

# 영재 교육 개념을 응용한 직선도의 최소영역 평가

김수광\*, 조동우\*\*, 이강인\*\*\*

## Minimum Zone Evaluation of Straightness Using the Genius Education Concept

Soo Kwang Kim\*, Dong Woo Cho\*\*, and Kahng In Lee\*\*\*

### ABSTRACT

The criteria for determining the elements are the minimum zone method(MZM) and the least squares method(LSM). The LSM is deterministic and simple but is limited at the measurements whose errors are significant compared with form errors. For the precise condition, minimum zone method(MZM) has been selected to determine the elements. It is not deterministic and nonlinear so that a optimizing procedure is needed. The straightness is the fundamental problem in the evaluating form errors. In this paper, a new approach adapting the genius education concept is proposed to obtain an accurate results for the minimum zone problem of the straightness. Its computational algorithm is studied on a set of randomly generated data. To be of almost no account of the specification(the number and the standard deviation etc.) of the sample data, the results shows excellent reliability and high accuracy in estimating the straightness.

**Key Words** : Minimum Zone Method(최소영역법), Least Squares Method(최소좌승법), Nonlinear Optimization(비선형 최적화), Genius Education Algorithm(영재교육알고리즘), Straightness(직선도)

### 기호설명

$a_i$  : Genius

$\mu$  : Number of Genius

$I$  : Set of Genius

$X_i = \{x_j\}$  : Learning Ability Vector

$X_{ge} = \{x_j\}$  : Selected Genius

$X'_{ge} = \{x_j\}$  : Educated Genius

$F$  : Evaluation Function

$J$  : The Set of Education Policy Set

\* 부산정보대학 기계산업계열

\*\* 포항공과대학교 기계공학과

\*\*\* 포항공과대학교 기계공학과

- $b_i$  : Education Policy
- $\nu$  : Number of Education Policy
- $\sigma_j^2$  : Education Intensity(Standard Deviation)
- $SP_{\sigma_j^2}(\sigma_j^2)$  : Success Probability of  $\sigma_j^2$
- $SP_{\nu}$  : Success Probability of ?
- $c$  : Information Exchange Operator
- $S_{\sigma}$  : Education Intensity Selection Operator
- $S_b$  : Education Policy Selection Operator
- $S_j$  : Learning Ability Selection Operator
- $E$  : Education Operator
- $N$  : Number of freedom (Dimension)
- $P_{\sigma}$  : Success Probability Calculation Operator of  $\sigma_j^2$
- $P_j$  : Success Probability Calculation Operator of Learning Ability

### 1. 서론

3 차원 형상을 가진 대상물의 오차 관리는 측정된 기초 형상의 추정과 추정된 기초 형상에 대한 편차 분석으로 나누어 수행된다. 그러므로 주어진 대상물에 대하여 오차가 적은 기초 형상을 추정하는 것이 가장 기본이 된다. 형상 표현에는 직선도, 편형도, 진원도 등이 있다. 우선적으로 직선도가 가장 기본이 된다. 기초 형상을 추정하는 방법들로는 최소영역법(Minimum Zone Method : MZM)과 최소좌승법(Least Square Method :LSM)이 가장 많이 사용된다. 최소좌승법은 기초형상오차보다 측정오차가 큰 경우에 적절하고, 간단한 연산이 가능하고 유일 해를 갖는다. 정도가 높을 경우에는 최소영역법이 사용된다. 그것은 제한되지 않는 비선형 평가 함수를 갖기 때문에 해를 구하는 것이 간단하지 않다. 이에 대하여 다수의 연구가 있어 왔다. Murthy and Abdin<sup>11)</sup>은 Monte Carlo추적법을 사용하였으며, Shunmugan<sup>12)</sup>은 Simplex 추적법에 초기값을 위한 LSM을 결합하여 해결하고자 하였다. Kanada and Suzuki<sup>14)</sup>는 산등법(downhill simplex and bracketing method)을 사용하였으며, Fukuda 와 Shimokohbe<sup>16)</sup>은 근을 구하기 위하여 측정값들을 제거하는 exchange 알고리즘을 활용하였다.

Chetwynd<sup>17)</sup>은 선형 프로그램과 exchange 알고리즘을 결합한 연구를 수행했으며, Carr와 Ferreira<sup>18)</sup>의 논문은 좌표 변환과 최적화 기술을 결합하여 최소영역해를 구하고자 하였다.

기하학적인 표현을 이용하고 단순한 최적화를 가미한 방법은 Sylvester<sup>10)</sup>로 부터 시작되었다. 최근에 이르러 제어선 회전법(Control Line Rotating Scheme)을 Huang et al<sup>11)</sup>,<sup>12)</sup>이 제안하였으며, Jiing-Yih Lai과 Ing-Hong Chen<sup>13)</sup>이 원과 실린더까지 확장하였다.

후자의 방법들은 계산적으로 비선형 최적화 방법에 비하여 계산이 단순하고, 사용자에게 추적의 물리적인 의미를 쉽게 인지하게 한다. 반면에 결과값이 상대적으로 크게 나타난다. 즉 오차가 크다. 비선형 최적화 방법에 의한 것들도 매개 변수의 설정에 따라 다양한 결과를 나타내며, 측정값들의 사양에 대한 견실성이 제한된다. 그리고 정지조건이 추정 결과의 정도(Resolution)과 무관하다. 본 논문에서는 영재교육 개념을 알고리즘화 한 영재교육 알고리즘(Genius Education Algorithm : GEA)의 직선도 최소영역법에 대한 활용성을 검토 하고자 하였다. 시뮬레이션 결과 상당한 정확도와 매개변수에 대한 견실성을 보였다.

### 2. 이론적 배경 및 모델링

#### 2.1 영재교육이론

가장 정확한 전역 최적화의 근을 구하는 방법은 시간은 오래 걸리지만 주어진 영역에서의 모든 값들을 시도하여 그 값들 중 최적의 값을 고르는 것이다. 다 차의 문제이거나 높은 정도가 요구될 경우는 거의 무한의 시도가 요구된다. 이러한 무한의 시도를 감소시켜 가는 것이 전역 최적화 방향의 궁극적인 방향이다. 사람들의 생활과 수학적 모델의 유사성에 의하여 사람들의 경험적 방법이 비선형 최적화 알고리즘에 많이 활용된다.

영재 교육<sup>14,15,16)</sup>이란 특출 난 재능을 가진 재원들에 대하여 집중적으로 교육시키고 상대적인 경쟁을 시킴으로써 최종 목표에 도달하게 하는 것이다. 이 개념은 첫째 교육 대상과 교육 정책은 분리되어 있으며, 둘째 영재는 수능시험 등에 의해 선출된 후, 셋째 특기 교육을 받는다는 것이 기본 골격이다. 그리고 영재들 간에 정보를 교류하며, 마지막으로 교육 정책에 대한 평가가 수행되어 다음의 영재

를 위한 교육 방향으로 활용된다는 것이 영재 교육의 특징이다. 영재 교육 알고리즘 (Genius Education Algorithm, GEA)이라 명명하였으며<sup>[17]</sup>, 진역 최적화는 최대화, 최소화 모두를 의미하지만, 본 논문에서는 진역 최소화의 개념을 기준으로 설명하였다. 평가함수  $F$ 에 대한 GEA의 의사 코드(Pseudo Code)에 의한 수식적인 표현은 다음과 같다<sup>[17]</sup>.

```

l = 0
initializeP(0) : ai = a(Xi, F(Xi)) ∈ I ∈ RN+1
                  i = 1, 2, 3, ..., μ
initializePO : bi ∈ R2
                  i = 1, 2, 3, ..., ν
initializeT : ti ∈ R2
                  i = 1, 2, 3, ..., N
do{
  information exchange: P' = c(P(l))
  ai selection: Pg(l) = Sp(P'(l))
  bi selection: Po = Sp(PO)
  ti selection: s = St(T)
  education: Pg(l) = E(Pg(l))
  evaluation: F(Pg): F(X1), F(X2), ...
  update: SPg = Pg(F(Pg), F(Pg), PO)
  update: SPt = Pt(F(Pg), F(Pg), s)
  update: P(l) = P(l+1) = s(P', Pg, P)
}(until ∀ SPg2 ≤ εe)
    
```

(1)

여기서

$S_p : I^\mu \rightarrow I^\mu$  : 영재 선택,  $\mu \geq \mu_1$

$S_t : X_g \rightarrow X_{ge} \in R^N$ : 재능선택,  $N \geq N_1$

## 2.2 직선도의 최소영역 평가를 위한 영재 교육 알고리즘의 수치해석 모델

본 절에서는 직선도의 최소영역 평가를 위한 영재 교육 알고리즘의 수치해석 모델에 대하여 설명한다. 알고리즘은 운영은 초기화(initialization), 정보 교류(information exchange), 선택(selection), 교육(education), 갱신(update) 및 멈춤 임계(stopping criterion)에 의한 종료 등으로 구분된다. 본 논문에서는 문제의 모든 매개 변수들이 정도 높은 처리에 기본이 되는 최종 값의 기대 정도( $\epsilon_e$ )와 문제의 차원( $N$ )에만 기초하여 결정되도록 하였다. 최소영역법의 해는 모든 측정 점을 포함하는 유사한 두 개의 피쳐(Feature)간의 거리를 구하는 것이다. 그

리므로 직선도의 최소영역 평가를 위한 평가 함수는 다음과 같다.

$$F_{st} = \max(\sqrt{(var_1 * x_i + var_2 - y_i)^2}) - \min(\sqrt{(var_1 * x_i + var_2 - y_i)^2}) \quad (2)$$

### 2.2.1 GEA 매개변수의 선정 및 초기화

직선도 문제는 2 차원이므로 영재교육이론에 참가 참가자들의 교육을 받을 수 있는 능력은 2 개의 재능들로 구성된다( $a_i = a(var_1^i, var_2^i), F_{st}^i$ ). 그것들의 개수는 단순히 재능의 개수에 대한 2 ~ 25 배로 선정한다(물론 더욱 큰 값도 가능함). 교육을 위한 분산 값의 하한치( $\sigma_1^2$ )는 가장 심도 깊은 교육강도를 의미한다. 즉 주어진 범위 내에서 표현하면 가장 좁은 범위이다. 이것은 기대 정도( $E.R.$  : Expected Resolution)로써 정의될 수 있다. 직선도의 최소영역 평가에서의 기대정도는 최소영역의 기대정도이다. 그리고 분산 값의 상한치는 가장 넓은 범위 그리고 얇은 개념의 교육강도이다. 이 값은 최적화 대상들의 전체범위로 설정할 수 있으므로 정규화하여 '1'로 둔다. 이러한 정규화에 따라 최소영역의 교육을 위한 분산 값의 하한치 측정치의 크기와 분산 값에 종속적이다. 그러므로 식(3)으로 표현된다. 교육강도의 상한치는 '1' 그리고 하한치는 기대정도에 의하여 결정되고, 그것의 개수는 여러 가지 방법으로 결정되어 질 수 있지만 단순하게 기하급수로 식(4)-(5)와 같이 선정하였다.

$$\epsilon_e = (E.R. * \sigma_{measured\ data}^2) / Domain \quad (3)$$

$$\sigma_1^2 = \epsilon_e, \quad \nu = \log(1/\sigma_1^2) / \log 2 + 1 \quad (4)$$

$$\sigma_i^2 = \epsilon_e \times 2^{i-1}, \quad i = 2, 3, 4, \dots, \nu \quad (5)$$

직선도 평가를 위한 재능들의 영역(Domain)의 설정은 측정값들의 상호간의 상대적 기울기의 상하한과 절편의 상하한을 사용하여 지정하였다. 수식적인 표현은 식(6)-(7)과 같다.

$$Domain_0^h = \max \{ (y_j - y_k) / (x_j - x_k) \}$$

$$Domain_0^l = \min \{ (y_j - y_k) / (x_j - x_k) \} \quad (6)$$

$$Domain_i^h = \max \{y_j - x_j(y_j - y_k)/(x_j - x_k)\}$$

$$Domain_i^l = \min \{y_j - x_j(y_j - y_k)/(x_j - x_k)\} \quad (7)$$

모든 성공 확률은 '성공시도/총 시도'로 정의되므로 성공시도와 총 시도를 '2'로 초기화한다. 재능들의 초기화는 식 8과 같이 설정된 영역 범위 내에서 균일 분포로 랜덤 하게 수행된다. 아래의 식에서  $RAN()$ 는 주어진 범위 내에서의 정규분포 랜덤값 발생을 의미한다.

$$\forall SP_i, SP_{\sigma^2} = 1 \quad (8)$$

$$X_i = RAN(Domain) \quad (9)$$

**2.2.2 정보교류(Information Exchange)**

정보교류는 선택된 영재들 간의 정보교류를 의미한다. 일반적으로 정보교류는 동일한 분야 간 뿐만 아니라 다른 분야와도 교류된다. 그 이유는 다른 분야라고 할 지라도 완전한 독립이 아니기 때문이다. 반면에 재능들간은, 평가함수 기준으로 보면 상관도가 있지만, 완벽하게 독립이다. 그러므로 정보교류는 동일한 재능들간에 일어난다. 정보교류를 위한 영재 선택은 룰렛 휠( $RW$ :Roulette Wheel)을 이용하여 수행된다. 슬롯의 크기는 각 참가자의 평가치(Evaluation value)에 비례하게 결정되고 랜덤값에 의해 슬롯의 위치(영재)가 결정된다.

$$dum1 = RAN(0, 1)$$

$$a_i^{selected} = RW(dum1, F(X_i)) \quad (10)$$

$$a_i^{new} = a_i^{selected} * dum1 + a_j^{selected} * dum1 \quad (11)$$

**2.2.3 교육과 갱신(Education and Update)**

정보교류는 선택된 영재들 간의 정보교류를 의미한다. 일반적으로 정보교류는 동일한 분야 간 뿐만 아니라 다른 분야와도 교류된다. 교육정책, 즉 선택된 분산은 선택된 영재들 모두에게 영향을 주지만, 실질적으로는 그들의 교육대상 재능(선택된 재능)에만 변화가 발생한다. 수식적인 표현은 식 (12)과 같다. 교육받은 재능들과 교육받지 않은 재능을 결합하여 교육받은 영재들을 평가한다. 여기서  $GRAN(\sigma_i^2)$  은 분산( $\sigma_i^2$ )의 가우스 랜덤 함수

발생이다.

$$X_{ge} = X_{ge} + GRAN(\sigma_i^2) \times Domain \quad (12)$$

교육 평가 후에 새 가치의 값들이 변경된다. 영재들의 교체와 재능들과 교육 정책의 성공확률이 그것들이다. 이는 최소화의 경우 식(13)에 나타나 있다. 교육이 성공되었을 때 동일 영재에 대하여 동일한 교육을 1회 반복하는 재교육 프로그램도 포함된다.

$$\text{If } F(X_g) \geq F(X_g'') \text{ then}$$

$$\{X_g = X_g''\}$$

$$\text{success} = \text{success} + 1 \quad (13)$$

$$\text{total} = \text{total} + 1$$

$$SP_i(ge), SP_{\sigma^2}(i) = \text{success} / \text{total}$$

**2.2.4 멈춤임계(Stopping Criteria)**

전역 최적값에 도달한 후 교육을 지속하면 모든 교육정책의 성공확률은 '0'에 수렴하게 된다. 범위를 축소하면 가장 심도가 깊은 교육정책의 성공확률이 '0'이 되어 간다. 그렇지만 실제의 응용에서 '0'이란 거의 불가능하다. 전역 최적값에 도달은 교육정책의 성공확률이 '0'이 되기 전에 발생하며, 문제 특성에 따라 다른 선정이 가능하다. 그러므로 1차원에서 멈춤임계( $\epsilon_{stop}$ )는 '1'보다 적은 값이 선택되어야 한다는 기본 가정만 있다.

$$\epsilon_{stop} < 1 \quad (14)$$

**3. 실험결과 및 고찰**

직선도의 최소영역 평가에 대한 영재 교육 알고리즘의 응용성을 보이기 위하여 여러 가지 가상 측정값들을 이용하여 실험하였다. 이 알고리즘은 IBM RS 6000 시스템에서 C++에 의하여 프로그램 되었다.

**3.1 예비 시뮬레이션**

영재 교육 알고리즘의 적절한 매개변수의 설정을 위하여 예비 실험을 하였다. 데이터는 식(15)에 따라 발생되었다. a는 20.123456으로 두고, '1000'부

나 '5000'까지 범위 내에서 랜덤 하게 선택된 b 와 '1'에서 '1000'까지의 c 에 대하여 참가자 총원 수와 범출 임계 확률 값을 변화 시켜가면서 직선도를 평가하였다(기대정도 : 0.01). var1 와 L은  $\mu$  m 그리고 var2 는 mm 치수를 갖는 것을 의미한다.

$$y = var_1 x + var_2 + RAN(-L, L) \quad (15)$$

여기서  $RAN(-L, L)$  :  $-L$ 과  $L$  간의 정규 분포,  $var_1, var_2, L$  : 주어진 변수

그에 대한 결과가 Fig.1에 나타나 있다. 그림에서 z축 값은 주어진 상황에서 최소의 기대정도(0.0000001)와 범출임계(0.00001)에서의 결과값으로부터의 차이이다(영역과 분산에 따라 정규화된 결과임). 초기 영재의 총 인원수에 무관하고, 범출임계인 확률 값은 0.25 이하면 기대정도를 만족할 수 있다는 것을 알 수 있다.

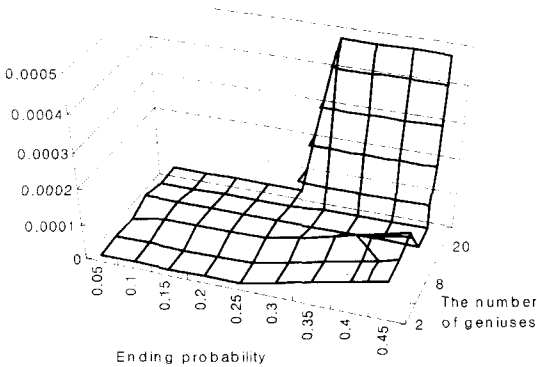


Fig. 1 The Straightness at the given number of geniuses and stopping probability. (Expected Resolution : 0.001, z Axis : The difference from Minimum straightness)

기대정도 변화에 따른 직선도의 최소영역 평가 결과가 Table 1에 나타나 있다. Table 1의 첫 번째 열은 임의로 지정한 변수들( $var_1, var_2, L$ )이며 단위는 mm 이다. 첫 번째 행의 0.000001 등의 값들은 기대정도 이다. 50개의 가상 측정값과 초기 영재 총원 수가 10명의 경우로써, 앞에서 지정한 범출확률 범위 내에서 컴퓨터 실험한 결과이다. Table

1 에 나타난 바와 같이 기대정도 0.0001 mm 이하 그리고 범출확률 0.21이하의 동일한 최소의 직선도를 계산해 내는 것을 알 수 있다. 이하에서 기대정도 0.0001 mm 이하 그리고 범출확률 0.2 이하를 사용하였다.

Table 1 The straightness at the given expected resolution and end probability(E.P.). (Unit mm)

변수	E.P.	0.000001	0.00001	0.0001	0.001	0.01
50	0.19	0.0984592	0.0984592	0.0984592	0.0984603	0.0984724
	0.21	0.0984592	0.0984592	0.0984592	0.0984601	0.0984884
50000	0.23	0.0984599	0.0984592	0.0984592	0.0984603	0.0984675
	0.25	0.0984715	0.0989338	0.1237905	0.0984603	0.0984802
50	0.19	0.1854954	0.1854954	0.1854954	0.185496	0.1855045
	0.21	0.1854954	0.1854954	0.1854954	0.1854973	0.1855036
50000	0.23	0.1855051	0.1855051	0.1855051	0.1855051	0.1855051
	0.25	0.1855051	0.1855051	0.1855051	0.1855051	0.1855051
50	0.19	0.3812962	0.3812962	0.3812962	0.3812972	0.3813104
	0.21	0.3812962	0.3812962	0.3812962	0.3812976	0.3813506
50000	0.23	0.3818527	0.3812981	0.3812962	0.3816632	0.3813108
	0.25	0.3860732	0.3813019	0.3812964	0.3812979	0.3813449
50	0.19	0.9478436	0.9478436	0.9478436	0.947845	0.9478578
	0.21	0.9478436	0.9478436	0.9478436	0.947845	0.9478541
50000	0.23	0.9478838	0.9478436	0.9478436	0.9478452	0.947852
	0.25	0.9478497	0.9478436	0.9478436	0.9478465	0.9478505
50	0.19	1.8286495	1.8286495	1.8286495	1.8286502	1.8286546
	0.21	1.8286495	1.8286495	1.8286495	1.8286506	1.8286555
50000	0.23	1.8286495	1.8286495	1.8286495	1.8286504	1.8286565
	0.25	1.8287576	1.8286495	1.8286495	1.8286502	1.8286637
50	0.19	5.8292198	5.8292198	5.8292198	5.8292217	5.8292283
	0.21	5.8292198	5.8292198	5.8292198	5.8292217	5.829226
50000	0.23	5.8292198	5.8292198	5.8292198	5.8292219	5.8292291
	0.25	5.8319179	5.8292202	5.8292211	5.8292224	5.8292294

### 3.2 실측 및 가상 측정값에 의한 시뮬레이션

다이알 게이지(1/1000 mm)로 측정된 값들이 Table 2에 나타나 있다. 최하값에 대한 편차를 5 번 측정 한 것으로 임의로 D1부터 D5까지 명명하였다. 그들에 대하여 직선도를 계산한 결과들의 상대적인 비율 값과 추정 기물기 값들이 Table 3 에 나타나 있다. 추정된 GEA에 의한 결과는 LSM에 비하여 비교하면 10 %, CLRS에 비하면 20 %까지 개선됨을 알 수 있다. 그리고 대체의 경우에 CLRS에 의한 결과는 LSM에 비하여 9%까지 개선시키지만 D4의 경우는 GEA뿐만 아니라 LSM에 의한 것보다 정도가 낮아진다.

Table 2 Measured data by dialgag (Unit  $\mu$  m).

	D1	D2	D3	D4	D5
100	1.4	1.4	1.3	1.7	1.4
200	1.4	6.9	9.9	9.3	3.3
300	2.1	11.4	17.4	17.4	5.7
400	2.5	16.4	25.4	25.4	7.9
500	2	21.9	33.9	34.2	9.2
600	2.4	27.2	42.2	41.9	11.4
700	3	31.8	49.8	49.8	13.8
800	3.3	35	56	57.4	15.9
900	3.1	41.5	65.5	65.5	17.5
1000	3.2	46.7	73.7	73.9	19.4

Table 3 Estimated results

	Straightness			가울기		
	GEA/LSM	GEA/CLRA	CLRS/LSM	GEA	LSM	CLRS
D1	0.9746901	0.9915061	0.98304	-0.002	-0.002	-0.002
D2	0.9146238	1.000001	0.91462287	-0.049	-0.05	-0.049
D3	0.9099965	0.940168	0.96790838	-0.079	-0.08	-0.079
D4	0.9719436	0.7727814	1.25772136	-0.08	-0.08	-0.082
D5	0.9804775	1	0.98047746	-0.02	-0.02	-0.02

장비마다 다른 특성을 가지고 있기 때문에 동일한 설명이 곤란하다. 그러므로 랜덤 값을 더하여 생성된 가상 측정치들을 사용하여 시뮬레이션 하였다. 먼저 균일 분포된 가상 측정치들에 대하여 실험하였다. 가상 측정값들의 y축 값들이 Table 4(100개까지 만)에 나열되어 있다. 순차적인 값은 x 크기를 1000배 한 값이며, 그 우측 값은 y 값이다. 가상 측정값 군(Set)들의 사양이 Table 5에 나타나 있다. 가상 측정값의 발생 기준은  $a=50$  mm,  $b=50000$  mm,  $c=50$  mm이다(식(16) 사용). 데이터 수가 n이란 것은 Table 4의 n 번째까지의 측정치들의 집합이다. Fig.2는 그 값들의 개수 변화에 대한 평가된 직선도를 비교한 것이다.

개수가 증가함에 따라 수렴하는 특성을 보였다. 모든 가상 측정값들의 개수에 대하여 GEA에 의한 결과가 LSM과 제어직선회전방법(Control Line Rotating Scheme : CLRS)에 의한 결과에 비하여 상당히 개선된 값을 보이고 있다.

가상 실험 50회 실시하여 평균한 결과들이 Table 6에 보이고 있다. 측정 데이터 개수의 증가에 따라 개선율이 감소되었지만, LSM에 비교하면 5%, CLRS에 비하면 20% 까지 개선된다.

Table 4 The list of random data for simulation

0	49997.01	20	48991.31	40	47998.22	60	46986.83	80	46006.26
1	49942.04	21	48935.32	41	47961.88	61	46951.16	81	45969.55
2	49916.63	22	48881.74	42	47908.41	62	46908.41	82	45896.99
3	49859.98	23	48845.56	43	47861.24	63	46857	83	45853.66
4	49818.68	24	48799.51	44	47800	64	46783.84	84	45780.69
5	49757.8	25	48758.9	45	47761.97	65	46748.06	85	45748.61
6	49684.86	26	48710.19	46	47697.15	66	46686.15	86	45695.55
7	49663.82	27	48664.99	47	47631.15	67	46663.46	87	45639.78
8	49617.75	28	48599.69	48	47586.87	68	46587.52	88	45588.66
9	49567.77	29	48546.18	49	47565.36	69	46537.81	89	45560.73
10	49500.22	30	48495.23	50	47517.07	70	46499.66	90	45503.12
11	49453	31	48466.02	51	47451.42	71	46452.08	91	45463.73
12	49397.42	32	48410.41	52	47417.88	72	46408.47	92	45397.9
13	49364.37	33	48357.35	53	47344.01	73	46366.82	93	45361.82
14	49300.86	34	48309.17	54	47302.98	74	46289.91	94	45304.41
15	49266.33	35	48242.12	55	47267.53	75	46258.32	95	45233.16
16	49180.07	36	48212.48	56	47181.11	76	46190.44	96	45184.63
17	49169.54	37	48168.34	57	47152.05	77	46169.06	97	45138.55
18	49089.28	38	48087.59	58	47117.48	78	46119.45	98	45092.61
19	49049.13	39	48052.37	59	47034.33	79	46044.08	99	45041.44

Table 5 The specification of random data

측정개수	Abs. Average	Variance	Skewness	Kurtosis
8	0.139239	0.024328	0.066772	0.062504
10	0.161706	0.047441	0.057121	0.0538861
50	0.196322	0.050633	0.018269	0.0142071
100	0.196	0.051997	0.011655	0.0085142
500	0.198036	0.052463	0.003977	0.0025211
1000	0.197349	0.052413	0.002505	0.0014983
5000	0.204266	0.055082	0.000873	0.0004551

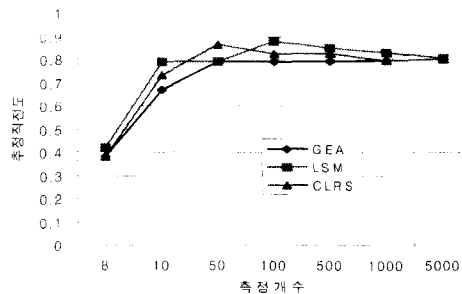


Fig. 2 The straightness at the various number of virtual data (Unit :  $\mu$  m )

대체의 경우에 CLRS에 의한 결과는 LSM에 비하여 3%까지 개선시키지만 LSM에 의한 것보다 정도가 낮아지는 경우가 있다. Fig.3과 Fig4는 가상 측정값들의 편차 변화에 대한 평가된 직선도를 비교한 그림이다. 측정값 숫자가 50의 경우에는 GEA의 결과가 4%의 거의 일정한 개선율을 보인다.

Table 6 The average improvement ratio of straightness about data made by EQ(15).

데이터 개수	(LSM-GEA) /LSM	(LSM-GEA) /LSM	LSM
10	0.052810605	-0.140057331	0.704011705
50	0.041997313	0.028983785	0.761768341
100	0.030747202	0.019826701	0.786236445
500	0.023132207	0.002603508	0.817215814
1000	0.02014616	0.011653541	0.80516243

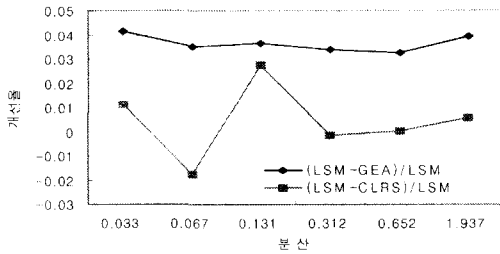


Fig. 3 The average improvement ratio of straightness at the variance of measured data(No. of geniuses : 20, No. of data : 50)

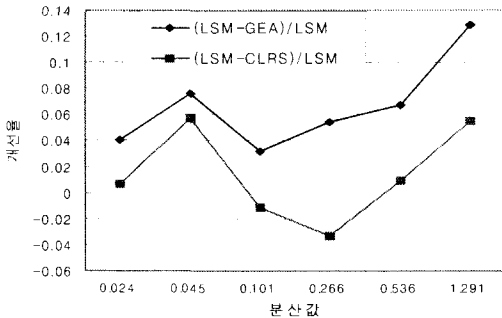


Fig. 4 The average improvement ratio of straightness at the variance of measured data(No. of geniuses : 20, No. of data : 10)

10개의 경우에는 분산 크기에 따라 상승하여 13%까지의 개선율을 나타낸다.

Table 7 - 9은 각각 식(16)-(18)을 이용하여 발생된 측정치에 대한 평균 추정 결과를 보이고 있다.

$$y = var_1 x + var_2 + RAN(-L, L)RAN(-L, L) \quad (16)$$

$$y = var_1 x + var_2 + GRAN(-L, L) \quad (17)$$

$$y = var_1 x + var_2 + GRAN(-L, L)RAN(-L, L) \quad (18)$$

Table 7 The average improvement ratio of straightness for data made by EQ(16).

측정 개수	(LSM-GEA) /LSM	(LSM-CLRS) /LSM	LSM
8	0.051144708	0.051308938	0.101524353
10	0.060483407	-0.143194704	0.287441254
50	0.026422692	0.010803275	0.306414922
100	0.035968523	0.014304421	0.330146154
500	0.007506709	0.002047847	0.369317585
1000	0.007662377	-0.0017556	0.378656175

Table 8 The average improvement ratio of straightness for data made by EQ(17).

측정 개수	(LSM-GEA) /LSM	(LSM-CLRS) /LSM	LSM
8	0.065511973	0.035325329	0.018073188
10	0.068748861	0.016431122	0.066233317
50	0.045607722	0.043381468	0.090229246
100	0.017142512	0.008909141	0.10132175
500	0.020712706	-0.013108874	0.119422277
1000	0.019942493	-0.19272073	0.153522703

Table 9 The average improvement ratio of straightness for data made by EQ(18).

측정 개수	(LSM-GEA) /LSM	(LSM-CLRS) /LSM	LSM
8	0.043572073	0.043589793	0.385484272
10	0.048206357	-0.054618102	0.98073366
50	0.056699116	0.035097543	1.193669001
100	0.043726088	-0.086517314	1.579652786
500	0.017033548	0.002713682	1.761996163
1000	0.02073246	0.010806148	2.030354182

식(15)에 의한 가상 측정값들에 대한 결과와 거의 동일한 특성을 보이고 있다. Fig. 6에 측정 개수에 대한 연산소요 시간을 보이고 있다. 당연히 연산 소요시간은 증가 하지만 선형적이지는 않다. 소요 시간은 상당히 소요되나, 일반적으로 기하편차의 추정은 Off-Line으로 수행되므로 큰 문제는 되지 않을 것으로 사료된다.

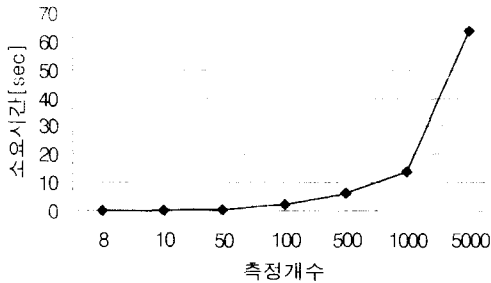


Fig. 5 The strolling time at the given number of data(Unit: sec)

#### 4. 결론

본 연구는 다음과 같이 요약된다.

1. 영재교육 개념을 이용한 영재 교육이론(Genius Education Algorithm : GEA)을 직선도 최소영역법 추정에 활용이 가능하다.
2. 직선도의 요구 정도를 기초로 한 멈춤임계를 설정이 가능하며, 그에 따라 기대정도에 따라 소요시간의 조절이 가능하다.
3. 참가자 총원 수(2 - 25)와 멈춤임계 확률 값(0.20 이하)의 영역에서 직선도 최소영역법 추정이 가능하다.
4. 측정 데이터에 의한 시뮬레이션 결과 LSM에 비하여 10%, CLRS에 비하여 15%까지 개선한 결과를 보였다.
5. 다양한 가상 측정값에 대한 시뮬레이션 결과 LSM에 비하여 평균 5% 개선한 결과를 보였다.

#### 참고문헌

1. T. S. R. Murthy, S. Z. Abdin, "Minimum zone Evaluation of surfaces," Int. J. Mach. Tool Des. Res., Vol.20, pp.283-292, 1982.
2. M. S. Shunmugam, "New approach for the evaluating form errors of engineering surfaces," Computer-Aided Design, Vol.19, pp.368-374, 1987.
3. M. S. Shunmugan "Comparison of linear and normal deviations of forms of engineering surfaces," Prec. Eng., Vol.9, pp.96-102, 1987.
4. T. Kanada, S. Suzuki, "Application of several

- computing techniques for minimum zone straightness," Prec. Eng., Vol.15, pp.274-80, 1993.
5. T. Kanada, S. Suzuki, "Evaluation techniques for minimum zone straightness," Prec. eng., V 15, pp. 274-80, 1993.
6. M. Fukuda, A. Shimokohbe, Algorithm for form evaluation methods for minimum zone and least squares," Proc. Int. Symp. Metrology for quality Production, pp.197-202, 1984.
7. D. G. Chetwynd, "Application of linear programming to engineering metrology," Proc. inst. Mech. Eng., V 199, pp. 93-100, 1985.
8. K. Carr, P. Ferreira, "Verification of form tolerances part I : basic issues, flatness, and straightness", Prec. Eng., Vol.17, pp. 131-43, 1995.
9. K. Carr, P. Ferreira, "Verification of form tolerances part II : cylindricity and straightness of a median line," Prec. Eng. Vol.17, pp.144-55, 1995.
10. J. J. Sylvester, "A question in the geometry of situation," Quart. J. Pure Apple. Math., Vol.1, pp.79, 1857.
11. S. T. Huang, K. C. Fan, Precision Engineering, Vol.15, pp.158-165, 1993.
12. S. T. Huang, K. C. Fan, Precision Engineering, Vol.15, pp.25-32, 1993.
13. Jing-Yih Lai, Ing-Hong Chen, "Minimum zone evaluation of circles and cylinders," Int. J. Mach. Tools Manufact, Vol.36, No. 4, pp.435-451, 1996.
14. V. Z. Ehrlich, "Genius Education," Bae-Yong, 1989.
15. Y. D. Ehrlich, "What is Genius Education?," Geo-Bo, 1990.
16. G. H. Lee, "Genius Education," Dong-Guk, 1988.
17. Soo-Kwang Kim, Dong-Woo Cho, "Proposal and comparative assessment of genius education algorithm as a New Global Optimization Method," Korean Society of Mechanical Engineering, Vol.22, No 9, pp.1684-1698, 1998.