

실험적 방법에 기초한 칩브레이크 선정 Selection of chip breaker based on the experiment

전 준용 (영남대 대학원), 허 만성((주) 화신), 고 태조 (영남대 공대), 김 희술 (영남대 공대)

Jun Yong Jeon (Graduate School, Yeungnam Univ.), Man Sung Huh (Hwa-Shin Co.), Tae Jo Ko (Yeungnam Univ.), Hee Sool Kim (Yeungnam Univ.)

ABSTRACT

Chip control is a major problem in automatic machining process, especially in finish operation. Chip breaker is one of the important factors to be determined for the scheme of chip control. As unbroken chips are grown, these deteriorate quality of the surface roughness and process automation can not be carried out.

In this study, to get rid of chip curling problem while turning internal hole, optimal chip breaker is selected from the experiment. The experiment is planned with Taguchi's method that is based on the orthogonal array of design factor. From the response table, cutting speed, feedrate, depth of cut, and tool geometry are major factors affecting chip formation. Then, optimal chip breaker is selected and this is verified good enough for chip control from the experiment.

1. 서론

절삭가공시 연속 칩이 발생하게 되면 가공정밀도와 가공능률의 향상측면과 더불어, 인력절감에 의한 NC기의 복수관리나 로봇에 의한 무인화추세에 따른 다량의 칩처리가 공정 자동화에 있어 매우 중요한 문제의 하나로 대두되고 있다.

선삭가공 등의 고속절삭시 생성되는 연속형칩은 공구나 공작물에 영여 절삭작업을 방해하며 공작물의 표면을 손상시키때문에, 때때로 칩 제거를 위하여 절삭작업을 중단하고 칩을 제거하지 않으면 안된다. 따라서 주기적인 칩절단을 통하여 상기의 문제점을 해결함과 동시에 칩을 제어할 필요가 있는데 이런 역할을 하는 것이 chip breaker 이다.

칩의 절단은 대부분의 경우 공구경사면에 흠, 돌기를 만들어 놓거나 별도의 방해물을 부착한 chip 형성기에 의해 칩이 굴곡된 후에 공작물 또는 공구 여유면과 간섭하여 이루어 진다.^[2] 칩의 형상은 일정한 절삭조건하에서도 절삭중 칩에 가해지는 외력의 변화, 공구마모 등으로 인하여 계속하여 변하지만

정상상태하의 절삭에서는 칩의 흐름각과 굴곡 반경에 의하여 규정할 수 있다.^[1] 그러므로 효과적인 칩제어를 위해서는 chip 형성기를 포함하는 공구형상 및 절삭조건에 따른 칩 형상의 변화, 칩의 굴곡 및 절단특성에 대한 체계적인 지식이 요구된다.

본 연구에서는 정밀 기계 가공을 할 때 많은 절삭 변수들의 영향을 고려하여 어떠한 형상치수의 칩 브레이커가 자동차 부품중의 하나인 Axle housing 내경 절삭에 적합한가에 대한 선택과 경제적인 절삭가공을 위한 최적의 절삭 조건을 선정하고자 한다. 특히, 칩 처리의 원활과 양호한 다듬면의 생성 및 공구의 내구성과 같은 가공특성을 고려한 Axle housing 내경의 정밀 절삭에 관한 정량적인 데이터를 얻고 실험을 효과적으로 수행하기 위하여 통계적 실험법인 Taguchi방법을 적용하여 가장 최적의 공구와 절삭조건을 효율적으로 선정하고자 한다.

2. Taguchi Method의한 공구 및 절삭조건 선정

2-1 실험개요

본 실험에서는 실제 현장에서 단조처리된 SM45C의 Axle housing의 내경 선삭에서 전용 공작기계에 알맞는 공구의 선택과 절삭조건을 실험적인 방법으로 구하고자 한다. Chip 영김의 영향을 받지않고 고속 고정도의 가공물을 얻을 수 있도록 Taguchi Method를 이용하여 최적의 공구와 절삭 조건을 구하고자 하였다.

이 실험에 사용된 장비는 다음 Table 1과 같다.

Table 1 Experimental setup

Cutting machine	NC Machine(DNC-2 : 6")
Tool Holder	S25T PTFNR/L 16
Workpiece	forged SM45C

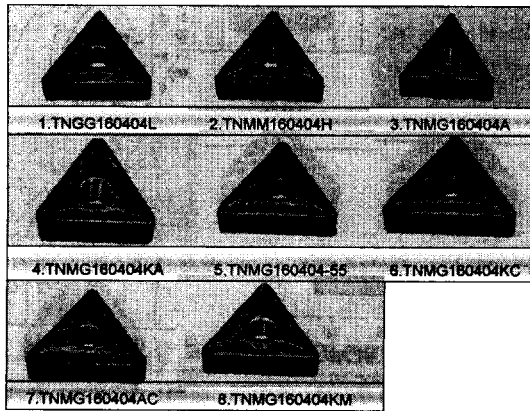


Fig.1 Insert specification used in the experiment

2-2. Taguchi 실험법의 적용

절삭실험에서 Fig.1과 같은 여덟가지의 공구에 대하여 절삭조건인 절삭속도, 이송속도, 절삭깊이를 적용하면 실험의 가지수가 상당히 많게 된다. 그러나 Taguchi방법의 직교배열(Orthogonal array)법을 사용하면 실험수를 줄임과 동시에 효과적으로 실험 목적에 영향이 크게 미치는 인자의 특성을 추정할 수 있다. 따라서 실험에 사용되는 시간과 비용이 절

감될 뿐만 아니라 많은 인자를 고려할 경우 직교배열 실험을 행함으로써 몇 번의 실험결과를 통해 추측하는 경우 신뢰성이 높다.

본 실험의 경우에는 칩이 절단되는 길이가 짧을수록 양호한 경우 이기 때문에 목적하는 값이 적을수록 좋은 망소특성을 적용하여 칩의 형상에 따라 일정한 값을 주어서 실험 결과를 다음 식과 같이 S/N 비로 바꾼다.^[3]

$$S/N \text{ Ratio} = -10 \log(1/n(y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + \dots + y_n^2)) \quad (1)$$

여기에서 n은 실험반복횟수, y_n 은 반복 데이터이다.

그리고 실험결과를 토대로 응답테이블을 만드는 데 이는 각인자의 레벨을 변화시켰을때의 Chip breaking에 미치는 정도를 표로 나타낸 것이다. Chip breaking에 영향이 큰인자(Strong Factor)를 선택하여 실제로 선택된 인자가 예상치와 같은지 상세 실험을 통해 확인한다.

Table 2 Factors and factor levels

수 준	인 자			
	A. 절삭깊이	B. 공구형상	C. 절삭속도	D. 이송속도
1	0.2mm	TNMG160404L	107 m/min	0.1 mm/rev
2	0.5mm	TNMM160404H	150 m/min	0.2 mm/rev
3		TNMG160404A	214 m/min	0.3 mm/rev
4		TNMG160404KA		
5		TNMG160404-55		
6		TNMG160404KC		
7		TNMG160404AC		
8		TNMG160404KM		

Table 2와 같이 Chip breaking에 영향을 미치는 인자로 공구형상, 절삭깊이, 절삭속도, 이송속도를 고려하고 인자레벨은 절삭이 가능한 최대와 최소대의 범위에서 이루어져 인자 레벨변화에 균형을 이루도록 고려하였다.

이상과 같은 설계인자를 모두 고려하여 실험하려면 144가지의 실험이 필요하지만 직교배열을 구성하면 인자간에 서로 독립적이라는 가정하에 다른 인자에 영향을 받지않아 18회의 실험만으로 요소사이의 성능의 평가가 가능하다. Table 3은 이 경우의 직교배열을 나타낸다.

Table 3 Orthogonal array

실험번호	A.절삭깊이	B.공구형상	C. 절삭속도	D.이송속도
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	1	4	1	2
5	1	5	2	3
6	1	6	3	1
7	1	7	2	1
8	1	8	3	2
9	1	9(1)	1	3
10	2	1	3	3
11	2	2	1	1
12	2	3	2	2
13	2	4	2	3
14	2	5	3	1
15	2	6	1	2
16	2	7	3	2
17	2	8	1	3
18	2	9(1)	2	1

실험의 목적에 따라 적용되는 인자 수준은 항상 동일하지 않기 때문에 특별히 구성된 Taguchi 테이블이 필요하다. 본 실험에서는 공구 형상의 가지수가 8가지이고, 표준 직교배열 테이블에서는 설계인자의 수준이 8가지에 적합한 경우가 없기 때문에 Table 3에서 B(공구형상)열과 같이 다수준배열(Multilevel Arrangement)을 필요로 하는데, 이는 표준 직교배열(L₁₈)에서 세가지 열을 조합하여 실험 목적에 합당하도록 수정한 열(Modified Columns)이다^[3]. 그리고 B열의 9번 레벨에는 현장에서 많이 사용하는 공구형상 1번을 적용하여 다른 공구형상에 비하여 2배의 실험함으로써 실험 오차를 줄이고 다른 공구형상보다 실험 데이터 값의 신뢰도가 높다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig.2는 Table 3의 직교배열에 의한 실험조건으로 절삭하였을 때 구하여진 chip의 형상이다. 실험조건에 따라서 칩이 잘 절단된 것에서부터 칩이 매우 엉겨있는 것 등 다양한 형태의 chip을 보이고 있다. 직교배열에 의한 2회 반복 실험결과를 토대로 chip의 형상에 따라 결과가 양호한 정도에 따라 값을 1부터 10까지의 범위에서 일정한 값을 주어 Table 4와 같이 S/N비(dB)를 구하였다.

Table 4 S/N Response table

실험번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S/N 비	-9.2	-20	-4	-6.02	-20	-20	-10	-20	-20
실험번호	10	11	12	13	14	15	16	17	18
S/N 비	-20	-20	-12	-14.8	-20	-13	-13.01	-13.1	-20

Table 4는 Table 3을 근거로 실험한 데이터이다.

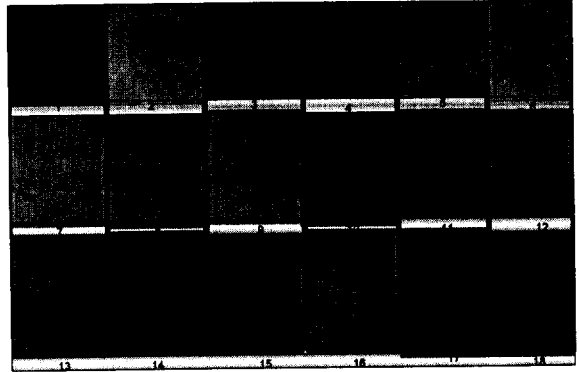


Fig. 2 Chip formation by Taguchi method

다음은 Table 5와 같이 응답테이블로 부터 각 인자의 수준 변화에 대하여 Strong Factor를 선택할 수 있다. 그리고 Fig.3은 Table 5의 응답테이블을 도식적으로 나타낸 것이다.

Table 5 Response table

Label	A. 절삭깊이	B.공구형상	C.절삭속도	D.이송속도
1	-14.57	-17.3	-13.54	-16.53
2	-16.17	-20	-16.07	-15.1
3		-7.78	-16.16	-15.32
4		-10.43		
5		-20		
6		-16.5		
7		-11.5		
8		-20		

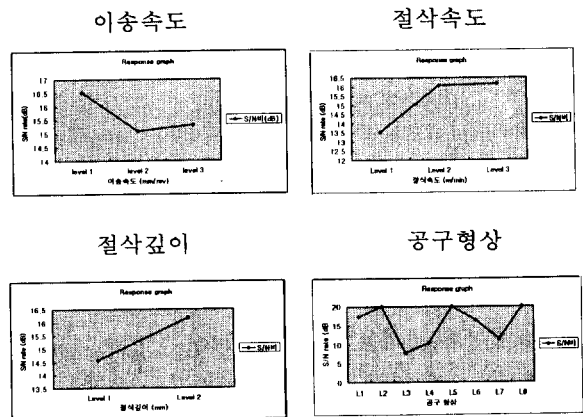


Fig. 3 Response graph

위의 그림은 망소특성을 고려한 각 인자의 효과를 보여주고 있다. Fig. 3을 살펴보면 공구의 형상이

Chip breaking에 가장 영향을 많이 미침을 알 수 있다. 반면 이송속도는 큰 영향을 미치지 않음을 볼 수 있는데 이는 chip breaker가 작용하지 않는 공구 형상에서는 이송속도가 커도 chip breaking에는 아무런 영향을 미치지 못하기 때문에 나타는 결과이다. 그러나 chip breaker가 작용하는 공구형상에서는 이송속도의 대, 소가 chip breaking에 중대한 인자임을 Strong Factor로 선택된 3번 공구의 실험에서 볼 수 있다.

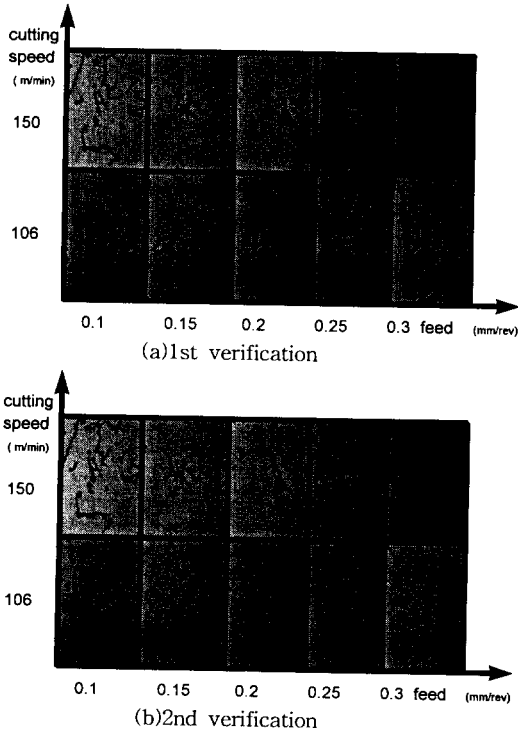


Fig. 4 Different Chip region (Tool No.3 :TNMG160404A)

Strong Factor로 선택된 공구로 절삭조건을 다양하게 변화시켜 실제 절삭 실험을 행하였을 때 거의 모든 구간에서 Fig. 4과 같이 Chip Breaker에 의한 Chip의 전단된 결과를 볼 수 있었다.

실제 실험에서는 아래 Table 6과 같이 선택된 공구로 절삭조건을 다양하게 변화시켜 최적의 표면 거칠기를 구하고자 절삭된 Axle housing 내경을 이송 방향으로 임의의 두곳을 측정하고 2회 반복 실험을 하였다. 이송방향의 측정 길이를 0.75mm 만큼 하였

으며 정밀한 측정을 하고자 본 실험에서는 공구의 마모를 고려하지 않아도 좋을만큼 공구 인서트를 자주 교환하여 정상 상태하의 공구에서 절삭 작업을 하였다.

한편, 절삭 깊이는 0.5mm일때보다 0.2mm일때가 더 양호한 망소특성을 나타내었기 때문에 작은 값 (0.2mm)을 선택하여 절삭을 하였으며 반복 실험에서의 데이터의 반복성이 상당히 좋았다.

Fig.5는 Table 6을 절삭속도, 이송속도, 표면 거칠기를 3차원그래프로 나타낸 것이다.

Table 6 Measured surface roughness data

절삭속도 (m/min)	이송속도 (mm/rev)	1회실험		2회실험		표면조도 (Ra)	
		1회측정	2회측정	1회측정	2회측정	SUM	AVE
106	0.1	2.62	2.91	2.47	3.02	11.02	2.76
106	0.15	3.09	2.74	2.84	3.15	11.82	2.96
106	0.2	3.86	3.99	3.76	3.76	15.37	3.84
106	0.25	4.43	4.65	4.25	4.3	17.63	4.41
106	0.3	5.57	6.2	5.23	5.25	22.25	5.56
117	0.1	2	1.98	2.86	2.4	9.34	2.34
117	0.15	2.24	2.15	2.18	2.55	9.27	2.32
117	0.2	3.3	3.35	3.04	3.09	12.98	3.25
117	0.25	3.64	4.08	4.24	4.14	16.35	4.09
117	0.3	4.39	4.6	5.85	5.91	21.05	5.26
150	0.1	1.45	1.61	1.33	1.55	5.94	1.49
150	0.15	2.09	1.79	2	2.09	7.97	1.99
150	0.2	3.13	3.04	3.32	3.22	12.71	3.18
150	0.25	5.38	5.29	4.77	4.6	20.04	5.01
150	0.3	7.23	7.08	7.07	6.72	28.1	7.02
192	0.1	1.15	1.2	1.24	1.2	4.79	1.2
192	0.15	2.03	2.02	2.03	2.02	8.1	2
192	0.2	3.22	3.38	3.35	3.22	13.17	3.29
192	0.25	5.31	5.43	4.95	5.35	21.04	5.26
192	0.3	6.32	6.2	7.01	6.83	26.36	6.59
256	0.1	1.32	1.29	1.33	1.35	5.29	1.3
256	0.15	2.11	1.99	1.94	2.05	8.09	2.02
256	0.2	3.28	3.36	3.49	3.27	13.4	3.35
256	0.25	5.2	5.03	5.11	5.11	20.45	5.11
256	0.3	6.6	6.89	6.3	7.42	27.21	6.8

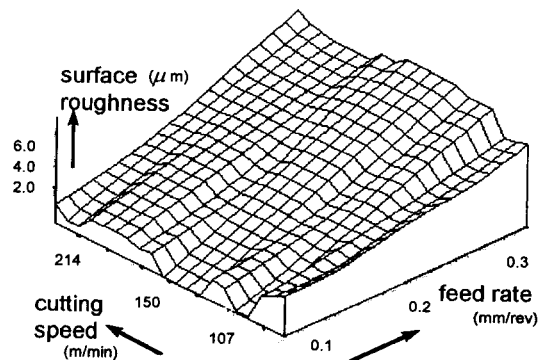


Fig. 5 Surface roughness graph

Fig. 5에서 보면 이송속도가 낮아짐에 따라 표면 거칠기가 양호해짐을 볼 수 있다. 그리고 절삭속도가 높고 이송속도가 낮은 경우 표면 조도의 상태가

좋아지지만 반면 이송속도가 높은 경우에는 절삭속도가 높을수록 더욱 불량하게 됨을 볼 수 있다. 따라서 일반적인 절삭이론과 실험결과와 잘 일치하고 있음을 볼수있다.

4. 최적 절삭조건의 선정

Fig. 3에 의하면 절삭속도가 느리고, 이송속도가 빠른 경우 Chip의 breaking이 잘 이루어졌다. Fig. 4에서 Tool insert #3(TNMG160404A)의 경우에는 절삭속도와 이송속도에도 영향을 받지만, 공구 형상이 Chip breaking에 절대적인 Strong Factor로 작용하여 전 구간에 걸쳐 양호한 절삭 상태를 보여주고 있다.

실제 Field test에서도 선택된 공구로 교체하여 절삭조건(절삭깊이 0.2mm, 회전수 550 rpm, 이송속도 0.12(mm/rev))로 절삭을 하였을 때, 나선형 Chip으로 잘 부서졌다. 이 절삭조건으로부터 실험적으로 구해진 표면조도(Ra)는 2.3(μm)정도로서 양호한 편이었다.

Table 6의 data값을 분석하면 공구 형상은 #3(TNMG160404A)의 타입을 사용하였을 때 절삭속도가 150 (m/min), 이송속도가 0.1-0.15 (mm/rev) 정도에서 최적의 절삭조건 영역으로 사용이 될 수가 있다.

5. 결론

실험적 방법에 의한 chip breaker 선정을 통한 Chip 말림 제거에 관한 연구 결과를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Chip 절단에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 공구 형상이다. 특히, 정삭의 경우에 Chip breaker는 공구의 인선 끝단 부근까지 groove가 형성되어있고, groove의 폭이 좁고 깊은 형상의 것이 바람직하다.

2. Chip의 절단에 있어서 Chip breaker가 작용하는 공구의 형상에서는 이송속도에 의해 가장 큰 영향을 받지만 이송속도가 증가하면 표면 조도는 급속하게 나빠지므로 적절한 절삭조건의 선정이 요구된다

3. 다양한 절삭조건의 실험결과 Chip의 절단에는 절

삭속도는 낮고, 이송속도는 큰 것이 유리한 반면에 표면 거칠기는 절삭속도가 높고, 이송속도가 낮은 것이 양호하였다. 따라서 Axle housing 내경의 정밀 절삭가공에서는 공구의 형상은 TNMG160404A 타입의 공구 인서트와 절삭속도는 106-150 (m/min), 이송속도는 0.1-0.15(mm/rev)가 최적의 절삭영역 이다.

후기

이 연구는 1997년도 산.학.연 기술개발 지역 컨소시엄에 의한 결과이며, 본 연구를 위해 많은 배려를 베풀어주신 (주)화신정공 정 재형 사장님께 감사드립니다.

5. 참고 문헌

[1] M.Rahman, "A three-dimensional model of chip flow, chip curl and chip breaking under the concept of equivalent parameters", Int. J. Mach. Tool Manufact, Vol. 35, No.7, pp.1015-1031, 1995.

[2] S.Kaldor, "On the mechanism of chip breaking", Journal of Engineering for Industry, Vol. 101, pp.241-249, 1979.

[3] "Taguchi Methods", Addison-wesley publishing company, 1993.

[4] S. Jawahir, "On the controllability of chip breaking cycle and modes of chip breaking in metal machining", Annals of the CIRP, Vol. 39, pp.47-51, 1990.

[5] S.Jawahir, "An analytical model for cyclic chip formation in 2-D machining with chip breaking", Annals of the CIRP, Vol. 45, pp.53-58, 1996

[6] 박성현, "다꾸찌 방법과 통계적 공정 관리를 중심으로 한 품질공학", 민영사

[7] 이영문, "선삭가공의 칩형상해석", 대한기계학회논문집, Vol.15, No.1, pp.139-144, 1991.