

<論 文>

切削加工의 光彈性的 現象에 관한 研究(Ⅱ)

金 政 斗* · 李 用 成**

(1983年 11月 9日 接受)

A Study on Photoelastic Fringe Patterns in Cutting Process(Ⅱ)

Jeong Du Kim and Yong Seong Lee

Abstract

In the previous paper, part I, the principal stresses were investigated on the normal tools and the workpieces whose materials were the same epoxy resin.

In this paper, are measured and compared the stresses on the normal tools and the restricted tools which have three various rake angles. Each restricted tool above has the same restricted angle. The workpieces used in this experiment are made of high quality lead. The photoelastic measuring device is attached to the saddle of the lathe and carried at the same speed as the cutting tool is feeded. The results obtained are summarized as follows;

The shear stresses on the tip of the restricted tools of the rake angle $\alpha=12^\circ$ and $\alpha=0^\circ$ are less than those of normal tools. But, for the rake angle $\alpha=-12^\circ$, the former is greater than the latter. The result of photoelastic method shows that in the range of rapid decreasing of normal stress on the tool edge, the shear stress is maintaining a certain value.

1. 緒 論

第1報⁽¹⁾에 있어서는 切削工具 및 被削材를 光彈性 材料로 使用하고 切削速度 $V=15\text{mm/min}$ 에서 正常工具에 의한 旋削中의 工具傾斜面 및 被削材에 나타나는 應力現象을 傾斜角 및 移送를 變化시켜 解析하였다. 切削加工에서 치핑(chipping)^(2,3,4)은 그의 原因으로서 衝擊性, 溶着性 및 칩에 의한 치핑으로서 그의 發生場所는 傾斜面과 側面의 單一 치핑 또는 複數 치핑으로 나타나고 있다. 특히 칩에 의한 치핑은 構成刃先 및

crater 磨滅後의 刃先弱化에 의하여 나타나는 現象으로서 이를 改善하기 위하여 工具刃先을 人爲的으로 強制 拘束하여 適用하는 方法이 研究되고 있다. Tlustý⁽⁵⁾는 旋削加工으로 超硬工具를 使用하여 移送變化에 따른 치핑現象을 發表하였으며 그의 結果에서 치핑은 移送 終了時 나타나는 것으로 報告하고 있다. Usui⁽⁶⁾는 拘束工具에 대한 切削機構의 塑性學的 解析, 傾斜面의 摩擦係數 및 칩 生成機構變化와 構成刃先 등에 關하여 考察한 바 있으며 이러한 實驗은 工具動力計를 利用한 實驗的인 研究이며 拘束工具에 대한 切削應力現象을 光彈性的으로 研究된 資料는 찾아볼 수 없다. 따라서 本 研究에서는 拘束工具 및 正常工具에 대하여 工具傾 斜面의 剪斷應力과 垂直應力을 解析하고 칩 流動時의 摩擦係數分布를 檢討하였다.

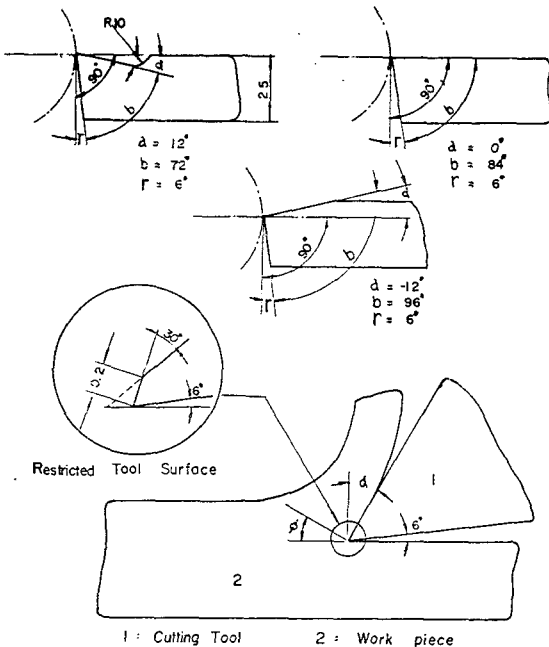
* 正會員, 韓國科學技術大學 生産機械工學科

** 正會員, 檀國大學校 機械工學科

2. 實驗方法

本實驗에 使用한 光彈性 實驗裝置는 第1報와 同一하게 하였다. 다만 光彈性 實驗裝置를 旋盤의 saddle 部에 固定시켜 切削工具와 同時에 移送하도록 하였다. 切削工具는 光彈性 材料를 使用하였고 被削材는 光彈性 工具材料로서 中速切削이 가능한 鉛을 使用하였다. 工具角은 第1報와 같이 上面傾斜角 $\alpha=12^\circ, 0^\circ, -12^\circ$ 로 하였으며 拘束工具의 拘束面은 上面傾斜角에 대하여 30° 의 角度로 0.2mm의 land로서 拘束하였다. 이때 profile projector를 使用하여 工具의 모양과 尺寸를 確認하면서 제작하였다. Fig. 1은 工具角 및 拘束面에 대한 說明圖이다. 切削條件은 切削速度 $V=10\text{m/min}$, 移送 $f=0.3\text{mm/rev}$, 切削깊이 $t=3\text{mm}$ 로 하였다. 工具의 規格은 $W \times H \times L(6 \times 25 \times 30\text{mm})$ 이며 被削材는 純度 99.5% 以上の 양질의 鉛을 鑄造하여 環봉으로 製作하였다. 工具 및 被削材의 物理的 性質 및 化學的 成分은 Table 1 및 Table 2와 같다.

切削工具의 刃先은 被削材上의 中心線에 一致하도록 하였으며, 사진촬영은 切削工具가 被削材에 接觸하



d : Rake Angle (Var, 0°, 6°, 0°, 0°, 0°)
b : Tool Angle

Fig. 1 Tool angles

Table 1 Physical properties of cutting tool

Material type	E	ν	K	t
High modulus	280kgf/mm ²	0.38	0.05	6.0mm

E : Young's modulus ν : Poisson's ratio
K : Strain optical factor t : Thickness

Table 2 Chemical composition and mechanical properties of workpiece

Chemical Composition(%)							
Pb	Cu	As	Sb	Sn	Zn	Fe	Bi
99.57	0.04	0.01	0.15	0.04	0.01	0.04	0.14
Mechanical Properties							
Tensile strength (kgf/mm ²)	Yield strength (kgf/mm ²)	Elongation (%)	Brinell hardness				
1.24	0.64	30	3.5				

기 시작하여 2회轉되는 점에서 3회轉되는 점까지를 micrometer collar의 尺寸눈금을 基準으로 하였다. 사진에 의한 fringe order의 값은 第1報의 Table 2와 같이 細分하여 測定하였다.

本實驗에서 等色線 fringe order $N=4.15$ 까지는 Table 2(第1報)에 의하여 그 以上에 대하여서는 green 色の 시작경계 부분을 基準으로 하였다. 等傾斜線은 polarizer-analyzer 원주상의 angular parameter로서 $0^\circ \sim 90^\circ$ 까지의 값을 15° 간격으로 plotting하여 細分하였다.

3. 理論解析

3.1. 工具傾斜面上的의 應力解析

本實驗에서 工具는 2次元 切削加工으로서 2次元 應力狀態로 解析하였다. 平面應力의 平衡을 x 方向의 垂直應力에서 σ_x , y 方向의 垂直應力에서 σ_y 라 하고, 剪斷應力을 τ_{xy} 라 하면 工具面彈性體의 平衡條件式은 다음과 같이 주어진다⁽⁷⁾.

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} - \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0 \quad \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

式 (1)을 積分하면 다음과 같다.

$$\sigma_x = (\sigma_x)_0 - \int \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} dx$$

$$\sigma_y = (\sigma_y)_0 - \int \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} dy \quad (2)$$

여기에서 剪斷應力 τ_{xy} 는 다음과 같이 주어진다.

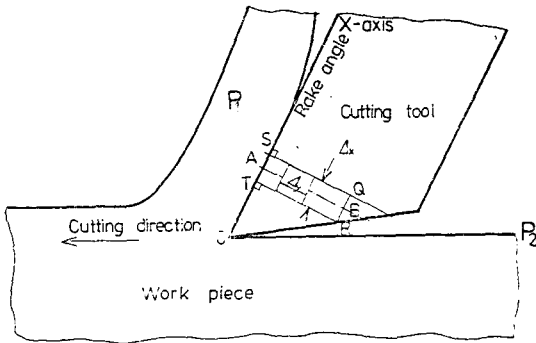


Fig. 2 Schema for normal stress calculating along rake surface

$$\tau_{xy} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2)\sin 2\theta \quad (3)$$

式(3)에서 $\sigma_1 - \sigma_2$ 는 fringe order에 의하여 구하여지며 θ 는 等傾斜線 測定에 의하여 나타난 角度를 x 軸(工具傾斜面)에 대하여 구하여진다. 垂直應力은 Fig. 2와 같이 工具傾斜面을 細分함으로써 얻을 수 있다. 여기에서 2個의 垂線 SQ, TR에 兩者의 폭을 Δx 라 하면 $\Delta\tau_{xy}$ 와 垂直應力 σ_y 는 다음과 같이 주어진다.

$$\Delta\tau_{xy} = \tau_{xy1}SQline - \tau_{xy2}TRline \quad (4)$$

$$\sigma_y = \sigma_x - (\sigma_1 - \sigma_2)\cos 2\theta \quad (5)$$

3.2. 工具傾斜面과 칩사이의 摩擦係數

正常工具 및 拘束工具에 대한 工具傾斜面과 칩사이의 摩擦係數分布는 다음과 같다.

Fig. 3으로부터 工具의 傾斜面에 作用하는 垂直力 N_0 (Normal force)과 摩擦力 F_0 (Frictional force)는 다

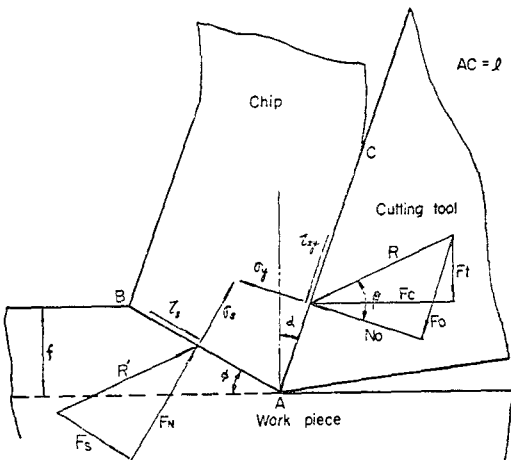


Fig. 3 Cutting mechanism

음과 같이 주어진다⁸⁾.

$$F_0 = F_c \sin \alpha + F_t \cos \alpha \quad (6)$$

$$N_0 = F_c \cos \alpha - F_t \sin \alpha \quad (7)$$

여기에서 剪斷應力 τ_{xy} 와 垂直應力 σ_y 는 다음과 같이 주어진다.

$$\tau_{xy} = \frac{F_c \sin \alpha + F_t \cos \alpha}{tl} \quad (8)$$

$$\sigma_y = \frac{F_c \cos \alpha - F_t \sin \alpha}{tl} \quad (9)$$

여기에서

t : 切削깊이(mm)

l : 칩 接觸길이(mm)

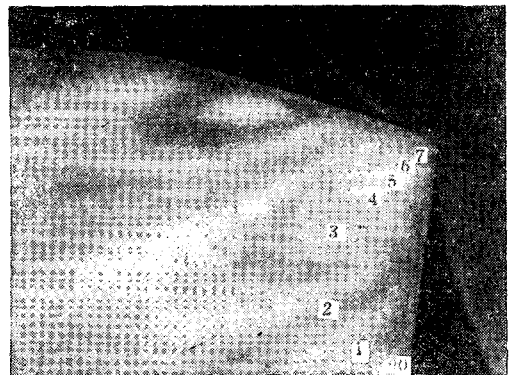
이다. 따라서 摩擦係數 μ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\mu = \tan \beta = \frac{\tau_{xy}}{\sigma_y} \quad (10)$$

4. 實驗結果 및 考察

4.1. 等色線 및 等傾斜線

Fig. 4는 等色線 寫眞으로서 切削速度 $V=10\text{m/min}$, 移送速度 $f=0.3\text{mm/rev}$, 切削깊이 $t=3\text{mm}$ 로 加工中の 일예이다. Fig. 5는 上面傾斜角 $\alpha=0^\circ$ 에서의 主應力差 및 等傾斜線을 나타낸 것으로서 等傾斜線은 15° 간격으로 각각 plot하여 종합적으로 나타낸 것이다. 工具面上的 應力은 工具刃先에서 最大壓縮應力을 나타내며, 또한 一定部位를 벗어나면 引張應力도 形成되고 있다. 이러한 現象은 正常工具 및 拘束工具에서 공통적으로 나타나는 現象으로서 壓縮應力은 下部로부터, 引



Depth of cut : 3mm Feed : 0.3mm/rev
 Cutting speed : 10m/min
 Cutting fluid : dry cutting
 Tool angle : $-12^\circ, 0^\circ, 6^\circ, 0^\circ, 0^\circ, 0^\circ$

Fig. 4 Photographs of fringe patterns

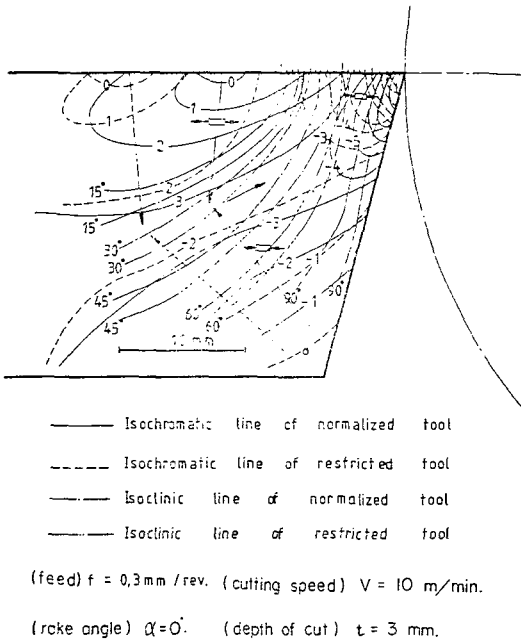


Fig. 5 Composite pattern of isochromatic and isoclinic lines

張應力은 上部로부터 應力原이 →표와 같이 各各 形成 되고 있음을 알 수 있다. Fig. 5에서 ←□→과 →□←은 각각 引張應力과 壓縮應力의 영역을 나타낸 것이다.

즉 切削中 工具面の 主應力 差는 不均一 分布이며 壓縮과 引張이 同時에 形成되고 있다. 以上の 結果에서 上面傾斜角 $\alpha=12^\circ$ 및 $\alpha=0^\circ$ 에 대한 主應力差 分布는 拘束工具가 正常工具에 比하여 刃先으로부터 후방의 位置에 존재하며, 上面傾斜角 $\alpha=-12^\circ$ 에서는 拘束工具 및 正常工具에서 큰 差가 없음을 얻었다. 특히 上面傾斜角 $\alpha=12^\circ$ 의 正常工具는 拘束工具에 比하여 크게 主應力 差가 刃先尖端에 나타나고 있으며 이것은 應力의 集中現象이 나타남을 말해준다. Table 3은 以上の 等色線 및 等傾斜線을 수치적으로 계산된 結果이다.

刃先거리 $x=0.34\text{mm}$ 에서 傾斜角 $\alpha=12^\circ$ 의 正常工具는 2.22kgf/mm^2 , 拘束工具는 2.12kgf/mm^2 의 크기로 正常工具의 主應力 差가 拘束工具의 主應力 差보다 크게 나타나고 있으나 그以後의 刃先거리 $x=1.0\text{mm}$ 以後에서 拘束工具의 主應力 差는 正常工具의 主應力 差에 比하여 크게 나타나고 있다. 그러나 上面傾斜角 $\alpha=0^\circ$ 및 $\alpha=12^\circ$ 에서 拘束工具의 主應力 差는 正常工具의 主應力 差에 比하여 크게 나타나고 있다.

4.2. 工具傾斜面の 剪斷應力 및 垂直應力

Fig. 6은 上面傾斜角 $\alpha=12^\circ, 0^\circ, -12^\circ$ 에서의 拘束工具 및 正常工具에 대한 剪斷應力 分布이다. 上面傾斜角 $\alpha=12^\circ$ 正常工具 및 拘束工具의 切先거리 $x=0.34\text{mm}$ 에서 剪斷應力은 各各 0.78kgf/mm^2 와 0.74kgf/mm^2 로 계산된다. 刃先거리에 따라서 그 값은 各各 增加 또는 一定하게 유지되며 刃先거리 $x=1.15\text{mm}$ 以後에서 급격히 減少하는 경향을 나타내고 있다. 正常

Table 3 Experimental results

No.	X (mm)	12° NOR			12° RES			0° NOR			0° RES			-12° NOR			-12° RES		
		N	$\sigma_1 - \sigma_2$	ϕ	N	$\sigma_1 - \sigma_2$	ϕ	N	$\sigma_1 - \sigma_2$	ϕ	N	$\sigma_1 - \sigma_2$	ϕ	N	$\sigma_1 - \sigma_2$	ϕ	N	$\sigma_1 - \sigma_2$	ϕ
1	0.34	12.0	2.22	67.5	11.5	2.12	68	10.5	1.94	68	11.0	1.98	74	10.5	1.94	74.5	11.0	2.03	80
2	0.50	11.5	2.12	62	11.0	2.03	65	10.0	1.85	66.5	10.5	1.94	70	10.0	1.85	72.5	10.5	1.94	77.5
3	0.67	11.0	2.03	61.5	10.5	1.94	63.5	9.5	1.75	64.5	9.5	1.75	68.5	9.5	1.75	70	9.5	1.75	73
4	0.83	10.5	1.94	59	10.0	1.85	62.5	9.0	1.66	60	9.0	1.66	65.5	8.5	1.57	68	8.5	1.57	71
5	1.00	10.0	1.85	55	10.0	1.85	60	7.5	1.38	57.5	8.5	1.57	62	8.0	1.48	67	8.0	1.48	68.5
6	1.15	9.5	1.75	49	9.5	1.75	55	7.0	1.29	54.5	8.0	1.48	60	8.0	1.48	64	8.0	1.48	64.5
7	1.33	9.0	1.66	42	9.0	1.66	52	7.0	1.29	55	7.5	1.38	58	7.5	1.38	62	7.5	1.38	60.5
8	1.50	8.0	1.48	34	8.5	1.57	48	6.0	1.11	47	6.0	1.11	53.5	6.5	1.20	58.5	6.5	1.20	58
9	1.67	7.0	1.29	28	8.0	1.48	44	5.5	1.01	44	5.5	1.01	50	6.0	1.11	56.5	6.0	1.11	54
10	2.00	5.0	1.92	25.5	6.0	1.11	30	5.0	0.92	35	5.0	0.92	48	6.0	1.11	56	6.0	1.11	46.5
11	2.33	4.15	0.76	25	5.5	1.01	25	4.15	0.76	30.5	4.5	0.83	40.5	6.0	1.11	54	6.0	1.11	42
12	2.67	3.10	0.57	21.5	4.15	0.76	24	3.65	0.67	26	4.15	0.76	37.5	5.5	1.01	50	5.5	1.01	38
13	3.00	2.50	0.46	21	3.65	0.67	23	3.10	0.57	24	3.65	0.67	30	4.5	0.83	30	4.5	0.83	28.5

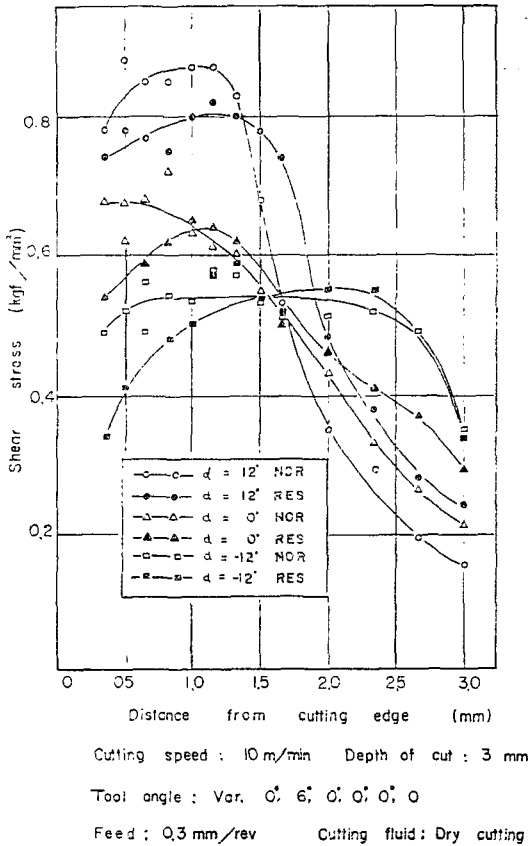


Fig. 6 Composite of shear stress distribution along rake surface

工具의 剪斷應力은 刃先거리 1.15mm 以前에서는 拘束工具에 비하여 크게, 그 以後에서는 拘束工具에 비하여 적게 나타나고 있음을 알 수 있다. 上面傾斜角 $\alpha = 0^\circ$, 刃先거리 0.34mm 에서의 正常工具 및 拘束工具의 剪斷應力은 各各 0.67kgf/mm² 및 0.54kgf/mm² 의 값을 나타내며 그것은 刃先거리 1.33mm 까지 增加 또는 平衡狀態를 유지하고 있다. 이것은 또한 上面傾斜角 $\alpha = 12^\circ$ 와 같이 工具尖端(刃先거리 1.33mm 까지)에서의 正常工具에서의 剪斷應力은 拘束工具의 剪斷應力에 비하여 작게 나타나며 刃先거리 1.5mm 以後에서 크게 나타나고 있다. 上面傾斜角 $\alpha = -12^\circ$ 에서의 剪斷應力은 $\alpha = 12^\circ$ 및 $\alpha = 0^\circ$ 의 剪斷應力 分布에 비하여 不規則한 상태이며 工具尖端(刃先거리 1.15mm 까지)에서의 剪斷應力은 拘束工具의 剪斷應力에 비하여 크게 나타나고 있다.

刃先거리 1.33mm 에서 2.33mm 까지의 正常工具의 剪斷應力은 拘束工具에 비하여 작게 나타나나 그 以後

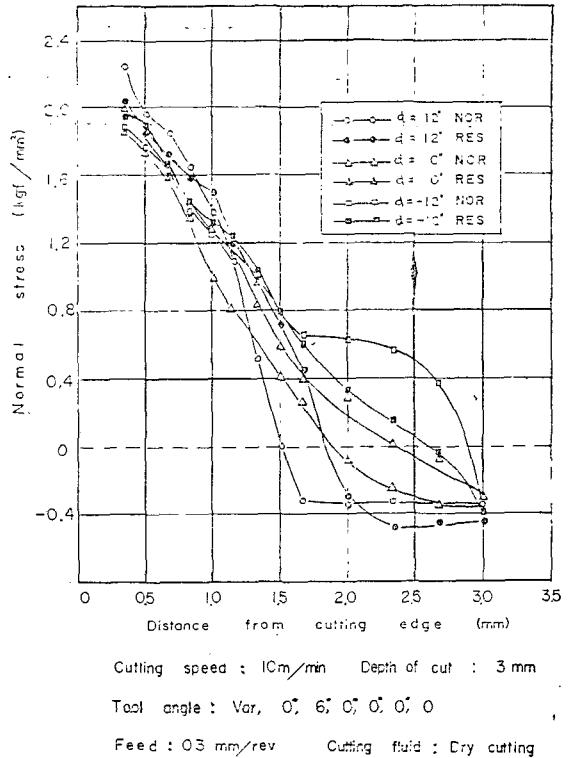


Fig. 7 Normal stress distribution along rake surface

에서 다시 正常工具의 剪斷應力은 拘束工具에 비하여 크게 나타나고 있다. 以上の 應力 分布로 볼 때 工具上面에서의 最大 剪斷應力은 工具의 尖端部가 아니라 尖端 部位로부터 一定거리 떨어진 위치에서 나타나고 있음은 切削時에 crater 平行部內의 摩滅進行이 느린 것과 一致한다.

Fig. 7 은 上面傾斜角 $\alpha = 12^\circ$, $\alpha = 0^\circ$, $\alpha = -12^\circ$ 일 때의 垂直應力 分布이다. 上面傾斜角 $\alpha = 12^\circ$ 의 刃先거리 0.34mm 에서 正常工具 및 拘束工具의 垂直應力은 各各 2.24kgf/mm² 및 2.04kgf/mm² 이다. 刃先거리 0.67mm 에서 正常工具의 垂直應力은 拘束工具에 비하여 큰 값이나 그 以後에서 拘束工具의 垂直應力은 正常工具보다 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 上面傾斜角 $\alpha = 0^\circ$ 의 刃先거리 0.34mm 에서 正常工具 및 拘束工具의 垂直應力은 各各 1.87kgf/mm² 과 2.01kgf/mm² 으로 分布되며 그의 傾向은 工具傾斜面 어느 점에서나 共通의임을 알 수 있다. 上面傾斜角 $\alpha = -12^\circ$ 의 刃先거리 0.34mm 에서의 正常工具 및 拘束工具의 垂直應力은 各各 1.87kgf/mm² 과 1.99kgf/mm² 로 分布되고 있으며 工具尖端部에서 拘束工具의 垂直應力이

Table 4 Results of friction coefficient

No.	X(mm)	$\alpha=12^\circ$		$\alpha=0^\circ$		$\alpha=-12^\circ$	
		NOR	RES	NOR	RES	NOR	RES
1	0.34	0.348	0.322	0.358	0.268	0.262	0.170
2	0.50	0.449	0.419	0.385	0.333	0.295	0.215
3	0.67	0.459	0.447	0.427	0.362	0.345	0.291
4	0.83	0.515	0.471	0.533	0.422	0.388	0.331
5	1.00	0.625	0.533	0.623	0.507	0.417	0.378
6	1.15	0.870	0.683	0.735	0.566	0.479	0.459
7	1.33	1.596	0.816	0.705	0.632	0.537	0.567
8	1.50		1.083	1.309	0.883	0.670	0.675
9	1.67			1.785	1.190	0.772	0.866
10	2.00				1.533	0.796	1.617
11	2.33					0.896	

크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 그러나 刃先거리 1.67mm 以後에서 拘束工具의 垂直應力은 正常工具에 비하여 작게 分布되고 있음을 알 수 있다. 全體的인 垂直應力 分布를 볼 때 上面傾斜角 $\alpha=12^\circ \sim \alpha=-12^\circ$ 의 범위에서 刃先尖端으로 갈수록 垂直應力은 增加하며, 上面傾斜角 $\alpha=12^\circ, 0^\circ, -12^\circ$ 의 순서로 垂直應力은 작아지나, 上面傾斜角 $\alpha=12^\circ$ 에서는 正常工具가 拘束工具에 비하여, 上面傾斜角 $\alpha=0^\circ$ 및 $\alpha=-12^\circ$ 에서는 拘束工具가 正常工具에 비하여 垂直應力 分布가 크게 나타나며, 이는 傾斜角이 클수록 應力集中現象이 工具尖端에 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한 剪斷應力 分布에서 설명한 바와 같이 工具上面에는 剪斷應力의 一定 分布영역에서도 垂直應力 分布는 增加하는 영역이 있음을 알 수 있다.

4.3. 工具傾斜面과 칩의 摩擦狀態

Table 4 는 工具傾斜面에 나타나는 摩擦係數 分布로서 式 (10)에 의하여 얻어진 結果이며 Fig. 8 에 이를 도표로서 나타내었다.

傾斜面과 칩의 接觸길이는 刃先에서 0 프린지 값에 접근되고 있음을 알 수 있으나 摩擦係數 分布는 上面傾斜角 增大에 따라 摩擦係數는 커지나 工具尖端에서의 拘束工具는 正常工具보다 적게 摩擦係數가 分布됨을 알 수 있다. 이것은 切削時 構成刃先과 어떠한 關係를 가지는 것이 아닌가 생각되나 接觸面積의 拘束으로 인한 應力의 增大는 垂直應力에 대하여 剪斷應力이 작다. 이 結果 傾斜面 摩擦係數가 減少한다고 볼 수 있다. 또한 摩擦係數는 工具尖端部에서 最小를, 칩이 工具로부터 分離되는 部分에서 最大의 값을 各各 나타내고 있다.

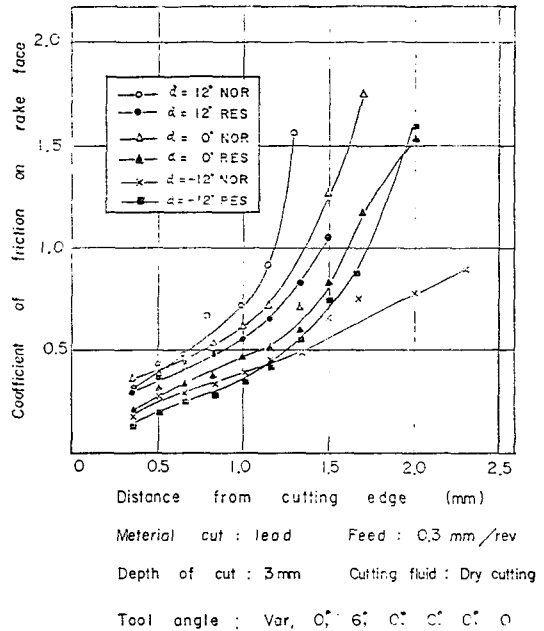


Fig. 8 Distribution of coefficient of friction on rake face

5. 結 論

光彈性裝置를 工具臺의 saddle 에 固定하여 工具와 同時に 移送되도록 하고 切削工具는 epoxy resin 을 被削材는 鉛을 使用하여 正常工具 및 拘束工具의 切削現象을 光彈性的으로 實驗하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

(1) 工具尖端에서의 主應力 差는 上面傾斜角 $\alpha=12^\circ$ 에서는 拘束工具가 正常工具보다 작으나 $\alpha=0^\circ$ 및 $\alpha=-12^\circ$ 에서는 그 반대의 現象으로 나타나고 있다.

(2) 工具傾斜面의 主應力 差는 不均一 分布의 現象이며, 壓縮측은 下部로부터, 引張측은 上部로부터 形成되고 있다.

(3) 工具傾斜面의 垂直應力은 尖端部分이 最大가 되며, 剪斷應力은 一定거리 떨어진 위치에서 最大의 값을 나타내고 있다. 이는 切削時에 工具面의 crater 平行部의 磨滅進行이 느린 것과 一致한다.

(4) 人爲的으로 拘束시킨 拘束工具의 剪斷應力 및 垂直應力은 工具尖端에서 上面傾斜角 $\alpha=12^\circ, 0^\circ, -12^\circ$ 中 上面傾斜角 $\alpha=12^\circ$ 에서 正常工具보다 작게 나타나고 있다.

(5) 拘束工具의 摩擦係數는 正常工具보다 작으며, 이는 接觸面積의 拘束으로 인한 垂直應力增大에 비하여 剪斷應力이 작기 때문이며, 分布의으로는 尖端에서 最小를 칩이 分離되는 部分에서 最大의 값을 各各 나타내고 있다.

參 考 文 獻

(1) 金政斗, 李用成, “切削加工의 光彈性的 現象에 關

한 研究(I)” 大韓機械學會 論文集 第7卷 第2號 pp.161~167, 1983

(2) K. Uehara and Y. Kanda, “On the Chipping Phenomena of Carbide Cutting Tools”, Annals of CIRP, 25(1977)11

(3) 竹山秀彦, “切削工具의 脆性損傷에 關する 研究의 展望(1)”, 機械の研究, 第31卷 第5號, pp.567~572, 1979

(4) 竹山秀彦, “切削工具의 脆性損傷에 關する 研究의 展望(2)”, 機械の研究, 第31卷 第6號, pp.688~692, 1979

(5) J. Tlustý and Z. Massod, “Chipping and Breakage of Carbide Tools”, CIRP S.T.C. Paper, 26th General Assembly, 1978

(6) 白井英治, 北川武揚, 菊地千之, “剪斷形 Chip 生成機構의 塑成學的 解析(第3報)”, 精密機械, 第33卷 第5號, pp.7~13, 1967

(7) James W. Dally and William F. Riley, “Experimental Stress Analysis, International Student Edition, 1978

(8) 佐田登志夫, 超硬切削工具의 壽命改善, 理化學研究所報告, 第36卷 第1號, pp.12~46, 1950