

◆ 특집 ◆ 신개념 레이저 기반 초정밀/초고속 가공시스템

초고속/대면적 레이저 가공을 위한 경로 생성 알고리즘 개발

Path Generation Algorithm Development for Ultrafast/Wide Area Laser Processing

김경한¹, 윤광호¹, 이제훈^{1✉}

Kyung Han Kim¹, Kwang Ho Yoon¹ and Jae Hoon Lee^{1✉}

1 한국기계연구원(Korea Institute of Machinery and Materials)

✉ Corresponding author: jaholee@kimm.re.kr, Tel: 042-868-7471

Manuscript received: 2010.8.10 / Accepted: 2010.8.16

We developed a path algorithm for ultrafast/wide area laser processing. Demands for high precision laser processing with a wide area has been increasing for a number of applications such as in solar cell battery, display parts, electronic component and automobile industry. Expansion of the area in which laser processing is an important factor to handle the ultrafast/wide area processing, it will require a processing path. Processing path is path of 2-axis stage and stage of change in velocity can be smooth as possible. In this paper, we proposed a smoothing-NURBS method of improved speed profile. This method creates soft path from edge part, it is main purpose that scan area (50mm x 50mm) inside processing path makes path of topology of possible straight line. We developed a simulation tool using Visual C++.

Key Words: Laser Processing (레이저 가공), Processing Path (가공 경로), Smoothing-NURBS (스무딩-넘스), On the Fly (스캐너-스테이지 연동)

기호설명

up = rounding off to the nearest integer

F = command speed (mm/s)

Ts = sampling time (msec)

Ta = acceleration time (msec)

Td = deceleration time (msec)

Dt = total length (mm)

1. 서론

최근 레이저 소스개발과 짧은 펄스 폭을 이용한 레이저 가공기술이 발전하고 있으며, 이로 인하여 전자기기들이 점점 초소형화 되고 있다. 이러한 레이저 가공 공정은 태양전지 분야, 디스플

레이 분야, 전자부품, 자동차 산업에 폭넓게 적용되고 있으나, 레이저를 이용한 고속화와 대면적 처리는 국내에는 아직 개발되지 않은 상태이다. 현재 제품의 다품종 소량생산에 의한 단일제품의 생산량 감소와 짧은 납기화 등과 같은 시장의 요구가 계속 높아지고 있는 실정이다. 따라서 현장에서는 다수의 공정 통합 및 감소에 많은 관심과 기술개발이 진행되고 있으며, 이를 바탕으로 생산성 향상과 원가 절감을 꾀하고 있다. 레이저 가공의 대면적화는 기존의 단독 스캐너(scanner) 활용 방식에서 스텝 & 스캔(step & scanning) 연동방식으로 발전되었으며, 현재 스텝 & 스캔 연동방식의 단점을 보완한 스캐너-스테이지(scanner-stage) 연동방식(on the fly)으로 발전되고 있다. 스텝 & 스캔 방식은 레이저 스캔영역이 한정되어 있기 때문에

한 영역 가공이 끝나면 스테이지를 이용하여 이동 후 다음 영역을 가공하는 방식이다. 이 방식은 연속적인 레이저 가공을 할 수 없으므로 경계면에서의 정밀도가 떨어질 뿐만 아니라 연속적인 레이저 가공에 비해 시간도 많이 걸리는 단점이 있다. 반면 스캐너-스테이지 연동방식은 스테이지 이송이 연속적이므로 경계부가 발생하지 않을 뿐만 아니라 가공속도 또한 빠른 장점이 있어 가공품질의 향상을 가져올 수 있다. 하지만 스캐너-스테이지 연동방식을 사용하기 위해서는 스캐너와 스테이지의 위치, 속도가 서로 동기 되어야 하며, 모서리(edge)와 같은 가공경로에서는 부드러운 스테이지 경로가 필요하다. 이를 위해서는 가공 경로 와 속도가 설정되어야 하며, 본 논문에서는 새로 개발한 개선된 속도프로파일 스무딩-냅스(smoothing-nurbs) 방법을 이용하였다. 스캐너와 스테이지를 연동하여 가공속도를 일정하게 하였고, 스테이지가 추종하기 힘든 모서리부분은 스무딩하게 하여 부드러운 가감속을 만들었다. 또한 미소블럭 팬단 기법을 적용하여 스캔영역(50mm × 50mm)에 들어오는 가공경로는 가능한 직선의 형태가 될 수 있도록 하였고, 경로 생성시 스테이지 경로가 가공영역을 벗어나는 경로가 만들어질 경우 벗어난 경로를 이동시켜 넓스를 이용하여 부드러운 곡선의 형태가 될 수 있도록 하였다.

2. 국내외 기술개발 동향

스캐너-스테이지 연동 레이저 가공장비 업체는 ESI 사, LPKF 사, AEROTECH 사 등이 있다. 그 중에 ESI(Electro Scientific Industries)사는 마이크로급 비아홀 드릴링 및 PCB 절단에 스캐너-스테이지 연동기술을 적용하였다. ESI 사는 마이크로 엔지니어링 분야의 제품 제조를 위한 레이저 시스템을 공급하는 회사로서 스캐너-스테이지 하드웨어 동기 기술과 연동 알고리즘에 독보적인 기술을 보유하고 있다. ESI 사의 연동 가능 UV 레이저 드릴링 시스템인 HDI5330 는 전체 스테이지 533 mm × 635mm 영역에서 ±20µm 정밀도를 보장하며 최고 500mm/s로 가공이 가능하다.

독일 LPKF 사에서도 최근 MicroLine 6000 모델을 출시하여 Coverlayer, PCB 와 FPC 절단에 적용하였다. 작업 면적은 ESI 사 제품과 유사하게 533mm × 610mm 이고 정밀도 또한 ±20µm 이내이다. LPKF 사에서 제공하는 연동 알고리즘 관련

소프트웨어는 LPKFCAM이며 최적 가공 경로를 생성하여 20%의 절단 시간을 절감하는 효과를 보여주었다.

최근에는 미국의 Aerotech 사에서 스캐너-스테이지 연동기술을 레이저가공에 도입했다. 가공 부위가 스캐너 영역을 넘어서는 경우도 가공이 가능한 시스템이다. 그리고, 가공경로를 미리 계산하여 최적화하는 알고리즘을 도입하였다.

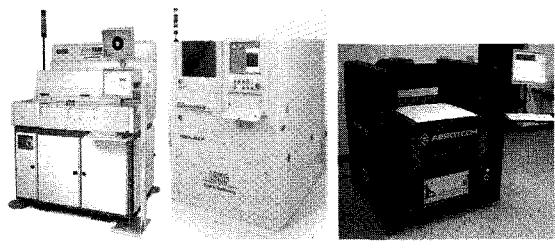


Fig. 1 Laser processing equipments

스캐너와 스테이지를 연동하게 할 수 있는 제어보드업체로는 독일에 RAYLASE 사와 SCANLAB 사가 있다. 이는 둘 다 스캐너-스테이지 연동이 가능한 인터페이스 모듈(MOTF; Marking on the fly)이 있는 스캐너 보드이다. 하지만 개발된 스캐너 보드의 주 응용분야는 LCD 패널 등의 대면적 전자부품에 레이저 마킹을 위한 것으로 1 축의 컨베이어 스테이지에 제품을 이송하며 제품 일련 번호, 시각 등 표식의 목적에 국한되어 왔다.

다수의 FPC/PCB 생산 업체들은 미국의 ESI 사 장비를 구입하여 공정에 사용하고 있으며 국내에서 개발 수요가 늘어나는 현실이나 본격적인 연구는 전무한 상태에 있다.

3. 최적 경로 및 속도 프로파일 설정

3.1 속도프로파일 스무딩 기법

예전의 가공기들은 주로 G 코드를 이용하여 가공 경로를 프로그래밍 하여 왔다. 하지만 사용자가 G 코드에 대한 지식이 없으면 가공기를 사용할 수 없을 뿐만 아니라 복잡한 도면일 경우에는 프로그래밍 시간이 많이 필요하다. 그러나 CAD 데이터로부터 가공 경로와 가공속도를 결정하는 방식은 G 코드에 대한 지식이 없어도 될 뿐만 아니라 빠른 시간에 가공할 수 있는 장점이 있다. Fig. 2는 경로를 얻는 과정이다.

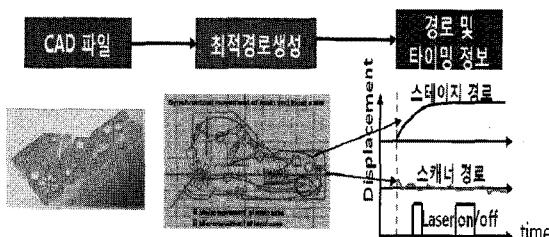


Fig. 2 Process of path generation

AutoCAD로부터 얻어진 도면을 가지고, 최적경로를 생성하게 된다. 그 데이터를 바탕으로 스테이지 경로와 스캐너 경로를 시간에 따라 각각 결정하는 방법이다. Fig. 3은 속도프로파일 스무딩 기법의 순서도이다.

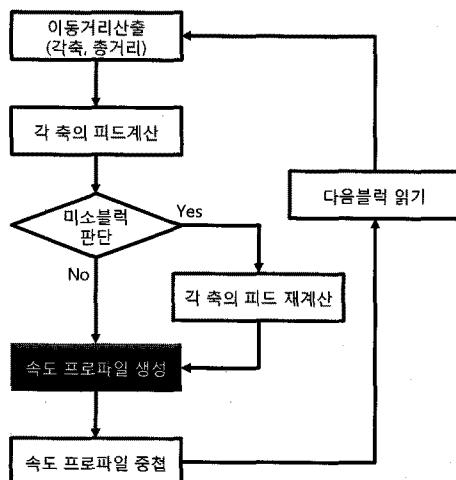


Fig. 3 Flowchart for velocity profile smoothing method

순서도에서 보면 첫 번째로 각축의 이동거리를 산출하게 된다. 그리고 각축의 피드(feed)를 계산하고, 속도프로파일의 단위면적을 계산한다. 그 다음 미소블럭을 판단하여 미소블럭일 경우에는 각축의 피드를 다시 계산하고, 아닐 경우에는 속도 프로파일을 생성한 후에 중첩시킨다. Fig. 4는 Fig. 3의 순서도처럼 수행했을 때 나타나는 스테이지 경로다. Fig. 4에서 보듯이 모서리 부분에서 2 축 스테이지는 빠른 속도로 따라가지 못하기 때문에 스무딩하게 넘어가게 된다. 주요 요소는 가감속 시간, 샘플링 시간 그리고 지령 피드이다. 주어진 가감속 시간에 의하여 스무딩이 커질 수도 있고 작아질 수도 있다.

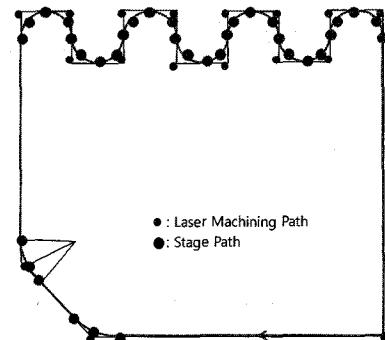


Fig. 4 Path according to velocity profile smoothing method

3.2 개선된 속도프로파일 스무딩 기법

앞에서 언급한 속도 프로파일 스무딩 방법은 각진 곳을 스무딩하게 하는 효과는 있으나 스캔영역(50mm × 50mm)에 들어오는 구간에서 까지 스테이지 경로가 스무딩하게 갈 필요는 없다. 개선된 속도프로파일 스무딩 기법의 순서는 Fig. 5와 같으며 다음에 따른다.

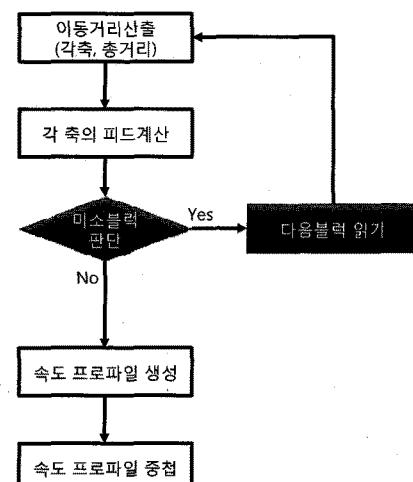


Fig. 5 Flowchart for improved velocity profile smoothing method

1) 블록 이동거리를 산출한다.

$$\Delta x, \Delta y, \Delta d = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \quad (1)$$

2) 각축의 피드를 계산한다.

$$n = up\left(\frac{\Delta d}{F \cdot T_a}\right) \quad F_x = up\left(\frac{\Delta x}{n \cdot T_a}\right) \quad F_y = up\left(\frac{\Delta y}{n \cdot T_a}\right) \quad (2)$$

3) 속도 프로파일의 개수를 계산한다.

$$p_{nx} = \frac{(T_a \times 2)}{T_s} + \frac{(\Delta x - F_x \times T_d)}{F_x + T_s} \quad (\Delta x > 0 \text{ 일 때})$$

$$p_{ny} = \frac{(T_a \times 2)}{T_s} + \frac{(\Delta y - F_y \times T_d)}{F_y + T_s} \quad (\Delta y > 0 \text{ 일 때}) \quad (3)$$

4) 미소블럭 판단한다.

$$F \times T_a \geq D_t \Rightarrow \text{(미소블럭)}$$

$$F \times T_a < D_t \Rightarrow \text{(미소블럭 아님)} \quad (4)$$

5) 각 축의 피드 재계산한다.

$$F_{x,y} = D_{x,y} / T_a \quad (5)$$

여기서, $D_{x,y}$: 각축의 길이[mm], T_s : 샘플링 시간 [ms], T_a : 가감속 시간[ms], $F_{x,y}$: 각축의 가공속도 [mm/s]

6) 속도프로파일 중첩

X-축 감속 또는 가속과 Y-축 가속과 감속을 중첩하여 각진 부분이 스무딩 경로가 될 수 있도록 한다.

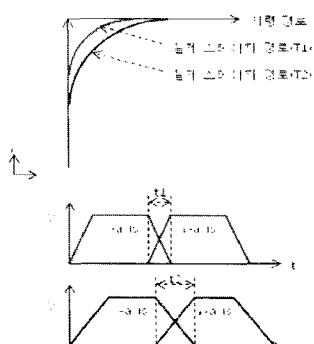


Fig. 6 Velocity profile overlap.

개선된 속도프로파일기법은 3.1 절의 속도 프로파일기법과 달리 미소블럭을 판단하여 미소 블록 일경우에는 다음블럭을 읽어서 미소블럭을 다시 판단한다. 미소블럭을 판단하는 것은 앞서 말한 것과 같이 지령된 피드와 가감속시간의 곱과 총길이와 관계를 가지고 판단한다. 지령된 피드, 총길이가 정해져 있다면 결국 가감속 시간에 따라 미소블럭인지 아닌지를 판단하게 된다. Fig. 7 과 같이 미소블럭일 경우는 그 다음 점을 찾게 되므로 스테이지 경로가 CAD 상의 경로를 전부 따라가지 않는 좀더 부드러운 스테이지 경로를 만들 수 있다.

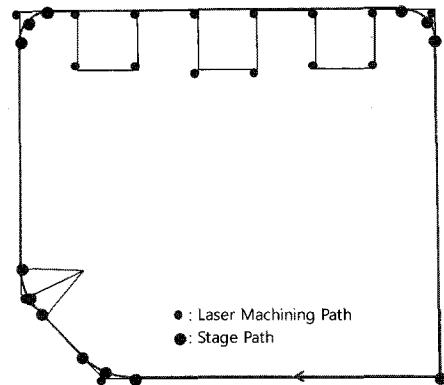


Fig. 7 Path according to improved velocity profile smoothing method

3.3 개선된 속도프로파일 스무딩-냅스보간기법

NURBS(Non-Uniform Rational B-Spline) 기법은 곡선과 곡면이 보다 자유로운 변화를 용이하게 하 고, 자유 곡선 및 원추 곡선까지 하나의 방정식으로 표현 가능하여 조선, 항공 분야 외에도 자유형상을 모델링하는데 주요 연구대상으로 하고 있다. 3.2 절에 소개된 개선된 속도프로파일 스무딩 기법은 미소블럭을 판단함으로써 다음 블록을 읽게 되므로 가감속 시간을 크게 한다면 좀 더 부드러운 경로를 만들 수 있다. 하지만 부드러운 경로를 만들기 위해 가감속 시간을 크게 할 경우 스캐너 영역(50mm × 50mm)을 넘어서는 경우가 발생한다. 그래서 그 부분을 보정하기 위하여 개선된 속도프로파일 스무딩-냅스를 이용하였다. Fig. 8 은 스캔영 역을 벗어난 부분의 낵스 보정을 위한 순서도이다.

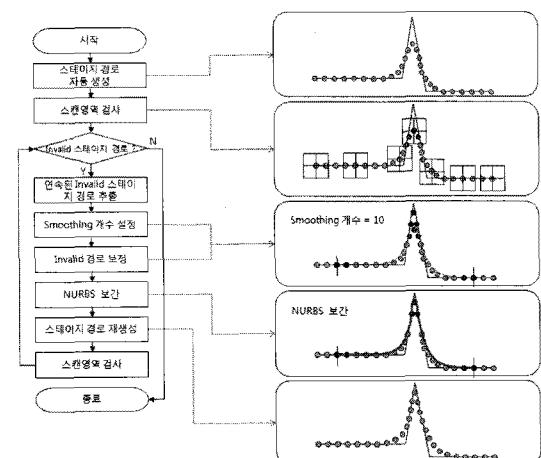


Fig. 8 Flowchart for improved velocity profile smoothing-nurbs method

냅스를 이용한 속도프로파일 보정은 스테이지 경로 자동생성 후에 스캔영역 검사를 실시한다. 그 후 스테이지 경로가 스캔영역을 벗어나 베린 경로를 추출한다. 스무딩 개수를 설정하고 잘못된 경로를 보정한다. 그 후 넵스 보간을 이용하여 보정 후 스테이지 경로를 재생성 하는 방식이다. Fig. 9 는 개선된 속도프로파일 스무딩 기법 사용시 스캔영역을 벗어날을 때 벗어난 샘플 개수를 스캐너 영역으로 이동시켜 넵스할 샘플 개수를 정한 후 부드러운 곡선의 형태로 만든 것을 보여준다.

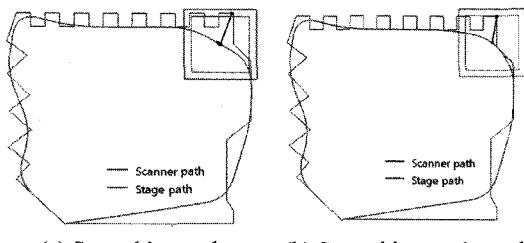


Fig. 9 Comparison of the velocity profile smoothing path and improved velocity profile smoothing-nurbs path

4. 시뮬레이션

본 논문에서는 속도프로파일 스무딩 기법과 개선된 속도프로파일 스무딩-냅스기법을 시뮬레이션하였다. Visual C++ 코드로 작성하였으며, 실제로는 시뮬레이션 이외에 기본적인 CAD 기능도 삽입하여 경로생성에 대한 툴을 만들었다. Table 1 은 시뮬레이션에 사용된 파라미터를 보여준다.

Table 1 Parameter of simulation

	Smoothing	Improved smoothing-nurbs
Command Speed (Feed)	300 mm/s	300 mm/s
Sampling Time (Ts)	5 msec	5 msec
Acceleration time (Ta)	30 msec	110ms
Nurbs rate (%)	×	50%

Fig. 10 은 실제 가공해야 할 테이터(CAD)와 속도 프로파일 스무딩기법과 개선된 스무딩 넵스기법의 가공 경로를 보여준다.

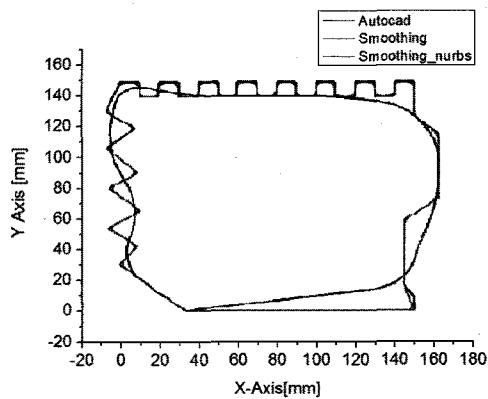


Fig. 10 Comparison of the velocity profile smoothing and improved velocity profile smoothing-nurbs method

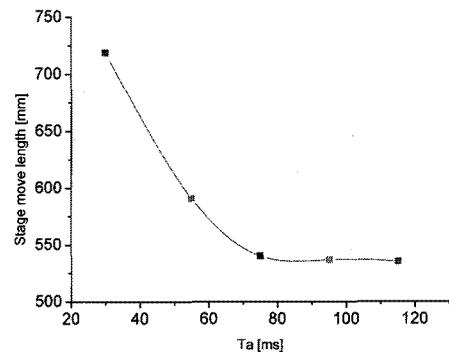


Fig. 11 Stage movement according to the Ta[ms]

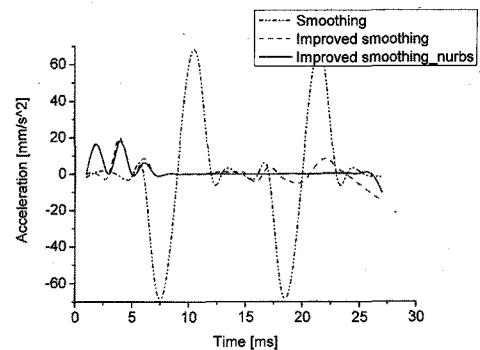


Fig. 12 Acceleration for each method

Fig. 11 은 가감속(Ta)에 따른 스테이지 이동량을 나타낸다. 가감속을 크게 할수록 부드러운 경로가 생성되며, 스테이지 이동거리가 짧다. Fig. 12 은 Fig. 10 에서 구형과 경로부분에서 각 방법들에

대한 부분적 가속도를 나타낸다. 개선된 스무딩-냅스가 가장 작은 가속도를 나타내고 있고, 이것은 스테이지의 진동을 작게 함으로써 진동에 의한 오차를 줄일 수 있는 장점이 있다.

5. 결론

기존의 스캔영역의 한계로 인하여 대면적의 가공시 스텝 & 스캔 연동방식으로 가공하였다. 이는 스캔영역 경계부에 불연속 부분이 발생하고, 스캐너-스테이지 연동방식(on the fly)에 비해 가공시간이 많이 걸리는 단점을 가진다. 본 논문에서는 스캐너-스테이지 연동방식을 이용하기 위한 최적의 경로 생성 알고리즘을 개발하였다. 모서리 부분에서의 부드러운 스테이지의 움직임을 위하여 모터 가감속을 이용한 스무딩 기법을 이용하였고, 스캔 영역에 들어오는 영역에서는 스캐너가 처리할 수 있도록 미소블럭 판단 기법을 통하여 부드러운 경로를 만들었다. 또한 스캐너 영역을 벗어나는 경로를 보상하기 위한 스무딩-냅스 기법을 제안하였다. 이러한 방법은 스캐너의 대면적 가공과 같이 정해진 가공영역을 가진 가공시스템이 넓은 면적을 가공하려 할 때 필요하며, 향후 대면적 스캐너 가공을 위하여 널리 확대될 것으로 기대된다.

후기

본 논문은 지식경제부 “초정밀/초고속 레이저 가공시스템 핵심요소기술 개발” 과제(산업원천기술개발사업, 과제번호: 10033829)의 지원으로 작성되었음.

참고문헌

- Borangiu, T., Dogar, A. and Dumitache, A., “Constraints-based Motion Planning for an Automatic, Flexible Laser Scanning Robotized Platform,” Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics, Vol. 2, pp. 65-69, 2008.
- Nikumb, S., Chen, Q., Li, C., Reshef, H., Zheng, H. Y., Qiu H. and Low, D., “Precision glass machining, drilling and profile cutting by short pulse lasers,” Thin Solid Films, Vol. 477, No. 1-2, pp. 216-221, 2007.
- Kim, T., Park, S., Oh, H. and Shin, Y., “Analysis of the laser patterning inside light guide panel,” Optics & Laser Technology, Vol. 39, No. 7, pp. 1437-1442, 2007.
- Kyeong, D., Gunasekaran, M., Kim, K. and Yi, J., “Laser edge isolation for high-efficiency crystalline silicon solar cells,” Journal of Korean Physical Society, Vol. 55, No. 1, pp. 124-128, 2009.
- Schmidt, M. and Eber, G., “The future of lasers in electronics,” Proc. of ICALEO, pp. 112-113, 2003.
- Suh, J., Lee, J. H. and Shin, D. S., “High speed laser processing and key technology trends,” Machinery and Materials, Vol. 21, No. 1, pp. 146-155, 2009.
- Nam, J. H., “Construction of NURBS Model for Preliminary High-Speed Monohull Design Based on Parametric Approach,” J. of Ocean Engineering and Technology, Vol. 20, No. 3, pp. 82-87, 2006.
- Kim, K. H., Lee, J. H. and Suh, J., “Laser scanner-stage on the fly technique for high precision/ultra fast/wide area fabrication,” Proc. of KSME Spring Conf., pp. 31-32, 2010.
- Yoon, K. H., Lee, J. H., Kim K. H. and Suh, J., “Scanner-Stage Synchronization Control Method for Laser Fabrication of Large Aera,” Proc. of KSME Spring Conf., pp. 287-288, 2010.
- Kim, K. H., Lee, J. H., Suh, J. and Yoon, K. H., “The scanner-stage on the fly technology for a ultra precision/ultrafast/wide area fabrication,” Proc. of KSLP Spring Conf., pp. 44-46, 2010.
- Lee, J. H. and Kim, K. H., “Core technology for ultra fast/ wide area laser processing,” Machinery and Materials, Vol. 22, No. 1, pp. 36-42, 2010.