은 소재 제거율(Material removal rate)을 올리고 난삭재나 고경도 재료를 가공할 수 있는 쪽으로 수요가 증가한다. 따라서 스피들의 정적, 동적 특성을 개선시키기 위해 최적 주축형상 설계 및 베어링 위치 선정을 통한 진동제어 기술, 주축 자체의 고강성, 열특성 향상 기술, 무절삭유 및 저변위 등에 대한 연구가 계속되어 있다.

Table 2는 국내·외 주축 관련 주요 논문 키워드(Keyword)을 보여준다.

Table 2 Paper analysis keyword

Keyword
Machine tool spindle
High speed machining, high speed cutting
High speed components
Bearing, drive unit, preload, lubrication, stiffness

Fig. 9 는 주축 시스템의 발전 추세를 보여준다. 현재는 하이브리드 베어링(Hybrid bearing)을 채용한 빌트인 모터 주축 시스템이 대세를 이루고 있으며 고속화와 더불어 생산단가를 낮추고 주축시스템의 규격화가 중요시 되고 있다.

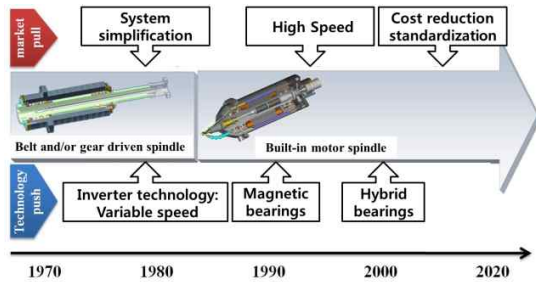


Fig. 9 Development Direction of spindle system

스핀들은 절삭가공을 행하는 주요 부품이며 스핀들을 구성하는 요소부품들의 성능은 스핀들 전체의 성능에 영향을 미친다. 따라서 스핀들의 생산성과 안정성 향상을 위하여 각 요소부품들의 개발이 중요하다.

Fig. 10 은 공작기계 주축 고속화와 관련하여 고속, 고정밀에 가장 영향을 주는 주축 요소 부품기술을 나타낸 것으로, 고정밀·고강성 베어링, 구동 유닛, 베어링 예압, 샤프트 및 드로바, 윤활·냉각 및 셸링 시스템 관련 기술 등이 있다.

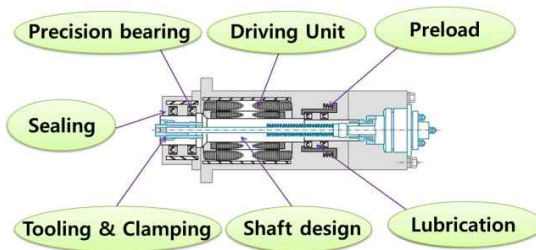


Fig. 10 Main components and technologies for High speed spindle

주요 논문 내용을 분석하여 보면, 모터 내장형 스핀들의 온도 분포 및 가공 정밀도를 제어하기 위한 수치해석 및 쿨링 개발, 전자석과 자성체를 이용하여 베어링 예압을 조절할 수 있는 새로운 가변 예압 장치, 원심력을 이용한 자동 예압 조절 장치, 베어링의 조합방법과 접촉각 변화에 의한 주축계의 정동강성 평가, 스핀들의 모달(modal) 해석을 이용한 1 차 공진모드 확인 및 조화 가진 해

석을 통한 채터(chatter) 안전성 평가, 주축 선단부 열변위 보정, 적절한 윤활 방법 및 주축 내부의 이물질 방지 등 많은 연구가 수행되고 있다.<sup>6-9</sup>

4. 공작기계의 국내시장

국내 공작기계 시장은 한국공작기계협회 자료를 분석한 결과 세계 5 위로 425 개 종합 또는 부품 생산업체가 있으며 27,000 명 정도 종사자와 5 조원/년(2010 년) 정도의 생산 규모를 가지고 있다. 2008 년 금융사건 후 가파른 회복세로 최근 자동차, 반도체, 우주항공의 호황에 힘입어 공작기계 수요가 계속 증가하고 있다. 그러나 2013 년 이후 세계 경제의 성장동력의 부재로 수출 및 내수 시장이 다소 둔화될 것으로 예상된다. Fig. 11 은 최근 15 년간 국내 공작기계 추이를 나타내었는데 시장의 크기는 주기적 사이클을 보여주고 있다. 공작기계는 시대적 요구에 부응하는 연구개발에 의해 계속 진화해 나가야만 살 수 있기 때문에 시장과 무관하게 계속 발전되어야 한다.

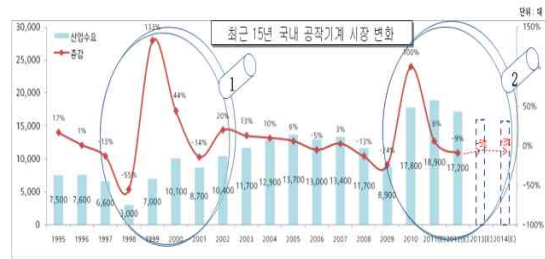


Fig. 11 Change of Machine tool market

5. 결론

특허와 논문을 종합 분석하고 PSM 기법을 이용해 선정된 기술 분류를 통하여 Table 3 과 같은 스핀들의 최종 유망기술을 나타내었다.

Table 3 Promising technologies of spindle system

Classification	Promising technologies
High precision bearing	Control of thermal displacement
Driving unit	Reduction of generated heat
Bearing	stiffness
Shaft	Low vibration
Lubrication unit	Oil free cutting fluid (environment-friendly)
Cooling, clamping unit	Restraint of thermal displacement
Sealing	Stability

고부가가치 공작기계의 경쟁력을 키우기 위해서는 40,000rpm 이상을 넘어 60,000 ~ 80,000rpm 대의 스피들에 대한 연구개발이 필요로 한다. 하지만 현재 국내 주축 기술은 45,000rpm 수준의 고속 주축이 개발되어 있으며, 앞으로 50,000rpm 까지 연구가 진행된다. 40,000rpm 주축계에서 정밀도를 더욱 높이거나 주축의 상태 감시 장치 개발과 신뢰성 평가 시험 강화가 필요하다.

## 후 기

본 연구는 지식경제부 지방기술사업 [RTI04-01-03] 지원으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. Park, B. Y. and Kim, J. G., "Development of High Speed Machine Tool Spindle Regarding Vibration Characteristics," Journal of the Korea Society of Precision Engineering, Vol. 9, No. 3, pp. 149-156, 1992.
2. Abele, E., Altintas, Y. and Brecher, C., "Machine tools spindle units," CRIP Annals - Manufacturing Technology, Vol. 59, No. 2, pp. 781-802, 2010
3. Choi, D. B., Jo, J. J. and Kim, S. I., "Dynamic characteristics of spindle with a built-in motor," Journal of the Korea Society of Precision Engineering, Vol. 11, No. 3, pp. 184-190, 1994.
4. Hwang, Y. K. and Lee, C. M., "A Basic Study on the Analysis Model for Static and Dynamic Stiffness Evaluation of a High Speed Spindle System," Proc. of KSPE Spring Conference, pp. 91-92, 2008.
5. Kim, J. S., Cho, Y. K., Park, J. H. and Moon, H. J., "A Study on the Development of Hydrostatic High Speed Spindle for Grinding Machine," Trans. of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineering, Vol. 20, No. 1, pp. 96-100, 2011.
6. Shin, S. B., Lee, H. H., Kim, J. S., Kim, J. Y. and Yang, M. Y., "A Study on Chatter Stability of High Speed Spindle," Trans. of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineering, Vol. 19, No. 3, pp. 340-345, 2010.
7. Chien, C. H. and Jang, J. Y., "3-D numerical and experimental analysis of a built-in motorized high-speed spindle with helical water cooling channel," Applied Thermal Engineering Vol. 28, No. 17, pp. 2327-2336, 2008.
8. Hwang, Y. K. and Lee, C. M., "Development of a newly structured variable preload control device for a spindle rolling bearing by using an electromagnet," International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 50, No. 3, pp. 253-259, 2010.
9. Hwang, Y. K. and Lee, C. M., "Development of automatic variable preload device for spindle bearing by using centrifugal force," International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 49, No. 10, pp. 781-787, 2009.
10. Research Report of WOOIN, "R&D strategy report of Machine Tools field," Changwon Chamber of Commerce and Industry, pp. 18-121, 2011.