

다구치 방법에 의한 ASTM(F136-96)의 절삭인자 분석과 신뢰성 평가

장성민[†] · 윤여권^{*}

유한대학 기계과 · *유한대학 기계설계과
(2008. 1. 31. 접수 / 2008. 11. 26. 채택)

A Study of Cutting Factor Analysis and Reliability Evaluation of ASTM(F136-96) Material by Taguchi Method

Sung-Min Jang[†] · Yeo-Kwon Yun^{*}

Department of Mechanical Engineering, Yuhan College

^{*}Department of Mechanical Design, Yuhan College

(Received January 31, 2008 / Accepted November 26, 2008)

Abstract : Machine operator and quality are affected by chip during cutting process to product machine parts. This paper presents a study of the influence of cutting conditions on the surface roughness obtained by turning using Taguchi method for safety of turning operator. In the machining of titanium alloy, high cutting temperature and strong chemical affinity between the tool and the work material are generated because of its low thermal conductivity and chemical reactivity. Therefore titanium alloys are known as difficult-to materials. An orthogonal array, the signal-to-noise ratio, the analysis of variance are employed to investigate the cutting characteristics of implant material bars using tungsten carbide cutting tools of throw away type. Also Experimental results by orthogonal array are compared with optimal condition to evaluate advanced reliability. Required simulations and experiments are performed, and the results are investigated.

Key Words : taguchi method, multiple linear regression, difficult-to materials, orthogonal array, signal-to-noise(S/N) ratio, ANOVA

1. 서론

인체 시술을 위한 임플란트용으로 널리 사용되고 있는 티타늄합금은 선삭공정에서 배면에 톱니모양형태의 칩을 생성시킨다. 이것은 라멜라(lamella) 현상이라 일컬어지며, 라멜라 현상이 계속되면 절삭저항의 크기 변동을 초래하여 선삭 중 진동을 유발시킨다. 이것은 절삭선단에 손상을 주어 공구수명을 감소시킬 뿐만 아니라 선단 손상이 진전될 경우 절삭중 칩이 불규칙하게 변형하여 가공소재 또는 바이트에 엉키게 된다. 감긴 칩은 불규칙한 방향으로 뿔 수도 있으므로 안전을 저해하는 위험요소로 작용한다. 따라서 작업자는 기계운전을 중단하고 감긴 칩을 제거하여야 하므로 리드타임(lead time)을 증가시켜 생산성을 떨어뜨린다. 또한 티타늄합금의 선삭공정 중에 발생하는 높은 절삭열은

공구마멸을 초래하여 수명을 급격하게 떨어뜨린다. 이를 극복하고 공구수명을 연장시키기 위한 극저온가공법에 의한 연구가 수행되었다¹⁾. 티타늄합금 중 특히, 타이타늄(Ti-6Al-4V)이라고 불리는 임플란트 재료는 인체의 등뼈, 목뼈 등의 골격접합 및 보존과 영구치아 대체를 위한 재료로 사용되고 있다. 임플란트용으로 시술되고 있는 제품의 예를 Fig. 1에 나타내었다.

임플란트 제조공정 중 기본이 되는 것이 바로 선삭공정이다. 높은 신뢰성과 경제적 효율을 극대화하기 위해서는 선삭조건을 최적화하여 현장에 적용하여야 한다. 이것은 비단 제품의 품질향상뿐만 아니라 작업자의 안전을 위해서도 중요한 것이다. 최적의 절삭조건은 문헌상의 추천 절삭조건이나 핸드북을 참고하는 등의 방법을 적용할 수도 있으나 최적조건이라는 보장은 없다. 단순 실험적 방법은 많은 시간과 자원을 소모하여야 하기 때문에 비효율적이다. 본 연구에서는 인체에 시술되는 임플란

[†] To whom correspondence should be addressed.
twkjsm@yuhan.ac.kr

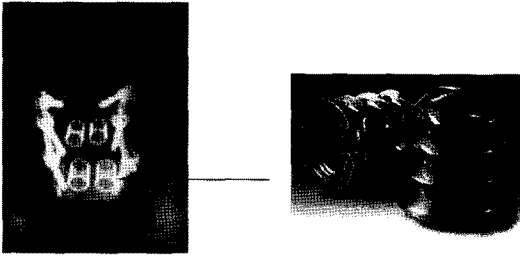


Fig. 1. Photograph of implant.

트용재료로서 ASTM(F136-96)에 지정되어 있는 표준사양인 타이타늄 합금을 대상으로 선삭실험을 실시하였다. 실험은 체계적, 효율적이며 산업현장에서 생산성 향상과 작업자의 안전을 위해 적용 가능한 다구치 실험계획방법을 응용하였다. 작업자의 안전을 고려하고 제품의 표면품질 향상을 목적으로 선삭공정에서 적용되는 절삭인자분석과 최적조건을 도출하였다. 또한 최적조건의 도출로 인한 신뢰성 향상 정도를 평가 하였다. 실험중 절삭력은 측정되었고 시뮬레이션 프로그램(AdvantEdge 4.0)을 사용하여 실험적으로 획득된 절삭력과 비교하였다.

2. 실험

2.1. 적용이론

피삭재를 대상으로 절삭조건 선정을 위한 연구는 수행되어왔다^{2,3)}. 본 연구에서는 최적화 기술을 위해 요구되는 대부분의 다른 방법보다 적은 노력으로 절삭 파라미터의 최적화에 체계적이고 효율적인 방법론을 제공하는 것으로 알려진 다구치 방법을 적용하였다⁴⁾. 다구치 실험계획방법은 다수의 논문에서 절삭 파라미터 분석을 위해 적용되었다^{5,9)}. 이 방법은 생산현장에서 안전한 작업조건에서 최적의 제품을 생산하기 위해서도 유용하게 적용될 수 있다.

본 연구 목적은 선삭공정 중에 작업자의 안전과 품질을 향상시키기 위한 것이다. 이것은 칩의 형태와 유동성에 크게 영향을 받으므로 표면거칠기와 연관성이 크다. 그러므로 본 연구에서는 실험에 대한 반응치인 특성치를 표면거칠기로 하고 특성함수를 망소특성으로 하였다. 다구치 실험계획 이론에서 신호(Signal)는 현장에서 작업자가 요구하는 특징적인 결과 값이고 잡음(Noise)은 원치 않는 값이다. 본 연구에서 작업자의 안전을 위해서는 특성치에 대한 신호 대 잡음비(S/N ratio)가 크게 나타나는 것이 바람직하다.

실험에서 얻어진 데이터의 분석으로 분산분석(analysis of variance)을 사용하였다. 분산분석은 특성치에 크게 영향을 주는 요인이 무엇인가를 찾아내는 분석방법이다. 본 연구에서는 A, B, C, D 각각의 제어인자들 즉, 이송속도, 선단의 노우즈 반지름, 절삭속도, 절삭깊이가 특성치에 미치는 결과에 대한 응답성을 파악하기 위해 적용되었다.

분산분석 이후 절삭인자들 각각의 수준들에 대하여 신호 대 잡음비를 분석한 후 특성치에 관한 최적 수준의 조합을 결정하고 실험을 통해 검증함으로써 이론적으로 예상되는 결과와 실험을 통한 결과를 비교할 수 있다. 계산된 신호 대 잡음비와 분산분석에 의해 작업자의 안전을 위한 파라미터의 최적 조합이 결정된다.

2.2. 절차 및 조건

현장에서 기계가공 공정을 통해 제품을 생산할 때, 작업자의 안전은 생산성 향상뿐만 아니라 고품질의 제품을 생산하기 위한 기본이 된다. 본 연구에서도 이러한 점을 고려하여 공작물의 양단을 척과 심압대 센터를 이용하여 고정, 실험 중 절삭력에 의해 시편이 튕겨져 나오는 것을 예방하였다. Fig. 2는 본 연구에서 임플란트 재료인 타이타늄 합금의 선삭가공 실험을 위한 시스템을 대략적으로 나타낸 것이다. 드로우 어웨이 형식의 절삭선단 SPGN 1203계열을 사용하여 한번 절삭에 사용된 시편과 절삭선단은 새로운 것으로 교체하여 잡음의 영향을 받지 않도록하여 실험의 신뢰도를 유지하도록 노력하였다. 건식절삭을 하였고 절삭력 데이터를 위해 공구동력계(Kistler 9272)는 사용되었다. 시편은 지름 12.5mm, 길이 100mm로 임플란트를 직접

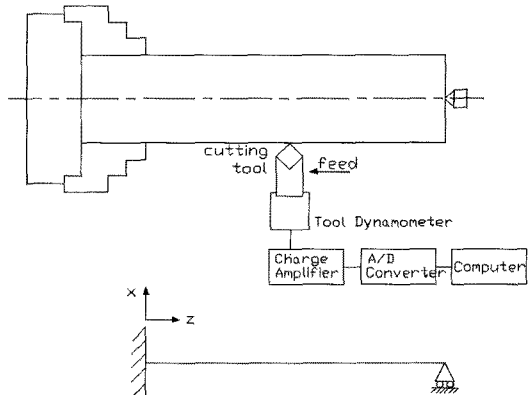


Fig. 2. Schematic diagram of experimental apparatus.

Table 1. Experiment layout using $L_{27}(3^{13})$ an orthogonal array

$L_{27}(3^{13})$ test	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2

생산하는 제조업체의 소재를 사용하였다. 절삭인자와 각각의 인자들에 관한 수준은 Table 1과 Table 2를 통하여 알 수 있다. Table 1은 본 연구에서 적용된 3수준 제어인자에 대한 13개 열의 수와 27개의 실험수를 갖는 26자유도의 직교배열을 나타낸다. 직교배열 내의 숫자 1, 2, 3은 실험에 적용된 인자의 수준을 의미한다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 직교배열에 의한 실험

본 연구목적은 인체 내 시술을 위한 재료로 사용되고 있는 티타늄합금을 사용하여 선삭시 현장에서 일반적으로 적용되고 있는 절삭인자들을 평가하여 작업자의 안전과 제품의 품위에 영향을 주는 특성치와 절삭조건과의 관계를 평가하고 선삭특성을 파악하기 위한 것이다. 적용된 실험조건을 통해

Table 2. Experiment results for surface roughness and S/N ratio

Test no	A mm/rev	B mm	C m/min	D mm	y_1	y_2	Ra	S/N ratio
1	0.097	0.4	20	0.5	0.899	0.923	0.91	0.82
2	0.097	0.4	40	1	0.975	0.971	0.97	0.26
3	0.097	0.4	70	2	1.110	1.080	1.10	-0.83
4	0.097	0.8	20	1	0.648	0.678	0.66	3.61
5	0.097	0.8	40	2	0.776	0.787	0.78	2.16
6	0.097	0.8	70	0.5	0.781	0.828	0.80	1.94
7	0.097	1.2	20	2	0.668	0.618	0.64	3.88
8	0.097	1.2	40	0.5	0.629	0.607	0.62	4.15
9	0.097	1.2	70	1	0.682	0.682	0.68	3.35
10	0.193	0.4	20	1	3.33	3.35	3.34	-10.47
11	0.193	0.4	40	2	2.73	2.7	2.71	-8.66
12	0.193	0.4	70	0.5	3.12	3.11	3.12	-9.88
13	0.193	0.8	20	2	1.76	1.73	1.75	-4.86
14	0.193	0.8	40	0.5	1.7	1.71	1.71	-4.66
15	0.193	0.8	70	1	1.17	1.17	1.17	-1.36
16	0.193	1.2	20	0.5	0.845	0.892	0.87	1.21
17	0.193	1.2	40	1	0.966	0.988	0.98	0.18
18	0.193	1.2	70	2	1.13	1.22	1.18	-1.44
19	0.385	0.4	20	2	11.1	11.0	11.05	-20.87
20	0.385	0.4	40	0.5	11.3	11.1	11.20	-20.98
21	0.385	0.4	70	1	12.1	12.1	12.10	-21.66
22	0.385	0.8	20	0.5	5.30	5.38	5.34	-14.55
23	0.385	0.8	40	1	4.77	4.76	4.76	-13.55
24	0.385	0.8	70	2	7.73	7.74	7.74	-17.77
25	0.385	1.2	20	1	3.62	3.65	3.63	-11.20
26	0.385	1.2	40	2	3.24	3.25	3.25	-10.24
27	0.385	1.2	70	0.5	3.30	3.29	3.29	-10.34

특성치에 영향을 미치는 각각의 인자들에 대한 응답성과 인자들 간의 교호작용 특성에 대한 결과를 실험적으로 얻었다. Table 2는 직교배열에 의한 실험후 나타난 평균 표면거칠기 Ra값과 이에 대한 신호 대 잡음비 결과를 나타낸 것이다.

제어인자 A와 B의 교호작용과 A와 C의 교호작용을 각각 A×B와 A×C로 표현하였으며 e는 실험에러를 의미한다. 신호 대 잡음비 결과를 분석하면, Table 2에 나타난 제어인자 A의 경우 3수준에 대한 S/N비 값의 차이가 가장 크게 나타났다. 따라서 실험의 반응치인 특성치에 미치는 영향이 가장 크다. 같은 방법으로 분석한 결과, 절삭속도를 나타내는 제어인자 C가 가장 적은 영향을 갖고서 선삭이 이루어진 것을 알 수 있다. C인자가 적은 영향을 나타내는 것은 절삭속도가 큰 경우 특성치에

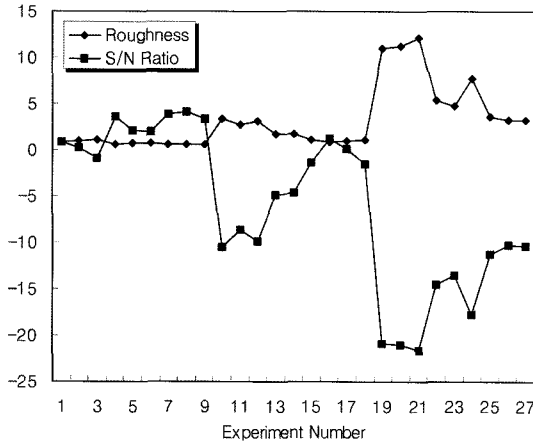


Fig. 3. Variation of surface roughness and S/N ratio for experiment number.

좋은 영향을 미치는 밀링가공과는 다른 결과이다. 이것은 밀링공정을 이용한 절삭가공에서는 일반적으로 이송속도를 분당 계산하여 적용하지만 본 연구에서는 회전 당 이송으로 이송속도가 적용되었기 때문이다.

Fig. 3은 직교배열에 의한 실험결과 표면거칠기와 S/N비와의 관계를 나타낸 것이다. 특성치에 관한 함수는 망소특성이므로 그 값이 0에 근접할수록 가장 좋다. 0에서의 편차가 클수록 S/N비 값의 분산은 더욱 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 본 실험에 적용된 조건으로 절삭한 칩의 대표적인 형태를 나타낸다. (a), (c), (d), (e)와 같이 불규칙한 칩은 제어가 불가능하나 (b), (f)와 같은 유동형 칩은 비교적 제어가 용이하므로 칩이 연속해서 나오더라도 적절한 치공구를 사용한다면 칩이 화이트에 감겨 작업자의 안전을 저해하지 않는 유익한 형태의 칩으로 볼 수 있다. 특히 (f)는 실험 후 도출된 최적의 표면거칠기를 얻을 수 있는 조건으로 생산된 칩으로써, 칩의 유동성이 매우 증가되어 칩처리가 용이하므로 작업자의 안전에 기여한다. Fig. 5와 Fig. 6은 직교배열의 조건에서 실험된 절삭력과 시뮬레이션 결과를 비교하여 나타낸 것이다. Fig. 5에서는 주절삭력 성분을 Fig. 6에서는 배분력 성분을 각각 비교하였다. 그 결과 실험적으로 획득한 결과와 시뮬레이션 결과는 매우 유사한 결과를 보이는 것으로 나타났다. 따라서 시뮬레이션 방법에 의해 실제 선삭가공 전, 절삭력의 경향 파악이 가능할 것으로 예상된다. 현장에서 무리한 절삭조건으로 제품을 생산하다보면 공작기계에 과도한 힘이 전달되어 기계강성을 저하시킬 수

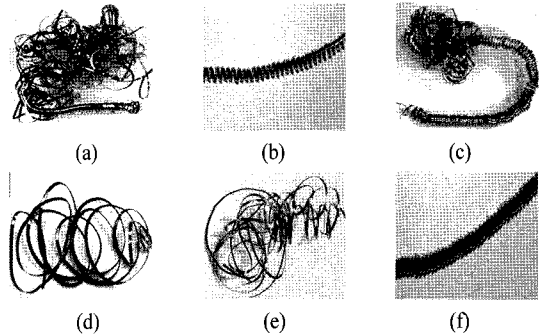


Fig. 4. Photograph of chip shape after turning by test number (a)test no 1 (b)test no 8 (c)test no 14 (d)test no 21 (e)test no 27 (f)optimal condition(feed rate 0,097mm/rev, nose radius 1,2mm, cutting speed 40m/min, depth of cut 1,0mm).

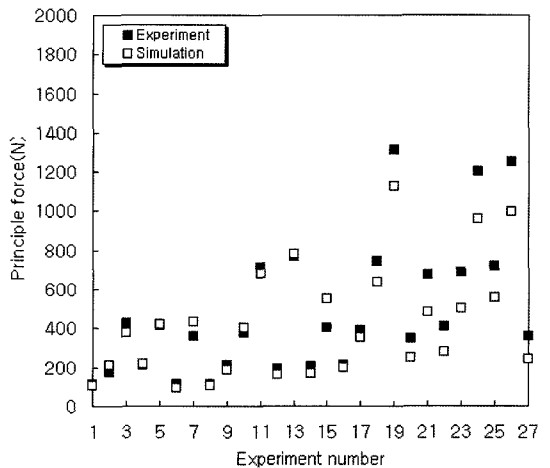


Fig. 5. Comparison of experiment and simulation result for principle force.

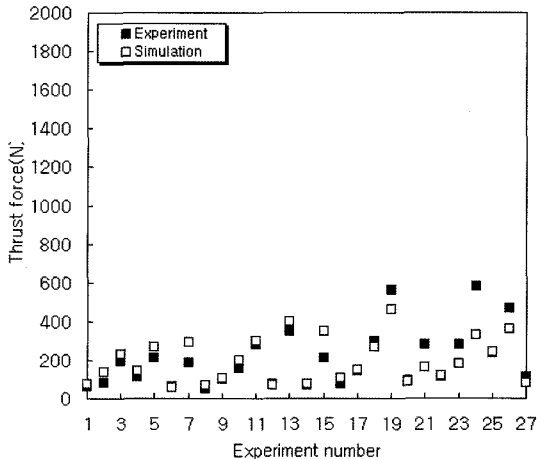


Fig. 6. Comparison of experiment and simulation result for thrust force.

있다. 강성이 저하된 공작기계의 운전 시 공작기계 자체에서 발생하는 매우 심한 진동음을 작업자가 직접적으로 느낄 수 있어 매우 불안한 심리상태에서 제품을 생산할 수 밖에 없다. 또한 강성이 저하된 선반을 운전할 경우 척에 고정되어있는 피삭재가 튕겨져 나오는 경우가 종종 발생된다. 이 또한 무리한 절삭조건으로 제품을 생산하여 가공소재에 과도한 힘이 전달되었기 때문이다.

이러한 현상 모두는 작업자의 안전을 저해하는 요소가 된다. 본 연구에서 Fig. 5와 Fig. 6의 결과가 주는 의미는 공작기계와 피삭재의 강성을 고려하였을 때 생산에 앞서 과도한 절삭력이 걸리지 않도록 신뢰성 있는 검토가 가능하다는데 있다.

3.2. 분산분석(ANOVA) 결과

분산분석은 실험결과에 대한 제어인자들의 응답성을 파악하기 위해 사용된다. Table 3은 각각의 인자들이 특성치에 어느 정도의 영향을 미치는지를 나타내어주는 분산분석표이다. 제어인자들의 중요성은 다른 제어인자들 간의 영향을 비교 분석함으로써 정할 수 있다. 분산분석 결과 이송속도와 노우즈 반지름은 선삭에서의 절대적인 절삭인자라는 것을 알 수 있다. 교호작용의 결과에서도 이송속도와 노우즈 반지름과의 작용이 표면품질에 다소 기여하는 것으로 나타났다. 특성치에는 이송속도와 노우즈 반지름만의 함수라는 이론적 관점에서 본 연구에 나타난 결과는 적당한 것이다. 그러나 다구치 방법을 적용한 다른 선삭가공 논문에 비하면 이송속도와 노우즈 반지름의 영향 외에는 다른 절삭인자들의 영향이 거의 작용하지 못하였다. 수학적으로 절삭속도와 절삭깊이가 특성치에 영향을 미치지 않는 것은 당연하다. 그러나 절삭속도와 절삭깊이는 어느 정도 영향을 미치는 것으로 실험적인 연구결과 알려져 있다⁷⁾. 본 연구에서 이송속도와 노우즈 반지름만이 특성치에 영향을 미치는 절대적인 인자로 나타난 것은 주축과 심압대 양쪽에서 시편을 고정한 것 외에도 실험에 적용된 시편의 특성 차이에 기인한 것으로 판단된다. 절삭공구의 이송은 금속의 측면 소성유동을 일으킨다. 또한 절삭시 소재의 칩 하단부에는 복잡한 탄성과 소성변형이 발생한다. 피삭재의 고유 특성이 이러한 변형을 다르게 하고 특성치에 변화를 준다. 타이타늄은 꿈의 금속으로 불릴 만큼 비중은 낮은 대신 높은 기계적 강도를 갖고 있다. 이와 같은 고유 특성이 본 논문의 절삭실험에 작용하였을 것으로 판단된다.

Table 3. Analysis of variable

Source	Sum of Squares	DOF	Mean Square	F0	F (0.05)	P (%)
A	1463.70	2	731.85	454.57	4.10	80.27
B	290.53	2	145.27	90.23	4.10	15.93
C	2.83	2	1.42	0.88	4.10	0.16
D	3.82	2	1.91	1.19	4.10	0.21
A×B	42.15	4	10.54	6.55	3.48	2.31
A×C	4.28	4	1.07	0.66	3.48	0.23
error	16.13	10	1.61			0.88
Total	1,823.44	26				100.0

3.3. 최적조건에 대한 신뢰성향상

직교배열을 사용한 다구치 실험계획방법에 의해 선삭공정시 특성치에 미치는 제어인자들의 영향을 평가하고 임플란트 재료에 대한 선삭특성을 파악할 수 있다. 절삭공구를 사용하여 표면 품질을 향상시킬 수 있는 비율을 제품의 신뢰도라 한다. 다구치 방법에서는 신뢰성 실험과 관련한 신호 대 잡음비를 신호의 힘 q^2 과 잡음의 힘 $q(1-q)$ 의 비로 정의한다¹⁰⁾. 여기서 q 는 신뢰도를 나타낸다. 따라서 신뢰도의 값이 크면 S/N비의 값은 커지게 된다. 본 연구에서 적용한 선삭실험 결과를 살펴보면 특성치에 대한 신호 대 잡음비의 평균값은 -5.99(dB)이다. 분석결과 얻은 최적 조건에서의 이론적인 S/N비 값과 특성치 값은 각각 6.50(dB)와 0.47(μm)이었다. 또한 최적 조건에서 실제로 선삭가공을 수행한 후 얻은 S/N비 값과 특성치 값은 각각 6.40(dB)와 0.48(μm)이었다. Fig. 7은 도출된 최적 조건으로 선삭 후 실험적으로 얻은 S/N비에 관한 신뢰도와 직교배열표상의 각각의 조건에서 얻어진 S/N비에 관한 신뢰도 차이를 나타낸 것이다. 분석 결과 평균 49.4%의 신뢰도를 향상시켰다.

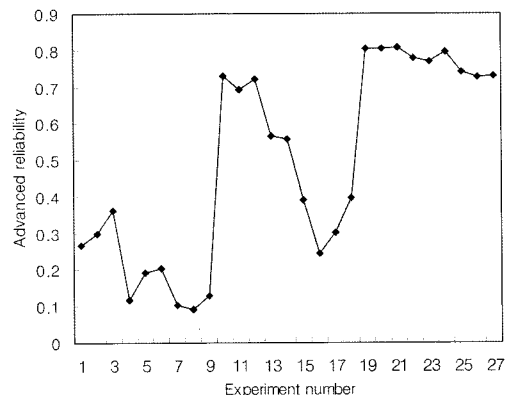


Fig. 7. Advanced reliability by Taguchi method.

4. 결론

본 연구에서는 작업자의 안전과 표면품질 향상을 목적으로 인체 시술에 사용하는 ASTM(F136-96) 시편을 사용하여 다구치 방법에 의한 선삭 실험 후 다음과 같은 절삭인자분석과 최적조건 도출로 인한 신뢰도 향상을 보였다.

1) 직교배열에 의한 실험 후 S/N비 분석에 의하면 A와 B인자의 경우가 특성치에 미치는 영향이 절대적인 것으로 나타났다.

2) 제어인자 C와 D의 영향은 거의 작용하지 않았는데, 시편 고유의 기계적인 특성에 기인한 것으로 판단된다.

3) 표면품위를 위한 최적조건으로 생산된 칩은 그 유동성을 향상시켜 작업자의 안전에도 기여한다.

4) 절삭 시뮬레이션 방법으로 시편과 공작기계의 강성을 고려한 절삭조건 선정이 가능함을 보여 과부하로 인한 작업자의 안전저해 조건을 예방할 수 있다.

5) 도출된 최적 조건의 선삭 실험으로 얻은 S/N비는 직교배열표 조건의 선삭 실험으로 얻은 S/N비 값에 비교하여 신뢰도를 평균 49.4% 향상시켰다.

참고문헌

1) S. Y. Hong, Irel Markus, W. C. Jeong, "New cooling approach and tool life improvement in cryogenic machining of titanium alloy Ti-6Al-4V", International Journal of Machining Tools & Manufacture Vol. 41, No. 15, pp. 2245~2260, 2001.

2) 김희남, 박태문, 하상용, 이주상, 김순채, "생산효율을 고려한 상자형모터 회전자의 유효절삭조건에 관한 연구(I)", 한국산업안전학회지, Vol. 10, No. 1, pp. 9~19, 1995.

3) 현동훈, 이용성, "금형 가공의 합리화를 위한 최적 절삭조건 선정 시스템에 관한 연구," 한국산업안전학회지, Vol. 8, No. 4, pp. 73~81, 1993.

4) W. H. Yang and Y. S. Tarn, "Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method", Journal of Materials Processing Technology Vol. 84, No. 1,1, pp. 122~129, 1998.

5) J. P. Davim, "Study of drilling metal-matrix composites based on the Taguchi Techniques", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 132, pp. 250~254, 2003.

6) W. H. Yang and Y. S. Tarn, "Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 84, pp. 122~129, 1998.

7) M. S. Hong and Z. M. Lian, "The optimal selection of cutting parameters in turning operations", Transaction of NAMRI/SME, Vol. XXIX, pp. 319~325, 2001.

8) Y. L. Su, S. H. Yao, C. S. Wei and C.T. Wu, "Analyses and design of a WC milling cutter with TiCN coating", Wear, Vol. 215, pp. 59~66, 1998.

9) M. J. Maeng, S. M. Jang, "A Study on Analysis of Parameter for Optimal Surface Quality in Face Turning," Journal of the KOSOS, Vol. 21, No. 1, pp. 21~27, 2006.

10) M. S. Song and H. S. Nam, Statistical quality control using statistica, Youngchi, pp. 420~438, 2002.