

# 머시닝센터의 기계능력지수 평가에 관한 연구

## A Study on the Machine Capability Index Evaluation of Machining Center

\*홍원표<sup>1</sup>, #신화량<sup>1,2</sup>, 이은상<sup>2</sup>

\*W. P. Hong<sup>1</sup>, #H. R. Shin(srang00@kitech.re.kr)<sup>1,2</sup>, E. S. Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 한국생산기술연구원 융복합연구본부, <sup>2</sup> 인하대학교 기계공학과

Key words : Machining Center, Machine Capability Index, Gage R&R

### 1. 서론

제품의 수명주기가 짧아지고 품질인증과 제품 서비스에 대한 고객의 요구가 다양화, 다층화됨에 따라 최첨단의 신기술과 정밀 산업이 발달하고 새로운 개혁과 발전으로 고신뢰, 고품질화를 달성하기 위한 노력이 대두되었다. 이에 연속적인 생산 품질을 유지하고 외부적 요인에 방해가 없이 기능을 충족할 수 있는 장비의 개발이 요구되며 기계능력을 효과적으로 검증할 수 있는 평가방법의 표준화 정립이 필요하다.

장비의 기계능력을 평가하기 위한 척도인 기계능력지수(Capability Machine Index:  $C_{mk}$ )는 제품의 품질 변화상에서 기계에 기인하는 것을 의미하며 해당 장비의 정밀도 또는 목표로 하는 품질 공차 내에서 기계를 평가할 수 있는 달성 능력 지수를 말하여 이에 관한 연구가 진행 중이다.<sup>[1,2,3]</sup>

그러나 아직 전 세계적으로 기계능력지수의 평가 결과와 기계 특성 간 상관관계를 분석하거나 평가 방안을 정립하는 연구는 미비한 실정이다. 현재 공작기계 관련 평가 및 인증부분에 ISO 등 국제 표준이 존재하지만 고신뢰급 머시닝센터의 성능평가 및 인증에 대해서는 표준화를 위한 연구가 요구된다.

본 논문에서는 시험시편을 가공하여 기하학적 정밀도를 측정, 평가하고 이를 바탕으로 머시닝센터의 기계능력지수에 관한 평가 방안을 정립하여 성능지표로 도출하고자 하였다.

### 2. 기계능력지수 평가

#### 2.1 기계능력지수

기계능력지수란 해당 장비에서 얼마나 균일한 품질의 제품을 생산할 수 있는지 장비의 능력을 평가하는 척도를 말한다.

품질특성치의 분포가 규격상한(USL: Upper Specification Limit)과 규격하한(LSL: Lower Specification Limit)인 양쪽 규격이 한쪽으로 치우쳐 있을 때를 고려하여 다음 식(1)을 사용한다. 기계능력지수에 따른 범위와 등급 판정을 Table 1에 나타내었다.

$$C_{mk} = \min\left(\frac{UTL - \bar{X}}{3s}, \frac{LTL - \bar{X}}{3s}\right) \quad (1)$$

Table 1 Level of capability limits

$C_{mk}$	level
$C_{mk} \geq 1.67$	Very good
$1.67 \geq C_{mk} \geq 1.33$	A
$1.33 \geq C_{mk} \geq 1.00$	B
$1.00 \geq C_{mk} \geq 0.67$	C
$0.67 \geq C_{mk}$	D

#### 2.2 기계능력지수 평가방법

본 논문에서는 기계능력을 평가하기 위해서 다음과 같이 수행하였다. 평가 대상에 대한 표준규격 및 측정 규격을 확인하여 시험시편을 선정하였고, 시편 가공 후 Gage R&R로 시스템의 정밀도 및 신뢰성을 사전에 검증하였다. 3차원 측정기를 이용하여 진직도, 진원도, 위치정밀도를 측정하고 이의 결과를 분석하여 기계능력지수를 평가하였다.

#### 2.3 Gage R&R 평가

측정과정에서 얻는 측정값의 오류가 제품자체의 불량, 계측기의 정밀도 영향, 측정자 기술능력 때문인지 원인을 파악하고 분석함으로써 측정 데이터의 신뢰성을 확보하기 위해서 Gage R&R 평가를 수행하였다.

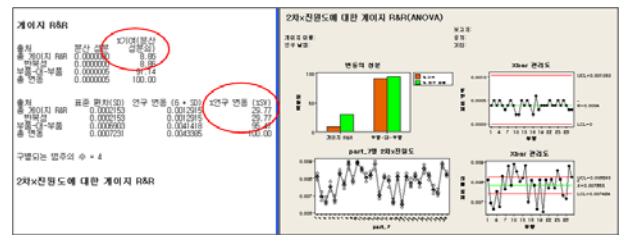


Fig. 1 Diagram of gage R&R

Table 2 Standard of Gage R&R valuation

	% Contribution	% Study variation
Acceptable	< 1%	< 10%
May be acceptable	1% ~ 9%	10% ~ 30%
Need to be improved	> 9%	> 30%

측정시스템의 총 변동( $\sigma^2_{total}$ )은 식(2)와 같이 계측기의 변동량( $\sigma^2_{product}$ )과 측정자의 변동량( $\sigma^2_{gage}$ )을 합한 것을 말한다. 여기서 측정자의 변동량은 식(3)과 같이 반복성(repeatability)과 재현성(reproducibility)으로 구분된다.

$$\sigma^2_{total} = \sigma^2_{product} + \sigma^2_{gage} \quad (2)$$

$$\sigma^2_{gage} = \sigma^2_{repeatability} + \sigma^2_{reproducibility} \quad (3)$$

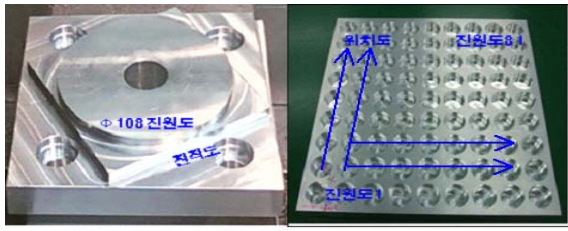
Gage R&R 평가결과 Fig 1과 같이 기여는 8.86%, 연구변동은 29.77%가 나왔다. Table 2의 평가 기준에 의해서 이 시스템의 평가 수준이 양호에 해당됨으로 비교적 안정적인 시스템이라 할 수 있다.

### 3. 실험내용 및 방법

기계능력을 평가하기 위해 시편을 가공한 후 정밀도를 평가하였다. 가공 장비로는 roders 社의 RP-800을 사용하였고, 체원은 Table 3과 같다.

Table 3 Specifications of Machining Center

Spindle(Max)	42,000(rpm)
Feedrate(Max)	60(m/min)
Table size(X/Y/Z)	400x550x485(m)
Positioning Accuracy	0.005(mm)
Repeatability	0.0025(mm) or less



(a) (b)  
Fig. 2 Test specimens  
(a)KS B ISO 10791-7A 160 (b)Hole specimen

절삭공구는 OSG 社의  $\phi 12$  평엔드밀을 사용하였고 시편은 AL6061, 절삭조건은 이송속도 1000mm, 회전수 5300rpm에서 실시하였다. 평가의 신뢰성을 높이기 위하여 한국산업규격에 명시되어있는 머시닝센터 검사조건규격에서 제7부 공작정밀도 (KS B ISO 10791-7)를 참조하여 시험시편을 가공하였으며 검사 항목으로는 직직도, 진원도, 평행도, 직각도, 위치정밀도 등으로 정해져 있다. 본 연구에서는 Fig. 2 (a) KS B ISO 10791-7A 160시편으로 직선가공능력과 원호가공능력을 평가하였고, (b) 다공시편으로 원호가공능력과 위치이송능력을 평가하였다.<sup>[4]</sup>

시편의 측정은 DUKIN 社의 ASTRO-443C를 사용하였으며 Table 4에 제원을 나타내었다. 기계능력지수평가를 위해서 공학, 품질관리 등의 여러 분야에서 쓰이고 있는 MINITAB을 사용하였다.

Table 4 Specification of the CMM

Strokes	400x400x300(x/y/z)
Table size	1040x1140x2050(x/y/z)
Resolution	0.0005( $\mu$ m)
Probe size	0.5(mm)

머시닝센터의 기계능력지수 평가 방안을 정립하기 위해서 동일한 가공장비와 절삭조건을 이용하여 두 종류의 시편을 가공하였고 기계능력지수를 비교 평가하였다. 머시닝센터의 평가규격이 상세히 정해져 있지 않아서 KS규격을 적용해 평가를 수행하였다.

4. 평가결과 및 고찰

직선가공능력평가의 기준은 직직도의 KS규격  $\pm 0.01$ 을 적용하고 마름모 4면의 직직도를 측정한 평가 결과 기계능력지수가 1.67이상으로 최상 등급이었으며, 허용값을  $\pm 0.005$ 로 평가 시 Fig. 3과 같이  $1.00 \geq Cmk \geq 0.67$  분포에 해당함을 확인하였다 원호가공능력평가의 기준은 진원도의 KS규격  $\pm 0.015$ 를 적용하였고 Fig. 2 (a)시편의 평가 결과는  $1.00 \geq Cmk \geq 0.67$  분포에 해당하며, Fig. 2 (b)시편의 평가 결과는 Fig. 4와 같이  $1.33 \geq Cmk \geq 1.00$  분포에 해당함을 확인하였다.

위치이송능력평가는 Fig. 5와 같이 X축 방향과 Y축 방향으로 시편을 구분하였고 Table 4와 같이 허용값을 0.05/0.01/0.005로 나뉘어서 평가하였다. 평가 결과 X축 방향의 위치이송능력이 Y축 방향보다 더 우수함을 확인하였다.

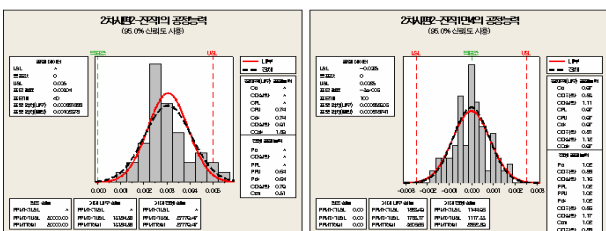


Fig. 3 Diagram of machine capability index - linear test

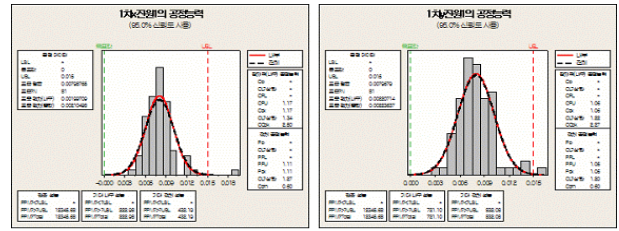
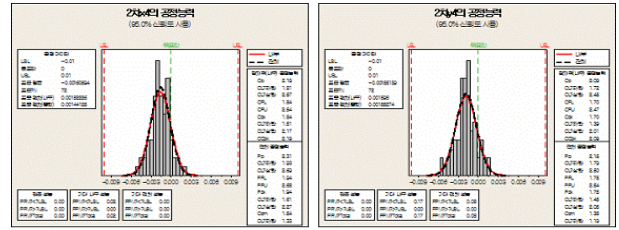


Fig. 4 Diagram of machine capability index - circular test



(a) (b)  
Fig. 5 Diagram of machine capability index - positioning test  
(a) X-axis direction (b) Y-axis direction

Table 4 Results of machine capability index - positioning test

specimen	Test1	Test2	Test3	Test4	tolerance
X-axis	0.82	0.75	0.76	0.74	0.005
Y-axis	0.47	0.65	0.53	0.66	
X-axis	1.79	1.97	1.78	1.84	0.01
Y-axis	1.21	1.7	1.35	1.70	
X-axis	9.50	10.04	10.77	10.60	0.05
Y-axis	7.18	10.05	7.95	10.04	

4. 결론

머시닝센터의 기계능력지수 평가를 위한 기초연구를 목적으로 평가 방안을 조사하고 분석하였다. 평가 시스템의 신뢰성을 검증하기 위하여 Gage R&R을 수행하였고, 머시닝센터 검사조건규격의 가공정밀도를 참조하여 시편가공 후 직선가공능력, 원호가공능력, 위치이송능력에 대한 기하학적 정밀도를 확인하였고 기계능력지수 평가를 위한 방법론을 제시하였다. 후후 연구에는 기계특성에 따른 기계능력지수 평가 및 상관관계를 분석하여 평가 방안을 정립할 것이다.

후기

본 연구는 지식경제부의 “머시닝센터의 신뢰성 향상 및 기계능력지수 평가 기술 개발” 과제 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Kim G., S., Hur J., J., "Development of the Decision making Software for the Purchasing Equipment," Research Review of Science and Engineering, Vol. 15, pp.103-111, 1993.
2. 신현재, 이중재, "Gage R&R을 포함한 비공정능력지수 모형의 개발에 관한 연구," Journal of the Korean Institute of Plant Engineering, Vol. 5, No. 4, 2000.
3. 이승훈, "Minitab을 이용한 공학통계 자료분석," 이레테크, 2008.
4. KS B ISO 10791, 머시닝센터 검사 조건, 2002.