

자동차/기계 설계프로젝트 최종 보고서

과제명 : 밀링가공에서 절삭조건이 표면 거칠기에 미치는 영향

(2012년 3월 15일 ~ 11월 30일)

팀명: S K Y Team

자동차/기계공학 설계프로젝트 최종 보고서를 붙임과 같이
제출합니다.

2012. 11

대구대학교 기계자동차공학부(자동차전공)

제 출 문

대구대학교 기계자동차공학부 학부장 귀하

본 보고서를 대구대학교 기계자동차공학부 설계프로젝트 과제
'밀링가공에서 절삭조건이 표면 거칠기에 미치는 영향'의 결과보고
서로 제출합니다.(과제기간 : 12. 03. 15 ~ 12. 11. 30)

2012. 11. 30.

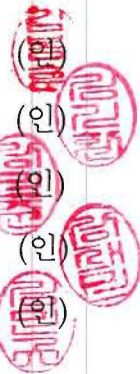
지도교수 : 김 봉 훈

대표학생 : 김 기 환

참여학생 : 강 민 준

강 재 민

김 민 규



목 차

최종보고 요약문	4
제1장 과제내용 및 목표	5
제1절 목적 및 필요성	5
제2절 과제의 목표	5
제3절 관련 논문 분석	6
제2장 개념설계 및 상세설계	6
제1절 개념설계	6
제2절 요인시험	7
제3절 시스템 설계	9
제3장 운용 및 실험	10
제1절 실험계획	10
제2절 해석 실험 과정	15
제3절 해석 S/W AdvantEdge의 이론적 배경	17
제4절 Advantedge 해석결과	18
제5절 실험결과	20
제6절 최종 실험결과 및 분석	25
제4장 결론	27

최종보고 요약문

과제명	밀링가공에서 절삭조건에 표면 거칠기에 미치는 영향
팀명	S K Y _Team
팀원	김기환, 김민규, 강재민, 강민준
과제기간	2012년 3월 15일 ~ 2012년 11월 15일

1. 개발내용 및 목표

조건이 안전한 영역에서의 절삭유가 미치는 영향과 가혹한 조건에서 절삭유가 소재에 미치는 영향을 분석하고 이러한 실험적인 과정을 FEM 해석 소프트웨어인 Advantedge를 통하여 발생하는 절삭력과 칩의 형상 등의 자료를 얻고 이러한 자료를 바탕으로 실험적인 요소와 해석적인 요소를 비교 분석 후 적절한 절삭유 공급을 제어 해줌으로써 제품의 품질 향상과 공구 마멸의 우려를 좀 더 쉽게 해결한다.

2. 개념설계 및 상세설계

먼저 주제와 관련된 논문을 분석해보고 논문과 비교하였을 때 차별화를 두어 가야할 방향을 설정하고 주제와 관련된 이론적 내용을 바탕으로 하여 인서트와 절삭유 소재를 설정하고 순서도(Flowchart)와 전체 시스템 구성도를 설계하여 주제의 중심을 잡는다.

3. 운용 및 시험

절삭조건인 요소를 절삭 깊이, 이송 속도, RPM 으로 3가지 요소를 설정하여 각 조건에 절삭유의 유량을 포함하여 전체적인 절삭공정 Table을 완성한다. 절삭조건에 따라서 밀링을 이용한 가공을 실시하고 가공한 소재를 이용하여 조도 측정계를 이용한 표면의 조도를 측정하고 습식절단기와 마운팅 공정을 통하여 I-Solution 현미경을 통한 표면의 형상을 측정한다. 이렇게 실험적으로 확인한 결과와 Advantedge를 이용한 이론적인 해석 결과와 비교분석을 통하여 절삭유가 표면에 미치는 영향을 최종적으로 분석하고 고찰을 실시한다.

4. 세부 연구개발 내용 및 실적

절삭조건대로 실시한 실험을 바탕으로 하여 실험 Matrix를 구성하고 이에 따라 양호한 조건에서 절삭유가 소재 표면의 품질에 미치는 영향과 가혹한 조건에서 절삭유가 소재 표면의 품질에 미치는 영향을 분석하였을 때 절삭조건이 가혹한 영역 내에서 절삭유가 공구와 소재의 표면정도의 미치는 영향을 크다는 결론을 얻을 수 있었으며 좀 더 가혹한 절삭조건인 영역을 4가지로 재설정하여 이에 따른 절삭 조건에 따른 소재 표면정도를 분석하여 최종적으로 가혹한 영역 내에서 절삭유가 소재에 미치는 영향을 분석하고 Advantedge 소프트웨어를 통하여 이론적으로 해석한 부분과 실험적인 부분을 비교분석을 실시하고 최종적인 결론을 내린다.

제 1장 과제내용 및 목표

제 1절 목적 및 필요성

밀링머신은 여러 개의 절삭 날을 가진 밀링 커터라고 하는 절삭공구를 주축에 고정하여 회전시키고, 테이블 위에 고정된 소재에 절삭 깊이와 이송을 주어 절삭하는 공작 기계로서 선반과는 달리 여러 개의 절삭 날이 회전하는 형식이므로 소재제거율이 높은 장점을 가지고 있으며 선반에 비해 가공 오차가 큰 단점이 있다. 그리고 이러한 밀링머신은 적절한 시기에 일정량의 절삭유를 공급해주지 않으면 절삭 공구 마멸 발생이 훨씬 앞당겨지며 또한 가공 제품의 표면정도가 저하될 우려가 있다. 또한 다양한 가공조건에서 해석결과가 어떠한 차이를 보이고 있는 지에 대한 해석 및 실험결과를 제시하지 못하고 있어 실제 적용 관점에서 미진한 부분이 있었다고 할 수 있다.⁽¹⁾

뿐만 아니라 다양한 가공조건 하에서의 절삭온도 변화를 해석과 실험으로 비교한 연구는 절삭온도에 관한 유효한 정보를 주고 있으나, 산업현장에서 보다 많이 필요로 되고 있는 절삭력에 관한 정보를 주지는 못하고 있다. 이러한 문제점을 보완하고자 절삭 과정에서 절삭유 공급이 필요한 소재를 선정하고 이 소재를 다양한 절삭조 건대로 가공 하였을 때 공구의 마모상태와 절삭 시 발생하는 열 그리고 제품의 표면 상태를 확인하고 조건이 안전한 영역에서의 절삭유가 미치는 영향과 가혹한 조건에서 절삭유가 소재에 미치는 영향을 분석하고 이러한 실험적인 과정을 FEM 해석 소프트웨어인

Advantedge를 통하여 발생하는 절삭력과 칩의 형상 등의 자료를 얻고 이러한 자료를 바탕으로 실험적인 요소와 해석적인 요소를 비교 분석 후 적절한 절삭유 공급을 제어 해줌으로써 제품의 품질 향상과 공구 마멸의 우려를 좀 더 쉽게 해결해 보고자 한다.

제 2절 과제의 목표

밀링머신 주축회전계에 있어서 가공 시 적절한 절삭유 공급에 따라 절삭유 공급량이 공구의 마모나 제품의 품질에 미치는 영향을 분석해보고 가공제품 품질향상의 거동에 대한 고찰 실시

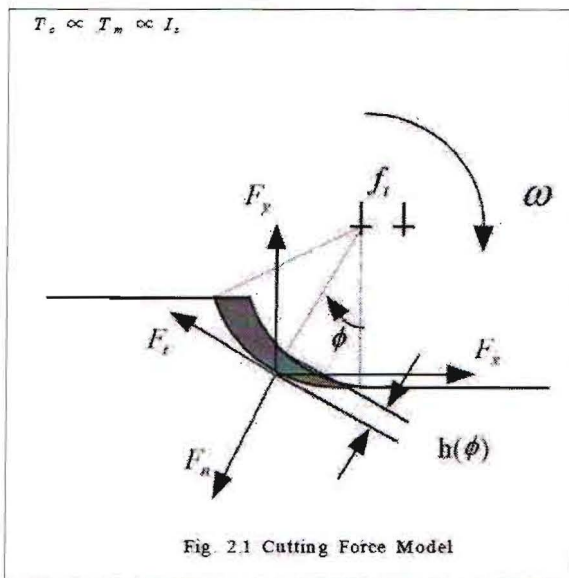


Fig 1.1 절삭과정에서 절삭력의 관계

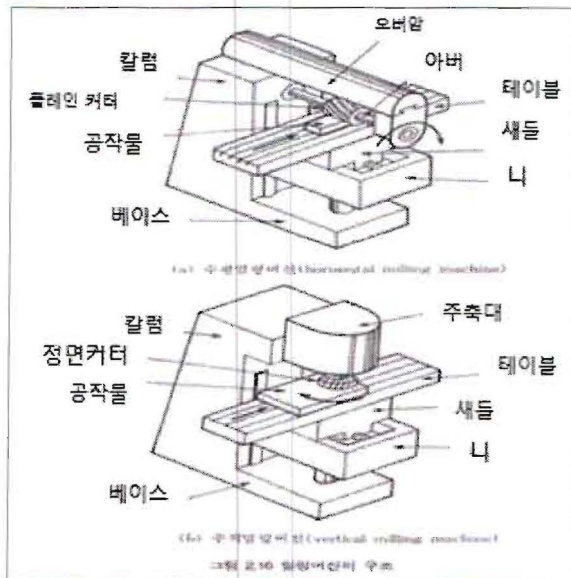


Fig 1.2 밀링 머신의 기본구조

제 3절 관련 논문 분석

절삭과정과 관련된 논문들을 수집하여 우리가 가야될 방향을 정하고 기준을 정하였다 이중 본 연구의 주제와 유사한 논문 2부를 발견할 수 있었다. 먼저 '정면 밀링 가공 시 절삭조건 변화에 의하여

표면 거칠기 특성에 관한 연구⁽²⁾에 포함된 내용을 보면 절삭조건 변화에 의하여 표면 거칠기 특성에 관한 연구를 한다는 점에서 본 연구와 유사한 점을 띄고 있지만 소재에 대한 표현을 하지 않고 있고 주로 절삭과정 중에서 발생하는 절삭력을 공구동력계를 사용함으로써 이러한 절삭력을 통하여 나오는 표면 거칠기를 분석하는 연구로 보여 진다.

다른 논문으로 'SUS304의 정면밀링 가공 시 발생하는 공구파손 검출에 관한 실험적 연구'⁽³⁾에서 소재 SUS304를 사용하여 절삭과정 중에서 발생하는 공구의 마모 및 파손을 검출하는데 목적을 두고 있다. 이 논문에서 역시 공구파손을 통하여 검출되어진 공구마모 및 시편의 조도와 절삭력 성분을 측정하는데 방향을 정하고 있지만 절삭유와 관련된 내용은 포함하지 않고 있다.

이 두 가지 논문을 비교분석 해본 결과 전반적으로 절삭 과정에서 발생하는 절삭력에 대한 내용을 공구 동력계와 증폭기를 사용함으로써 A/D Converter를 거쳐서 이송속도와 절삭시간에 맞춰서 데이터를 받아내는 연구내용이 주를 이루고 있다. 물론 소재 SM45C등 강성이 약한 소재를 가공 중에 발생하는 절삭력과 관련된 내용을 연구하는 것은 해석적인 의미와 산업 현장에서 필요로 하는 중요한 주제로 적용 될 수 있다. 하지만 강성이 강한 소재를 사용할 경우에 그 영향 인자로 중요 하게 발생할 수 있는 절삭유와 관련된 연구 내용은 어디에도 찾아 볼 수 없었다.

따라서 범용 밀링을 이용하여 강성이 강한 소재 SUS304를 가공하여 발생될 수 있는 여러 가지 절삭력과 절삭온도에 관해서 적절한 절삭유를 제어하였을 때 얻을 수 있는 효과와 표면 상태에 대해서 실험적으로 연구 해보기로 최종적으로 방향을 정하였다.

제 2장 개념 설계 및 상세설계

제 1절 개념설계

1.1 이론적 배경

절삭가공이란 각종 재료를 바이트 등의 절삭공구를 사용해서 가공하여 소정의 치수로 깎는 것을 말한다. 절삭가공은 기계로 재료를 가공하는 것으로 대표적인 것에는 밀링, 선반, 드릴링, 보링 등이 있다. 모두 회전력을 이용하여 재료를 가공 하는데 바이트나 공구 등으로 재료를 깎아낸다.

- 절삭운동
 - 절삭해 낼 수 있는 힘(절삭력)
 - 이송장치
 - 공구의 위치 조정 기능
 - 이송운동 (mm/rev, mm/min) : 절삭운동과 직각방향으로 옮겨가는 운동
 - 위치조정 : 능률적인 작업을 위해서 공구와 일감사이의 거리
(공구가 대기하고 있는 위치를 조정한다.)
 - ab : 전단면 (칩으로 분리)
 - Φ : 전단각 (전단면이 절삭의 방향과 이루는 각)
 - a : 윗면 경사각 (날 끝에서 절삭방향의 수직선과 이루는 각)
- ※ a가 커지면서 Φ 커지므로 칩은 얇고 길어지며, 절삭저항은 작아진다.
- ① 절삭시 날끝위에 있는 재료는 소성변형
 - ② ab선 부근의 분자 사이에는 미끄럼이 일어나 노체로부터 분리
 - ③ 분리된 재료는 칩으로 되어 다시 공구의 윗면을 따라 흘러나간다.

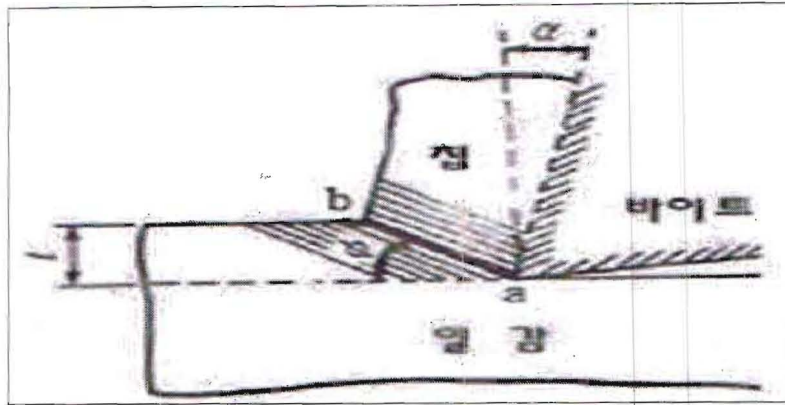


Fig 2.1 절삭 과정 시 칩과 소재의 관계사진

1.2 영향인자

밀링가공 시 절삭속도, 이송속도, 절삭깊이는 가장 큰 영향을 주는 요인이라고 할 수 있다.

• 절삭속도

밀링커터의 매분 원주속도로써 공작물 및 공구의 재질에 따라 다르다. 밀링 가공시에는 공구 및 공작물의 재료에 따른 절삭속도가 정해져 있으며, 이에 따라 절삭속도를 선택하고 계산에 의해 주축의 회전수를 변환한다.

$$V = \frac{\pi DN}{1000} \quad [V : \text{절삭속도(m/min)}, N : \text{커터회전수(rpm)}, D : \text{밀링커터의 직경(mm)}]$$

• 이송속도

밀링가공시 이송속도는 밀링커터의 날 1개의 이송을 기준으로 한다.

$$f = fz \times z \times n$$

- f : 테이블의 이송속도(mm/min)
- fz : 밀링커터의 날 1개마다의 이송(mm)
- z : 밀링커터의 날 수
- n : 밀링커터의 회전수

• 절삭깊이

절삭최대깊이는 5mm이하로 하고 다듬질 절삭의 경우는 0.3~0.5mm로 한다. 절삭깊이가 너무 작으면 날 끝의 마멸이 커진다.

제 2절 요인시험

2.1 가공재료

<SUS304>

대표적인 오스테나이트계 스테인리스강으로 18-8강으로 불리며, 내약품성, 내열성이 뛰어나기 때문에 처리수조 등에 사용된다. SUS 304는 Ni 8~11%, Cr 18~20%를 함유한 강이다.

Table 2.1 SUS304의 화학 성분

C	Mn	Si	P	Cr	Ni
0.08%이하	2.00%이하	1.00%이하	0.040%이하	18.00/ 20.00%	8.0/ 10.50%

비산, 냄새 등의 안전위생문제와 작업환경문제 및 법적규제 유제비용 등의 경제성과 절삭 가공의 자동화 및 집중관리 체제로 소량다품종생산으로 이행 될 것으로 보며 FMS의 목적이 무인 자동화에 있으므로 안전위생수용성 절삭유제의 사용이 바람직스러우며 냉각성이 요구되는 드릴가공, 리머가공 등과 고속가공의 수용에 의해 수용성절삭유의 요구가 증대되고 있다.⁽⁴⁾

Table 2.3 수용성 절삭유의 종류

종류	조성	특징 및 용도
Emulsion 형	광유 유성제 유화제극압제	물로 희석하면 1 μ 이상의 O/W형 유백색의 메멀존형성, 유성이 우수하면 절삭 및 중연삭가공에 적합
Semi-Synthetic 형	합성유화제 소량의 광유 유성제극압제	물로 희석하면 1 μ 이하의 투명, 반투명 액상형성 유성을 필요로 하는 연삭과 일부의 절삭작업에 적합
Synthetic 형	무기화합물 유화제 유성제극압제	물에 완전용해하며, 투명, 반투명 용액형성 큰 냉각특성을 갖으며 연삭작업에 적합

제 3절 시스템 설계

3.1 순서도(Flowchart)

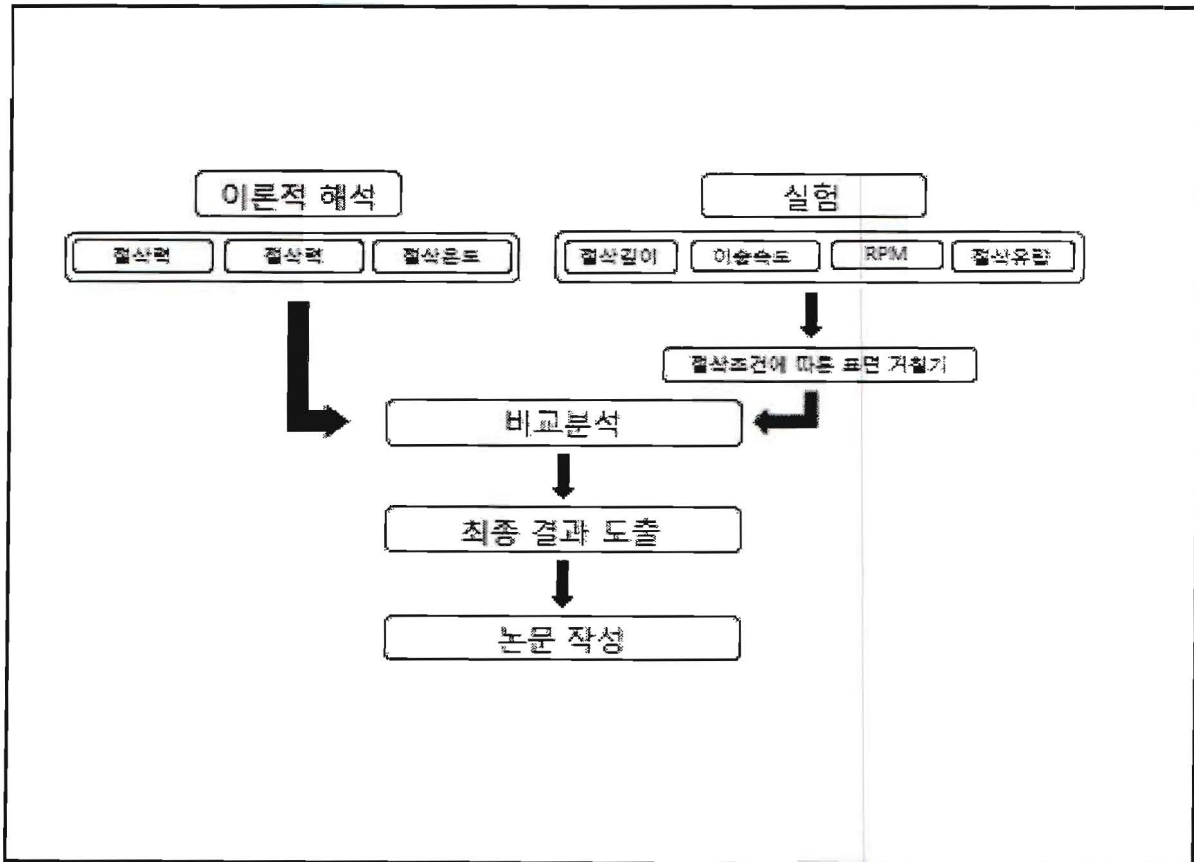


Fig 2.3 연구 전체 순서도

3.2 시스템 구성도

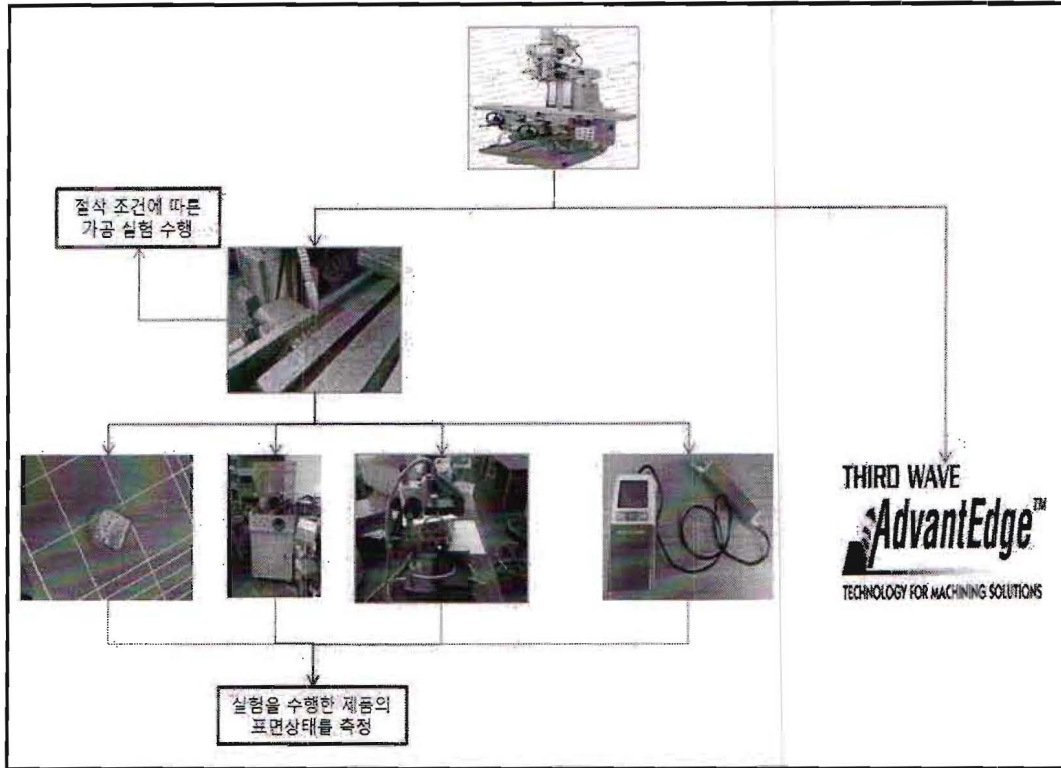


Fig 2.4 실험과 해석 관련 시스템의 구성도

제 3장 운용 및 실험

제 1절 실험 계획

1.1 사용 공구(Insert) 및 커터(Cutter) 제원

스테인레스 스틸을 가공을 위한 조건 절삭유 유량, 밀링 스피들 속도(RPM), 절삭 깊이, 절삭 속도 등에 변수를 적용하여 밀링 가공 시행 예정.

위의 절삭 조건에 따라 SUS304를 범용 밀링 머신을 이용하여 가공 할 때 표면의 거칠기는 달라질 것으로 예상. 조건을 다르게 하여 밀링을 시행하여 표면 거칠기를 비교하고, 표면 거칠기 값이 가장 낮은 조건과 가장 높은 조건의 테이블을 찾을 예정.

SUS304의 표면을 조도 측정기로 측정하여 값을 얻고, 금속 현미경을 이용하여 촬영 한 뒤, 조도 값과 표면 굴곡의 관계를 찾을 예정.

Table 3.1 실험에 사용될 인서트의 재원

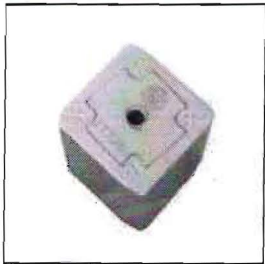

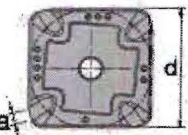
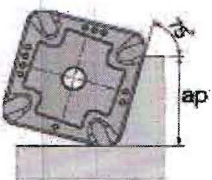

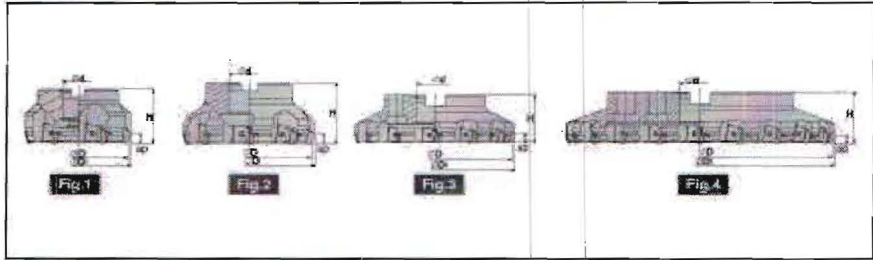
Insert			
			
d	t	a	ap
12.70	3.180	1.00	8.00

Table 3.2 실험에 사용될 밀링 커터의 재원

Cutter							
							
z	D	D1	d	H	ap	kg	Fig.
5	80.000	85.40	25.400	50	9.50	1.500	1

1.2 절삭조건

위의 표와 같이 스피들 속에 대한 변수 (1600RPM, 800RPM), 절삭유 유량의 변수(110ml/s, 40 ml/s), 절삭 깊이의 변수 (1mm, 0.5mm), 절삭 속도의 변수 (41mm/min, 61mm/min)를 적용하여 16가지 조건을 예상 할 수 있음.

조도 측정기 사용 계획 (* 조도 측정 기준은 KS B 0161 규격에 따름)

이 규격의 적용 범위에서 말하는 표면 거칠기는 ISO 468, ISO 4287-1의 "Surface roughness"에 상당하는 용어로서 공업 제품의 표면에서의 표면 굴곡 및 기하 편차를 제외한 미세한 요철을 대상으로 하고 있다.

표면 거칠기는 표면의 하나의 성질을 정하는 양이지만, 무엇을 "표면 거칠기"라고 하느냐의 정의도 분명하지 않다. 항상 문제가 되는 것은 이른바 "거칠기"와 "굴곡"의 구별이다. 거칠기와 굴곡을 그 성질상 구별하면 전자는 표면이 매끈매끈하다거나 꺼칠꺼칠하다거나 하는 감각의 기초가 되는 양이고, 후자는 거칠기보다 큰 범위에서의 표면의 주기적인 요철이라고 되어 있다. 구 KS B 0161-1967에서는 이 입장에서 표면 거칠기를 정의하고 있었다. 그러나 넓은 범위의 표면을 생각하면 굴곡은 위와 같은 정의에서 거칠기와 구별할 수 없는 것이 많다.

구체적으로 측정 규격으로는 거칠기를 굴곡과 구별하기 위해서 굴곡의 피치에 상당하는 길이를 정해야 하지만 이것은 위의 정의만으로는 불가능하다. 실제로는 거칠기나 굴곡의 정의와 무관하게 기준 길이를 지정하여 그 안의 산을 모두 거칠기로 할 수밖에 없다.

이 규격에서는 무엇을 거칠기로 하느냐 하는 정의는 피하고 적용 범위에 나타낸 6종류의 표면 거칠기를 정의하여 측정할 때 선택한 일정 컷오프값 또는 기준 길이 안에 포함되어 있는 요철은 모두 "표면 거칠기"라고 생각하는 입장을 취하고, 이것은 ISO와 같은 사고방식으로 ANSI, BS의 실제 측정할 때에 취하고 있는 입장과 같다.

따라서 표면 거칠기를 지정하고, 또는 측정하는 경우 "컷오프값 또는 기준 길이"가 가장 중요한 요소가 되는데, 컷오프값 또는 기준 길이는 측정 목적에 따라 달라져야 한다는 입장을 취하고 있다. 예를 들면 선삭 가공에서 이송 마크가 문제가 되는 경우는 그 이송의 피치보다 큰 컷오프값 또는 기준 길이를 취하여야 한다. 일반적으로 컷오프값 또는 기준 길이가 길면 표면 거칠기의 값은 크게 나온다.

이 규격을 적용한 표면 거칠기를 구하는 경우, 컷오프값 또는 기준 길이는 미리 관계자에 의해 결정되어야 하는데, 지금까지의 많은 경험에서 어느 정도 크기가 결정되어 있다는 것, 측정기를 제작하는 입장에서는 몇 종류로 한정되어 있는 것이 바람직하다는 것 등의 이유로 규격에서는 ISO나 기타 외국 규격과 부합하는 몇 종류로 한정하였다.

Table 3.3 예상 가공조건

절삭조건	스핀들 속도(RPM)	절삭유 유량(ml/s)	절삭 깊이(mm)	절삭 속도(mm/min)
1.	1600	110	1	61
2.	1600	110	1	41
3.	1600	110	0.5	61
4.	1600	110	0.5	41
5.	1600	40	1	61
6.	1600	40	1	41
7.	1600	40	0.5	61
8.	1600	40	0.5	41
9.	800	110	1	61
10.	800	110	1	41
11.	800	110	0.5	61
12.	800	110	0.5	41
13.	800	40	1	61
14.	800	40	1	41
15.	800	40	0.5	61
16.	800	40	0.5	41

1.3 조도측정기(SJ-201)

1.3.1 표면굴곡

이 규격과 관련된 굴곡은 KS B 0610⁽⁶⁾에 재정의되어 있는데, 거칠기와의 관계에 대하여 간단히 다룬다. 굴곡에 대해서는 지금까지의 규격 재검토 때마다 그 성질 등에 대하여 장시간 토의가 이루어졌지만 굴곡을 수치로 표시할 수 있는 정의를 정하기에는 많은 문제가 남아있다. 따라서 이 규격에서는 위에 서술한 것과 같이 거칠기와 굴곡의 성격적인 구분을 하는 것을 피하고, 어느 주기보다 긴 파형 성분으로 만들어지는 파형은 “표면 굴곡”이라는 사고방식을 취하여 컷오프값 또는 기준 길이를 표면 거칠기의 수치와 독립적으로 결정할 수 있는 방식으로 하였으므로, 컷오프값 또는 기준 길이의 채용 방식에 따라 굴곡의 성분이 거칠기의 측정값에 미치는 영향을 크게 할 수도, 작게 할 수도 있게 되어 있다. 따라서 컷오프값 또는 기준 길이를 각각 큰 것과 작은 것 두 가지를 골라서 각각의 표면 거칠기의 수치를 구하면 표면 굴곡에 대한 정보를 얻을 수 있다.




1.3.2 촉침

촉침의 앞 끝 굴곡 반지름은 단면 굴곡의 측정 정밀도에 큰 영향이 있다, 기하학적으로 말하자면 촉침의 앞 끝 반지름은 작을수록 좋지만, 너무 날카로우면 시료면을 손상시킬 우려가 있고 촉침의 수명도 짧아진다. 이 때문에 촉침의 앞 끝 곡률 반지름은 외국 규격을 참고해서 KS B 0501⁽⁶⁾(촉침식 표면 거칠기 측정기)에서는 표준값 2 μ m, 5 μ m 및 10 μ m의 3종류로 규정하였다. 특히 섬세한 다듬질면에서는 촉침의 앞 끝 곡률 반지름이 문제가 되므로 주의하여야 한다. 또한 촉침부의 측정력은 촉침부의 정적인 값으로 표현되어 있다. 그러나 검출기가 이동하고 있을 때에 피측정면 위의 요철에 작용하는 동적인 측정력은 검출기의 이동 속도와 피측정면의 요철의 높이, 피치 등에 따라 다르지만 일반적으로 정적인 측정력보다 상당히 커진다. 이 동적 측정력은 수치값 이하로 규정하는 것은 곤란하므로, 실제로 검출기를 이동하였을 때에 피측정면 위에 흠집이 나지 않을 정도의 동적인 측정력을 골라야 한다.

Table 3.4 Ry를 구할 때의 기준 길이 및 평가 길이의 표준값

Ry의 범위 (μm)		컷오프값(mm)	평가 길이(mm)
초과	이하		
(0.025)	0.10	0.08	0.4
0.10	0.50	0.25	1.25
0.50	10.0	0.8	4
10.0	50.0	2.5	12.5
50.0	200.0	8	40

Table 3.5 조도 측정기의 모델과 측정타입

제품명	SJ-201(Mitutoyo)	측정 타입		평가 능력
				컷오프 길이 - λ_c : 0.25, 0.8, 2.5mm λ_s : 2.5, 8mm 샘플링 길이(L) -0.25, 0.8, 2.5mm

1.3.3 표면 거칠기 파라미터

중심선 평균값의 기호로는 Ra, AA 또는 CLA를 사용하며, 각각 평균 거칠기(Roughness acerrage), 산술 평균치(Arithmetic average), 중심선 평균치(Center line average)라는 영문의 첫글자를 딴 것이며, 실제로는 같은 의미를 갖고 있다.

Ra의 값은 중심선에서 표면의 단면 곡선까지 길이의 절대값들의 기준길이 내에서의 평균으로 구한다. 거칠기 곡선을 그래프로 그려, 그래프에서 Ra를 구할 때는 다음과 같은 근사값을 사용한다.

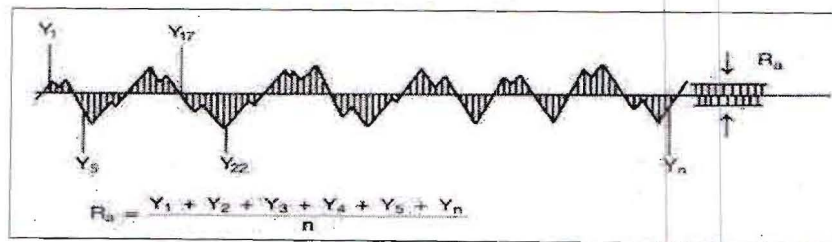


Fig 3.1 Ra-중심선 평균값(center line average)

※ 유의사항

Ra값은 기준길이 내의 거칠기의 평균값이므로, 우연히 나타나는 한 두개의 이례적인 산이나 골은 평균값에 영향을 주지 않는다.

Ra값은 기준길이(또는 컷 오프)가 주어지지 않으면 의미가 없으며, 같은 기준 길이(또는 컷 오프)가 주어져야만 Ra값이 산출된다.

Ra값은 거칠기 모양에 대한 정보를 주지 않는다.

거칠기(Maximum Peak to Vally Roughness Height)의 기호로는 Rmax 또는 Ry를 사용한다.

거칠기 단면곡선에서 기준길이 만큼 채취하여, 단면곡선의 중심선과 평행하며 제일 높은 산과 제일 깊은 골을 접하는 두 평행선간의 거리를 말한다.

※ Rmax 와 관련되는 거칠기 파라미터

Rtm : 연속되는 5개의 Rmax의 평균값

Rp : 기준길이 내에서 가장 높은 산의 중심선으로 부터의 높이

Rpm : 연속되는 5개의 Rp의 평균값

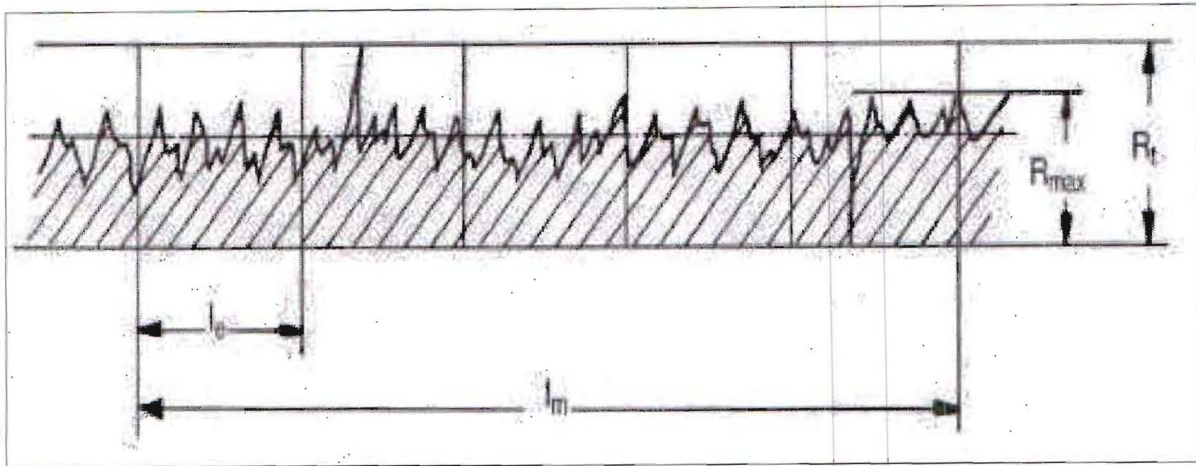


Fig 3.2 최대 거칠기 (Rmax)

Rt는 Rmax 와 마찬가지로 최대값이기 때문에 높은 산이나 깊은 골에 의해 쉽게 영향을 받고 먼지나 티끌의 입자, 흠, 긁힌 자국에 영향을 많이 받을 뿐만 아니라 측정시의 진동에 의해서도 영향을 받는다.

Rt는 Evaluation length Lm 내에서 Profile의 최고점과 최저점과의 거리를 의미 한다. 또한 측정부위에 따라 그 측정값이 달라 질 수 있으므로 흠으로 간주될 수 있는 부분을 피해 거칠기를 대표할만한 부분을 여러 곳 측정하여 평균값을 구해야한다.

Rz - 10점 평균 거칠기 (ten point height)는 기호로는 Rz를 사용한다.

거칠기 단면 곡선에서 기준길이 만큼 채취하여, 단면 곡선의 평균선과 평행한 임의 직선(기준선)을 긋고 가장 높은 5개 산의 기준선으로부터 거리의 평균값과 가장 낮은 5개 골의 기준선으로부터 거리의 평균값과의 차이로 나타낸다.

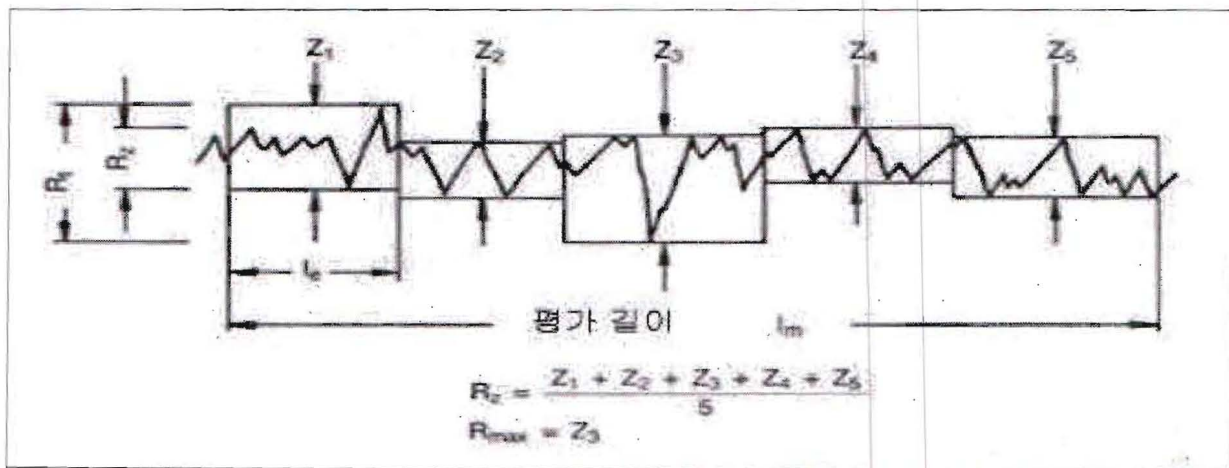


Fig 3.3 10점 평균 거칠기(Ten point height)

제 2절 실험 과정

2.1 실험과정

2.1.1 절삭조건

Table 3.6 절삭 조건 Table

절삭조건	스핀들 속도(RPM)	절삭유량(ml/s)	절삭깊이(mm)	이송속도(mm/min)
1	1600	40	0.5	61
2	1600	110	0.5	61
3	800	110	0.5	61
4	1600	110	1	41
5	800	110	1	41
6	800	40	0.5	41

2.1.2 절삭조건에 따른 SUS304 가공 및 습식절단기 사용



Fig 3.4 절삭과정과 시편제작 과정

2.1.3 마운팅 (Mounting Press)

- 마운팅 작업은 시편의 홀더 역할을 하여 표면 관찰을 용이하게 함.



Fig 3.5 마운팅 제작 과정

마운팅 작업 순서

습식 절단기를 사용하여 시편을 20mm * 20mm로 시편을 가공합니다. 그리고 마운팅 기계에 피스톤 면상의 중앙에 피검사면을 안착 시킨 후 Mounting Resin(마운팅 합성수지)를 넣어서 뚜껑을 잠근다. 온도 106℃ 및 가압 소요 시간을 3분으로 설정하여 기계를 작동시킵니다. 그 후 유압핸들을 이용하여 피스톤을 눌러 가압 및 압력 유지하고, 3분이 지나면 물을 조금씩 공급하여 온도를 40℃까지 식힌 후 시편을 꺼냅니다.

2.1.4 금속현미경(Xi-CAM) 및 I-solution을 이용한 표면 촬영

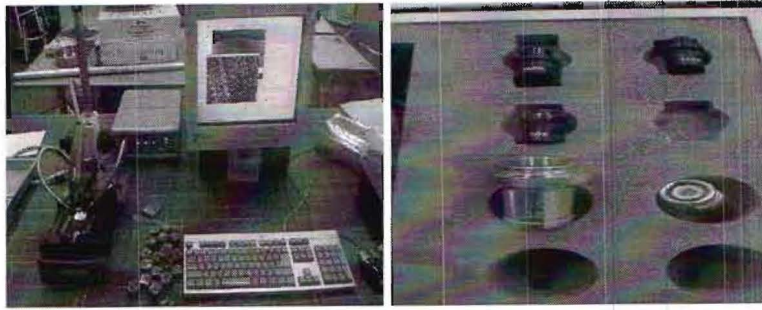


Fig 3.6 I-Solution 프로그램 및 렌즈

Xi-Cam 사용 과정

- ① 마운팅 작업한 시편을 스테이지에 고정
- ② 표면을 확인하기 위한 렌즈 셋팅 (렌즈 배율 = 500x)
- ③ Xi-Cam Main Unit 전원 켜
- ④ I-solution 프로그램 실행
- ⑤ 높낮이 조정 레버를 이용하여 초점을 맞추고 표면 촬영

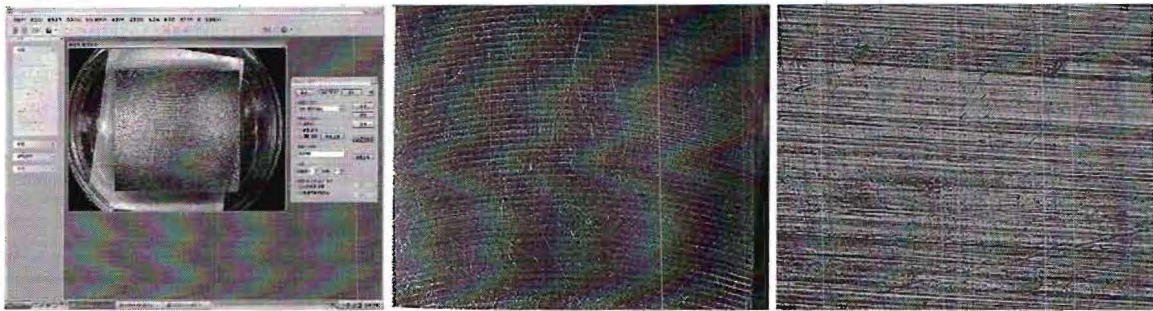


Fig 3.7 I-Solution 렌즈 배율 변화시킨 표면 촬영(50배율, 300배율)

2.1.5 조도 측정기(SJ-201)를 이용한 조도 측정

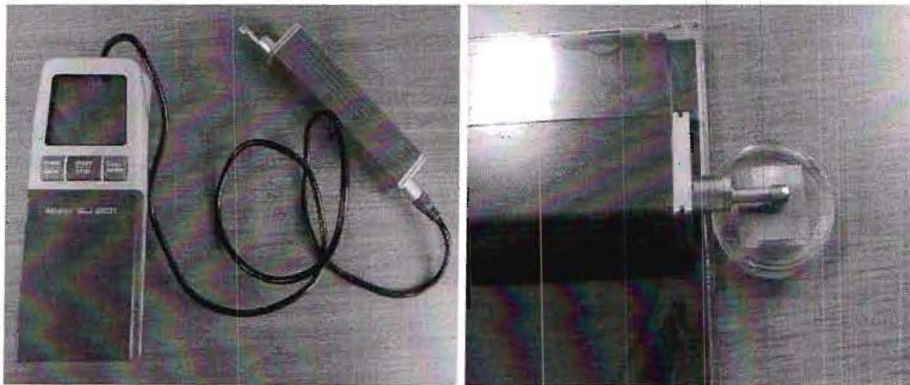


Fig 3.8 조도측정기 측정 과정

그림과 같이 표면 거칠기 측정을 할 때 측침은 앞에서 뒤로 직선 운동을 하게 된다. 이때 측침의 움직임에 저항이 생기지 않도록 SUS304의 표면과 측침의 높이를 맞추는 과정이 중요하다.

2.1.6 밀링 시뮬레이션 프로그램(AdvantEdge)을 이용한 절삭 해석

실험에 사용되는 시편의 제원, 밀링 인서트의 제원, 밀링 방법, 절삭 조건(스핀들의 속도, 절삭 깊이 등의 Input 조건을 입력하면 시뮬레이션 과정 중에 시편과 인서트가 받는 온도의 변화 칩의 생성 모양 등을 확인 할 수 있고, 해석 결과로써 시편이 받는 최고 온도와 변형 등의 결과를 얻어서, 조건의 변화가 필요한 경우를 찾아서 최적 조건 등을 설정 할 수 있다.

제 3절 해석 S/W Advantedge의 이론적 배경

3.1 A/E 프로그램 Tool 관련 절삭이론

3.1.1 Table 이송속도

$$f_m = f_t \times z \times n$$

여기서 f_m : 테이블의 이송속도 [mm/min]

f_t : 밀링커터 날당 이송량 [mm/tooth]

Z : 밀링커터 날 수

f_r : 밀링커터 1회전당 이송량[mm/rev]

n : 밀링커터의 회전속도[rpm]

즉, 이송속도(mm/min)=이송거리(mm/rev)*회전속도(rpm=rev/min)⁽⁷⁾

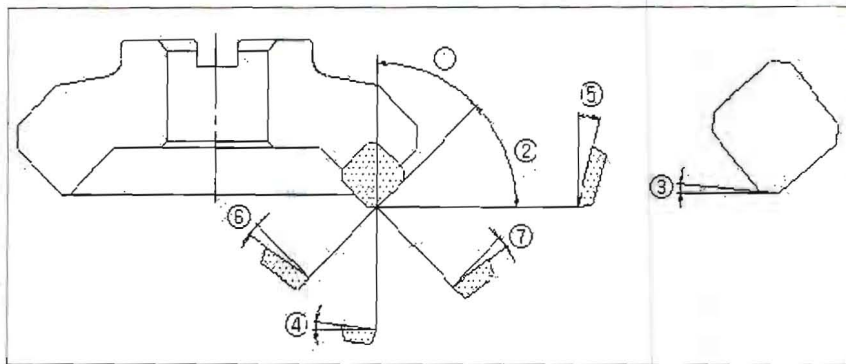


Fig 3.9 CUTTER BODY 공구각(날 부분의 각)

- ① 어프로치각(lead angle, approach angle)
- ② 절삭날 각(cutting edge angle)
- ③ 부절삭날 각(minor cutting edge angle)
- ④ 측면 경사각(side rake, radial rake angle)
- ⑤ 뒷면 경사각(back rake, axial rake angle, angle between axes)
- ⑥ 수직 경사각(orthogonal rake, true rake angle)
- ⑦ 절삭날 경사각(cutting edge inclination, inclination angle)

3.1.2 Advantedge Production 모듈 과 장점 및 특징

Advantedge Production 모듈은 미국 GM사와 Third Wave Systems사에서 지난 10년간 2,000만 달러 이상을 투자하여 개발한 프로그램으로 CAD, CAM, 검증된 물성치, machine dynamics와 GM의 know-how를 통합하여 전체 절삭공정의 소요시간의 감소와 작업성을 최대화 하기 위한 절삭 소프트웨어로서 프로세스 엔지니어나, 생산 엔지니어, CNC 프로그래머들에게 필수적이다.

Advantedge Production 모듈은 경험식과 이론식을 바탕으로 개발된 off-line 해석 프로그램으로,

절삭 장비의 소요 동력과 절삭력에 대한 빠른 예측을 함으로써 장비 효율의 극대화를 시킬 수 있으며, 일반적으로 30% 이상의 효율 향상을 볼 수 있다.⁽⁸⁾

제4절 Advantedge 해석 결과

Table 3.7 해석을 진행하기 위하여 설정한 절삭조건 Table

절삭조건	RPM	절삭깊이(mm)	절삭유 유/무
1	800	0.5	유
2	800	0.5	무
3	800	1	유
4	800	1	무
5	1600	1	유
6	1600	1	무

4.1 각 절삭조건에 대하여 인서트와 칩에 발생하는 온도 분석

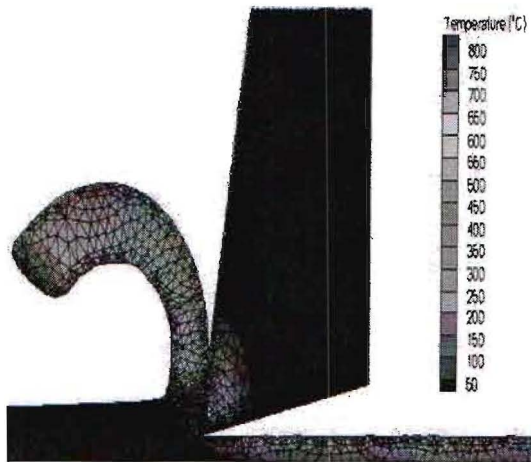


Fig 3.10 1번 조건에서 발생하는 온도형상

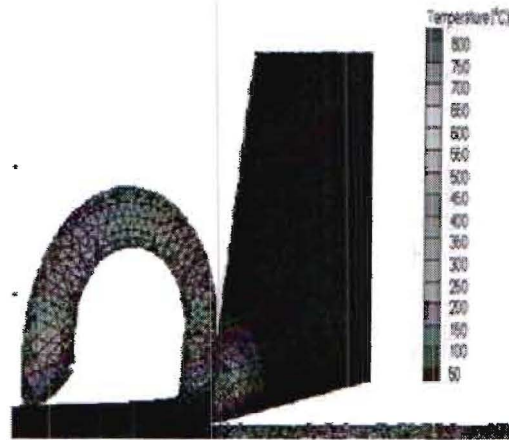


Fig 3.11 2번 조건에서 발생하는 온도형상

각각의 두 사진은 회전속도 800 절삭 깊이 0.5mm에서 절삭유의 유무 사진을 비교한 것으로 위의 조건에서 절삭유 유무에 따른 온도 차이는 없는 것으로 나타난다.

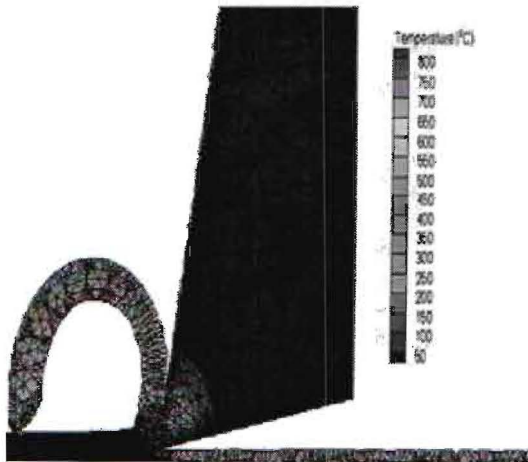


Fig 3.11 3번조건에서 발생하는 온도형상

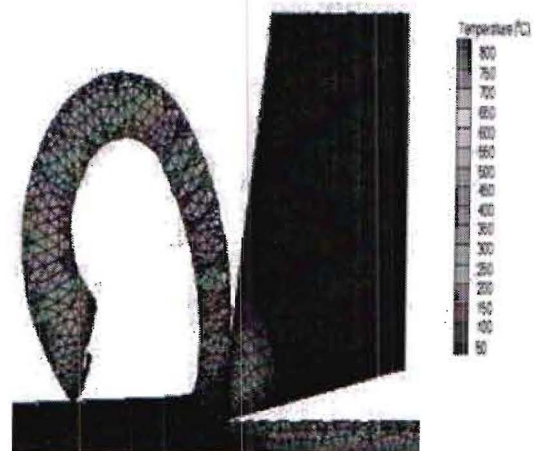


Fig 3.12 4번 조건에서 발생하는 온도형상

회전속도 800 절삭 깊이 1mm에서 절삭유의 유무 사진을 비교한 것으로 회전속도를 낮추고 절삭 깊이를 비교적 깊게 하니 절삭유의 따른 변화가 보이기 시작하였다.

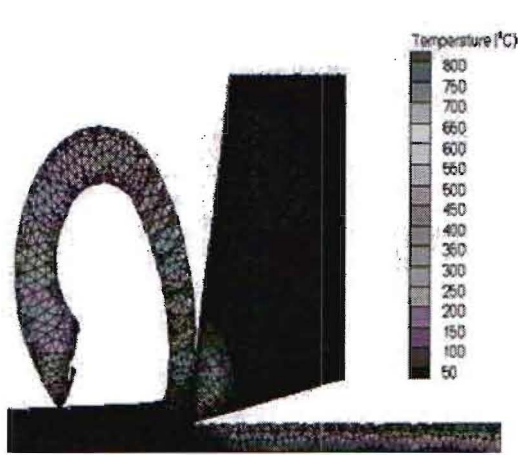


Fig 3.13 5번 조건에서 발생하는 온도형상

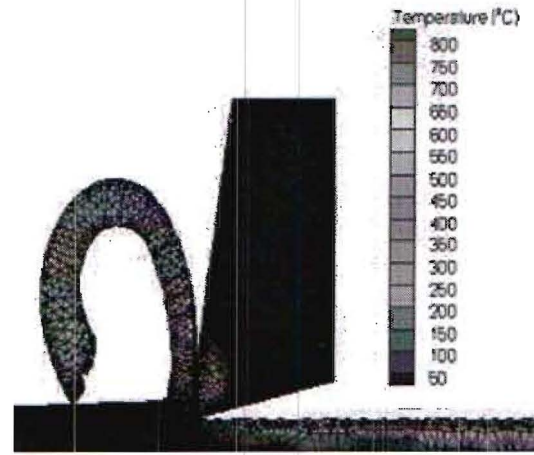


Fig 3.14 6번 조건에서 발생하는 온도형상

회전속도 1600 절삭 깊이 1mm에서 절삭유 유/무 사진을 비교한 것으로 위 3번 4번의 조건에서 회전속도를 빠르게 설정하였다. 3번과 4번 조건 보다는 비교적 절삭유 유무에 따른 온도변화를 눈에 띄게 발견 하지 못하였다.

4.2 각 절삭조건에 대하여 발생하는 절삭력 분석

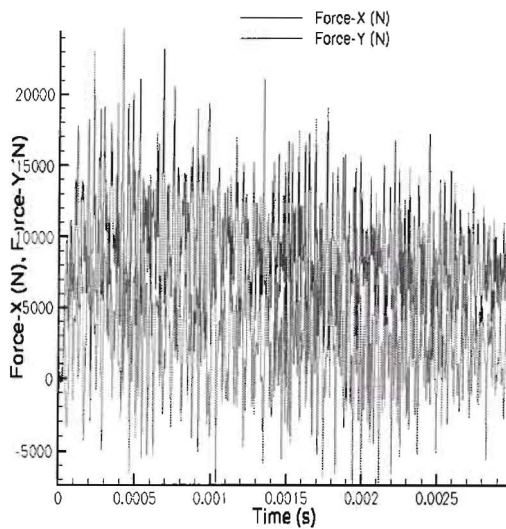


Fig 3.15 1번 조건에서 발생하는 절삭력

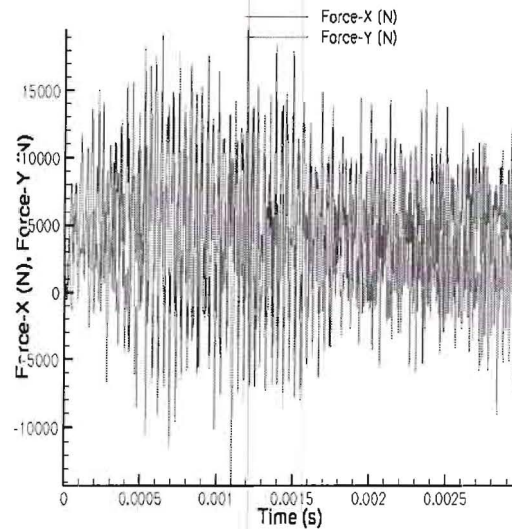


Fig 3.16 2번 조건에서 발생하는 절삭력

다음 그래프는 Advantedge 해석을 통하여 절삭조건 1번과 2번의 절삭력을 비교하였으며 X축이 시간이며 Y축이 힘(N)이다. 해석상으로는 절삭유 유/무에 따라서 절삭력의 큰 변화는 발생하지 않았다.

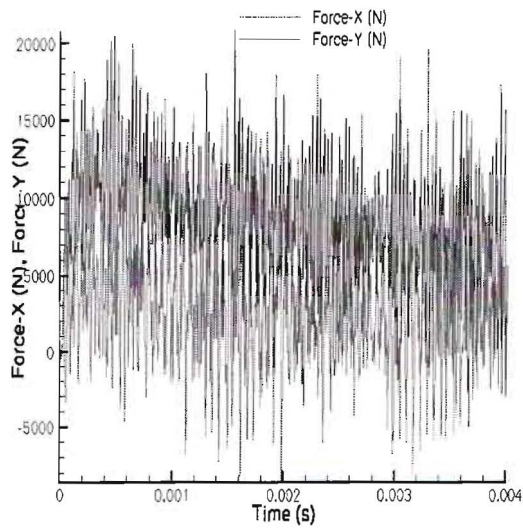


Fig 3.17 3번 조건에서 발생하는 절삭력

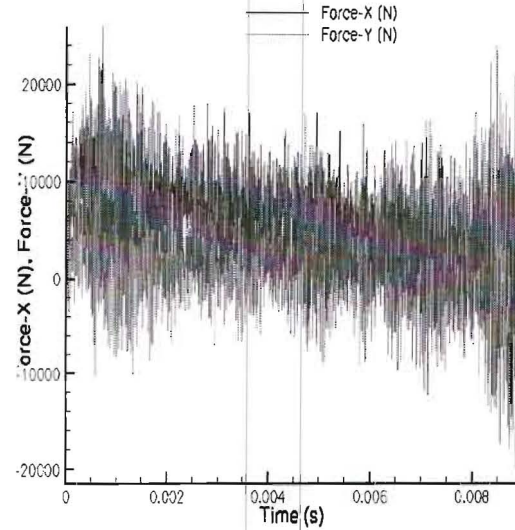


Fig 3.18 4번 조건에서 발생하는 절삭력

각각의 두 사진은 회전속도 800 절삭깊이 1mm에서 절삭유 유/무에 따른 절삭력의 변화를 그래프로 나타낸 화면으로써 이 조건에서는 절삭유가 포함되지 않은 그래프가 절삭유가 포함된 그래프보다 더 큰 절삭력을 나타낸 것으로 알수있다. 하지만 전반적으로 절삭조건에 따라서 절삭력의 변화는 볼 수 있었지만 절삭유 유/무에 따른 절삭력의 변화는 볼 수 없었다.

advantedge 해석결과 전반적으로 3번과 4번조건 즉, 회전속도800 절삭깊이1mm에서 절삭유 유/무 상태에 따른 큰 온도변화를 보였으며 절삭력은 절삭조건에 따라 여러 가지 비교분석은 가능하나 절삭유 유/무에 따른 절삭력의 변화는 눈에 떨 만큼 확연히 변화를 보이진 않았다.

제 5절 실험 결과

5.1 시편 (SUS304)

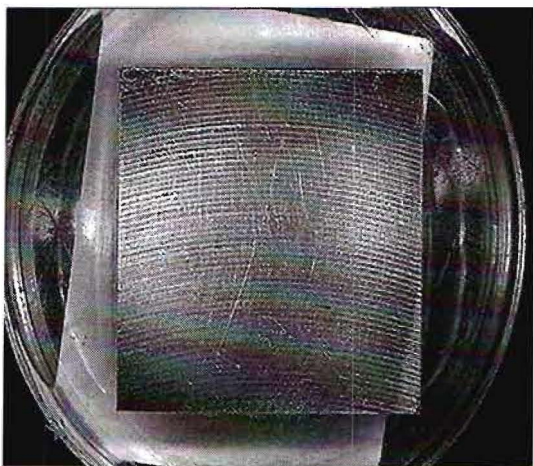


Fig 3.19 현미경 촬영한 시편

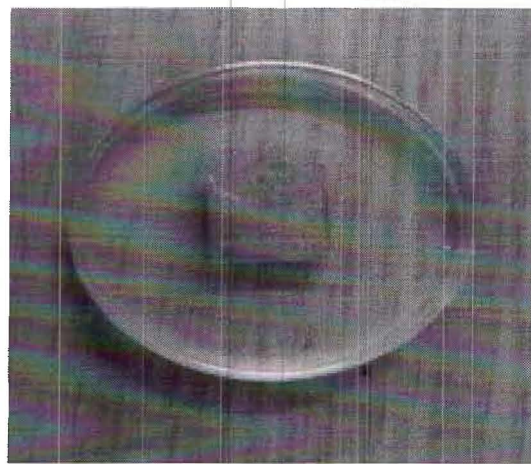


Fig 3.20 마운팅 완료된 시편

5.2 제시된 절삭조건에 따른 표면 거칠기 측정 결과

Table 3.8 의 결과는 눈에 띄게 높은 조도 측정값을 보여 주는데, 이것은 처음 제시했던 절삭조건에 약조건을 주어서 나타난 결과이며 Ra값은 측정 평균값이고, Ry값은 굴곡의 최대값을 나타낸다.

Table 3.8 각 절삭조건대로 시행한 소재의 조도를 측정한 Table

절삭조건	1 st position	2 nd position	3 rd position	average
1	Ra : 0.53 μ m	Ra : 0.54 μ m	Ra : 0.51 μ m	0.53 μ m
	Ry : 3.88 μ m	Ry : 3.90 μ m	Ry : 3.85 μ m	3.88 μ m
2	Ra : 0.55 μ m	Ra : 0.51 μ m	Ra : 0.53 μ m	0.53 μ m
	Ry : 3.21 μ m	Ry : 3.18 μ m	Ry : 3.22 μ m	3.20 μ m
3	Ra : 3.38 μ m	Ra : 3.11 μ m	Ra : 3.47 μ m	3.32 μ m
	Ry : 21.29 μ m	Ry : 15.97 μ m	Ry : 18.36 μ m	18.54 μ m
4	Ra : 0.27 μ m	Ra : 0.27 μ m	Ra : 0.35 μ m	0.30 μ m
	Ry : 2.12 μ m	Ry : 2.17 μ m	Ry : 3.20 μ m	2.50 μ m
5	Ra : 0.64 μ m	Ra : 0.54 μ m	Ra : 0.68 μ m	0.62 μ m
	Ry : 5.20 μ m	Ry : 4.19 μ m	Ry : 4.56 μ m	4.65 μ m
6	Ra : 0.69 μ m	Ra : 0.53 μ m	Ra : 0.58 μ m	0.60 μ m
	Ry : 3.58 μ m	Ry : 3.75 μ m	Ry : 3.50 μ m	3.61 μ m

5.3 실험 조건 Table과 Matrix 비교

5.3.1 거칠기 분석을 포함한 절삭 조건 영역 Matrix 작성

RPM을 느리게 하고, 절삭 속도를 빠르게 하며, 절삭 깊이를 깊게 한 조건은 표면 거칠기가 좋지 않은 영역에 자리하게 되는 것을 알 수 있다. 따라서 거칠기 분석과 Matrix를 통하여 가혹한 조건 영역에서의 절삭조건을 찾을 수 있다.

Table 3.9 1차 실험 조건 Table

절삭조건	RPM	절삭유량	절삭깊이	이송속도
1	1600	40 mL/s	0.5 mm	61 mm/min
2	1600	110 mL/s	0.5 mm	61 mm/min
3	800	110 mL/s	0.5 mm	61 mm/min
4	1600	110 mL/s	1 mm	41 mm/min
5	800	110 mL/s <td 1 mm	41 mm/min	
6	800	40 mL/s	0.5 mm	41 mm/min

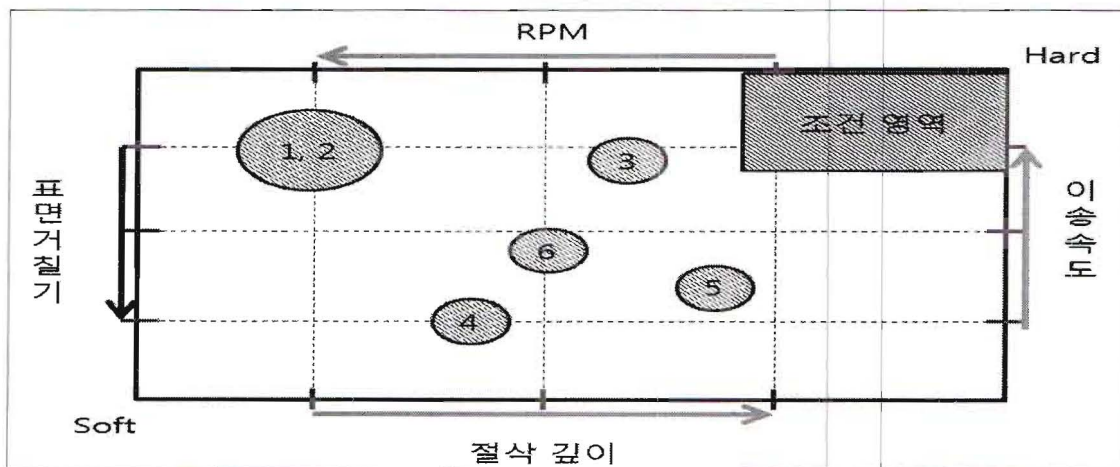

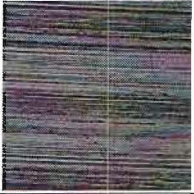






Fig 3.21 6가지 절삭조건대로 가공하였을 때 실험 Matrix

5.4 I-solution을 이용한 표면 형상

Table 3.10 금속 현미경 촬영 결과

절삭조건	I-Solution에 의한 표면 형상 사진	절삭조건	I-Solution에 의한 표면 형상 사진	절삭조건	I-Solution에 의한 표면 형상 사진
1		2		3	
4		5		6	

위의 결과를 보면 Table.4 가 RPM:1600, 절삭유량:110ml/s, 절삭 깊이:1mm, 절삭속도:41mm/min 으로 양호한 조건 하에서 절삭되어 표면 거칠기 값이 작게 측정 됨을 알 수 있다.

좀 더 확실한 표면의 차이를 보기 위해 아래 표와 같이 4가지의 악조건을 추가로 만들어 2차 실험을 진행할 예정이며, 공구의 마모가 심해지면서 부서지지 않는 최대한의 악조건을 설정 할 예정이며 황삭이 아닌 정삭의 개념에서 봤을 때 절삭유량에 따른 표면 거칠기의 차이를 시도해볼 예정

Table 3.11 1차 실험 조건

절삭조건	RPM	절삭유량	절삭깊이	이송속도
1	1600	40 mL/s	0.5 mm	61 mm/min
2	1600	110 mL/s	0.5 mm	61 mm/min
3	800	110 mL/s	0.5 mm	61 mm/min
4	1600	110 mL/s	1 mm	41 mm/min
5	800	110 mL/s	1 mm	41 mm/min
6	800	40 mL/s	0.5 mm	41 mm/min

Table 3.12 2차 실험 조건 영역 Table

절삭조건	RPM	절삭유량	절삭깊이	이송속도
7	800	40 mL/s	1 mm	61 mm/min
8	800	110 mL/s	1 mm	61 mm/min
9	800	40 mL/s	1.3 mm	61 mm/min
10	800	110 mL/s	1.3 mm	61 mm/min

5.5 Table 3.12에서 절삭조건을 설정하였던 4가지 조건 영역으로 2차 실험 실시

조건. 7번과 8번은 스피들 속도 800RPM, 절삭 깊이 1mm, 절삭 속도 61mm/min으로 같은 조건을 주고 절삭 유량은 40ml/s와 110ml/s로 다르게 설정하여 절삭유량에 따른 표면 거칠기의 차이를 찾으려고 시도하였다.

Table 3.13 7번과 8번의 절삭조건

절삭조건	RPM	절삭유량	절삭깊이	이송속도
7	800	40 mL/s	1mm	61mm/min
8	800	110 mL/s	1mm	61mm/min

Table 3.14 7번과 8번의 표면 거칠기 측정자료

표면 거칠기	1 st position	2 nd position	3 rd position	Average
Ra	1.68 μ m	1.55 μ m	2.07 μ m	1.77 μ m
Ry	7.05 μ m	7.22 μ m	7.24 μ m	7.17 μ m
Ra	1.14 μ m	1.13 μ m	0.88 μ m	1.05 μ m
Ry	6.91 μ m	6.52 μ m	6.15 μ m	6.53 μ m

5.6 칩 발생 형상 및 팁 상태 결과

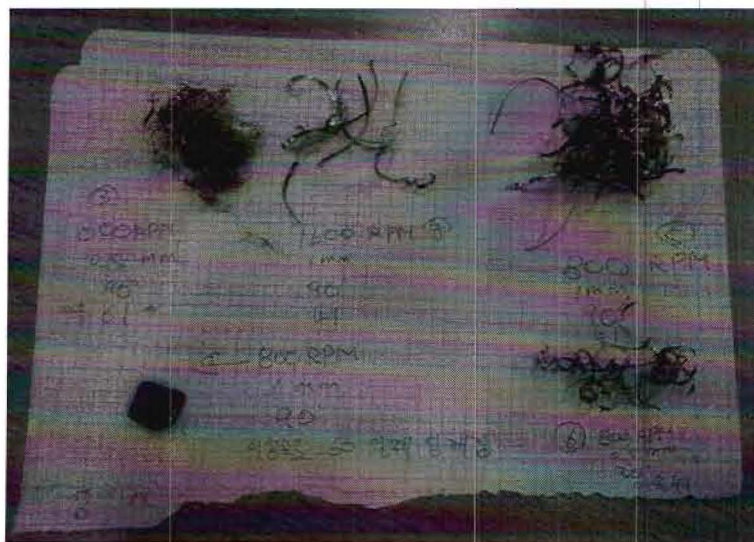


Fig 3.22 절삭한 각 조건의 칩 형태

실험의 절삭 속도 조건은 41mm/min과 61mm/min 두 가지이며, 61mm/min의 조건으로 가공을 한 경우가 칩이 얇게 발생 한다는 것을 알 수 있다. 발생된 칩이 얇을 경우 우리는 표면 거칠기 값이 낮게 나오는 것을 예상 할 수 있고, 칩이 굵을 경우 거칠기 값이 높고, 표면도 깨끗하게 가공 안 될 것이라 예상 할 수 있다.

Table 3.15 9번과 10번의 절삭조건

절삭조건	RPM	절삭유량	절삭깊이	이송속도
9	800	40mL/s	1.3 mm	61 mm/min
10	800	10mL/s	1.3 mm	61 mm/min

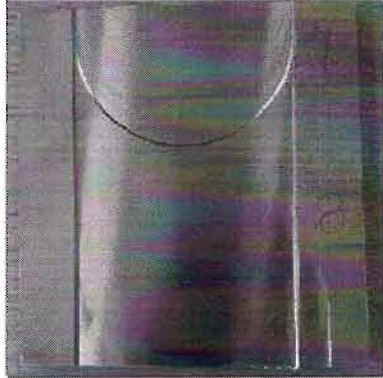


Fig 3.23 절삭조건 7,8의 절삭조건으로 가공한 표면상태

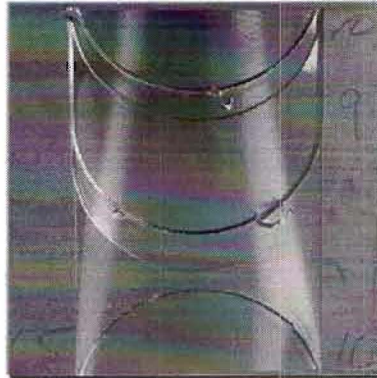


Fig 3.24 가공조건 9,10의 절삭조건으로 가공한 표면상태



Fig 3.25 절삭조건 9,10의 가공 과정 중 발생한 인서트의 파손

위의 그림에서 알수 있듯이 조건 7번과 8번의 절삭결과로는 표면상태가 아무런 문제없이 나왔지만 조건 9번과 10번의 조건에서 가공을 실시한 표면 상태를 확인하면 무리한 조건으로 인한 인서트의 파손으로 인하여 칩이나 표면상태에 많은 문제가 발생한 것을 확인 할 수 있다.

5.7 한계점 내의 가장 가혹한 조건으로 3차 실험 실시

9번 10번의 절삭조건에서 한계점 이상의 가공조건으로 인하여 7번과 8번의 절삭공정에서 절삭유를 더욱 줄여서 가혹한 조건을 형성하여 11번 절삭조건으로 하여 3차 실험을 진행하기로 하였다.

회전속도 800 절삭 깊이 1mm 이송속도 61mm/min으로 절삭조건을 주었을 때 그에 따른 절삭유량을 다르게 주었을 때의 표면 거칠기의 변화는 Table 3.18 과 같다 이 절삭조건은 소재 SUS304와 범용밀링으로 가공하였을 때 한계점내에서 최고의 가혹한 조건으로 판단되며 절삭유를 가장 적게 주고 절삭유를 가장 많이 주었을 때의 거칠기 값은 약 1.2 μ m의 차이를 보이고 있다. 이는 황삭 개념에서는 아무렇지 않게 판단 될 수 있으나 정삭의 개념에서는 1.2 μ m의 표면 거칠기 값이 크게 적용될 것으로 판단된다.⁽⁹⁾

Table 3.16 3차 가공 실험에 관한 절삭 조건과 표면 거칠기 Data

절삭조건	RPM	절삭유량	절삭깊이	이송속도
11	800	10 mL/s	1mm	61mm/min
	1st	2nd	3rd	average
표면거칠기	Ra : 2.12 μ m	Ra : 2.31 μ m	Ra : 2.28 μ m	Ra : 2.24 μ m
	Ry : 8.56 μ m	Ry : 8.32 μ m	Ry : 9.85 μ m	Ry : 8.91 μ m

Table 3.17 한계점을 벗어나지 않는 가공조건의 가장 가혹한 영역의 절삭조건

절삭조건	RPM	절삭유량	절삭깊이	이송속도
7	800	40 mL/s	1mm	61mm/min
8	800	110 mL/s	1mm	61mm/min
11	800	10 mL/s	1mm	61mm/min

Table 3.18 조건 7, 8, 9 의 표면거칠기 Data

절삭조건	1st	2nd	3rd	average
7	Ra : 1.68 μ m	Ra : 1.55 μ m	Ra : 2.07 μ m	Ra : 1.77 μ m
	Ry : 7.05 μ m	Ry : 7.22 μ m	Ry : 7.24 μ m	Ry : 7.17 μ m
8	Ra : 1.14 μ m	Ra : 1.13 μ m	Ra : 0.88 μ m	Ra : 1.05 μ m
	Ry : 6.91 μ m	Ry : 6.52 μ m	Ry : 6.15 μ m	Ry : 6.53 μ m
11	Ra : 2.12 μ m	Ra : 2.31 μ m	Ra : 2.28 μ m	Ra : 2.24 μ m
	Ry : 8.56 μ m	Ry : 8.32 μ m	Ry : 9.85 μ m	Ry : 8.91 μ m

제 6절 최종 실험결과 및 분석

1차 실험에서 6개의 절삭조건대로 가공을 하였을 때 나타나는 표면의 거칠기의 정도와 I-Solution 을 이용하여 표면의 형상을 측정해본 결과 3번 공정을 제외하고는 양호한 조건에서 절삭유의 유량에 따른 표면정도의 변화를 찾아볼 수 없었다. 3번 절삭조건에서 표면정도와 거칠기의 정도가 거칠게 나온 것은 가공 중에 팁의 마모가 심해진 데에서 원인을 찾아볼 수 있다. 하지만 양호한 조건에서보다 좀 더 가혹한 조건을 주었을 때 절삭유가 표면에 끼치는 영향을 좀 더 쉽게 찾아볼 수 있을 것으로 추정하고 Fig 3.21 과 같이 실험 Matrix를 구성해봄으로써 한계점내의 가장 가혹한 영역대의 절삭조건을 찾아낼 수 있었고 또한 실험을 실행함에 있었다.

여러 가지 변수로 작용될 요인 중에 하나가 인서트의 마모나 마멸상태를 볼 수 있는데 이를 없애기 위한 방안으로는 하나하나의 가공 때 마다 마모나 마멸상태가 없는 인서트를 사용할 수 밖에 없었다. 따라서 인서트 개당 4면을 가공할 수 있으므로 커터하나당 총 5개의 인서트가 사용 구입한 인서트는 20개 하여 최종적으로 16번의 공정을 사용할 수 있게 설정을 하였다.

Matrix의 가혹한 조건영역에 설정된 4가지 7, 8, 9, 10의 조건에서 2차 가공 실험을 실시하였으나 조건 7, 8의 조건영역에서는 표면 거칠기의 변화를 볼 수 있었고 9, 10에서의 조건영역에서는 인서트가 파손되어 가공 실험이 불가능한 상황이 발생하여 가혹한 조건의 한계지점을 넘는 영역이라 판단하였다. 따라서 절삭조건을 9,10번의 조건영역을 넘지 않고 7,8번의 조건의 상황에서 절삭유를 더욱 줄여서 3차 가공 실험을 해보기로 하였고 이를 통하여 정삭의 개념에서 절삭유가 강성이 강한 소재의 가혹한 조건에서 표면 거칠기에 미치는 영향을 분석 할 수 있었다.

해석적인 결과로는 가장 온도가 가장 상승하고 절삭력의 변화구간이 심한 절삭조건이 회전속도 800 절삭 깊이 1mm 에서의 조건 이었는데 이러한 조건 역시 실험적인 결과와 동일함을 알 수 있었다. 이보다 더 가혹한 조건을 찾으려고 노력하였으나 한계점 이상의 조건에서 인서트가 부러지는 현상이 발생하였고 때문에 한계점이 최대인 조건에서 절삭유를 주입량을 더욱 줄여서 가공한 결과 약 1.2 μ m 의 평균 거칠기 차이값을 보였고 이는 정삭의 개념에서 한번 표면상태에 비교적 큰 영향을 미치는 수치로 판단된다.

Table 3.19 3차 실험까지 실시한 종합 절삭조건 Table

절삭조건	RPM	절삭유량	절삭깊이	이송속도
1	1600	40 mL/s	0.5 mm	61 mm/min
2	1600	110 mL/s	0.5 mm	61 mm/min
3	800	110 mL/s	0.5 mm	61 mm/min
4	1600	110 mL/s	1 mm	41 mm/min
5	800	110 mL/s	1 mm	41 mm/min
6	800	40 mL/s	0.5 mm	41 mm/min
7	800	40 mL/s	1mm	61mm/min
8	800	110 mL/s	1mm	61mm/min
9	800	40mL/s	1.3 mm	61 mm/min
10	800	10mL/s	1.3 mm	61 mm/min
11	800	10 mL/s	1mm	61mm/min

Table 3.20 3차 실험까지 실시한 종합 표면 거칠기 Data

절삭조건	1st	2nd	3rd	average
1	Ra : 0.53 μ m	Ra : 0.54 μ m	Ra : 0.51 μ m	0.53 μ m
	Ry : 3.88 μ m	Ry : 3.90 μ m	Ry : 3.85 μ m	3.88 μ m
2	Ra : 0.55 μ m	Ra : 0.51 μ m	Ra : 0.53 μ m	0.53 μ m
	Ry : 3.21 μ m	Ry : 3.18 μ m	Ry : 3.22 μ m	3.20 μ m
3	Ra : 3.38 μ m	Ra : 3.11 μ m	Ra : 3.47 μ m	3.32 μ m
	Ry : 21.29 μ m	Ry : 15.97 μ m	Ry : 18.36 μ m	18.54 μ m
4	Ra : 0.27 μ m	Ra : 0.27 μ m	Ra : 0.35 μ m	0.30 μ m
	Ry : 2.12 μ m	Ry : 2.17 μ m	Ry : 3.20 μ m	2.50 μ m
5	Ra : 0.64 μ m	Ra : 0.54 μ m	Ra : 0.68 μ m	0.62 μ m
	Ry : 5.20 μ m	Ry : 4.19 μ m	Ry : 4.56 μ m	4.65 μ m
6	Ra : 0.69 μ m	Ra : 0.53 μ m	Ra : 0.58 μ m	0.60 μ m
	Ry : 3.58 μ m	Ry : 3.75 μ m	Ry : 3.50 μ m	3.61 μ m
7	Ra : 1.68 μ m	Ra : 1.55 μ m	Ra : 2.07 μ m	1.77 μ m
	Ry : 7.05 μ m	Ry : 7.22 μ m	Ry : 7.24 μ m	7.17 μ m
8	Ra : 1.14 μ m	Ra : 1.13 μ m	Ra : 0.88 μ m	1.05 μ m
	Ry : 6.91 μ m	Ry : 6.52 μ m	Ry : 6.15 μ m	6.53 μ m
9	한계점 이상의 가공 조건으로 인한 인서트의 파손에 따라 측정 불가			
10				
11	Ra : 2.12 μ m	Ra : 2.31 μ m	Ra : 2.28 μ m	2.24 μ m
	Ry : 8.56 μ m	Ry : 8.32 μ m	Ry : 9.85 μ m	8.91 μ m

밀링 가공된 소재의 표면 거칠기는 절삭유의 양에 의해 민감하게 영향을 받고 있는 것을 확인 할 수 있으며 실제 실험에서 측정이 어려운 온도와 같은 결과는 프로그램을 통하여 예측하고 얻을 수 있었지만 정확한 Input Parameter의 입력에 제한이 있는 상황으로써 추후 개선을 통해 해석에서 얻는 결과 값에 대한 신뢰도를 높여야 할 것 이라는 문제점이 있었다.

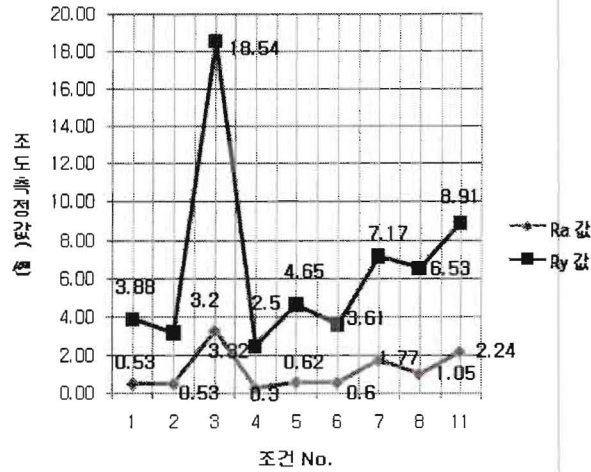


Fig 3.26 표면 거칠기 측정값 그래프

제 4장 결론

예비시험과 지금까지 실험한 6가지의 실험을 포함하였을 때 가공조건에 따른 실험을 좀 더 효율적으로 할 필요가 있었다. 이에 따라서 지금까지 실험한 조건보다 더 가혹한 조건을 설정하여 Table 3.9의 조건영역대로 절삭유의 유량에 따른 영향이 가장 잘 끼칠 것 같은 영역을 추정하여 4가지 조건을 설정하고 이에 따라 2차 가공 실험을 예정 하고 이 조건에 따라서 Advantedge를 이용한 이론적 해석결과와 비교하여 비교분석을 실시 해보기로 하였다. 하여 condition.7, 8, 9, 10의 가공조건 대로 2차 가공 실험 해본 결과 Table 3.11의 자료를 보아 Ry의 수치는 비교적 유사한 양상을 보였지만 Ra값에서 약 $1\mu m$ 의 거칠기의 차이를 보였으나 이는 황삭의 개념에서 보았을 때 만족할 만큼의 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다. 하여 만족할 만한 차이를 보기 위하여 절삭 유를 40mL/s보다 더 낮게 하여 더욱 가혹한 조건에서 3차 가공 실험을 한 후 결과 값을 제시하였다.

최종적으로 Advantedge 해석프로그램을 통하여 각각의 Input 조건을 주었을 때 나타나는 결과를 인서트와 칩에 발생하는 온도변화를 통하여 이론적으로 절삭 깊이 회전속도 이송속도에 따른 온도변화는 알고 있지만 절삭유 유/무에 따라서 온도변화가 어떻게 달라지는지 알 수 있었고 이를 토대로 하여 가혹한 영역에서 절삭유 유/무가 표면 형상이나 표면 거칠기에 미치는 영향을 알 수 있었고 이러한 실험적 결과와 해석적인 결과를 토대로 서로 다른 절삭조건에서 표면 거칠기에 미치는 영향과 이러한 조건에서 절삭유 유/무에 따른 표면 거칠기의 변화를 알 수 있었다. 즉, 실제 실험에서 측정이 어려운 온도와 같은 결과는 프로그램을 통하여 예측하고 얻을 수 있었지만 정확한 Input Parameter의 입력에 제한이 있는 상황으로써 추후 개선을 통해 해석에서 얻는 결과 값에 대한 신뢰도를 높여야 한다는 개선점을 남겼다.

[참고문헌]

1. Jae-Woong Youn, Hong-Seok, Kim, The Korean Society of Machine Tool Engineers "A Study on the Effectiveness of Finite Element Method in Orthogonal Cutting" Vol.19 NO.1 2012.2 pp 43-46
2. Serope Kalpakjian, Steven R. Schmid "Manufacturing Processes For Engineering Materials In SI Units" Vol.5 pp 470-576
3. L.De Chiffre , W.Belluco "Comparison of Methods for Cutting Fluid Performance Testing" Vol.49 pp 58-60
4. Dae-Kyu Kwon, 2011 "A Study on the Relation between Surface Roughness and Cutting Fluids" The Korean Society of Machine Tool Engineers Vol.20 pp 21-46
5. Korea Standard Association 1999, "Surface roughness-Definitions and designation" KS B 0601, pp 17-20
6. Korea Standard Association 2010, "Testing methods of cutting fluid" KS M 2525, pp 1-7
7. Kim, S. K., Kim, S. I., Kim, T. Y., 1997, "A Study on Characteristics of Surface Roughness by Cutting Condition Variation in Face Milling", pp 248-253
8. Kim, Y. S., Kwon. W. T., 2011, "Determination of Optimal Cutting Conditions in Milling Process using Multiple Design of Experiments Technique", Vol.20 No.3, pp 232-238
9. Seo, J. H ., Kim, T. Y., Kim, S. I., Lee, W. T., 1994, "Experimental reasearch on the tool breakage detection during Face Milling of SUS 304", pp 15-19