□論 文

# Drill加工時 Drill과 加工구멍內壁과의 摩擦이 切削抵抗成分에 미치는 影響

具 然 郁* · 南 宮 坼**

# A Study on the Effect of the Components of Cutting Resistance upon Friction between Drill and Inside Wall of Drilled Hole in Drilling

Youn Yoog Koo and Suk Namgung

## Abstract

In this study, to check up on the effect of the components of cutting resistance upon friction between drill and inside wall of hole in drilling, the experiment was performed with individual specimen of carbon steel, cast iron, aluminium alloy under various cutting conditions ; depth of hole, cutting speed, feed rate, shape and material of specimen.

On the basis of the experimental results, the following conclusions are drawn ;

1. The components of cutting resistance were increased in proportion to the increase of depth of hole owing to frictional resistance of drill margin and chip-jamming.
2. As feed rates increase, torque and thrust were increased. When comparing to the increasing rate for these components respectively, thrust is higher tendency than torque.
3. As drill diameter increase, torque and thrust were increased. When comparing to the increasing rate for these components respectively, torque is higher tendency than thrust.
4. In the case of torque, the frictional resistance between drill margin and inside wall of drilled hole accounts for about 20 percent of carbon steel, 14 of cast iron, 10 of aluminium alloy in drilling. But the effect of thrust force could be negligible.

* 忠南大學校 工科大學 大學院
** 忠南大學校 工科大學 機械工學科

5. Comparison between the theoretical and experimental results showed a close agreement so far as depth of hole is about three times of drill diameter. But there was a wide difference between them beyond the range of three times, because of characteristics of the drilling process.

## 1. 序　論

機械加工의 無人化, 自動化 및 高能率化의 추세에 따라 이에 對應할 수 있는 切削作業의 標準設定은 切削加工의 能率向上을 위해 매우 重要한 課題이며, 이러한 問題를 解決하기 위해서는 加工方法, 被削材, 工具材料, 工具形状 및 切削條件等에 걸쳐 광범위한 工具의 試驗을 必要로 하고 있다.

最近 機械産業의 發展과 더불어 구멍加工技術에 있어서도 많은 發展이 이루어져 Gang Drill, BTA, 放電加工, 電子 Beam, Laser加工等 工具 및 加工方法에 特殊한 技術方式이 研究 開發되고 있으나, 從來의 드릴은 이와같은 加工技術의 發展에도 不拘하고 經濟性, 作業性, 設備面等에서 구멍加工工具로서의 効率性 때문에 거의 모든 生産工程에서 수 많은 研究對象이 되어왔고, 그 例로서 Boston[1], Kronenberg[2], Oxford[3], Shaw[4], 益子正己[5] 等의 報告가 있다.

그러나 드릴에 의한 切削은 週期的인 斷續切削이기 때문에 左右 切削날의 時間的인 不均衡等으로 加工구멍 內壁과의 壓力이 發生하여 드릴 Margin 部와의 摩擦로 因한 抵抗力이 생겨 切削抵抗成分을 增加시키고, 工具의 製作 및 再研削時 드릴 斷面形状의 左右 對称의 差異로 구멍의 拡大餘裕가 發生하여 드릴 한쪽 Margin部의 局部的인 마모로 드릴의 寿命을 低下시키는 要因으로 指摘되고 있다.

따라서 本 研究는 드릴링時 드릴과 加工구멍 內壁과의 摩擦이 切削抵抗成分에 미치는 영향을 考察하여 드릴의 切削状態를 바르게 표현하고, 工具의 部分的인 切削抵抗成分을 検討하고자 한다.

## 2. 理論的 考察

드릴링時 드릴과 加工구멍內壁과의 摩擦抵抗要因을 細分하여 検討하면 다음과 같다.

1) 切刃交替現象
2) Chisel edge의 歩行現象
3) 工具의 曲強性이 낮아 發生되는 眞直度 및 眞圓度 缺陷.
4) 工具製作 및 再研削時 両 Lip 높이의 差異로 因한 구멍의 拡大餘裕 發生.
5) 드릴 外周部에서의 切削은 傾斜角이 작기 때문에 Chip의 流出角이 작아져 發生하는 Chip-jamming으로 因한 摩擦抵抗.
6) 깊은 구멍 加工時 Chip-jamming과 工具의 無理한 切削으로 切削熱이 發生하여 구멍內壁의 硬度를 增加시키는데에 따른 摩擦抵抗

따라서 드릴의 切削抵抗 計算時에는 위와 같은 要因을 考慮해야 한다.

### 2 - 1. 드릴加工時 Torque의 計算式

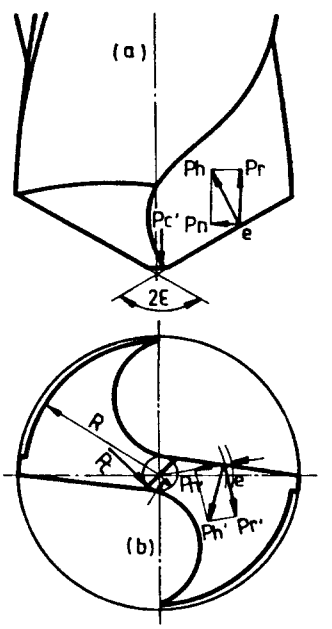



Fig. 1. Component forces at the cutting edge of drill

Fig. 1에서 주절삭날에 의한 Torque를 $M\ell$, Chisel edge에 의한 Torque를 Mc, 드릴 Margin部에 의한 Torque를 $M\mu$라 하면 全體切削 Torque에 對하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$M = M\ell + Mc + M\mu \quad \cdots\cdots (1)$$

여기서 드릴 Margin部의 摩擦抵抗은 $M\mu = \mu (M\ell + Mc)$로 나타낼 수 있고, 이를 (1)式에 代入하여 나타내면

$$M = (1+\mu)(M\ell + Mc) \quad \cdots\cdots (2)$$

여기서 $\mu$ : 比例常数이다.

또한 切削날에 걸리는 比切削力을 Ps, 1個 切削날에 對한 移送을 Sz라 하면

$$Mc = 2Sz\int_{r_o}^{r_o} Ps\rho d\rho ,$$

$$M\ell = 2Sz\int_{r_o}^{R} Ps\rho\, d\rho \quad \cdots\cdots (3)$$

이며, 施削에 있어서 切削角 60°에서의 比切削力을 $P_S(60)$라 하면

$$Ps = P_S(60)\left(\frac{\delta}{60}\right)^{\varepsilon\delta} \quad \cdots\cdots (4)$$

여기서 $\delta$ : 切削角, $\varepsilon\delta$ : 0.7이다.

또한 주절삭날에 있어서 $\delta_n = 60\left(\frac{\rho_L}{0.1}\right)^{-\varepsilon\rho}$,

$\varepsilon\rho = 0.326\left(\frac{\theta_L}{0.01}\right)^{0.5}$이고, 이를 (4)式에 代入하여 나타내면

$$Ps = Ps(60)\left(\frac{\rho}{0.1L}\right)^{\varepsilon\rho'} \quad \cdots\cdots (5)$$

이며, Chisel edge에 對하여 $\delta_n \fallingdotseq \left(\frac{\pi}{2}+\varepsilon\right)$를 (4)式에 代入하면

$$Ps = P_S(60)\left(\frac{90+\varepsilon}{60}\right)^{\varepsilon\delta} = P_S(60)(2.5)^{\varepsilon\delta} \quad \cdots\cdots (6)$$

이다. 이를 各各 (3)式에 代入하면

$$Mc = Sz\cdot r_o^2\cdot(2.5)^{\varepsilon\delta}\cdot Ps(60)$$

$$M\ell = 2SzPs(60)\left(\frac{L}{10}\right)^{\varepsilon\rho'}\int_{r_o}^{R}\rho^{1-\varepsilon\rho}\,d\rho$$

$$= 2SzPs(60)\left(\frac{L}{10}\right)^{\varepsilon\rho'}\frac{R^{2-\varepsilon\delta}}{2-\varepsilon\rho'}\left[1-\left(\frac{r_o}{R}\right)^{2-\varepsilon\rho'}\right] \quad \cdots\cdots (7)$$

이다. 따라서 式(6)과 (7)을 (1)式에 代入하여 全體 切削 Torque에 對하여 다음과 같이 表示할 수 있다.

$$M = (1+\mu)\cdot SzPs(60)\left\{r_o^2(2.5)^{\varepsilon\delta} + \frac{2}{2-\varepsilon\rho'}\left(\frac{L}{10}\right)^{\varepsilon\rho'}R^{2-\varepsilon\rho'}\left[1-\left(\frac{r_o}{R}\right)^{2-\varepsilon\rho}\right]\right\} \quad \cdots\cdots (8)$$

여기서 $\varepsilon\delta' : \varepsilon\rho\cdot\varepsilon\delta$, $\varepsilon\rho' : \varepsilon\rho\cdot\varepsilon\delta'$,

$r_o$ : Chisel edge radius,

L : 비틀림 홈 길이 (Flute length)

R : Drill radius

## 2 - 2. 드릴加工時 Thrust의 計算式

Fig. 2에서 주절삭날에 의한 Thrust를 $F\ell$, Chisel edge에 의한 Thrust를 Fc, Drill flank에 의한 摩擦抵抗을 $F\mu$라 하면 全體 Thrust는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F = F\ell + Fc + F\mu \quad \cdots\cdots (9)$$

Bera와 Bhattacharyya[6]의 式으로부터 주절삭날에 의한 Thrust, $F\ell$은

$$F\ell = 0.74\cdot\sigma_u\cdot 6^{0.64}\left[(r_2 - r_1) + K\frac{(r_2^{1-m} - r_1^{1-m})}{S^n(1-m)} - \frac{\tan\theta}{d\sin\rho}(r_2^2 - r_1^2) + \frac{dc}{2}\cos\rho\log e\frac{r_2}{r_1}\right]$$

$$\left[\tan\left\{\frac{\pi}{4} - \tan^{-1}\left(\frac{\cos\gamma_e}{\zeta e - \sin\gamma_e}\right)\right\}\sin\rho \quad \cdots\cdots (10)\right.$$

이고, Chisel edge에 의한 Thrust Fc는

$$Fc = 18.3\cdot 6^{0.6\Delta}\cdot C\cdot dc \quad \cdots\cdots (11)$$

여기서 C : Depth of cut(mm),

dc: Chisel edge diameter (mm)

이며, Drill flank의 摩擦抵抗 $F\mu$는

$$F\mu = \frac{2N(d-dc)}{2\sin\rho}\sin\rho$$

$$= N(d-dc) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (12)$$

여기서, N : Specific normal force acting at the cutting edge kg per unit length of cutting.

$\rho$ : 1/2 Point angle(deg.)

d : Drill diameter(mm)

이다. 따라서 式(10), (11), (12)를 式(9)에 代入하여 全體 Thrust는 다음과 같이 表示할 수 있다.

$$F = 0.74 \cdot \sigma u \cdot 0.6^{0.6} \Delta\, S[\{(r_2 - r_1) + K(\frac{r_2^{1-m} - r_1^{1-m}}{S^n(1-m)}) - \frac{\tan\theta}{d\sin\rho}(r_2^2 - r_1^2)$$

$$+ \frac{dc}{2}\cos\rho \log e \frac{r_2}{r_1}\} \tan\{\frac{\pi}{4} - \tan^{-1}(\frac{\cos\gamma_e}{\zeta e - \sin\gamma_e})\} \sin\rho + 24.71dc] + N(d-dc)$$

여기서 $\sigma_u$ : Tensile strength( kg／mm² ), $\Delta$ : Elongation(%), K : 14, n : 0.7, m : 0.112, S : Feed rate (mm／rev.), $\theta$ : Helix angle (deg.), $\zeta$ : Chip reduction Coefficient

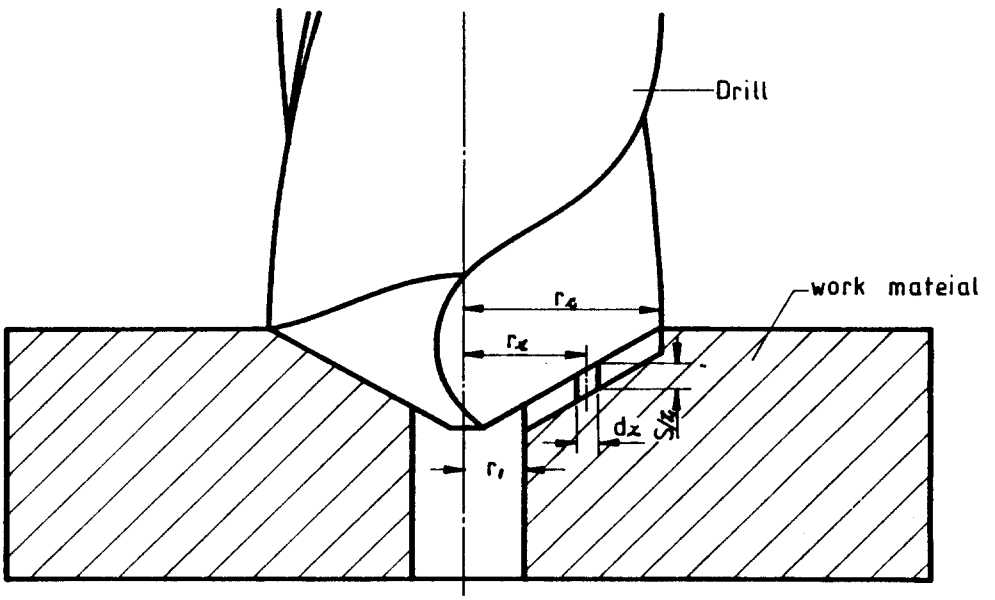



Fig. 2. Cutting process of drill

## 3. 実　　驗

### 3－1. 実驗裝置

本 研究에서 使用한 Dynamometer의 概要圖를 Fig.3에 나타내었다.

Fig.3에서 Piezoelectric Transducer 3 (Swiss, Kistler, Type 9065)위에 Adapter 2 ( 材質 : 軟鋼 )를 固定하고, 그 위에 3jaw scroll chuck 1(三千里 機械工業株式會社製, $\phi$ 85 mm )을 固定한 다음 Drilling machine의 Table 위에 T-bolt 5로 固定하였다.

Fig.4는 測定器의 排列인데, 이 計測裝置의 回路를 利用하여 乾式切削에 의한 드릴加工中의 Torque 및 Thrust를 다음과 같이 測定하였다. 먼저 Dynamometer에서의 出力을 Charge Amplifier( Swiss, kistler, Type 5807A)로 增幅하여 Data Record(Kyowa. Rtp, Type100)에

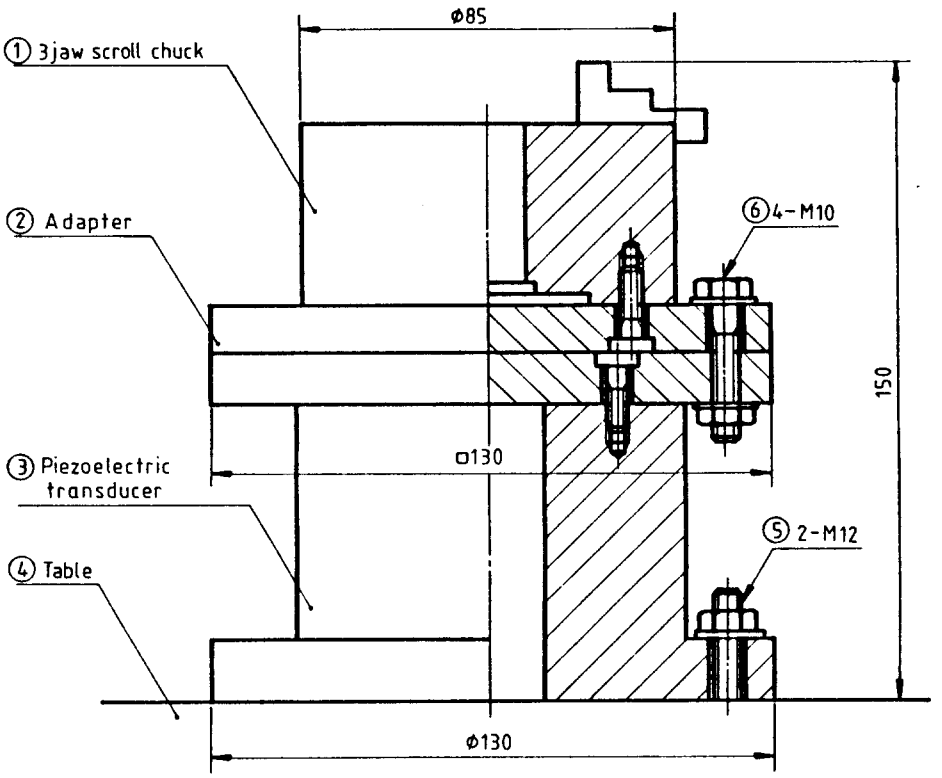



Fig. 3. Experimental Set-up

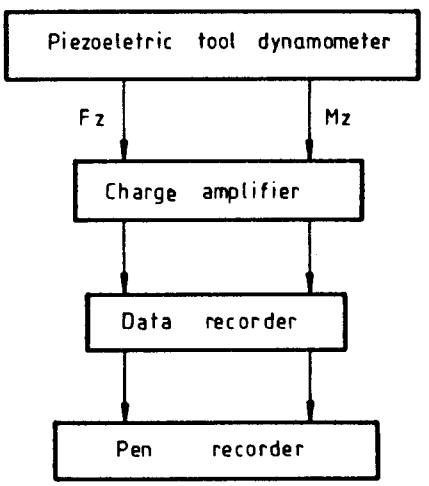



Fig. 4. Measuring system

一旦 收録한 다음 Pen Record (Watanabe, Type Mc6621)로 再生하여 Torque(Mz) 및 Thrust (Fz)의 変動成分을 分析, 検討하였다.

### 3 - 2. 試験片 및 工具

本 実験에 使用한 試験片의 材質은 SM45C, GC 20, A2024-T6의 3種類이며, 그 化學的인 組成과 機械的 性質은 Table 1, 2와 같다.

試験片의 形状과 치수는 Table3과 같고, 試験에 使用한 드릴은 $\phi$ 8 ㎜, $\phi$10 ㎜, $\phi$12㎜의 3種類로 Table4에 各部의 치수를 Table5에 그 化學的인 組成을 나타내었다.

### 3 - 3. 実験條件 및 方法

#### 3-3-1. 実験條件

本 実験에 앞서 Drilling machine의 作動状態를 点検하고, 試験片의 中心과 드릴의 位置를 正確히 一致시킨 다음 加工前後의 運轉條件이 같도록 900rpm에서 30分동안 豫備運轉을 하였다. 그리고 其他 主要한 実験條件은 다음과 같다.

1) 試験의 反復回数는 3回 以上으로 한다.

2) 드릴은 新製品으로 1回만 使用한다.

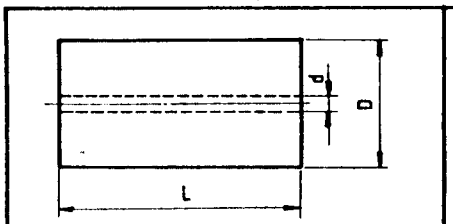
Table. 1. Chemical composition (Wt%)

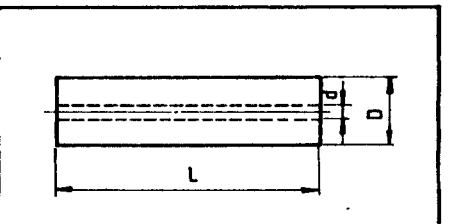
| Element / Specimen | C | Si | P | S | Mn | Fe | Me | Cr | Zn | Al | Other |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SM 45 C | 0,45 | 0,30 | 0,02 | 0,02 | 0,75 | Bal. | | | | | 1,0 |
| GC 20 | 3,30 | 1,60 | 0,20 | 0,10 | 0,50 | Bal. | | | | | 1:0 |
| A 2024-T6 | | 0,50 | | | 0,70 | | 1,60 | 0,10 | 0,25 | Bal. | 0,25 |

Table. 2. Mechanical properties

| Specimen | Tensile Strength (Kg/mm²) | Hardness (Brinell, Hs) |
|---|---|---|
| SM 45 C | 75 | 270 |
| GC 20 | 22 | 235 |
| A 2024-T6 | 46 | 125 |

Table. 3. Dimension of specimen (mm)




| Symbol No. | D | d | L | Symbol No. | D | d | L |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ϕ 25 | ϕ 2 | 65 | 7 | ϕ 12 | ϕ 2 | 75 |
| 2 | 25 | 2 | 40 | 8 | 12 | 2 | 50 |
| 3 | 25 | 2 | 50 | 9 | 10 | 2 | 65 |
| 4 | 25 | 2 | 35 | 10 | 10 | 2 | 50 |
| 5 | 25 | 2 | 45 | 11 | 8 | 2 | 55 |
| 6 | 25 | 2 | 30 | 12 | 8 | 2 | 40 |

(13)

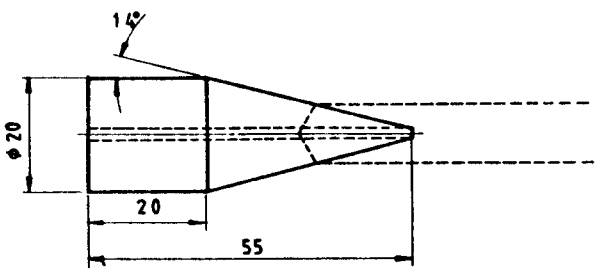
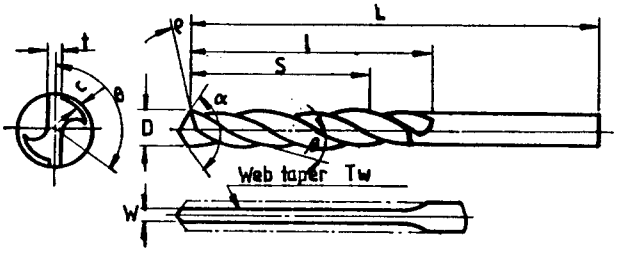


Table. 4. Dimension of drill used in experiment




| Symbol / Drill Dia.(mm) | Point angle (deg.) α | Relief angle (deg.) ρ | Helix angle (deg.) β | Chisel angle (deg.) θ | Web thickness (mm) W | Web taper TW | Margin (mm) t | Land height (mm) c |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8 | 118 | 12 | 30 | 130 | 1.17 | 2/100 | 0.9 | 0.125 |
| 10 | 118 | 12 | 30 | 130 | 1.40 | 2/100 | 1.1 | 0.125 |
| 12 | 118 | 12 | 30 | 130 | 1.50 | 2/100 | 1.3 | 0.175 |

Table. 5. Chemical composition of drill used in experiment

| Symbol | Element(Wt%) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SKH9 | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | W | V | Fe |
| | 0.80 | 0.35 | 0.60 | 0.03 | 0.03 | 4.50 | 5.0 | 6.50 | 2.05 | Bal. |

3) 加工條件이 一致하도록 乾式切削으로 한다.
4) 加工上의 特性 및 実験條件에 따라 各各의 試験片에 $\phi$ 2㎜의 Pilot hole을 두었다.
5) 드릴 先端部의 흔들림은 0.06㎜以下로한다.
6) 試験片은 両端이 平行하도록 하고, 드릴지름과 同一한 試験片의 許容公差는 -0.01정도로 한다.

3-3-2. 実験方法

Fig. 5와 같은 方法으로 드릴과 加工구멍內壁과의 摩擦이 切削抵抗成分에 미치는 영향을 比較, 検討하기 위하여 $\phi$ 8㎜, $\phi$10㎜, $\phi$12㎜의 드릴을 가지고 加工구멍의 깊이, 切削速度, 移送率, 試験片의 材質 및 形状에 따른 Torque 및 Thrust의 変動成分을 検討하였다.

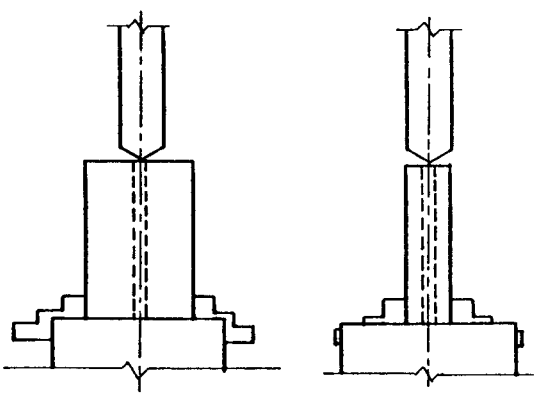


Fig. 5. Experimental method

## 4. 実験結果 및 考察

切削抵抗成分에 關係되는 因子로서 切削條件, 加

工方法, 被削材의 材質 및 形狀等이 考慮되는데, 前述한 実驗裝置를 利用하여 드릴링時 드릴과 加工구멍內壁과의 摩擦이 切削抵抗成分에 미치는 영향을 다음과 같이 分類, 檢討하였다.

### 4 - 1. 切削條件의 影響

4-1-1. 加工구멍 깊이의 영향

Fig.6은 $\phi$ 10 ㎜의 드릴을 가지고 加工구멍깊이에 따른 Torque 및 Thrust의 変動成分을 試驗片의 形狀에 따라 比較, 檢討한 結果이다.

그림에서 보는 바와 같이 正常 切削狀態에서는 加工구멍의 깊이가 增加함에 따라 Torque 및 Thrust는 다같이 增加하는 傾向이 있는데, 이를 加工구멍의 깊이에 따른 Torque 및 Thrust에 對한 各各의 增加率로 比較해 볼 때 Thrust 보다는 Torque의 增加率이 더 높게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 特히 加工구멍의 깊이가 드릴지름의 3倍 以上이 되면서부터 그러한 傾向이 더욱 두드러지게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 이러한 事実은 前述한 바와 같이 加工구멍의 깊이가 增加됨에 따라 드릴 Margin 部와 加工구멍內壁과의 摩擦抵抗이 增加하기 때문이라고 思料된다.

그러나 同一한 條件下에서 試驗片의 形狀을 달리하여 実驗한 結果, 加工구멍의 깊이에 關係없이 切削抵抗成分은 一定하게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 따라서 加工구멍의 깊이에 따른 切削抵抗의 変動成分은 드릴 Margin部와 chip jamming에 의한 摩擦抵抗이 主된 原因으로 作用하고 있음을 알 수 있었다.

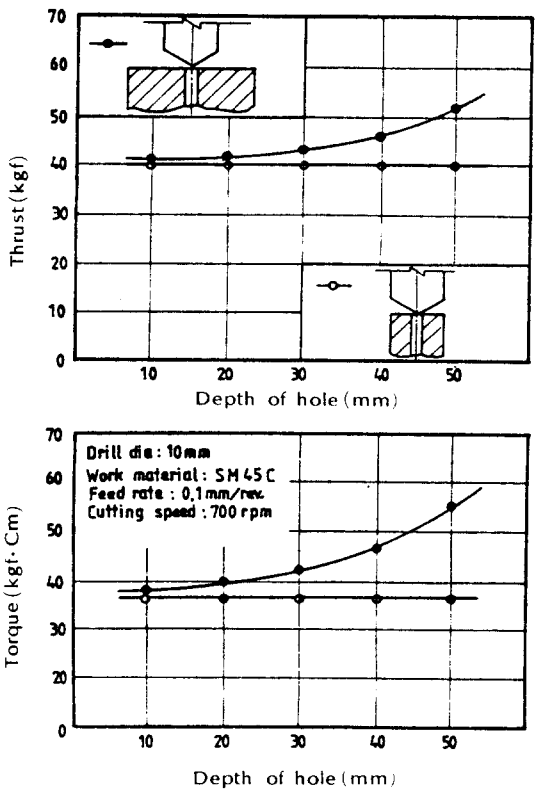
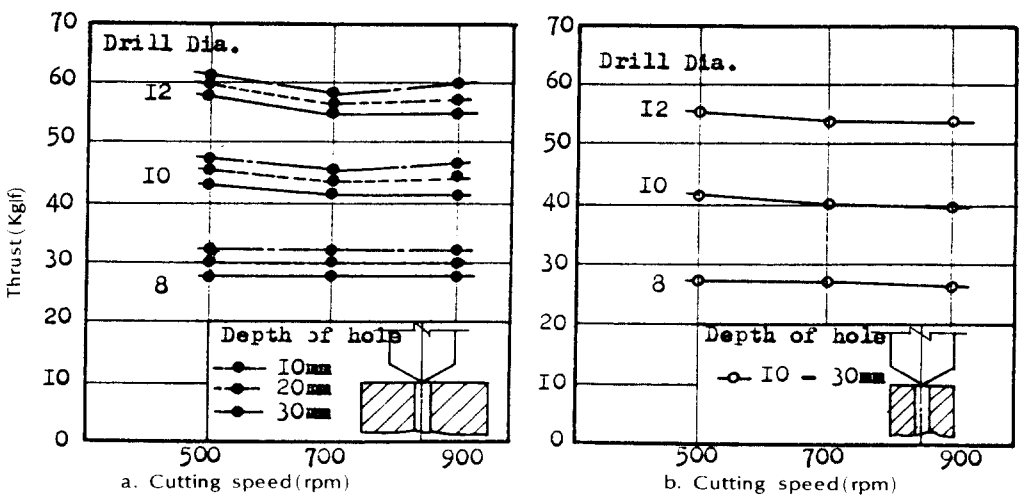



Fig. 6. Relationships between depth of hole and cutting resistance

4-1-2. 切削速度의 影響

Fig.7은 $\phi$8 ㎜, $\phi$10 ㎜, $\phi$12 ㎜의 드릴을 가지고 切削速度 500 rpm, 700 rpm, 900 rpm 에서



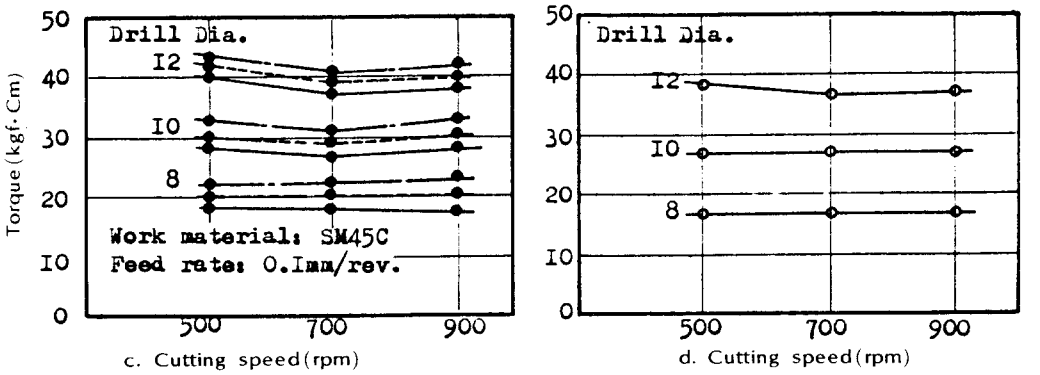



Fig. 7. Relationships between cutting speed and cutting resistance

의 Torque 및 Thrust의 変動成分을 比較, 検討한 結果이다.

그림(a)와 (c)에서 보는 바와같이 切削速度가 增加함에 따라 Torque 및 Thrust는 多少 增減하는 傾向이 있으나 全體的인 傾向에서 볼때 切削速度가 切削抵抗成分에 그다지 큰 영향을 미치고 있지 않음을 볼 수 있다.

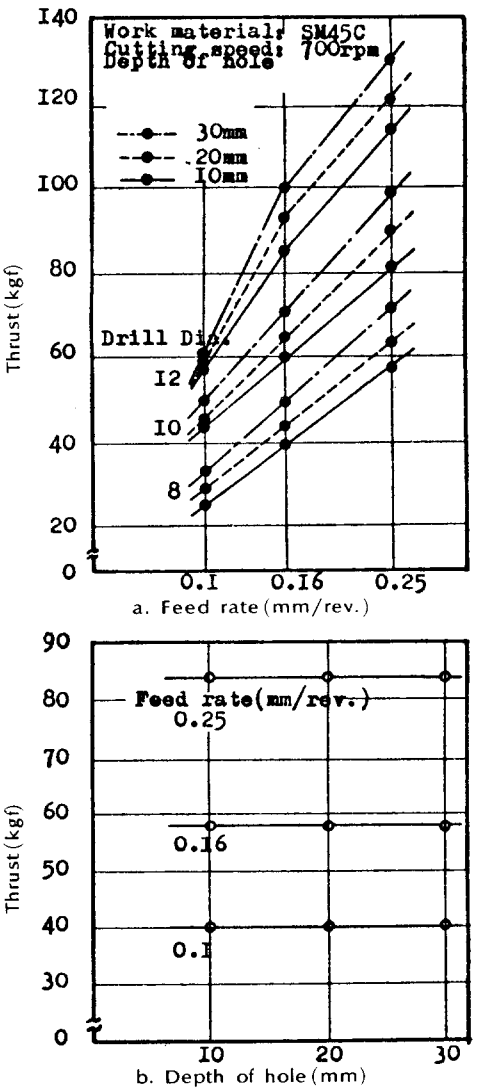
따라서 切削速度의 実用範圍에서 이에 對한 영향을 無視할 수 있는 것으로 思料된다.

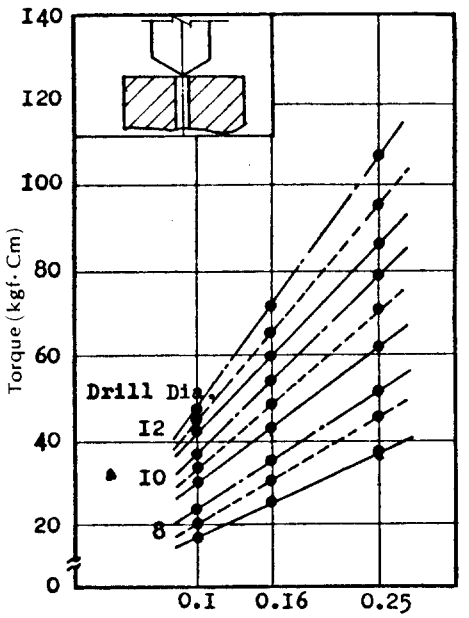
한편 그림(b)와 (d)에서 드릴 Margin部와의 摩擦을 배제하여 実験한 結果, 그 傾向은 前述한 바와 같았다.

4-1.-3. 移送率의 影響

Fig. 8은 $\phi$8㎜, $\phi$ 10 ㎜, $\phi$ 12㎜의 드릴을 가지고 0.1 ㎜/ rev., 0.16 ㎜/rev. 0.25 ㎜/ rev.의 移送率에 따른 切削抵抗의 変動成分을 検討한 結果이다.

그림(a)와 (c)에서 보는 바와같이 移送率 및 드릴지름이 增加함에 따라 Torque 및 Thrust는 다같이 增加하는 傾向이 있는데, 이를 移送率의 增加에 따른 各各의 增加率로 比較해 볼때 Torque보다는 Thrust가 더 높게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 이러한 事実은 移送率이 增加할수록 切取두께 및 切削幅의 增加로 軸方向의 壓力이 加重되어 Thrust가 增加되는 것으로 思料된다. 特히 Shaw와 Oxford에 依하면 Torque에 있어서 移送率이 2倍일 때 全體切削 Torque에 約 74%가 增加하고, 드릴지름이 2倍일 때 約 250%가 增加하며, Thrust에 있어서 드릴지름에 의한 영향은 Torque에 比해 多少 작게





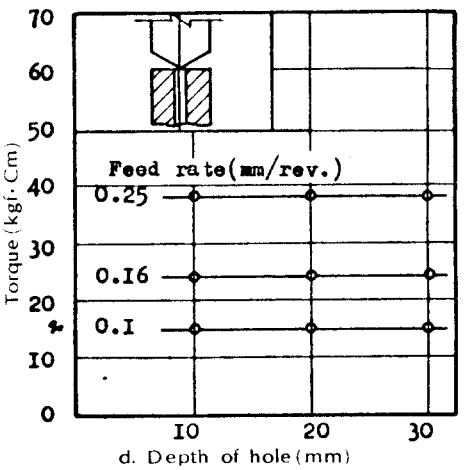




Fig. 8. Relationships between feed rate and cutting resistance

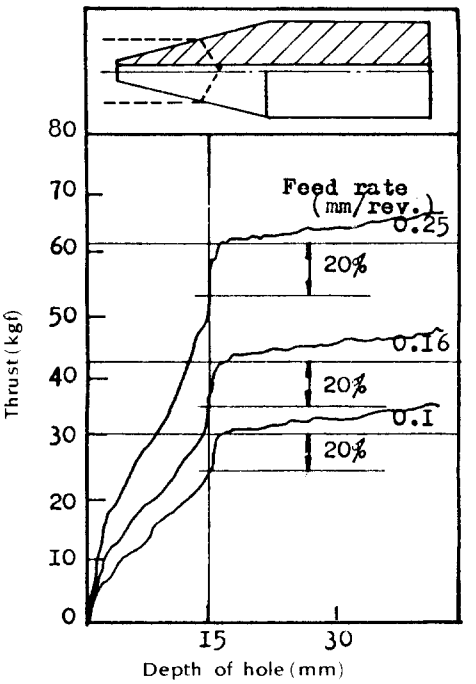
나타나지만 移送率이 2倍일 때 全體 Thrust 에 約 75~80 %가 增加되는 것으로 報告되어 있다.

한편 그림(b)와 (d)는 同一한 條件下에서 드릴 지름과 同一한 크기의 試驗片을 가지고 実験한 結果 全體的인 傾向은 前述한 바와 같았다.

### 4 – 2. 被削材 形狀 및 材質의 影響

#### 4-2-1. 被削材 形狀의 影響

Fig. 9는 드릴링時 드릴 Margin部와 加工구멍 內壁과의 摩擦이 切削抵抗成分에 미치는 影響을 具體的으로 表現하기 위하여 Taper 形狀의 試驗片에 $\phi$10 mm의 드릴을 가지고 切削하고 그 進行方向



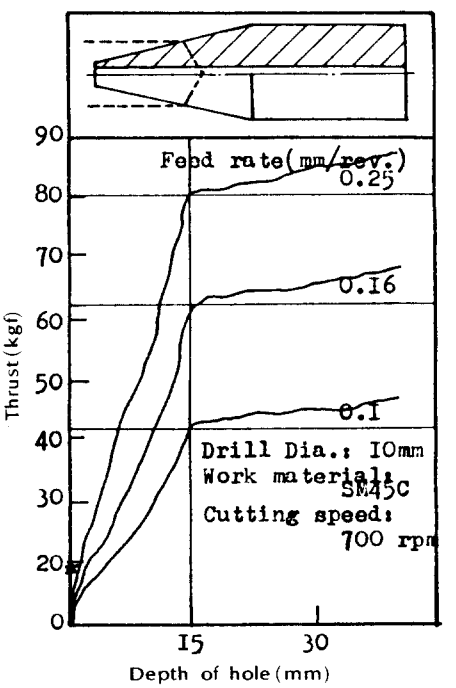




Fig. 9. Effect of specimen shape

에 따라 試驗片의 外形을 変化시켜 가면서 드릴 지름과 試驗片의 지름이 一致되는 点에서의 Torque 및 Thrust의 変動成分을 検討한 結果이다.

Torque 및 Thrust의 変動成分을 比較, 検討한 結果 特異한 傾向은 Torque에 있어서 드릴지름과 試驗片의 지름이 一致되는 点에서 切削 Torque가 急激히 상승하는 現象을 볼 수 있는데, 이러한 現象은 드릴 Margin部와 加工구멍內壁과의 摩擦로 因한 抵抗成分이 急增하기 때문으로 思料된다.

또한 이러한 事実을 규명하기 위하여 移送率을 変化시켜 検討한 結果, 摩擦抵抗을 移送率에 關係없이 全體 切削 Torque에 比例하고 있음을 알 수 있었다. 따라서 드릴 Margin部의 摩擦抵抗으로 因한 切削 Torque의 增加幅을 全體 切削 Torque에 比例하여 나타낸 結果, SM45C는 約 20 %로 나타났다. 그러나 Thrust에 對하여 検討한 結果 드릴 Margin의 摩擦抵抗으로 因한 Thrust의 変動成分은 나타나지 않았다.

한편 Fig.10은 同一한 條件과 方法으로 被削材의 材質을 달리하여 検討한 結果, GC20은 14 %, A2024-T6는 10 %로 各各 나타났다.

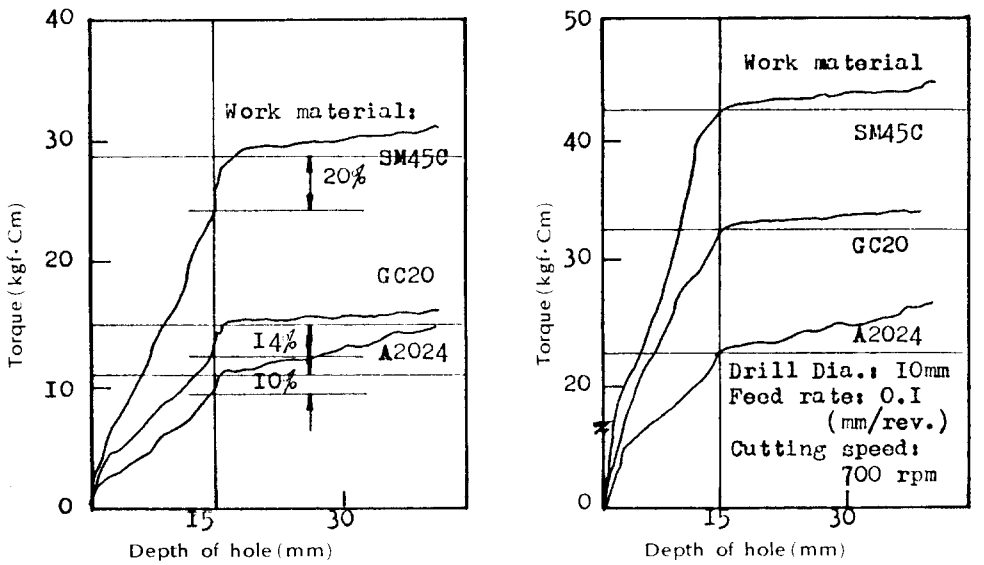



Fig. 10. Effect of work material

4-2-2. 被削材 材質의 影響

Fig.11, 12, 13은 前章에서 얻은 結果를 가지고 加工구멍의 깊이에 따른 切削抵抗의 理論値와 実驗値를 比較, 検討한 結果이다.

먼저 Fig.11-(a), Fig.13-(a)는 드릴의 Chisel edge가 Thrust에 미치는 영향을 検討하기 위하여 Pilot hole이 있는 것과 없는 試驗片을 가지고 實驗한 結果, Chisel edge가 全體 Thrust에 미치는 영향은 SM45C가 67%, GC20 57 %, A2024-T6 58 %로 各各 나타났다. 이를 加工구멍의 깊이에 따른 各各의 增加率로 比較해 볼때 加工구멍의 깊이가 드릴지름의 3倍程度까지는 比較的 같은 傾向을 나타내고 있으나 3倍를 넘어서면서부터는 Pilot hole이 없는 것에 對한 增加率이 훨씬 높게 나타나 있음을 볼 수 있다. 特히 A2024-T6의 경우 그러한 傾向이 더욱 甚하게 나타나고 있음을 볼 수 있는데, 이는 被削材의 材質이 軟하여 加工구멍의 깊이가 增加함에 따라 Chip-jamming現象이 커지고, Chip이 切削熱에 의해 드릴의 비틀림 홈에 熔着되어 Chip排出에 對한 摩擦抵抗이 현저하게 增加되기 때문으로 思料된다. 따라서 被削材의 材質이 軟할 수록 드릴 Margin部에 의한 영향보다 Chip-jamming에 의한 摩擦抵抗이 더욱 크게 作用하고 있음을 알 수 있다.

한편 Fig.11-(b), Fig.12-(b), Fig.13-(b) 는

드릴 Margin 部의 摩擦抵抗을 考慮하여 Torque에 對한 理論値와 実験値를 比較, 検討한 結果를 나타낸 것이다.

그림에서 보는 바와같이 가공구멍의 깊이가 드릴지름의 3倍 程度까지는 実験値와 理論値와 거의 一致하고 있으나 3倍 以上이 되면서 상당한 差異가 發生하고 있음을 볼 수 있다. 이러한 事実은 前述한 바와같이 드릴은 구멍의 길이보다 긴 공구를 使用해야하고, 드릴 先端部와의 維持点이 멀어 眞圓度 및 眞直度가 불량해지며, Chisel edge의 歩行現象等과 같은 要因으로 드릴 Margin部와의 摩擦抵抗 및 Chip-jamming으로 因한 抵抗이 顯著하게 增加되어 切削抵抗이 急激히 상승하는 傾向을 나타내고 있는 것으로 思料된다. 따라서 깊은구멍 加工時에는 特別한 對策이 必要할 것으로 생각된다.

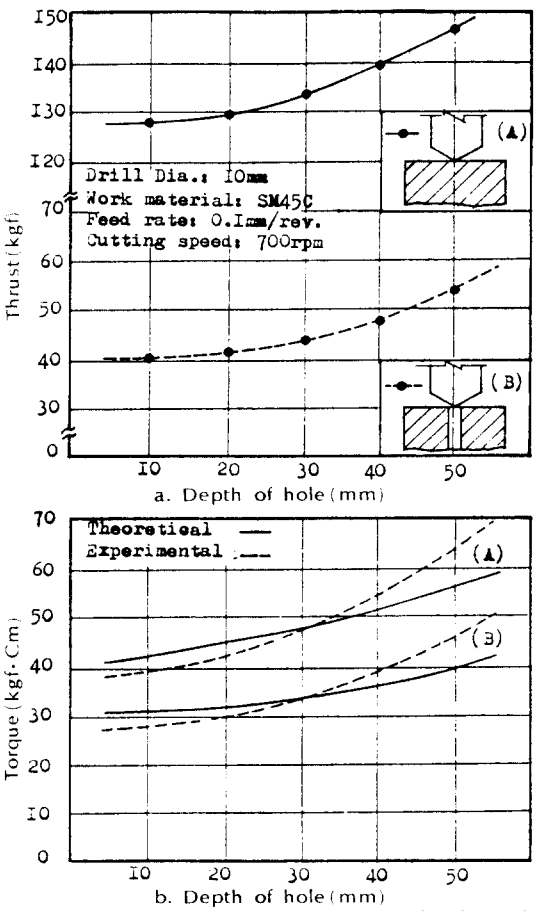



Fig. 11. Relationships between depth of hole and cutting resistance

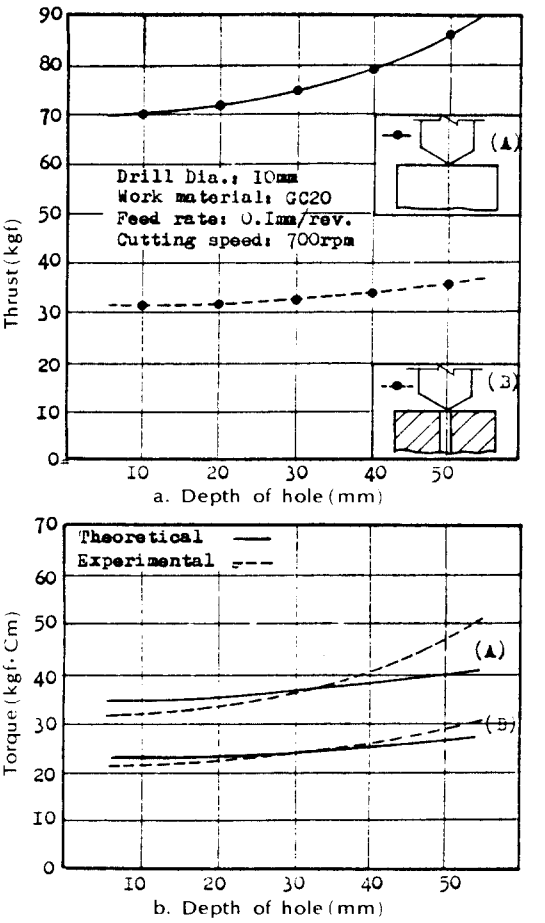
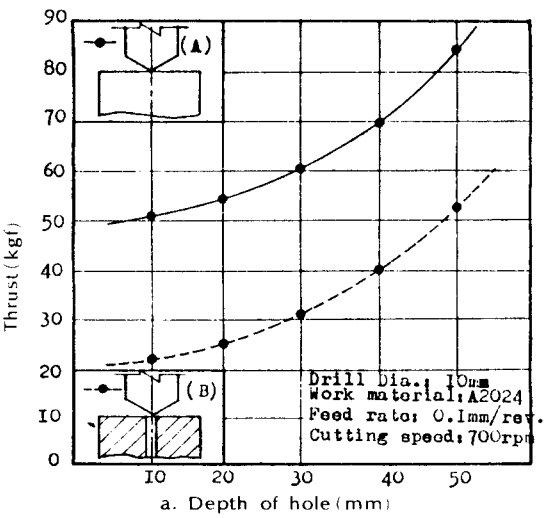



Fig. 12. Relationships between depth of hole and cutting resistance



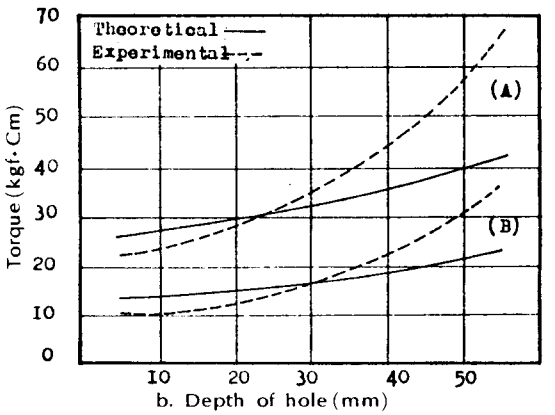



Fig. 13. Relationships between depth of hole and cutting resistance

## 5. 結 論

本 研究에서는 SM45C, GC20, A2024-T6 를 被削材로 하여 드릴링時 드릴과 加工구멍內壁과의 摩擦이 切削抵抗成分에 미치는 영향을 比較, 檢討한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 切削抵抗成分은 드릴 加工工程上의 特性에 따른 加工구멍內壁과 드릴 Margin 部와의 摩擦抵抗 및 Chip-jamming 現象으로 因하여 加工구멍의 깊이가 增加함에 따라 增加한다.

2) Torque 및 Thrusot 는 移送率이 增加할수록 다같이 增加하는 傾向이 있는데, 이들 各各에 對한 增加率로 比較해 볼때 Torque 보다는 Thrust 가 더 높게 나타났다.

3) 全體 切削 Torque 에서 드릴 Margin 部가 차지하고 있는 比率은 SM45C 20 %, GC 20 14 %, A 2024-T6 10 % 程度이다. 그러나 Thrust에 있어서 이에 對한 영향은 나타나지 않았다.

4) 드릴 Margin 部의 摩擦抵抗을 考慮하여 Torque의 実験値와 理論値를 比較한 結果, 加工구멍의 깊이가 드릴지름의 3倍 程度까지는 比較的 잘 一致하고 있으나 3倍 以上에서부터는 드릴 加工工程上의 特性에 의해 상당한 差異를 보였다.

## References

1. O.W. Boston & W.W. Gilbert, "The torque and thrust in small drills operating in various metal", Trans. ASME, Vol. 58 pp. 79-89, 1936
2. M. Kronenberg, "Drilling feeds", Machinery, Vol. 45, pp. 661-665, 1935
3. C.J. Oxford, etal, "On the drilling of metals. I Basic mechanics of the process", Trans. ASME, Vol. 77, pp. 103-110, 1955
4. M.C. Shaw & C.J. Oxford, "On the drilling of metal. II The torque thrust in drilling", Trans. ASME, Vol. 79, pp. 140-148, 1957
5. 益子正己, "きりもみにおける切削抵抗の解析〔2〕", 機械の研究, 第9巻 第4號, pp. 482~484, 1957
6. S. Bera & A. Bhattacharyya, "On the determination of torque and thrust during drilling of ductile material", Proc. 8th MTDR. Conf. pp. 881-886, 1967