

## 수용성 절삭유제의 냉각성이 피삭성에 미치는 영향에 관한 연구

김 정 두

한국과학기술대학 생산기계공학전공

### A Study on the Effect of Cooled Water-Soluble-Cutting Fluids on the Machinability

Jeong-Du Kim

Department of Production and Mechanical Engineering

#### ABSTRACT

The purpose of this study is to establish a standard for proper selection of water soluble cutting fluids, such as Emulsion type, Semi-Synthetic type and synthetic type, by investigating cutting effects at the normal temperature(26°C) and cooling temperature(0°C) from the viewpoint of cooling and lubricant actions. This paper describes a relation among cutting force, surface roughness and cooled water soluble cutting fluids which are considered as effective restraints on Built up edge.

#### 1. 서 론

절삭가공에 절삭유제를 사용하는 목적으로는 공구, 공작물의 냉각, 칩의 마찰계수 감소, 칩제거 및 가공표면의 방청효과를 들 수 있으며, 이들에 관한 다수의 연구가 발표된 바 있다. 절삭공구는 공구의 내열성 및 내마멸성을 향상시키기 위한 방안으로 초경합금, 세라믹, 다이아몬드 등으로 개선되고 있으나, 드릴가공은 가공의 형태로 보아 공구면에 미치는 충격이 크며 따라서 공구의 파손이 발생하는 등 인성이 요구되는 고속도강 공구가 주종을 이루고 있으며 이에 적절한 절삭유제의 성분개선과 올바른 적용이 요망되고 있다.

Howard[1,2] 등은 절삭유제를 사용한 금속면의 마찰상태를 실험을 통하여 얻은 결과 저온에서는 유성 향상제가 작용하고, 고온에서는 극압첨가제가 작용하여 마찰계수가 낮아진다고 발표하였다. Naka-

jima[3]는 방청제의 단일성분계 및 이원성분계의 수용성 절삭유제를 사용하여 절삭성을 평가한 결과 이원성분계의 절삭액은 혼합비에 따라 절삭저항이 극소화 하고 있음을 밝힌 바 있다. 그외에 竹中[4]의 절삭유제의 공급방법 연구, Yokogawa[5]의 이원액 공급법에 의한 연삭성능 향상 등이 연구된 바 있다.

본 연구에서는 난삭가공으로 알려진 알루미늄 합금강을 피삭재료로 절삭유제는 Emulsion, Semi-synthetic, synthetic의 3종류로 구분하고, 피삭재를 수용성 절삭유제에 침전시켜 상온과 저온에서 드릴절삭을 행하여 절삭유제의 냉각조건이 가공면에 미치는 영향을 실험적으로 규명하였다.

#### 2. 실험방법

##### 2-1. 시험편

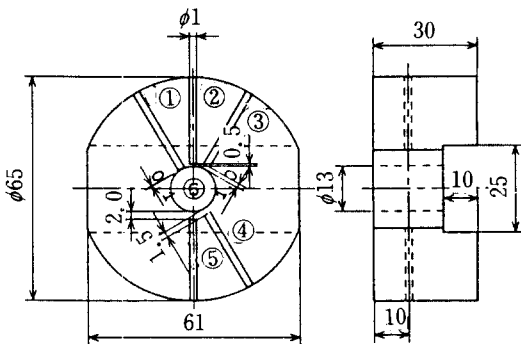
재료는 시판 알루미늄 합금재료의 A3003 BE계로

**Table 1.** Chemical Composition and Mechanical Properties.

Chemical Composition						Mechanical Properties			
Si	Fe	Cu	Mn	Zn	Al	Thermal Conductivity (w / m°C)	Yield Stress (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (50mm) (%)
0.6	0.7	0.1	1.2	0.1	97.3	185	205	380	35

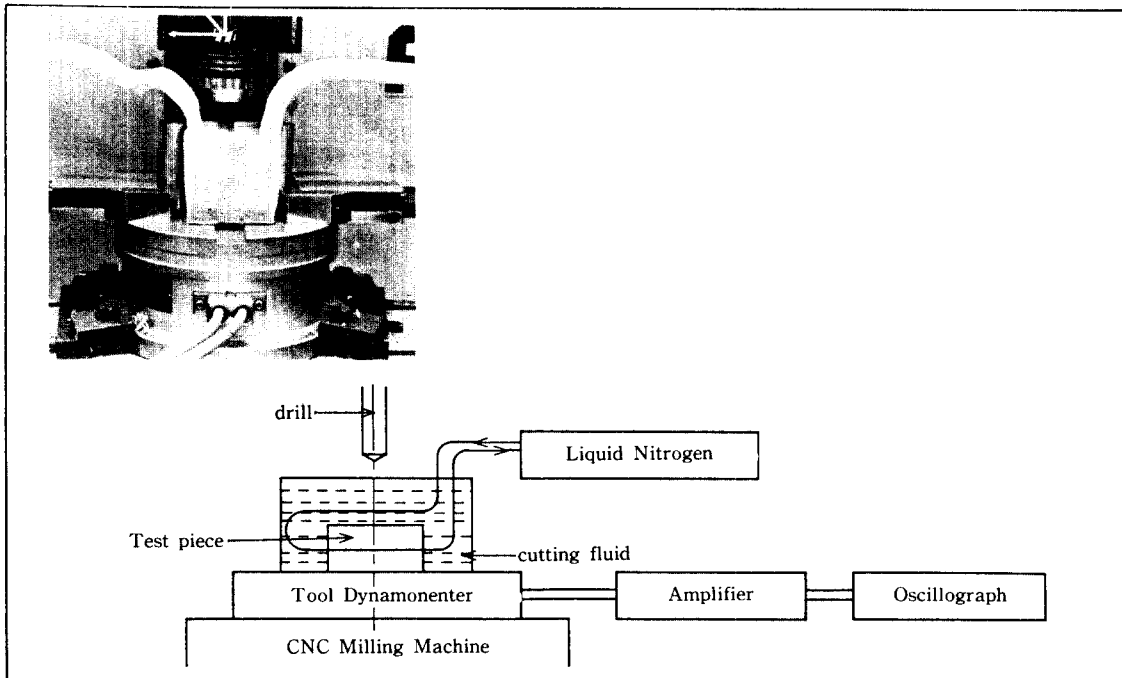
그의 성분은 Table 1과 같다. Fig. 1은 제작된 시험편의 형상을 표시한다. 여기에서 번호 ①~⑤는 절삭온도 측정용으로 시험가공 구멍의 위치로부터 0.1

mm, 0.5mm, 1.0mm, 1.5mm 및 2.0mm의 거리에까지 천공하여 절삭온도 측정용 일전대가 삽입되도록 하였다.

**Fig. 1.** Specimen configuration.

## 2-2. 실험방법

재료는 알루미늄합금, 공구는 H. S. S. 트위스트 드릴  $\phi 13$ 을 사용하였으며, 공작기계는 CNC 밀링머신(Emco F1 CNC)를 사용하여 프로그램을 작성하여 가공하였다. 이송속도는 50 mm/min로 일정하게 하였고 절삭속도는 12, 40, 60, 80 m/min의 4단계로 변화시켜 실험하였다. 절삭력 측정은 공구동력계(AST-BM)로, 다듬질면 거칠기는 표면거칠기(Hommel-P5Z)로, 다듬질면 형상측정은 공구현미경(CARL ZEISS)로, 각각 관찰하였다. 절삭시험

**Fig. 2.** Schematic view of apparatus for cutting test.

**Table 2.** Chemical properties of cutting fluids.

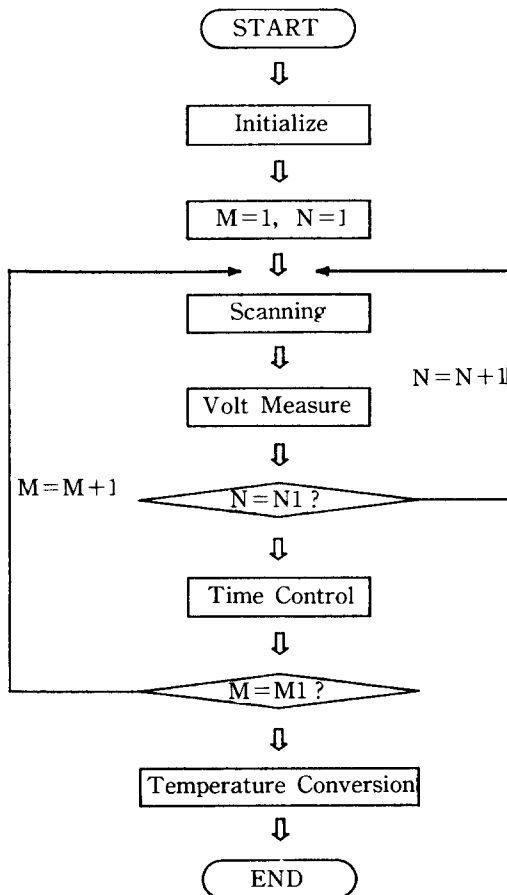
Series	Properties	Specific gravity (15 / 4 °C)	Viscosity (37.8°C)	PH(10% soln)	Pourpoint
Emulsion type		0.89	85 sus	9.6	-17.5 °C
Semi-synthetic type		1.0878	55 sus	9.1	-20 °C
Synthetic type		1.191	36 sus	10.5	-25 °C

을 위한 실험장치는 Fig.2와 같다. 절삭유제는 Emulsion, Semi-synthetic, synthetic type의 3종류로 하였고 그에 대한 화학적 특성은 Table 2와 같다. 절삭유제의 온도는 일반가공에서는 +25°C에서, 냉각절삭은 액화질소를 일정한 질량유속으로 순환회로시켜 0°C로 냉각시켜 각각 실험하였다. 절삭 온도의 측정은 HP 컴퓨터(HP 3497A)를 사용하였

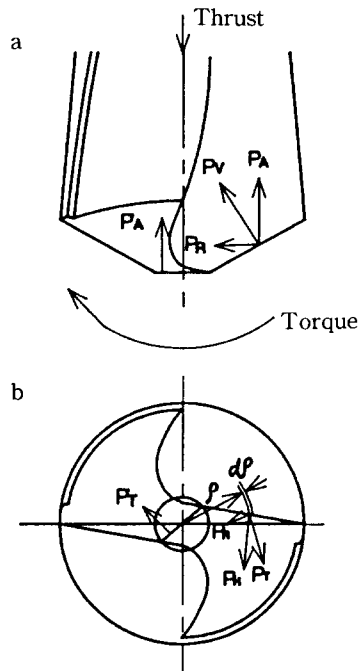
으며 K-형식의  $\phi 0.1$  mm 열전대를 사용하였다. 열전대 및 재료와의 절연을 위하여 세라믹 튜브를 이용하였으며 접착제를 사용하여 접착시켰다. Fig.3는 HP 컴퓨터에서 수행되는 프로그램의 flow chart를 나타낸 것이다.

### 3. 드릴절삭 이론 해석

드릴가공에서 절인의 미소길이에 작용하는 수평방향의 절삭분력, 탄젠셜 방향(Tangential direction)의 절인길이( $d\rho$ )에 작용하는 절삭력을  $P_T$ 라 하고 선단 날끝의 미소길이  $d\rho'$ 에 작용하는 절삭력을  $P_T'$ 라 하고 하면 Fig.4(a)에서 회전 모우먼트(Torque)를



**Fig.3.** Flow chart of the data acquisition program.



**Fig.4.** Mechanism of Drill.

Md, 선단인선의 반경을  $r_o$ , 드릴반경을  $r$ 라고 하면 (1)식과 같다.

$$Md = 2 \int_0^{r_o} P_{T'} \cdot \rho' \cdot d\rho' + 2 \int_0^r P_T \cdot \rho \cdot d\rho$$

$$= P_{T'} \cdot \gamma_o^2 + P_T \cdot (\gamma^2 - \gamma_o^2) \quad (1)$$

또한 드러스트(thrust)  $T$ 는 Fig. 4(b)에서 미소절인의 길이에 작용하는 수직방향의 절삭분력 중에서 축방향의 분력을 각각  $Pa'$ ,  $Pa$ 라고 하면 (2)식과 같다.

$$T = 2 \int_0^{r_o} P_{a'} \cdot d\rho' + 2 \int_0^r P_a \cdot d\rho$$

$$= 2P_{a'} \cdot \gamma_o + 2P_a (r - r_o) \quad (2)$$

이상의 비틀림 모우먼트와 드러스트는 공기동력계 (Tool Dynamometer)를 사용하여 측정하며 회전모우먼트  $Md$ 는 각 속도로 곱하면 회전모우먼트에 대한 마력  $Nm$ 으로 계산된다. 피이드  $f$  (mm/min)에 필요한 드러스트( $T$ )는  $Nf$ 를 피이드에 필요한 동력으로 볼 때 드릴작업에 요하는 전동력  $N$ 은  $Nm + Nf$ 로 나타나며, 여기에서  $Nm$ 은  $Nf$ 에 비하여 대단히 작은 값이며, 따라서 드릴링에서는 Thrust의 크기가 중요시 된다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

##### 4-1. 절삭온도에 미치는 영향

Fig. 5와 6 및 Table 3은 절삭온도 측정결과를 나

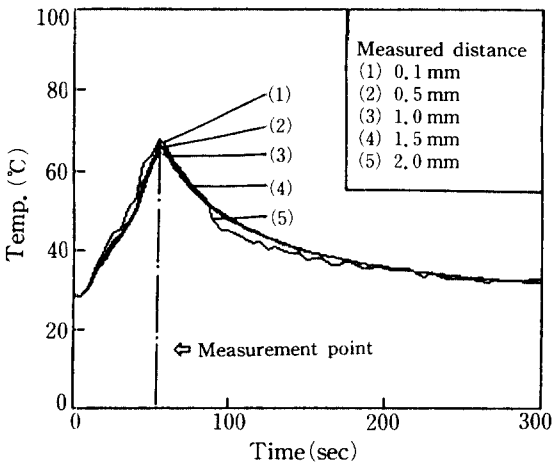


Fig. 5. Measured cutting temperatures at cutting speed 40 m/min.

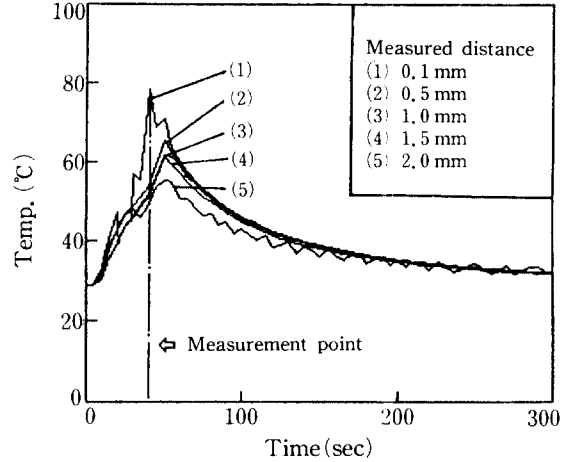


Fig. 6. Measured cutting temperatures at cutting speed 80 m/min.

타내고 있으며 Emulsion type의 상온 절삭유제 중에서 측정된 절삭온도이다. 측정시간은 5초마다 300초 동안 측정하여 플로팅한 것으로 0.1mm로부터 2.0mm까지 5부위를 측정하였다. 그 결과 절삭속도 40 m/min에서는 0.1mm에서 68°C로, 0.5 mm에서 66°C의 온도분포를 나타내고 있다. 절삭속도가 40 m/min 범위에서는 측정거리에 따라서 평균적인 온도분포를 나타내고 있는 반면, 절삭속도가 80 m/min에서는 측정점 0.1mm에서 79°C와, 0.5 mm에서 54°C의 온도분포를 나타내고 있다. 한편 절삭부위는 절삭일이 종료되면 급격히 온도가 떨어지는 반면, 0.5mm에서 2.0mm 분포에서는 절삭온도가 계속 증가하며, 10초 후부터 떨어지는 현상

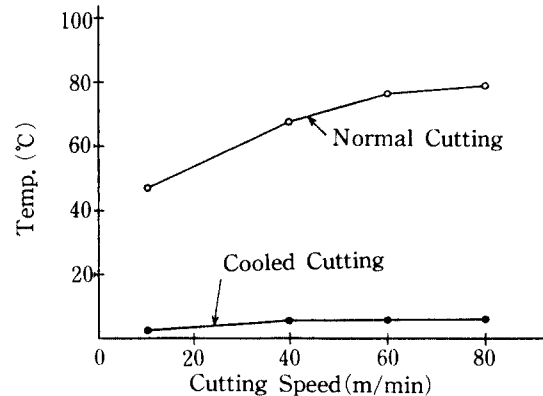


Fig. 7. Relation between calculated cutting speed and measured temperature.

**Table 3.** Distribution of Cutting Temperature.

Measurement Time(sec)	Cutting Speed 40m / min					Cutting Speed 80m/min				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
0.00	28.67	28.69	28.71	28.68	28.66	28.96	28.93	28.95	28.98	28.94
5.00	28.68	28.69	28.67	28.68	28.66	28.97	28.96	29.00	28.95	28.92
10.00	31.62	30.82	31.07	31.11	30.58	33.42	31.95	33.10	30.69	30.98
15.00	36.51	35.42	35.28	35.28	34.59	40.42	37.88	38.71	35.49	35.72
20.00	40.46	39.10	38.76	38.64	37.90	47.20	42.92	43.17	39.91	39.79
25.00	44.56	42.37	41.94	41.51	40.77	50.00	46.82	46.37	43.65	43.36
30.00	45.76	44.45	44.33	44.07	43.43	57.10	49.12	48.32	46.49	46.01
35.00	50.49	47.25	47.25	47.04	46.26	55.29	51.06	46.18	48.78	48.47
40.00	53.72	51.23	51.32	51.15	50.11	78.28	54.19	49.40	51.86	51.53
45.00	62.03	56.31	57.31	56.69	55.12	68.61	58.83	53.75	55.91	55.65
50.00	64.16	62.16	62.44	62.82	60.91	70.72	65.29	55.23	61.67	61.07
55.00	67.77	66.35	65.96	66.15	64.72	63.23	62.29	54.81	61.16	59.06
60.00	65.24	64.59	63.84	63.56	62.99	59.93	59.19	50.61	58.52	56.75
65.00	61.98	61.32	60.63	60.36	60.11	57.35	56.71	50.66	56.28	54.74
70.00	59.23	58.66	58.02	57.90	57.92	55.03	54.47	48.27	54.21	52.85
75.00	56.81	56.34	55.78	55.67	55.96	53.13	52.60	46.63	52.24	51.17
80.00	54.86	54.43	53.88	53.76	54.09	51.47	50.95	46.75	50.80	49.70
85.00	52.97	52.64	52.13	52.43	49.94	49.94	49.48	43.90	49.17	48.38
90.00	47.69	51.05	50.61	50.54	50.91	48.60	48.13	44.84	47.95	47.14
95.00	45.25	49.65	49.26	49.16	49.51	47.30	46.87	41.68	46.66	45.91
100.00	45.23	48.40	48.00	47.91	48.24	46.17	45.74	43.12	45.74	44.84
105.00	43.98	47.16	46.82	46.78	47.07	45.12	44.74	41.25	44.55	43.87
110.00	43.00	46.08	45.79	45.73	45.98	44.17	43.79	40.07	43.74	43.02
115.00	42.07	45.05	44.79	44.75	44.98	43.30	43.01	41.43	42.96	42.23
120.00	42.11	44.18	43.92	43.86	44.07	42.49	42.22	38.72	42.01	41.51
125.00	40.30	43.31	43.12	43.06	43.24	41.74	41.47	39.13	41.46	40.80
130.00	40.94	42.55	42.31	42.29	42.45	41.08	40.85	39.65	40.78	40.14
135.00	39.70	41.80	41.63	41.62	41.76	40.45	40.19	37.00	40.06	39.56
140.00	39.30	41.17	40.99	40.96	41.07	39.90	39.64	38.38	39.67	39.05
145.00	39.17	40.51	40.38	40.36	40.46	39.35	39.13	37.84	39.02	38.54
150.00	37.75	39.97	39.84	39.81	39.90	38.84	38.58	35.81	38.53	38.07
155.00	38.29	39.46	39.30	39.26	39.35	38.37	38.18	37.99	38.24	37.61
160.00	38.30	38.91	38.80	38.77	38.87	37.94	37.75	36.23	37.64	37.15
165.00	36.47	38.45	38.36	38.34	38.42	37.52	37.33	34.98	37.23	36.76
170.00	36.31	38.07	37.94	37.92	37.97	37.15	36.97	36.40	37.01	36.43
175.00	37.36	37.66	37.51	37.50	37.55	36.80	36.63	36.69	36.62	36.14
180.00	36.79	37.26	37.16	37.14	37.19	36.45	36.27	34.18	36.16	35.85
185.00	35.67	36.88	36.81	36.79	36.85	36.13	35.95	35.70	36.06	35.63
190.00	35.57	36.55	36.45	36.48	36.50	35.86	35.72	36.20	35.73	35.35
195.00	36.18	36.26	36.15	36.15	36.17	35.56	35.43	33.93	35.30	35.07
200.00	35.47	35.96	35.87	35.85	35.88	35.29	35.14	35.09	35.21	34.86
205.00	35.11	35.68	35.60	35.57	35.60	35.07	34.91	33.50	34.82	34.58
210.00	35.35	35.40	35.32	35.31	35.33	34.83	34.67	34.57	34.73	34.33
215.00	35.53	35.13	35.07	35.04	35.08	34.60	34.49	34.56	34.41	34.12
220.00	34.39	34.87	34.83	34.83	34.84	34.38	34.23	32.72	34.19	33.95
225.00	33.42	34.68	34.61	34.61	34.60	34.17	34.05	34.78	34.14	33.80
230.00	34.96	34.44	34.38	34.38	34.38	33.99	33.88	33.80	33.83	33.61
235.00	33.50	34.22	34.18	34.20	34.20	33.80	33.67	32.25	33.60	33.44
240.00	32.97	34.07	34.01	34.00	34.01	33.61	33.49	32.61	33.54	33.29
245.00	32.93	33.88	33.83	33.82	33.80	33.47	33.35	33.72	33.42	33.15
250.00	33.15	33.71	33.65	33.62	33.63	33.32	33.22	34.38	33.28	32.99
255.00	32.97	33.54	33.48	33.48	33.46	33.15	33.08	33.11	32.99	32.84
260.00	32.47	33.35	33.29	33.32	33.32	33.00	32.90	31.76	32.82	32.71
265.00	32.35	33.19	33.15	33.17	33.17	32.88	32.76	32.37	32.80	32.59
270.00	32.53	33.00	32.99	32.99	33.03	32.75	32.66	34.09	32.73	32.45
275.00	32.82	32.88	32.85	32.86	33.87	32.60	32.53	31.86	32.39	32.31
280.00	32.49	32.72	32.71	32.73	32.74	32.51	32.38	32.32	32.44	32.22
285.00	32.60	32.61	32.59	32.60	32.62	32.36	32.30	33.65	32.41	32.12
290.00	32.82	32.49	32.46	32.45	32.49	32.27	32.20	33.70	32.23	32.00
295.00	33.23	32.36	32.33	32.33	32.35	32.16	32.10	32.50	32.01	31.89
300.00	33.18	32.26	32.22	32.20	32.21	32.04	31.96	31.46	31.86	31.75

을 나타내고 있다. Fig.7은 절삭속도의 변화에 따른 절삭온도 측정값으로 측정점 0.1mm 위치의 온도분포이다. 가공에서 냉각된 절삭유제는 절삭열의 발생억제와 구성인선의 억제, 표면거칠기의 양호 등 피삭성의 향상에 효과가 있는 것으로 나타나고 있다.

**4-2. 절삭력에 미치는 영향**

절삭유제의 종류 및 냉온방법에 따라 나타난 드리스트 방향 절삭력은 Fig.8과 같다. 실험결과에서 Emulsion과 Semi-synthetic type의 절삭력은 저속 절삭속도에서보다는 중속 절삭속도에서 크게 나타나며 절삭속도가 고속화 하면서 점차적으로 감소하는 경향이 있다. 이에 반하여 냉각시킨 상태에서는 중속에서 최소의 절삭력을 나타낸 반면 고속화 하면서 증가하는 경향으로 나타나고 있으며, 냉각된 절삭유제의 가공이 절삭력을 억제하는데에 효과가 있는 것으로 나타나고 있다. 반면 Synthetic type의 절삭

유제는 저속의 범위에서는 냉각된 절삭유제가 적은 절삭력을, 중속하에서는 큰 값을 나타내고 있으며, 이것은 저속절삭에서는 구성인선에 의한 절삭상태의 악화가 예상되고, 구성인선 생성시에 절삭력의 증대를 동반하고 있으며, 절삭유제의 냉각이 절삭력의 증가 억제에 효과가 있는 것으로 사료된다. 그러나 Emulsion type에서는 절삭속도의 증가와 함께 냉각 효과가 소멸되고 아울러 구성인선의 생성이 증가되고 있다. Synthetic type의 절삭유제에서는 절삭유제의 냉각으로 인하여 냉각효과는 물론 극압첨가제의 촉진역할을 도모하고 있다고 보겠다. 전반적으로 냉각된 절삭유제는 상온하에서의 절삭유제보다 절삭력이 적게 나타나고 있으며, 이것은 절삭유제 침전 중에 구멍의 깊이 부분까지 유제가 충분히 공급되어 절삭의 효과가 증대하고 있다고 보겠다. 절삭속도 30m/min에서 절삭력이 증가하는 것은 구성인선이 이 부근에서 급격히 생성되고 있음을 보여주어 주고 있다. Fig.9는 드릴 끝부분의 절삭력 현상을 나타낸 것이다. 드릴 끝이 접촉할 당시의 드리스트 방향 절삭력 크기는 상온절삭에서 14kg.f의 크기인데 반하여 냉각절삭에서는 10kg.f로 나타나고 있으며 또한

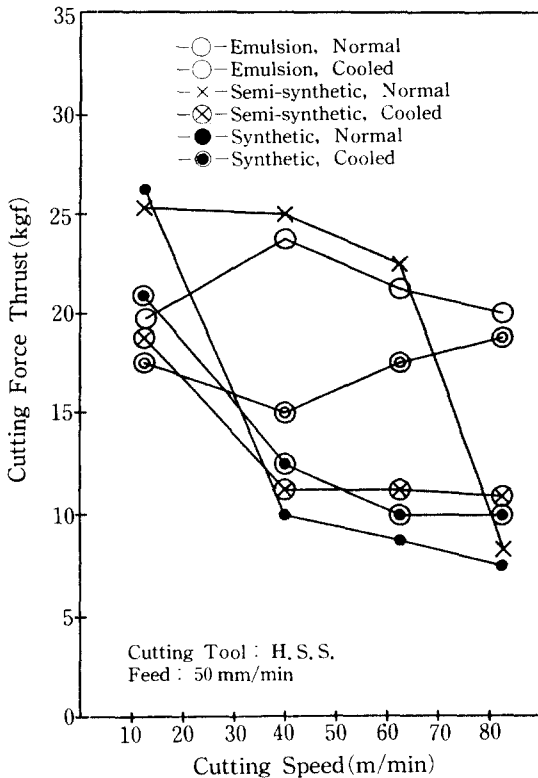


Fig.8. Influence of cutting fluids and cutting speed on cutting force thrust.

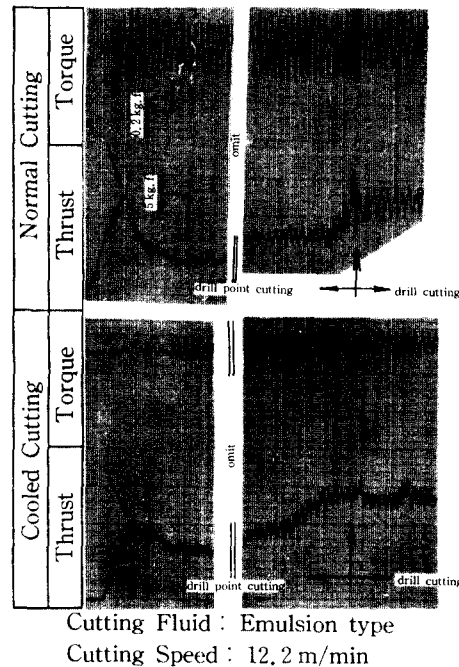


Fig.9. Phenomena of cutting force at drill point cutting.

토오크 크기의 값도 상온절삭은 냉각절삭에 비하여 크고 불안정한 현상을 나타내고 있다. 이러한 현상은 공구가 재료와의 접촉시점에서 충격에 의한 칩핑 현상이 일어난다고 하는 연구결과와 동일한 의미를 갖게 하고 있으나 본 실험으로 냉각효과가 있음을 증명하고 있다고 보겠다. 토오크 방향의 절삭력은 드러스트 방향의 절삭력 크기에 비하여 대단히 적은 값을 나타내고 있으나, 그 현상은 정상적인 직경 절삭에 비하여 드릴 끝부분이 증대한다고 하는 것은 드릴의 마아진부와 구멍접촉부와의 마찰력이 크므로 칩의 배출이 곤란하게 되고 이에 대한 영향이 크게 작용하는 것으로 고려된다.

**4-3. 다듬질면 거칠기에 미치는 영향**

다듬질면 거칠기는 가공면의 양부를 판단하는 인자로서, 최대 높이 거칠기(Hmax)를 기준으로 하였다. Fig.10은 Emulsion type 절삭유중의 상온절삭과 냉각절삭으로 절삭속도는 12, 40, 60, 80m/min의 4단계로 구분하여 측정된 것이다. 상온절삭의 형태는 절삭속도 12m/min와 80m/min에서 양호한 표면거칠기를 나타내고 있는 반면 40m/min와 60m/min에서는 Rmax 25 μm와 30 μm로 거칠은 상태를 나타내고 있다. 이것은 구성인선의 생성[6, 7]에 의한 것이며 이 범위의 절삭속도에서 발생이 쉽게 나타난다고 보겠다. 이의 억제는 냉각절삭에서 큰 효과를 보이고 있으며 이것이 공구수명의 향상에 도 기여될 것으로 사료된다. 이러한 난삭의 조건은 절삭력 측정에서는 증명된 바 있으며 Emulsion type의 절삭유제에서 절삭속도 30 m/min. 40 m/

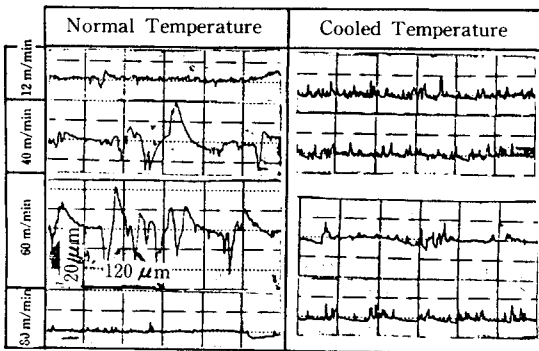


Fig.10. Influence of cutting temperature and cutting speed on surface roughness(Emulsion type).

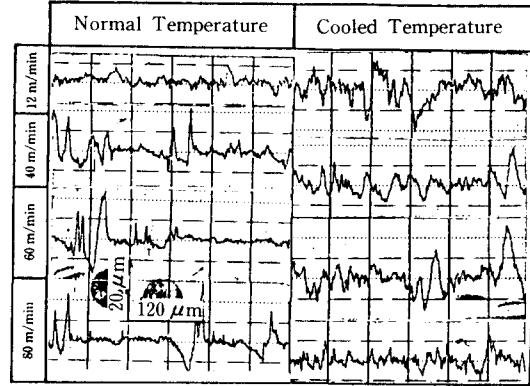


Fig.11. Influence of cutting temperature and cutting speed on surface roughness(Semi-synthetic type).

min의 경우에 높은 절삭력의 경향으로 나타난 점으로 보아 절삭력의 억제는 양호한 표면거칠기를 얻는데 기여된다고 보겠다. Fig. 11과 Fig. 12는 semi-synthetic type와 Synthetic type 절삭유제의 표면 거칠기를 상온과 냉각절삭의 결과로 나타낸 것이다. Emulsion type의 절삭유제에 비하여 냉각효과는 떨어진다고 보겠으나, 일반적으로 냉각시킨 절삭유제에 의한 가공은 안정된 표면거칠기에 효과가 있는 것으로 나타나고 있다. Fig. 13은 Emulsion type 절삭유제 가공에 의한 표면거칠기 결과중 거칠기의 난조를 보였던 절삭속도 40 m/min와 60 m/min 절삭시의 표면가공부를 검토한 것이다. 상온절삭면의 화살표 부분은 구성인선의 생성으로 인한 절삭의 난조를 형성한 부분이다. 여기에서 절삭속도 60 m/min는 40 m/min에 비하여 그 정도가 크다고 보겠으며, 이

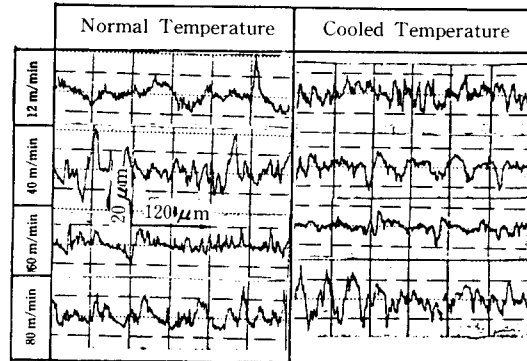


Fig.12. Influence of cutting temperature and cutting speed on surface roughness(Synthetic type).

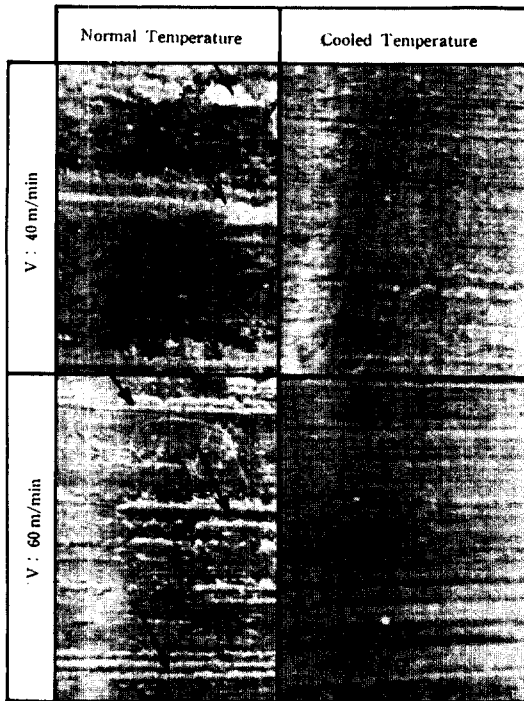


Fig.13. Shape of Surface area.

로 인하여 절삭력 및 표면거칠기가 크게 나타나고 있다고 사료된다.

## 5. 결 론

절삭유제를 Emulsion type, Semi-synthetic type 및 Synthetic type의 3종류로 선택하여 상온(26°C)과 냉각(0°C)의 조건하에서 절삭을 행하고 절삭유제가 갖는 윤활작용과 냉각작용의 효과를 절

삭력과 표면거칠기의 결과토대로 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 절삭유제의 냉각은, 냉각작용은 물론 윤활작용의 촉진역할을 하며 따라서 구성인선 억제에 영향을 미치고 있으며, Emulsion type에서 그 효과가 크게 나타나고 있다.

2) 드릴 끝 절삭초기에 노치 절삭력이 발생되고 있으며 절삭유제의 냉각에 의하여 그 정도를 억제시킬 수 있었다.

3) 수용성 절삭유제에 의한 알루미늄 재료의 피삭성은 적은 절삭온도 발생에도 민감한 반응을 나타내고 있다.

## REFERENCES

- (1) W. Howard, Coolant-Fed tooling. Tooling & Production, 2, 1977.
- (2) 佐田, 切削劑의 效果, 機械와 工具, 1966, pp. 82-86.
- (3) T. Nakajima, Effects of water soluble type grinding fluids, JSME, 1985, pp.160-165.
- (4) 竹中, 切削油의 供給方法, 東大生産研究, 第12卷 第7號, 1965, pp.8-11.
- (5) M. YokaGawa, Grinding Performance of Borazon CBN wheels obtained by the Development of Dual-fluid supply Method, JSME, 1987, pp. 111-116.
- (6) G. Pahlitzsch, Low Temperature, Cooling, A Means of Increasing Cutting Tool Life, Microtechnic, Vol.9, No.2, 1965, pp.65-69.
- (7) A. Dorodarenko, Effects of Built-up Edge in Drilling, Journal of Engineering for Industry ASME, 2, 1976, pp.287-292.