

## 切削抵抗의 動的成分에 미치는 切削條件의 影響에 關한 研究(Ⅱ)

全彦燦\* · 南宮垆\*\*

### A Study on the Influence of Cutting Conditions on the Dynamic Component of Cutting Resistance (Ⅱ)

Jeon, Eun Chan · Nam gung, Suk

#### Abstract

In this study, the static and dynamic components of cutting resistance were measured with tool dynamometer (Swiss, piezo- electric type) when S45C, Al-alloy and brass were drilled under the some variable conditions.

The results obtained are as follows;

- 1) The dynamic components of these cutting resistance are not related to the depth of drilled hole.
- 2) The static and dynamic components of cutting resistance are increased in accordance with the increase of feed and drill diameter.
- 3) The dynamic components of thrust force are increased in accordance with the increase of spindle speed.
- 4) The rate of the dynamic component to the static component is 0.3~0.5 in torque, 0.1~0.2 in thrust force.
- 5) The characteristic of the tool system is affected in dynamic component of cutting resistance, and the created frequency and amplitude of the chip are determined by the drilled materials.
- 6) The maximum amplitude of the dynamic component is increased proportionally in accordance with the feed rate and the spindle speed.

#### 1. 序 論

Drill 加工은 一般 機械加工의 20% 以上을 차지하는 重要한 機械加工의 하나로 되어 있으며, 必要한 幾何學的 形狀을 가진 구멍을 加工함과 同時에 特別 높은 生産性이 要求된다. 따라서 지금까지 Drill 加工時의 thrust 力과 切削 torque에 關해서 많은 研究가 되었으며, 例를 들면 Galloway<sup>1)</sup>, Kahng<sup>2)</sup>, Levi<sup>3)</sup> 등의 報告가 있다. 그러

나 이들의 報告는 어느 것이나 切削抵抗의 靜的成分만을 對象으로 하고 있음에 지나지 않고, 切削技術의 高度化를 指向하는 最近의 높은 要望에는 對處할 수가 없다. 그런데 切削加工技術의 進歩와 함께 最近 切削抵抗의 動的成分에 關한 研究<sup>4)</sup>가 行되어 왔다. 이것은, 切削抵抗의 動的成分에는, 實用上 有用한 情報가 포함되는 것이 期待되고 있기 때문이다. 즉, 切削抵抗의 動的成分을 加振倍數로 한 工作機械의 動的性能試驗이나 動的成分을 檢出해서 工具磨耗를 把握하고 適應制御를 行하는

\* 東亞大學校 工大

\*\* 忠南大學校 工大

것이 그 應用分野로 생각된다. 이미 알고 있는 바와 같이 動的性能試驗에는 切削試驗과 加振試驗의 두가지 方法이 있지만, 어느 方法도 實用化하기에는 아직 解決하지 않으면 안되는 問題가 있다. 한편, 適應制御 特히 最適型 適應制御에서는 工具壽命의 In-process 測定이 重要하지만, Langhammer 등<sup>5)</sup>에 의하면 切削抵抗의 動的成分은 工具磨耗와 密接한 關係가 있다고 한다. 이와 같이 切削抵抗의 動的成分을 解明하는 것은 工作機械의 利用技術에 많은 貢獻을 한다고 생각된다.

따라서 本 研究에서는 旋削加工과 더불어 重要한 Drill 加工에서의 切削抵抗의 動的成分을 drill 徑, drill 移送量, 加工 구멍의 깊이 및 被削材의 外徑을 變化시키면서, 實驗을 통하여 檢討하고자 한다.

## 2. 實 驗

### 2.1. 實驗裝置

本 研究에서 使用한 切削動力計 (thrust 力 및 切削 torque)의 概要圖를 Fig. 1에 나타내었다.

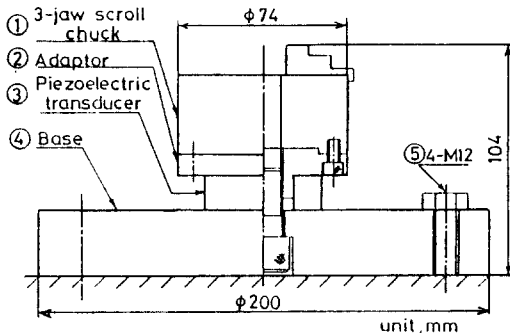


Fig. 1. Experimental set-up.

實驗을 할 때에는 이 切削動力計를 桌上 drilling machine의 table 위에 bolt (5) 4개로 固定하였다. Fig. 1에서 ①은 被削材 固定用的 3本, chuck, ③은 圧電 transducer 이고 ④는 base 이다. ②는 3本 chuck과 圧電 transducer를 固定하는 adaptor 이다.

Fig. 2는 測定 system의 構成을 나타낸 것이며, 이와 같은 測定裝置를 使用해서 乾式 切削을 하여 drill 加工에서의 thrust 力 및 切削 torque의 靜的, 動的成分을 測定하였다. 즉, 圧電 tr-

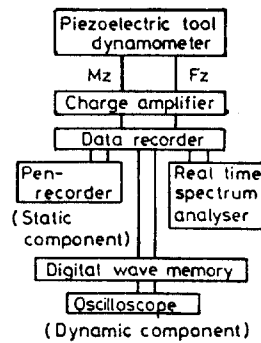


Fig. 2. Measuring system for cutting forces.

ansducer 式 切削動力計에서의 出力을 charge Amplifier에서 增幅시킨 후 data recorder에 收錄하였다. 그 다음, 收錄된 信號를 直接 pen-recorder로 再現시키고, 切削 抵抗의 靜的成分을 또한 그 信號를 digital 式 波形記錄裝置에 일 단 再錄시킨 후 oscilloscope 上에 再現시켜서 切削 抵抗의 動的成分을 求했다. 한편, data recorder의 出力을 spectrum analyser에 入力시켜서 切削 抵抗의 動的成分의 振幅 spectrum을 分析, 檢討하였다.

### 2.2. 試驗片 및 使用 drill

實驗에 使用한 試驗片의 材質은 一般 機械構造用 炭素鋼 (S 45 C, 以下에서는 간단하게 鋼이라고 한다.), Al 合金 (A 5056 BE), 快削黃銅 (C 3604 BE)의 세가지이고 그 化學組成과 機械的인 性質을 table 1에 나타낸다. 試驗片의 形狀과 치수는 table 2와 같이 7種類이지만, 特히 試驗片의 均質性을 고려하여 同一한 棒材에서 加工하였다. 한편, 試驗에 使用한 drill은 JIS B 4301에 規定

Table 1. Specimen used in Experiment.

(a) Chemical composition (wt.%)

Element	C	Si	P	S	Mn	Mg	Cu	Cr	Pb	Fe	Al	Zn	Other
Carbon steel (S45C)	0.45	0.30	0.02	0.02	0.75					bal.			1.0
Al- Alloy (A5056 BE)		0.30			0.10	0.50	0.10	0.10		0.40	bal.	0.10	0.15
Free cutting brass (C3604 BE)								59		2.5		bal.	2.0

(b) Mechanical properties

	Tensile strength (MPa)	Hardness (Brinell, Hb)
Carbon steel	735	270
Al- Alloy	294	93
Free cutting brass	372	172

Table 2. Dimension of Specimen (mm)

	D'	D	L	L'
	30	30	40	40
	30	30	35	35
	30	30	30	30
	30	30	20	20
	30	25	40	25
	30	20	40	25
	30	15	40	25

된 形狀의 twist drill이고 直徑 3~13mm의 11種類를 使用하였다. drill의 材質은 SKH 9種이다.

2.3. 實驗條件 및 方法

實驗을 하기 전에 drilling machine의 table等 加工中에 運動시킬 必要가 없는 部分은 모두 充分하게 固定시켰다. 또한 主軸 bearing系의 加工前後의 運動條件이 同一하도록 하기 위해서 最大 主軸回轉速度의 2/3에 해당하는 1,470 rpm으로 30分間 worming up 運轉을 하였다. 그 外의 主要한 實驗條件은 다음과 같다.

- (1) 實驗의 反復回數는 10回 以上 實施한다.
- (2) drill은 新品을 1回만 使用한다.
- (3) drill 先端部의 흔들림은 0.06mm 以下로 한다.
- (4) center drill 加工은 하지 않고, 試驗片의 上面은 drill과 直角이 되도록 附着시키며 drill 加工하는 面의 粗度는 25 S로 한다.
- (5) 加工後에는 drill의 突出길이를 確認한다.

Table 3에는 drill 徑과 突出길이의 關係를 나타낸 것이다. drill chuck은 모든 實驗에 最大 물림지름 13mm의 것을 使用하였다.

Table 3. Diameter overhang length of drill

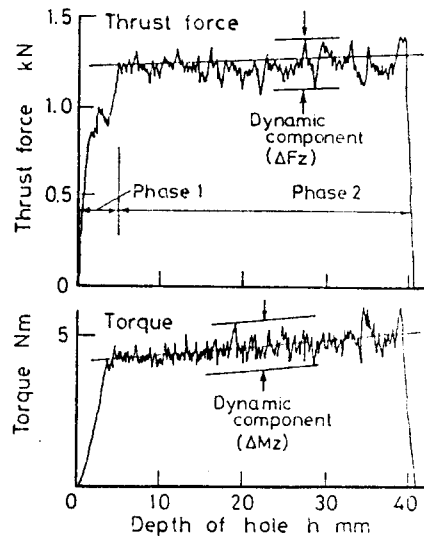
Diameter of drill d mm	Overhang length of drill, lmm
3	40
4	50
5	60
6	70
7	70
8	80
9	90
10	90
11	100
12	100
13	110

3. 實驗結果 및 考察

切削抵抗의 動的成分에 影響을 미치는 因子로서는 切削條件, 被削材의 材質 및 形狀, 工具의 材質 및 形狀, 工作機械-工具-工作物系의 特性等이 생각되는데, 前章에서 나타낸 實驗裝置를 使用하여 以上의 因子가 切削抵抗의 動的 成分에 미치는 影響을 아래와 같이 檢討하였다.

3.1. 切削抵抗의 一般的인 舉動

Fig. 3은 直徑 13mm의 drill 로서 加工했을 때의 切削抵抗의 測定例이다. Fig. 3에 나타낸 바와 같이 切削 torque 및 thrust力의 靜的成分 ( $M_z, F_z$ )은 加工구멍의 깊이( 또는 加工時間)가 增加함에 따라서 增加하는 傾向이 있다. 또한 動的成分 ( $\Delta M_z, \Delta F_z$ )도 增加하는 傾向을 나타내고 있다. 그리고 이러한 傾向은 thrust力보다는 切削 torque의 쪽이 크다. Fig. 3에서 phase 1은 drill의 切刃이 完全한 切削狀態로 移行하는 過度狀態에 對應하고, phase 2는 正常的인 加工狀態에서의 切削抵抗의 舉動이다.

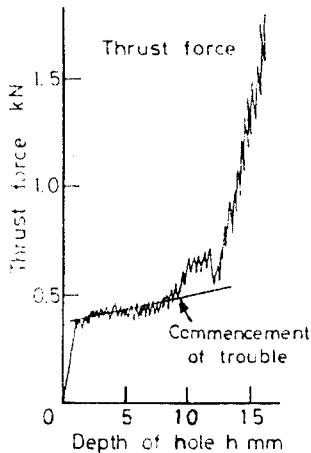


Drill Dia: 13mm Work: S45C  
Feed Rate: 0.067 mm/rev.  
Spindle Speed: 590 rpm.

Fig. 3. Behaviour of cutting force during drilling.

drill 加工時에 drill 折損이나 切刃의 chipping 現象이 생기기도 하고, 또는 切刃의 磨耗가 進行함

에 따라(例로서 Fig. 4에 나타난 바와 같이) thrust力  $F_z$  및 切削 torque  $M_z$ 가 增加하는 傾向이 뚜렷하게 나타나기도 한다. 이 예는 直徑 3mm의 drill로서 鋼을 切削했을 때의  $F_z$ 의 增加 傾向을 나타내고 있으며, drill의 損耗와 함께  $F_z$ 가 급격히 上昇하고 있다. 本 研究에서는 正常的인 切削狀態에서의 切削抵抗을 研究의 對象으로 하고 있으므로 이와 같은 切削抵抗의 급격한 增加 現象에 대해서는 다른 機會에 報告할 予定이다. 그러나 Fig. 4에 의해서 알 수 있는 바와 같이 切削抵抗의 增加率  $dF_z/dt$ , 또는  $dM_z/dt$ 는 그것을 適當한 方法으로 檢討함에 의해서 適應制御에의 應用의 可能性이 크다고 생각된다.



Drill Dia: 13mm Work: S45C  
Feed Rate: 0.067 mm/rev.  
Spindle Speed: 1470 rpm.

Fig. 4. Behaviour of cutting force when the drill is in some troubles.

그런데 Fig. 3에서 加工中の 구멍의 깊이에 의해서 切削抵抗의 測定結果가 多少 달라지므로, 구멍의 깊이에 의한 測定值의 變化를 檢討해 보았다. Fig. 5에는 깊이 30mm의 非貫通 구멍을 3가지의 移送量으로 加工했을 때, 깊이 5, 15 및 25mm에 있어서 thrust力 및 切削 torque의 靜的成分을 나타내고 있다. 切削抵抗의 兩 分力 모두 구멍이 깊게 됨에 따라서 多少 增加함과 함께 그 分布狀態도 크게 되었다. 加工구멍이 깊을수록 切削抵抗이 增加하는 舉動은 移送量이 크게 될수록 顯著하게 되지만, 切削抵抗의 分布狀態는 거의 變化하지 않

는다. Fig. 6은 이것과 對應하는 動的成分의 舉動을 나타낸 것이다. Fig. 6에서도 알 수 있는 바와 같이 切削抵抗의 動的成分의 경우, 多少 分布가 산만하지만 구멍의 깊이에 의한 切削抵抗의 差異는 거의 보이지 않는다. 그래서 앞으로의 檢討는 靜的成分에 대해서만 구멍의 깊이를 고려한다.

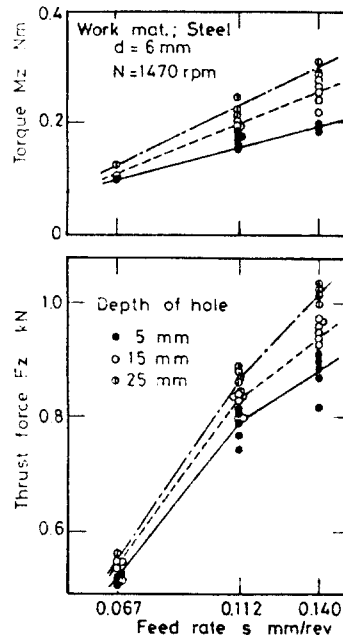


Fig. 5. Relationships between the feed rate and the cutting force (static)

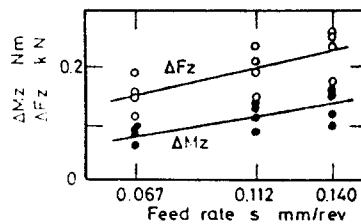


Fig. 6. Relationships between the feed rate and the cutting force (Dynamic) (Work: S45C, Dia. of Drill: 6mm)

### 3.2. 切削條件의 影響

#### 3.2.1. 主軸 回轉速度의 影響

Fig. 7(a)는 drill의 直徑을 變化시키면서 主軸 回轉速度와 thrust力의 關係를 檢討한 結果이다.

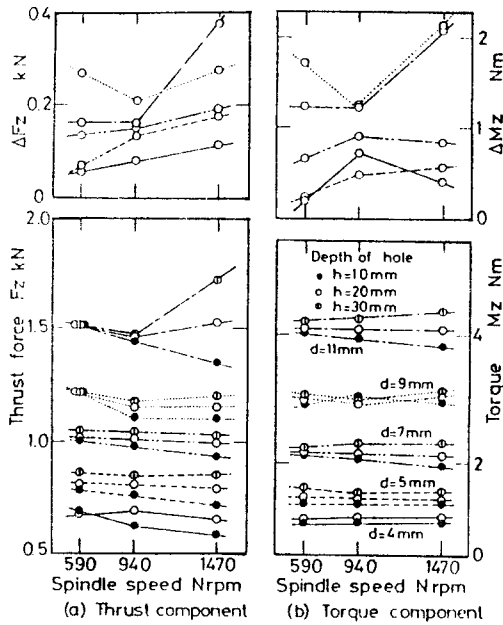


Fig. 7. Relationships between the torque and the spindle speed  
(Work: S45C, Feed S=0.112 mm/rev.)

被削材의 치수는  $\phi 30 \times 40$  mm 이고, 各點은 10 회 以上의 測定值의 平均值이다. 그림에서 보는 바와 같이 thrust 力의 靜的成分은 主軸 回轉速度가 增加함에 따라서 多少 減少하는 傾向이 있지만 主軸 回轉速度에는 그다지 依存하지 않음을 알 수 있다. 그러나 動的成分은 一般의 主軸 回轉速度의 增加와 함께 增加한다. 한편, Fig. 7(b)는 切削 torque의 경우이며 drill 徑이 클 때에 한해서 그 動的成分  $\Delta Mz$ 는 主軸 回轉速度와 함께 增加한다. 그러나 靜的成分 및 drill 徑이 작을 때의 動的成分은 主軸 回轉速度에 關係없이 거의 一定하다. 즉, 靜的成分에 對한 加工구멍의 깊이의 影響은 主軸 回轉速度 및 drill 徑이 클수록 크게 되는 傾向이 있다. 이와 같은 事實은 本 實驗의 경우 直徑이 큰 drill 일수록 切削速度가 크게 되고, 더욱이 內面과 drill 과의 接觸面積이 넓을수록 또는 drill의 margin部와 被削材 사이의 磨擦力의 變動이 크게 되는 것 등에 의한 것이라고 생각된다.

3.2.2. 移送速度의 影響

Fig. 8은 drill 徑을 3, 6, 10 mm로 變化시키면서 구멍을 加工했을 때의 移送速度와 切削抵抗의 靜的

및 動的成分의 關係를 檢討한 것이다. 移送量이 增加함에 따라서 thrust 力과 切削 torque의 靜的 및 動的成分은 增加하고, 특히 thrust 力의 增加率이 크다. 또한, thrust 力 및 切削 torque 모두 drill 徑이 클수록 靜的成分의 增加率은 크지만, 動的成分의 增加率은 뚜렷한 差異가 나지 않는다. 즉, 靜的成分에 對한 加工구멍의 깊이의 影響은 移送量이 클수록 크게 되지만, 특히 切削 torque에 있어서 그 傾向이 뚜렷하게 나타난다.

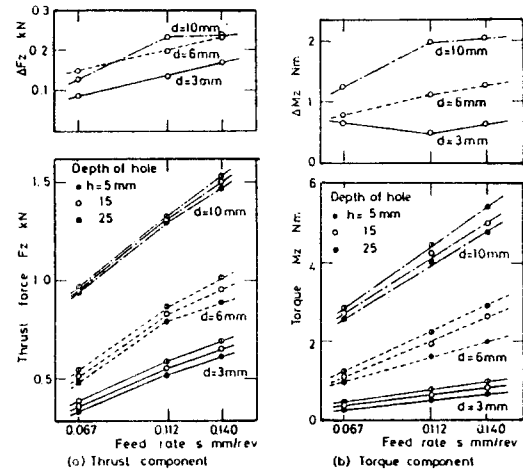


Fig. 8. Relationships between the feed rate and the cutting force  
(Work: S45C, Spindle speed: 1470 rpm)

3.2.3. drill 徑의 影響

Fig. 9는 drill 徑에 의한 靜的 및 動的成分의 變化와, 動的成分에 對한 比를 나타낸 것이다. 靜的 및 動的成分 모두 drill 徑의 增加와 함께 增加하지만, 動的成分의 增加는 별로 크지 않음에 비해서 靜的成分의 增加率은 대단히 크다. 따라서 動的成分의 靜的成分에 對한 比는 一般의 漸次 減少하는 傾向이 있다.

그런데 뒤에 나오는 Fig. 15에 의하면 工作機械-工具-工作物系의 振動特性은 動的成分에 많은 影響을 미치지만, Fig. 9에 의하면 drill 徑이 動的成分에 미치는 影響은 매우 적다. 즉, 一般의 主軸 回轉速度가 작을 경우 drill이 振動하기 쉽고 動的成分도 增加하기 쉽다고 생각되지만, 本 研究의 範圍에서는 그와 같은 現象은 나타나지 않았다.

Fig. 10은 靜的成分에 對한 樣相을 各各의 dr-

ill徑에 대해서 나타낸 것인데, 이 比는 切削 torque의 경우 drill徑이 클수록 작게 나타났다. 그러나 thrust力의 경우에는 drill徑에 의한變化는 明白하지 않다. 즉, 이들의 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 切削 torque 에서는 그 大部分을 動的成分이 차지하고 있다.

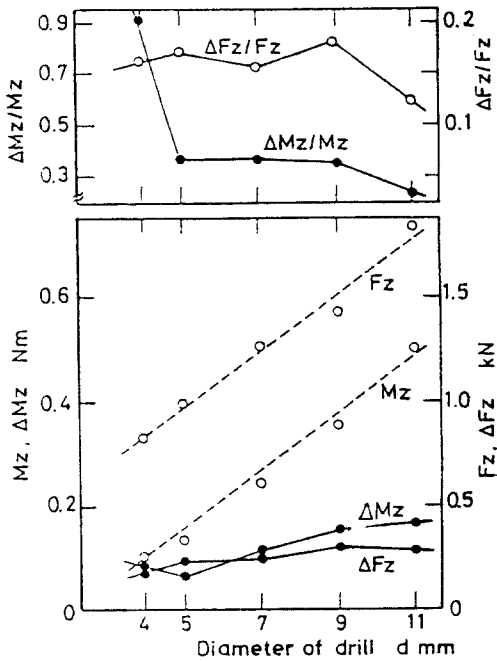


Fig. 9. Relationships between drill dia. and cutting force (Work: S45C, N=940 rpm, S=0.112 mm/rev.)

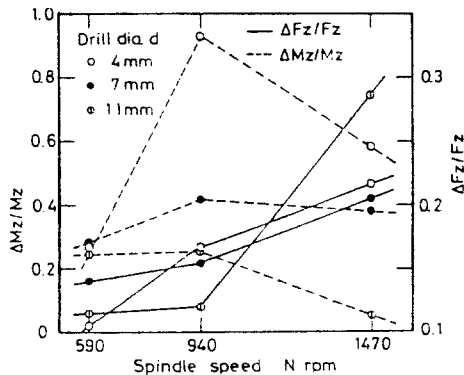


Fig. 10. Relationships between the spindle speed and the ratio of dynamic to static component in cutting force (Work: S45C, Feed S=0.112 mm/rev.)

3.2.4. 貫通구멍 加工과 非貫通구멍 加工의 差異  
지금까지 나온 data는 모두 非貫通구멍을 加工했을 때의 현상이다. 그래서 非貫通구멍 加工과 貫通구멍 加工의 差異를 檢討하기 위해서 鋼 試驗片에 直徑 4, 6 및 8mm의 drill로서 移送量을 變化시키면서 貫通구멍 加工을 했으며, 그 때의 thrust力 및 切削 torque를 Fig. 11에 함께 나타내었다. 그림에는 開始時와 Fig. 3에 나타낸 phase 2의 貫通時의 data를 나타낸 것인데, 貫通구멍 加工의 경우에도 thrust力 및 切削 torque 모두 drill徑이 크게 됨에 따라서 增加하는 傾向을 나타내었으며, 移送量의 增加 및 drill徑의 差에 의해 그 增加傾向은 非貫通구멍 加工의 경우와 거의 同一하다. 그런데 drill 貫通 加工時 切削抵抗이 急增加하는 것으로 알려져 있으나, Fig. 12에 나타난 바와 같이 本研究에서는 그와 같은 舉動은 나타나지 않았다. Fig. 13은 thrust力과 切削

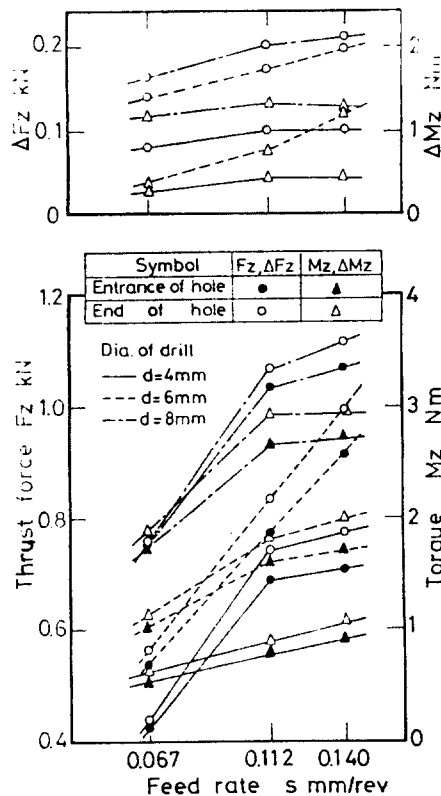


Fig. 11. Relationships between the feedrate and the cutting force when drilling through (Work: S45C, N=940 rpm)

Work material : Steel(S45C)  
 Diameter of drill :  $d=4\text{mm}$   
 Spindle speed :  $N=1470$   
 Feed rate :  $s=0.112\text{mm/rev}$   
 Depth of hole :  $h=20\text{mm}$

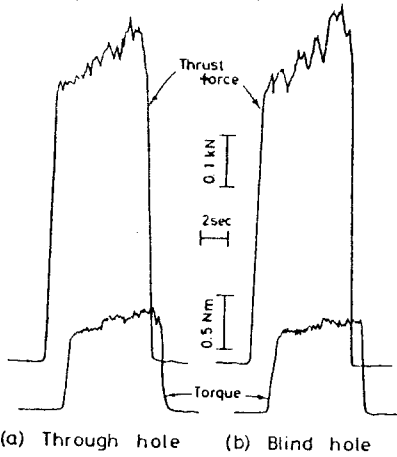


Fig. 12. Comparison of blind hole with through Hole

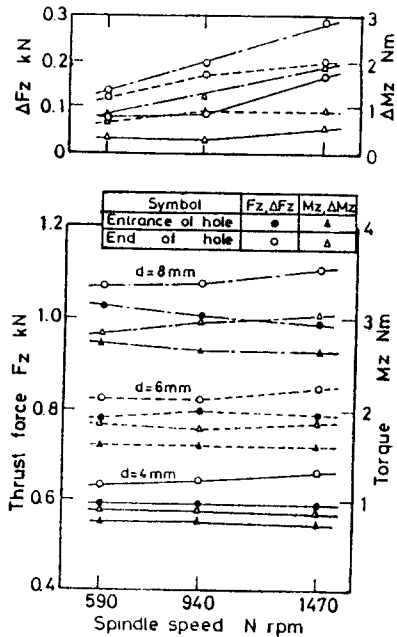


Fig. 13. Relationships between the spindle speed and the cutting force when drilling through  
 (Work: S45C, Feed rate: 0.112 mm/rev.)

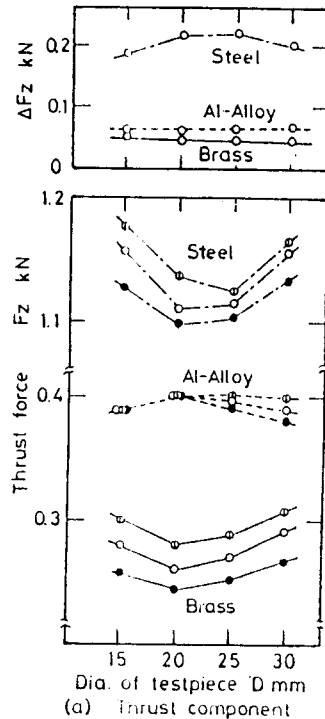
torque가 主軸 回轉速度에 의해서 變化하는 모양을 drill 徑 別로 나타낸 것인데, 3.2.1.項에서 記

述한 非貫通구멍 加工時와 꼭 같은 舉動을 나타내고 있다. 以上으로부터 drill 加工時 切削抵抗의 動的成分의 檢討에서는 貫通 加工時의 影響은 고려하지 않아도 됨을 알 수 있다.

### 3.3. 被削材 材質 및 形狀의 影響

#### 3.3.1. 試驗片 形狀의 影響

지금까지 나타낸 data는 모두 炭素鋼(S45C) 치수  $\phi 30 \times 40\text{mm}$ 의 被削材를 使用하여 實驗한 結果이다. 그런데 被削材의 材質 및 形狀의 影響을 檢討하기 위해서 各 材質의 被削材를 table 2와 같은 形狀으로 해서 非貫通구멍 加工했을 때의 thrust力의 靜的 및 動的成分을 Fig. 14(a)에, 切削 torque의 靜的 및 動的成分을 Fig. 14(b)에 그리고 動的成分의 靜的成分에 대한 比를 Fig. 14(c)에 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 靜的 및 動的成分 모두 材質에 의해서 그 값에 큰 差異가 있지만 形狀에 의한 變化는 거의 없다. 따라서 兩成分의 比도 Fig. 14(c)에 나타낸 바와 같이 鋼의 경우 分布가 多少 散漫하며 材質에 의해서 큰 差異는 있지만 形狀에는 거의 關係없이 一定한 값으로 된다.



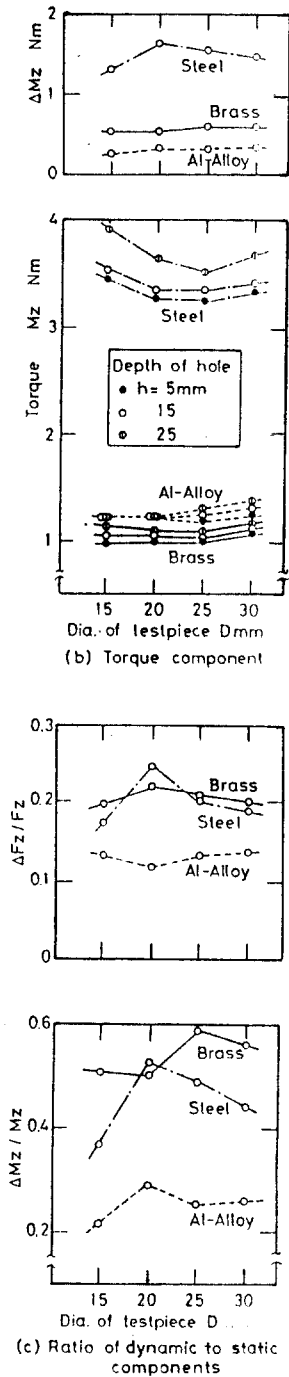


Fig. 14. Relationships between the test piece dia. and the cutting force (drill dia.: 9mm, N=940 rpm, feed rate S=0.112 mm/rev.)

3.3.2. 材質을 變化시켰을 때의 移送量의 影響  
 被削材의 材質을 變化시켰을 때의 移送量과 靜的 및 動的成分의 關係를 檢討한 結果를 Fig. 15 에 나타내었다. Fig. 15(a)에 나타난 바와 같이 快削 黃銅, Al合金, 炭素鋼의 順으로 thrust力의 靜的 成分, 특히 炭素鋼의 增加傾向이 顯著하다. 그러나 動的成分의 變化는 거의 보이지 않는다. Fig.15(b)는 切削 torque의 變化를 表示한 것으로서 thrust力과 같은 傾向을 나타내고 있다. 그러나 動的成分에서는 快削黃銅이 Al合金보다 흥미있는 舉動을 나타냈다.

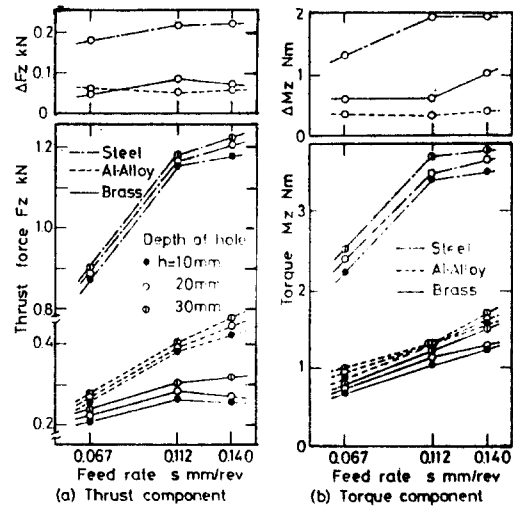


Fig. 15. Relationships between the work mat. and the cutting force (drill dia.: d=9mm, N=940 rpm)

3.4. 切削抵抗의 動的成分의 周波數 分析  
 前述한 Opitz<sup>4)</sup>의 切削加工實驗의 報告에 의하면 切削抵抗의 變動은 床面에서 工作機械에 傳達되는 振動, 斷續切削이나 chip 剪斷面의 形成과 같은 切削機構에 의한 振動等 여러가지의 原因에 의해서 생기며, 그 變動의 周波數는 50 Hz 程度에서 60 KHz 까지 넓게 分布되어 있다. 더우기 앞에서 說明한 바와 같은 發生原因과 切削抵抗의 變動과의 사이에는 어떤 關係가 存在하고 있다고 推定된다. 즉, 切削加工에 있어서 切削抵抗의 動的成分은 여러가지 因子의 影響을 받는 複雜한 舉動을 나타내지만, 切削抵抗의 動的成分이 갖는 一般的인 舉動을 알기 위해서는 그 周波數 成分을 分析, 檢討할



必要가 있다. 그래서 Fig. 2에 나타난 裝置에 의해서 切削抵抗의 動的成分을 分析하였다. Fig. 16은 各 被削材 材質에 대하여 切削抵抗의 thrust 力의 動的成分을 周波數 分析한 結果이다. 그림에서와 같이, 被削材 材質에 의해서 振幅 spectrum의 形狀과 極大値는 다르지만 어느 쪽의 振幅 spectrum에 있어서도 Fig. 16의 (a), (b), (c)에 表示된 것과 같은 周波數 부근에 極大値가 存在하고 있다. 切削條件을 變化시킨 것 이외의 實驗에서도 各各 (a), (b), (c)點에 여전히 極大値가 나타났다. 이와 같이 被削材의 材質이나 切削條件이 變化함에 불구하고 動的成分에 포함된 周波數 成分이 항상 存在하지만, 이것은 工作機械-工具-工作物系의 特性에 關係되는 것이라고 생각된다.

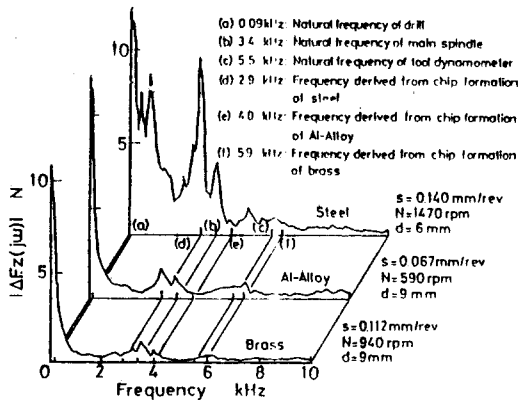


Fig. 16. Frequency analysis of dynamic component of thrust force ( $|\Delta F_z(j\omega)|$ ; amplitude spectrum)

그래서 이 點을 檢討하기 위해서 切削 動力計의 各 部에 加速度計를 붙여서 切削中の 振動狀態를 測定하였다. 또한, 工作機械-工具-工作物系의 各 部에 충격하중을 加하고, 그 때의 振動狀態를 加速度計로서 測定하였다. 그 結果가 Fig. 16의 (a), (b), (c)에 說明한 것이며, 이들 周波數는 工具, 工具支持部(主軸), 切削動力計(table 포함)의 固有振動數와 對應하고 있다.

以上の 事實에서 工作機械-工具-工作物系의 特性이 切削抵抗의 動的成分에 큰 影響을 미치는 것을 알 수 있다. 그러나 이 系의 特性만으로는 說明할 수 없는 周波數成分 즉, Fig. 16의 (d), (e), (f)에 나타난 極大値가 存在하고, 이 周波數는 系

의 特性의 變化에 關係없이 一定한 값을 갖고 있다. 이와 같은 事實에서 이 周波數 成分은 주로 chip 生成機構에 起因하는 것으로 予測된다.

먼저 chip의 形狀을 잘 觀察한 結果, 炭素鋼과 Al 合金은 各各 그 크기가 다르지만 ribbon 모양의 連續 chip 이고, 快削黃銅은 작은 円錐狀으로 分斷된 形狀이었다. 따라서 여러가지의 條件下에서 測定된 切削抵抗을 周波數 分析하였다. 그 結果 Fig. 16의 (d), (e), (f)의 周波數 成分은 各各 炭素鋼, Al 合金, 快削黃銅의 chip 生成機構에 基礎를 둔 것이 確認되었다. 이들의 因子가 서로 干涉現象에 의해서 생긴 動的成分도 存在하는 것으로 생각된다.

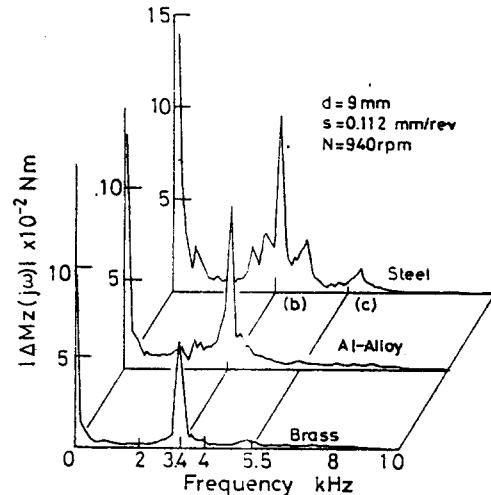


Fig. 17. Amplitude spectrum of dynamic component of cutting torque ( $|\Delta M_z(j\omega)|$ )

Fig. 17은 切削 torque의 周波數 成分을 分析한 結果이다. Fig. 17의 (b), (c)에 나타난 周波數 成分은 Fig. 16의 (b), (c)點에 거의 一致하지만 thrust 力의 경우와 다른 그 外的 材質의 特性을 나타내는 (d), (e), (f)點은 거의 나타나지 않는다.

이와 같은 事實은 炭素鋼의 drill 加工時 切削 torque에서는 工作物과 主軸의 振動에 의한 動的成分이 그 主要部를 차지하고, 切削機構에 의한 動的成分은 나타나기 어려움을 表示하고 있다. 즉, drill의 相對하고 있는 두 切刃에 의해서 均衡된 切削過程을 이루게 되는 것으로 推定된다. Fig. 18, 19, 20은 主軸 回轉速度를 變化시키면서 炭素鋼,

Al 合金, 快削黃銅을 drill 加工했을 때의 thrust 力의 周波數 成分을 檢討한 結果이다. Fig. 16 과 比較하면, 工作機械-工具-工作物系 및 切削機構에 起因하는 極大值가 振幅 spectrum에 나타나고 있음이 確認되었다. 즉, Fig. 19(b)는 Al 合金의 thrust 力의 周波數 成分의 5 KHz 以下에서의 變化狀態를 調査한 것인데, 90 Hz에서 固有振動數 以外에는 Fig. 19(a)와 같이 되었다. 또한 炭素鋼, 快削黃銅의 drill 加工에 있어서도 같은 結果가 나왔다.

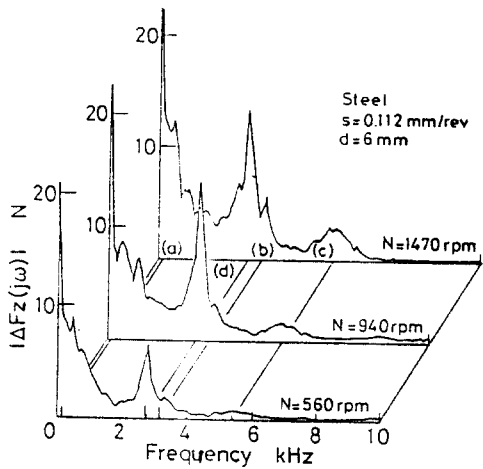


Fig. 18. Amplitude spectrum of dynamic component of thrust force ( $|\Delta F_z(j\omega)|$ )

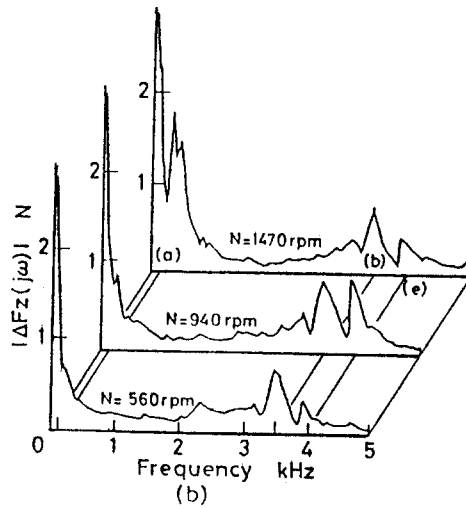
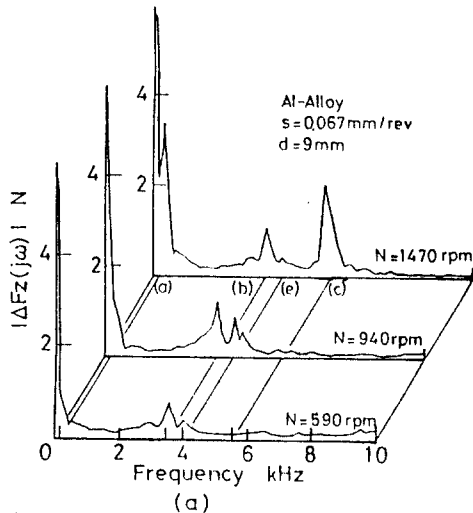


Fig. 19. Amplitude spectrum of dynamic component of thrust force (1-10KHz (a), 1-5KHz (b))

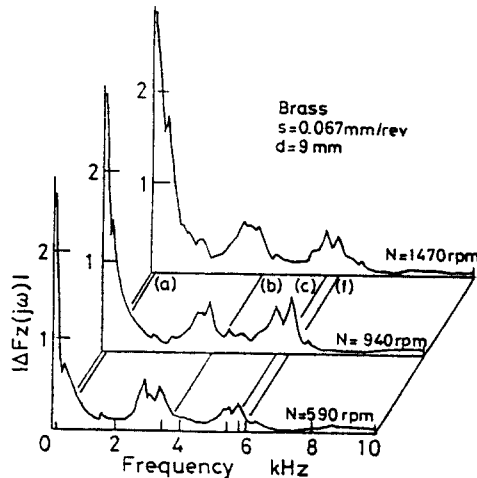


Fig. 20. Amplitude spectrum of dynamic component of thrust force (Brass)

以上과 같이 chip 生成機構가 被削材의 材質에 의해서 各各 다른 點이 thrust 力의 動的成分  $\Delta F_z$ 의 擧動에 明確하게 반영되고 있다. 그러나 chip 生成機構는 특히 drill 加工에 있어서는 例를 들면 剪斷變形領域의 應力狀態, 流出 狀態, 균열의 發生, 進展 등과 密接한 關係가 있지만 아직 充分히 解明되어 있지 않다. 그러므로 上記의 chip 生成機構에 의한 動的成分의 發生原因에 대해

서는 確定的인 說明은 하지 못하는 狀況이며, 이 點에 대해서는 今後의 重要한 課題라고 생각된다.

#### 4. 結 論

從來의 切削抵抗의 動的成分에 關한 研究, 例를 들면 Langhammer<sup>5)</sup>, Opitz 等<sup>4)</sup>의 研究는 切削加工을 對象으로 한 것인데 비해서 本 研究에서는 drill 加工에 있어서 切削抵抗의 動的成分을 檢討하였으며, 다음과 같은 結論을 얻었다.

(1) Thrust 力 및 切削 torque 는 主軸 回轉速度에 의존하지 않지만 thrust 力의 動的成分은 主軸 回轉速度의 增加와 함께 增加한다.

(2) 切削抵抗의 靜的成分은 加工되는 구멍의 깊이가 깊을수록 增加하는 傾向이 있지만 動的成分은 거의 變化하지 않는다.

(3) 移送量 및 drill 徑의 增加와 함께 靜的 및 動的成分은 增加한다. 단, 動的成分의 增加率は 그다지 크지 않다.

(4) 靜的成分에 對한 動的成分의 比率은 切削 torque 의 경우, 0.3~0.5, thrust 力의 경우 0.1~0.2 이고, 切削 torque 가 차지하는 動的成分의 比率은 크다.

(5) 貫通구멍 加工時의 靜的 및 動的成分의 舉動은 非貫通구멍 加工의 경우와 같다.

(6) 被削材의 外徑이 增加함에 따라 thrust 力 및 切削 torque 의 靜的 및 動的成分은 多少 增加하는 傾向이 있지만 거의 一定한 값을 나타낸다. 이때의 靜的成分에 대한 動的成分의 比는 thrust 力의 경우 0.1~0.2 이고, 材質에 의한 差異는 보이지 않지만, 切削 torque 의 경우 被削材 材質의 影響이 있으며, 炭素鋼과 快削黃銅은 0.4~0.6, Al 合金은 0.2 이다.

(7) 切削抵抗의 動的成分은 工作機械-工具-工作物系의 特性에 크게 影響을 받는 한편 被削材의 材質에 의해서도 많은 影響을 받는다.

#### Reference

1. Galloway, D.F., Trans. ASME, 72-2 (1957) P.191.
2. Kahang, C.H., Proc. 1st ICPE (1974) p.615.
3. Levi, R., et al., Proc. 8th Int. MTDR Conf. (1967) p863, Pergamon Press.
4. Opitz, H., et al., Forschungs berichte des Landes Nordrhein Westfalen, Westdeutscher Verlag (Köln), 2144 (1970) p.1.
5. Langhammer, K., Die Zerspankraft Komponenten als Kenngrößen zur Verschleissbestimmung an Hartmetal-Drehwerkzeugen, Diss. RWTH Aachen (1972).