

# Liquid metal을 이용한 고속 양면 가공 및 라틴 방격법에 의한 최적가공 조건 선정

임 표\*, 이희관\*\*, 양균의#

## High Speed Machining of the thin surface parts using liquid metal and selection of machining condition by Latin Square Method

Pyo Lim\*, Hi Koan Lee\*\*, Gyun Eui Yang#

### ABSTRACT

This paper presents manufacture of mock-up by HSM and optimization of machining condition for high productivity in the view of manufacturing time and accuracy. The rapid machining of prototypes plays an important role in building mock-up. Rapid Prototyping(RP) is a technology to make prototype. But, it have many problems such as shrinkage, deformation and formation occurred by hardening of resin and stair shaping. On the contrary, high speed machining(HSM) technology has many advantages such as good quality, low cost and rapid machining time.

HSM and RP is compared for machining efficiency. Experiments are designed by Latin Square Method and machining condition is optimized and selected by ANOVA. For example, propeller is machined by the surface machining of thin surface parts.

**Key Words :** High Speed Machining(고속 가공), RP(쾌속 조형), Latin Square Method(라틴 방격법), ANOVA (분산 분석)

### 1. 서론

소비자들의 다양한 욕구 변화와 이에 따른 제품의 life cycle이 짧아짐에 따라 제품의 개발 시간 단축 및 다품종 소량 생산에 대한 필요성의 증가는 생산 방식 및 공정에 대한 근본적인 변화를 요구하고 있다. 특히 생산 체계를 구축하기에 앞서 제품의 평가 및 문제점을 탐색하는 시작품 제작 공정은

제품 개발 공정에 있어 매우 큰 비중을 차지하기 때문에 이에 드는 비용과 시간의 단축은 전체 공정의 생산성 향상에 크게 기여한다.<sup>1,7</sup>

지금까지는 RP(Rapid Prototype) 기술이 적용되어 효과를 거두고 있으며, 사용재료와 적층 방식에 따른 여러 공정의 개발 등 많은 연구가 이루어지고 있다. 하지만 사용된 수지가 경화됨에 따라 발생하는 수축 및 변형과 적층 작업으로 인한 자유 곡면

접수일: 2004년 10월 29일; 게재승인일: 2005년 8월 9일

\* 전북대학교 대학원 기계공학과

\*\* (사) 전북대학교 자동차 부품-금형 기술 혁신 센터

# 교신저자: 전북대학교 기계항공시스템공학과

E-mail geyang@moak.chounbuk.ac.kr Tel. (063) 270-2322

생성시 계단 형상의 발생 등으로 정밀 시작품 제작에 어려움이 있고, 값비싼 장비와 재료비 또한 문제점으로 작용하며, 사용 재질의 특성상 파손의 위험성이 크다.<sup>1,2,3</sup>

이에 비하여 고속 가공 기술은 형상의 특성에 따른 제약이 존재하지만, 제품의 정밀 제작 및 생산성의 극대화가 가능하며,<sup>4,5,6,7</sup> 제품과 동 재질의 시작품 제작을 가능하게 한다. 신<sup>8,9</sup> 등은 알루미늄 재질의 자동차 부품의 시작 금형 및 시작품을 제작하는데 이를 적용하였으며, 두께골 형상 가공에는 다면 가공 방식을 취하였다. 하지만, 다면 가공은 세팅상의 문제점이 있으며, 두께가 얇은 제품 가공 시에는 가공 방식과 조건의 변화가 가공 정밀도에 많은 영향을 끼친다.

본 논문에서는 두께가 얇은 제품의 제작에 고속 양면 가공을 적용하기 위하여 다축 가공에 의해 생산되는 프로펠러의 시작품을 제작하고자 하였다. 프로펠러 형상 중에서 양면 가공시 미가공(uncut) 영역이 발생하지 않는 형상을 선택하고 이를 상·하면으로 분할하여 효율적인 공정 계획을 수립하여 각각 가공하였다. RP에 의한 시작품과 공정의 효율성을 비교하고 최적 가공 조건을 선정하기 위하여 원재료는 케미컬 우드와 고정도강이 사용되었다.

고속 양면 가공의 적용을 위한 실험의 설계는 변수들에 따라 데이터들의 중복과 쓸림을 방지하기 위하여 직교 배열에 의한 실험 계획법 중에서 일부 실시법의 하나인 라틴 방격법이 이용되었다.<sup>10</sup> 실험의 분석은 인자로 선정된 스핀들(spindle), 피드(feed), 경로간격(path interval)에 대한 변동을 파악하는 분산분석(ANOVA)을 통하여 이루어졌으며, 특성치인 가공 시간 및 가공 정밀도에 영향을 끼치는 정도와 유의성을 파악하도록 수행되었다. 이에 따라 최적의 수준조합이 되는 가공조건을 찾고자 하였으며, 이 때의 결과값을 추정하여 실제의 실험값과 비교하고 최적의 수준조합에 대한 유의성을 검증하였다.

## 2. 라틴 방격법

인자에 대한 각 수준의 모든 조합에 대하여 실험을 행하는 방법을 요인 배치법이라고 한다. 요인 배치법에는 수준수에 따라 2<sup>n</sup>형 요인 배치와 3<sup>n</sup>형 요인 배치로 나누며, 인자의 수에 따라 일원 배치, 이원 배치, 다원 배치 등으로 나눌 수 있다. 하

지만 이와 같은 요인 배치법은 인자와 수준수가 늘어남에 따라 실험의 수가 기하 급수적으로 증가하기 때문에 비효율적일 수 있다. 이에 불필요한 교호 작용이나 교차의 교호작용을 구하지 않고 각 인자의 조합 중에서 일부만을 선택하여 실험을 실시하는 데 이를 일부 실시법이라고 한다.

이러한 일부 실시법 중에서 k개의 수준을 정4각 형이 되도록 배치하는 실험 계획법을 k×k 라틴 방격법(Latin Square method)이라고 하는데, 각 인자의 수준수인 k가 반드시 동일하여야만 한다. Table 1은 인자 A, B, C에서 3수준(k=3)인 라틴 방격법의 배치를 보여주고 있다.

Table 1 Array of 3×3 Latin Square

|                |                |                |                |
|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                | A <sub>1</sub> | A <sub>2</sub> | A <sub>3</sub> |
| B <sub>1</sub> | C <sub>1</sub> | C <sub>2</sub> | C <sub>3</sub> |
| B <sub>2</sub> | C <sub>2</sub> | C <sub>3</sub> | C <sub>1</sub> |
| B <sub>3</sub> | C <sub>3</sub> | C <sub>1</sub> | C <sub>2</sub> |

Table 2 Experimental design for Latin Square

| Experiments No | Experimental condition                       |
|----------------|--|
| 1              | A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub> |
| 2              | A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub> |
| 3              | A <sub>1</sub> B <sub>3</sub> C <sub>3</sub> |
| 4              | A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub> |
| 5              | A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>3</sub> |
| 6              | A <sub>2</sub> B <sub>3</sub> C <sub>1</sub> |
| 7              | A <sub>3</sub> B <sub>1</sub> C <sub>3</sub> |
| 8              | A <sub>3</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub> |
| 9              | A <sub>3</sub> B <sub>3</sub> C <sub>2</sub> |

이를 이용하면, Table 2와 같이 9번의 랜덤하게 수행되는 조건으로 실험을 수행할 수 있으며 각 조건에서 행한 3회 실험으로 A, B, C에 대한 각 수준이 모두 1회씩 균등하게 들어가도록 균형을 잡아 적은 횟수로도 실험을 가능하게 한다. 이처럼 완전 실험을 실시하는 요인 배치법에 의한 실험의 1/3 실험만으로 분석이 가능하지만, 자유도의 부족으로 고속 가공 수행시 특성치에 영향을 끼치는 스핀들, 피드, 경로간격의 각 인자간에 교호 작용은 작용하지 않는다고 가정하였으며 각 인자의 주요파면을 파악하고자 하였다.

### 3. 고속 양면 가공

#### 3.1 모델 및 가공 전략

블레이드는 윗면과 아래면 생성 후 분리된 두 면의 곡률 연속성을 유지하는 블렌드(blend) 곡면을 생성하여 연결하였고, 바깥면은 프로펠러 반경의 원통과 날면과의 접합면을 수정하여 생성하였다.

모델 생성 및 관리의 편의성을 위하여 최종 블레이드 형상은 CATIA V5를 이용하여 솔리드로 변환하였으며, 허브축을 중심으로 회전하여 최종적인 프로펠러 형상을 완성하였다. Fig. 1은 단일 블레이드 형상을 회전하여 생성한 최종 블레이드 형상 모델을 보여준다.

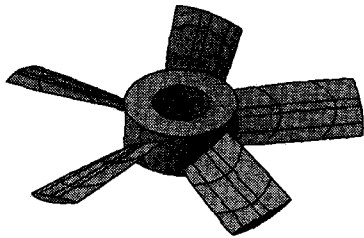


Fig. 1 Propeller model with 5 blades

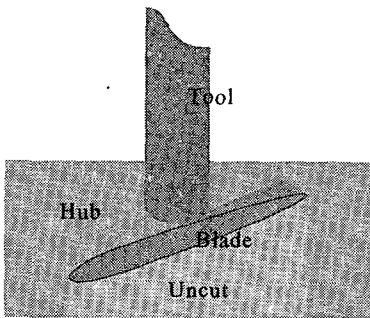


Fig. 2 Uncut in machining of blade

3축에 의한 프로펠러 가공을 수행할 경우에는 Fig. 2와 같은 미가공 영역이 발생하는데, 상·하면의 가공 경로를 생성하기 위하여 형상의 분할이 필요하며, 블레이드의 윗면과 아래면을 나누는 parting surface의 설정은 중요한 작업이다.

Fig. 3은 블레이드 면의 boundary 곡선을 이용하여 parting curve의 정의 및 블레이드 상면을 가공하기 위한 가상의 parting surface로 정의한 것이다.

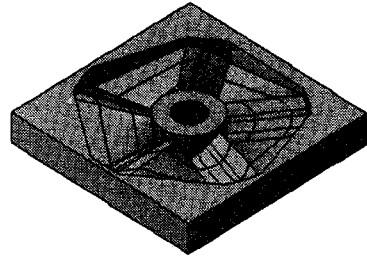


Fig. 3 Definition of parting surfaces using upper surfaces and boundaries of blade surfaces

#### 3.2 Liquid metal을 이용한 setup 및 가공

고속 양면 가공을 수행하기 위하여 사용된 장비는 수직형 M/C로 SIRIUS-2형이다. 이 장비에 기어형의 고속 증속기를 장착하여 주축 회전수를 최고 50,000rpm까지 증속시켰으며, Fig. 4는 이를 보여주고 있다.

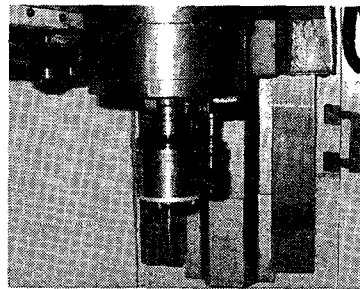


Fig. 4 VMC with spindle speeder

상면 가공을 수행하고 형상을 고정하기 위해 사용되는 충전재는 weiguss LM 70이며, 화학적 성분은 Table 3과 같다.

Table 3 Chemical composition of weiguss LM 70

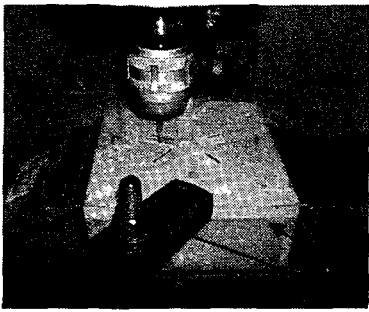
| Chemical composition | Bi/Pb/Sn/Cd |
|----------------------|-------------|
| Melting point        | 70°C        |
| Specific gravity     | 9.95        |

이 재료는 금속재이기 때문에 고형화가 되면 원재료의 고정성이 뛰어나며, 녹는점이 70°C 안팎인

저속점 금속으로 녹이기 쉽기 때문에, 하면 가공을 수행한 후 뜨거운 물에 넣어 시작품과 충전재를 쉽게 분리할 수 있어 회수율이 높고 재사용이 가능하다는 장점이 있다.

가공 경로는 상면과 하면에서 각각 황삭, 중삭, 정삭으로 생성하였고, 하면 가공 후 블레이드 면의 boundary 곡선을 따라 마무리 잔삭을 수행하였다. 황삭과 중삭 가공은 parting surface을 고려할 경우에 자유 곡면 가공의 특징상 가공 시간이 증가하므로 블레이드의 상면을 check surface로 설정하여 2.5D 가공을 수행하였다. 정삭 가공은 블레이드 특징을 고려하여 isoparametric 방식을 채택하였다.

다축 가공을 통하여 블레이드 가공을 수행할 경우에는 블레이드 형상의 얇은 두께로 절삭력에 의한 휨이나 변형 등의 현상이 발생하여 오차에 인한 가공 정밀도에 문제가 발생할 수 있기 때문에 이를 고려하여 가공 경로를 생성하여야 한다. 양면 가공에서는 상면 가공 후 충전재로 반대면을 고정하여 변형에 의한 문제점을 보완하였다.



Fixing point

Fig. 5 Set-up method with liquid metal

하지만 양면 가공의 가장 큰 문제는 잘못된 세팅에 의한 형상의 어긋남이다. 오차는 xy 평면에 대한 오차와 z축 오차로 나눌 수 있으며, 형상을 일치시키기 위해서는 3개 이상의 고정점이 필요하다. 이에 Fig. 5와 같이 각 2개의 고정점(fixing point)을 설정하고 터치블 센서를 이용하여 xy 평면을 수평선과 일치시켜 이를 최소화하였다. Fig. 6은 플라스틱 재질의 일종인 케미컬 우드에 의하여 제작된  $\varnothing 100$ 인 프로펠러의 최종 형상이다.

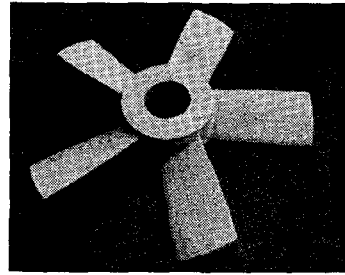


Fig. 6 A finished propeller prototype by HSM

#### 4. Rapid Prototyping

RP을 이용한 시작품 제작은 SLA 방식이 이용되었다. 이 방식은 자외선에 닿으면 굳게 되는 광경화성 수지를 이용하여 제품을 생성하고, 레이저를 이용하여 자외선을 만들어 낸 후 반사경을 정밀 제어하여 수지 평면의 일부분을 경화시켜 적층하는 것으로 성형 속도가 빠르고, 성형 정밀도가 비교적 높다는 장점이 있다. Fig. 8은 제작된  $\varnothing 100$ 인 프로펠러의 최종 형상이다.

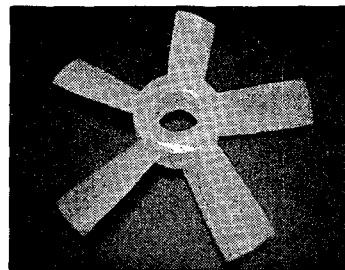


Fig. 7 A propeller prototype by RP

Table 4 Manufacturing time of the prototypes

| mm \ min          | Rapid Prototyping | High Speed Machining |
|-------------------|-------------------|----------------------|
| $\varnothing 50$  | 39                | 17                   |
| $\varnothing 75$  | 90                | 42                   |
| $\varnothing 100$ | 118               | 59                   |
| $\varnothing 125$ | 151               | 92                   |
| $\varnothing 150$ | 192               | 96                   |

Table 4는 직경 기준으로 RP와 고속 양면 가공에 의한 시작품 제작시간을 보여준다. 고속 양면

가공의 경우는 세팅 시간을 제외한 총가공 시간을 나타낸다. 가공 정밀도는 설계 모델과 측정 데이터를 비교하였으며, Table 5는 RP 방식에 의한  $\phi 100$  프로펠러의 가공 정밀도를 보여준다.

Table 5 Error of  $\phi 100$  propeller

| Standard deviation | Average error |
|--------------------|---------------|
| 0.17159            | 0.12384       |

### 5. 생산성 분석

본 장에서는 고경도강인 NAK 80을 피삭재로 시작품을 제작하였으며,  $\phi 100$ 에서 생산성을 비교하기 위해 가공 시간과 가공 정밀도를 고려하였다. 본 실험에서 사용된 공구는 황삭과 정삭에서  $\phi 5$ 와  $\phi 3$ 의 불앤드밀 공구이다. 황삭은 가공 조건이 고정되었으며, Table 6은 특성치로 선정된 총 가공 시간 및 가공 정밀도에 영향을 끼치는 요인으로 생각되는 정삭 조건인 스피들, 피드, 경로간격을 인자로 선정하여 각 수준을 결정한 것이다. 각 인자의 1수준은 일반적으로 자유 곡면을 가공을 위해 현장에서 주로 사용되는 가공조건이다.

Table 6 Factors and levels for finishing process

| Factor & sign | Spindle (rpm) | Feed (m/min) | Path interval(mm) |
|---------------|---------------|--------------|-------------------|
|               | A             | B            | C                 |
| 1             | 16,000        | 200          | 0.2               |
| 2             | 24,000        | 300          | 0.4               |
| 3             | 32,000        | 400          | 0.6               |

Table 7 Manufacturing time array by Latin Square

| Experiments No | Machining condition |     |     | total time (min) |
|----------------|---------------------|-----|-----|------------------|
|                | A                   | B   | C   |                  |
| 1              | 16,000              | 200 | 0.2 | 244.5            |
| 2              | 16,000              | 300 | 0.4 | 142.3            |
| 3              | 16,000              | 400 | 0.6 | 118.5            |
| 4              | 24,000              | 200 | 0.4 | 168.1            |
| 5              | 24,000              | 300 | 0.6 | 127.6            |
| 6              | 24,000              | 400 | 0.2 | 177.6            |
| 7              | 32,000              | 200 | 0.6 | 146.0            |
| 8              | 32,000              | 300 | 0.2 | 193.3            |
| 9              | 32,000              | 400 | 0.4 | 129.5            |

완전한 실험을 실시하기 위해서는 총 27번의 실험이 필요하지만  $3 \times 3$  라틴 방격법을 이용하여 9번의 실험만으로 특성치인 총가공 시간 및 평균 오차를 파악하였고, 각 인자의 영향력을 비교하였다. 가공 시간에 영향을 끼치는 인자와 최적의 가공 조건을 파악하였다. Table 7은 각 실험 조건에서 실시된 시작품의 제작 시간을 보여준다.

가공 시간에 영향을 끼치는 요인을 분석해 보고자 Table 8과 같이 분산 분석(Analysis of Variance)을 실시하였다.

Table 8 Analysis of variance table for total time

|       | S      | $\phi$ | V      | F      | P     |
|-------|--------|--------|--------|--------|-------|
| A     | 48.5   | 2      | 24.3   | 0.98   | 0.505 |
| B     | 2207.5 | 2      | 1103.8 | 44.61  | 0.022 |
| C     | 7532.9 | 2      | 3766.4 | 152.22 | 0.007 |
| Error | 49.5   | 2      | 24.7   |        |       |
| Total | 9838.4 | 8      |        |        |       |

귀무가설  $H_0: \sigma_{A,B,C}^2 = 0$ 은 A, B, C의 분산이 0이라는 것을 의미하며, 이에 반대되는 대립가설로  $H_1: \sigma^2 > 0$ 를 선정하였다. 각 인자가 특성치에 영향을 끼치기 위해서는 귀무가설이 기각되어야

하며,  $F_0 = \frac{V_{A,B,C}}{V_E} > F(\phi, \phi_E; \alpha)$ 이라는 것을 의미한다. 이를 판단하기 위하여 총 제작시간에 대한 유의성을 검증하고자 F-검정을 실시하였다.<sup>10</sup>

본 논문에서는 귀무가설의 유의성을 쉽게 판단하기 위하여 F-분포표의 면적비로 표현되는 P값을 이용하였다. 유의수준을 95%로 선정하여 각 요인을 판단하여 보면, 스피들(A)은 귀무가설을 기각시키지 못하므로 유의하다고 볼 수 없지만, 피드(B)와 경로간격(C)은 유의하다고 판단되어 가공시간에 영향을 끼친다고 볼 수 있다.

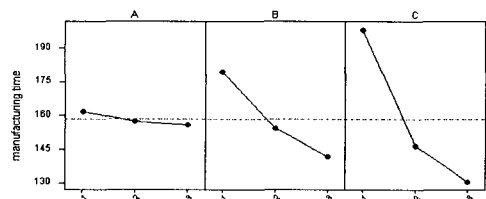


Fig. 8 Main effect of factors for total time

Fig. 8은 고속 양면 가공에 의해 시작품 제작시 가공시간에 대한 각 요인의 수준별 주효과를 나타낸 그래프이다. 스피들(A)은 언급된 바와 같이 특성에 영향이 거의 끼치지 못하며, 피드(B)와 경로간격(C)은 3수준(B=400m/min, C=0.6mm)에서 가공시간이 가장 적게 소요됨을 보여 준다.

이를 토대로 최적 수준 조합  $B_3C_3$ 에 대한 모평균의 추정값과 신뢰율  $(1-\alpha)$ 의 신뢰구간은 식 (1)과 (2)를, 두 인자가 유의할 때의 유효반복수는 (3)을 이용하여 구할 수 있다.

$$\widehat{\mu}(B_3C_3) = \widehat{\mu} + \widehat{b}_j + \widehat{c}_k - \widehat{\mu} \quad (1)$$

$$\widehat{\mu}(B_3C_3) \pm t(\phi_E; \frac{\alpha}{2}) \sqrt{\frac{V_E}{n_e}} \quad (2)$$

$$n_e = \frac{k^2}{2k-1} \quad (3)$$

k : level number of factor

이에,  $\widehat{\mu}(B_3C_3)$ 에 대한 95% 신뢰구간이  $114 \pm 15.95$ 임을 알 수 있으며, 실험조건  $A_1B_3C_3$ 에서 얻어진 값이 얻어진 신뢰구간의 범위 안에 존재하기 때문에 최소 가공시간의 획득을 위하여 최적의 수준 조합의 유의성을 검증할 수 있었다.

Table 9는 가공 정밀도를 비교하기 위하여 라틴 방격법에 의하여 오차를 측정된 결과이다. 결과값인 평균 오차는 반복 측정하여 분석된 값들 중에서 이상값을 제거하고 나머지 값들의 평균값들을 취하였다.

Table 9 Average error array by Latin Square

| Experiments No | Average error |
|----------------|---------------|
| 1              | 0.055         |
| 2              | 0.081         |
| 3              | 0.093         |
| 4              | 0.070         |
| 5              | 0.082         |
| 6              | 0.061         |
| 7              | 0.080         |
| 8              | 0.052         |
| 9              | 0.079         |

Fig. 9와 10은 RP에 의한 시작품과 고속 양면 가공에 의해 제작된 시작품의 오차를 분석한 것이며, Table 10은 가공정밀도에 영향을 미치는 요인을 알아보기 위해 분산분석을 실시한 결과이다.

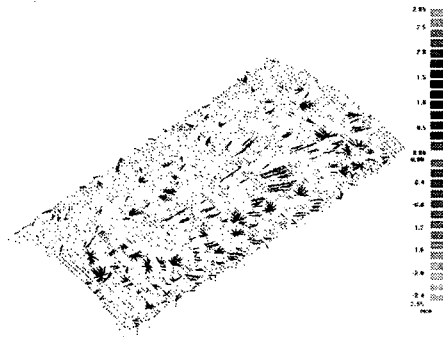


Fig. 9 Error analysis on surface by RP

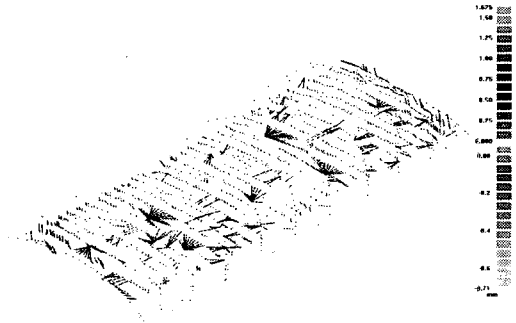


Fig. 10 Error analysis on surface by HSM

Table 10 Analysis of Variance table for average error

|       | S         | Φ | V         | F      | P     |
|-------|-----------|---|-----------|--------|-------|
| A     | 0.0000715 | 2 | 0.0000357 | 9.28   | 0.097 |
| B     | 0.0001337 | 2 | 0.0000668 | 17.36  | 0.054 |
| C     | 0.0013459 | 2 | 0.0006730 | 174.77 | 0.006 |
| Error | 0.0000077 | 2 | 0.0000039 |        |       |
| Total | 0.0015588 | 8 |           |        |       |

유의 수준 95%에서 경로간격(C)는 귀무가설을 기각시키기 때문에 유의하다고 판단되며, 스피들(A)과 피드(B)는 95%에는 유의하지 않지만 90% 유의 수준에는 유의하다고 판단되므로 상대적으로 정밀도에 대하여 영향이 적다.

Fig. 11은 고속 양면 가공에 의한 시작품 제작 시 가공 정밀도에 대한 각 요인의 수준별 주효과를 나타낸 그래프이다.

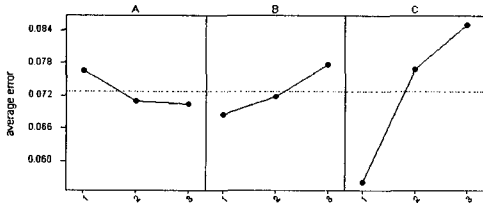


Fig. 11 Main effect plot of factors for average error

스핀들(A)은 3수준(32000 rpm)에서 피드(B)와 경로간격(C)은 모두 1수준(B=200m/min, C=0.2mm)에서 평균 오차가 가장 적다는 것을 보여주고 있다.

이에 최적 수준 조합  $A_3B_1C_1$ 에 대한 모평균의 추정값인  $\hat{\mu}(A_3B_1C_1)$ 과 이에 대한 90% 신뢰구간을 구하면  $0.048 \pm 0.005$ 임을 알 수 있다. 이때 세 인자가 유의할 때의 유효반복수는 식(4)을 이용하였다

$$n_e = \frac{k^2}{3k-2} \quad (4)$$

하지만, 여기에서 구한 가공 정밀도를 위한 최적 가공조건인  $A_3B_1C_1$ 은 9번의 실험에 의하여 수행되지 않은 수준의 조합이기 때문에 이 가공 조건에 대한 실험값을 확인하기 위해서 확인 실험을 필요로 한다.

이에, 추가 실험을 통하여 최소 가공 정밀도를 얻기 위한 최적 가공조건인  $A_3B_1C_1$ 의 실험값을 구하여 0.0523임을 알 수 있었으며, 이는 얻어진 90%의 범위 안에 존재하는 값이기 때문에 최적 수준 조합에 대한 유의성을 검증할 수 있었다.

## 6. 결론

본 연구에서는 시작품을 제작하기 위하여 고속 양면 가공에 의한 시작품 제작 방법을 제시하였다. 이에 플라스틱 재료를 이용하여 고속 가공에 의한 시작품 제작 방식과 RP 방식을 크기별에 따라 가

공시간을 비교하여 유효성을 검증하였다. 이 때 효율적인 가공을 수행하기 위해 상면과 하면을 분할하였고, 저유점 금속을 사용하여 원재료를 고정시키는 방법을 채택하였다.

또한, 효율적인 고속 가공의 수행 및 현장에서 사용되는 가공 조건과 비교하여 생산성을 향상시키기 위해 가공시간 및 가공정밀도 측면에서 최적의 수준 조합을 찾고자 하였다. 이에, 라틴 방격에 의한 3수준계의 실험 계획법을 이용하여 최소 실험수에 의한 실험을 진행하였으며, 분산 분석을 통하여 각 인자의 유의성과 유의한 인자간의 최적 수준 조합을 선정할 수 있었고, 이 때의 신뢰구간에 만족하는 모평균을 추정하여 최적 조건에 대한 유의성을 검증하였다. 이를 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

① 플라스틱 재료를 이용한 시작품의 제작 방식을 RP 방식과 비교하면 고속 가공에 의한 방식이 미가공 영역의 발생 여부에 따른 형상 및 크기에 따른 제약이 존재하지만, 크기가 증가함에 따라 생산성이 차이가 증가한다고 판단되며, 다양한 재질의 적용이 가능하다는 장점이 있다.

② 고경도강인 NAK 80를 이용한 프로펠러 고속 양면가공에서 피드와 경로간격은 유의수준 95%에서 가공시간에 영향을 끼치는 인자이다. 주효과를 살펴보면 두 인자의 값이 증가할수록 가공 시간은 적게 소요되며, 400 m/min과 0.6mm에서 최적값을 얻었다. 또한 이 최적수준 조합의 모평균값을 추정하여 신뢰구간 내에 있음을 입증하여 유의성을 검증하였다.

③ 가공 정밀도에 많은 영향을 끼치는 인자는 유의수준 90%에서 경로간격, 피드, 스핀들 순이며, 경로간격은 가장 큰 영향을 끼쳤다. 주효과를 보면 스핀들은 감소하다 원만하게, 피드와 경로간격은 값이 감소할수록 평균오차에 영향을 끼침을 알 수 있었다. 또한 선정된 최적 수준 조합 (32,000 rpm, 200 m/min, 0.2 mm)의 모평균값을 추정하여 신뢰구간 내에서 유의성을 검증하였다.

④ 현장조건  $A_1B_1C_1$ 과 ②와 ③을 통하여 얻어진 각각의 특성치에 따른 최적의 수준 조합과 비교하여 보면, 각각 가공시간 측면에서는 50%, 가공정밀도 측면에서도 좀 더 나은 결과값을 얻었으며, 두 조건을 모두 만족하는 최적 수준 조합인  $A_3B_1C_1$ 을 선택할 수 있었다.

## 참고문헌

1. Lim, K. Y., Yil, M. S., "Recent trends in development of rapid prototyping technology," Journal of Korean Society of Precision Engineering, Vol.16, No.2, pp96-102, 1996.
2. Lan, P., Chou, S., Chen, L., Gemmill, D., "Determination of Fabrication Orientation for Rapid Prototyping with Stereolithography Apparatus," Computer-Aided Design, Vol.29, No.1, pp.53-62, 1997.
3. Ahn, D. K., Kim, H. C., Yang, H. J., Lee, L. Y., Jang, T. S., Jeong, H. D., Lee, S. H., "Determining Optimal Build Orientation in Fused Deposition Modeling for Minimizing Post Machining by Using Genetic Algorithm," Proceedings of the KSPE Autumn Annual Meeting, pp300-304, 2003.
4. Schut, H., "High Speed Milling of Dies and Mould-Cutting Conditions and Technology," CIRP, Vol.44, 1995.
5. Dewes, R. C., AspinWall, D. K., "A review of ultra high speed milling of hardened steels," Materials Processing Technology, Vol.69, pp1-17, 1997.
6. Lee, D. W., Jeong, Y. H., Kang, M. C., Lee, K. Y., Kim, J. S., Kim, K. G., Kim, S. W., "Advanced Machining Technology for Die Manufacturing I," Journal of Korean Society of Precision Engineering, Vol.17, No. 4, pp48-68, 2000.
7. Lim, P., Jang, D. K., Lee, H. K., Yang, G. E., "High speed machining of cavity pattern in prehardened mold using the small size tool," Journal of Korean Society of Precision Engineering, Vol.21, No.1, pp133-139, 2004.
8. Shin, B. S., Yang, D. Y., Choi, D. S., Je, T. J., Lee, E. S., Whang K. H., Lee J. H., "Rapid Manufacturing of Trial Molds and Prototypes by High Speed Machining," Journal of the KSPE, Vol. 18, No. 12, pp. 124-129, 2001.
9. Shin, B. S., Yang, D. Y., Choi, D. S., Lee, E. S., Je, T. J., Whang K. H., "Development of Automatic Filling using Low-Melting point Metal for Rapid Manufacturing with Machining Process," Journal of the KSPE, Vol. 19, No. 3, pp. 88-94, 2002.
10. Park, S. H., "Morden Design of Experiments," Minyongsa, pp. 279-338, 2001.