



가를 決定하는것이 어렵다.

(3) 相對運動은 숫돌의 속도와 工作物 속도를 말하며

(4) 干涉조건으로 숫돌의 設定切入量, 工作物과 숫돌과의 速度比 및 半徑比가 이에 屬한다.

(5) 工作기계 조건으로 研削盤의 靜剛性, 動特性(고유진동수, 감쇠특성), 熱剛性, 운동特性(위치결정精度, 軸回轉精度)등이 있고

(6) 雰囲気 조건으로는 연삭액의 종류와 그 供給量과 壓力등이 있다.

이와같이 研削加工의 入力조건은 複雜多岐하기 때문에 이들 全部를 入力하여 研削出力을 예측할 수 있는 研削모델을 確立한다는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서 연삭가공의 고도화를 實現하기 위해서 研削入力조건과 研削出力을 연결하는 研削現象을 解析 檢討할 必要가 있다.

### 3. 숫돌의 設定切入量과 實切入量

研削加工을 수행키 위해 숫돌을 工作物에 切入시킬때 그量(숫돌의 切入量)은 숫돌臺의 移動量을 基準로 할 경우가 많다. 이때 숫돌臺의 移動量과 숫돌의 실제 工作物에 切入한 量과는 差가 있으며 또한 숫돌 切入量과 研削量(工作物の 半徑減少量)과도 一致하지 않는다.

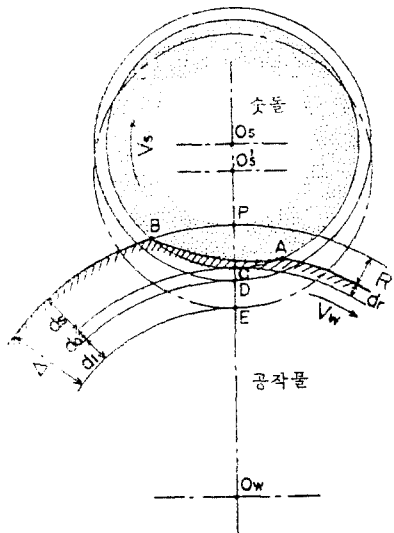


그림 2 實숫돌 切入量

그림 2는 이들의 관계를 說明키 위한 概念圖이다.

여기 設定切入量  $\Delta(PE)$ 만큼 숫돌臺를 切入하여 研削하려 할때 研削現象에 付隨되는 연삭 저항에 의해 숫돌軸과 工作物 支持系가 變位, 그 彈性的 變位量  $d_1(DE)$ 만큼 숫돌 切入量은 숫돌臺 切入量  $\Delta$ 보다 작은 切入量( $PD$ )로 研削이 進行된다. 이에 따라 숫돌은 마멸되고 그量  $d_0$ 는 完全히 없어지므로 결국 研削을 개시하여 얼마만한 시간이 경과하면 숫돌의 切入量은  $PC$ 가 된다. 이와같이 숫돌의 切入量은 숫돌臺 切入量  $\Delta$ 로부터 숫돌軸과 工作物 支持系의 彈性變位量  $d_1$ 과 숫돌마멸량  $d_0$ 만큼의 差로 주어지지만 숫돌 및 工作物의 局部的 彈性變形 때문에 切削殘量  $d_r$ 가 存在하게되어 결국 研削量은 즉 工作物 半徑方向의 감소량  $R$ 은 숫돌의 切入量과 다른 값을 갖게 된다.

### 4. 플런지 研削過程

플런지(plunge) 研削에 있어서 숫돌은 一定속도로 切入되지만 上述한 바와 같이 숫돌軸과 工作物 支持部의 變位量과 切削殘量은 연삭계에 吸收되고 숫돌마멸량은 연삭계로 부터 消去되기

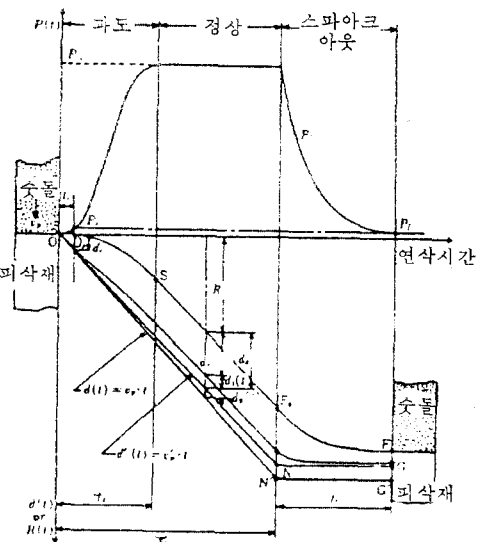


그림 3 플런지 研削過程

때문에 工作物의 半徑 감소量은 그림 3에서와 같이 砂轮臺의 移動量과는 다르게 된다.

그림에서 點  $O$ 는 砂轮이 工作物과 接觸을 개시하는 點이며 點  $O_0$ 는 工作物 半徑이 감소하기 始作하는 點(치수生成이 개시되는 點)이다. 折線  $ON'G'$ 는 砂轮臺 切入量을,  $ONG$ 는 有效 砂轮臺 切入量(=砂轮臺 切入量-砂轮의 마멸量  $d_0$ )을, 치수 生成曲線  $O_0SF_0F'$ 는 工作物 半徑 감소량을 各各 나타낸 것이다.

그림 4는 하나의 플런지 研削사이클 中 치수 生成 속도(工作物 半徑減少速度)  $\dot{R}$ 와 研削系의

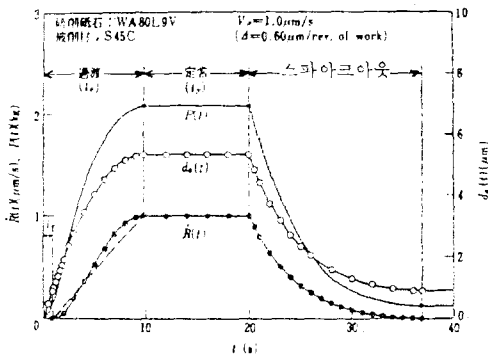


그림 4 치수生成속도·背分力切削殘量의 變化

彈性的 變位量  $d_e$  그리고 研削背分力  $P$ 의 연삭 시간  $t$ 에 대한 變化 과정을 表示한 것이다.

그림에서 알수 있듯이 하나의 플런지 연삭 사이클 中에는 過渡, 定常 그리고 스파이크아웃(spark out)인 서로 다른 3部分의 연삭상태가 존재 한다. 지금 砂轮과 工作物과의 접촉 初期에 있어서 砂轮의 切入量은 작아 切刃은 工作物과 彈性的 接觸만을 하므로 工作物 半徑은 감소하지 않는다. 그러나 砂轮臺는 一定한 速度로 進行하기 때문에 累積效果에 依해 砂轮의 切入量은 增加하여 工作物 表面에는 塑性變形에 依한 홈(溝)이 生成하게 된다. 이 領域에서는 切削作用이 존재하지 않으나 파일(pile) 윗部分의 破壞에 따른 2次的 침生成 現象에 依해 工作物 半徑은 매우 작은 速度로 감소한다. 砂轮의 切入量을 더욱 增加하면 個個切刃의 切削作用에 依해 칩이 生成되어 치수生成 속도는 急激히 增加하지만 그 初期段階에 있어서는 有效플런지

속도보다 작기때문에 砂轮의 切入量은 增加해간다. 그러나 시간이 경과함에 따라 치수生成속도가 有效 플런지 속도와 같게 되어 定常상태가 되면서 치수生成速度가 一定하게 된다. 砂轮臺의 切入을 停止하면 研削系 彈性復元에 依해 研削이 進行되고 스파이크아웃 상태가 된다. 이때 工作物 半徑은 감소하지만 그 속도는 徐徐히 감소하여 零이 되었을때 스파이크아웃 研削이 完了된다.

### 5. 橫方向 研削過程

橫方向 研削은 砂轮과 工作物과의 사이에 砂轮의 幅方向으로 상대운동이 주어지기 때문에 砂轮의 研削作用이 複雜하게 變化하고 있다.

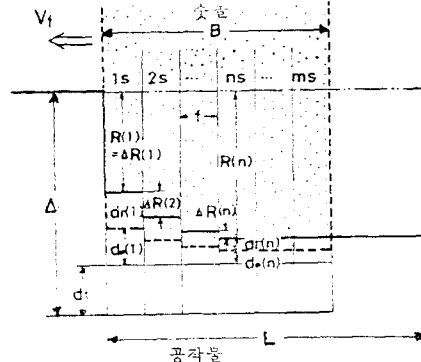


그림 5 橫方向 研削의 機構

그림 5는 研削거리  $L$ 에 있어서 砂轮과 工作物과의 干涉상태를 表示한 것이다. 工作物이 1회轉할 사이에 砂轮은 橫方向量  $f = V_f \tau$  ( $\tau$ : 工作物 1회轉에 要하는 時間)만큼 軸方向으로 移動하여 工作物은 幅  $f$ 인 螺旋階段狀으로 研削된다. 따라서 砂轮作業面을  $f$ 로 하여  $n$ 단계( $ns$ )로 等分( $n = B/f$ )하면 그 첫단계가 工作物을 연삭하고 두번째 단계는 제 1단계(1s)의 切削殘量을 연삭케 된다. 이렇게하여 最終적으로 제  $n$ 단계( $ns$ )에서 研削이 行해지므로써 연삭加工面이 形成된다. 이때 같은 단계에 屬하는 砂轮作業面에서는 位置가 다르더라도 같은 研削現象이 생기지만 단계가 다르면 切削殘量도 달라져 연삭현상이 다르게 된다.

지금 스톨臺의 切入量  $\Delta$ 로 橫方向研削을 행하면 각 단계에 作用하는 研削背分力  $p_i$ 의 습으로 주어지는 總研削背分力  $p$ 가 發生하기 때문에 스톨軸과 工作物 支持系의 彈性 變位量  $d_1$ 이 스톨의 全幅에 一定하게 생긴다. 먼저 스톨의 마멸량이 매우 작은 初期단계에 있어서는 제 1 단계(1s)의 스톨切入量은  $(\Delta - d_1)$ 이지만 스톨 및 工作物의 局部的 彈性變形에 의한 切削殘量  $(d_r)_1$ 이 존재하고 이것이 제 2 단계(2s)에서의 스톨 切入량이 된다. 연삭이 어느程度 進行되면 스톨에는 마멸이 發生제  $i$ 번째의 단계에서 스톨의 切入量은 第  $(i-1)$ 번째의 切削殘量  $(d_r)_{i-1}$ 과 스톨의 마멸량  $(d_0)_{i-1}$ 과의 습에서 제  $i$ 번째의 스톨 마멸량  $(d_0)_i$ 를 뺀 값이 된다.

이와같이 스톨의 切入量은 각 단계에서 달라지므로 연삭현상도 단계가 다르면 달라진다.

그림 6은 각 단계에서의 연삭량  $R_i$ 가 연삭 進行에 따라 어떻게 變化하고 있는가를 表示한 예이다. 제 1 단계(1s)에서는 研削力이 集中하기

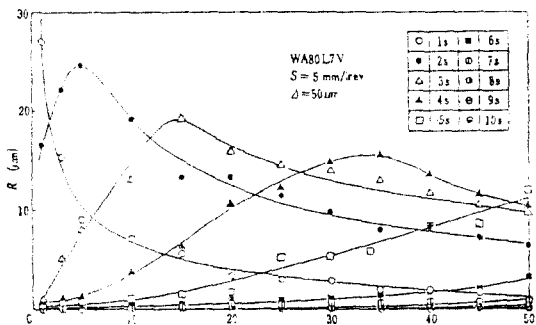


그림 6 研削진행과 더불어 chip 生成量의 變化

때문에 스톨의 마멸이 커져 研削할 수 있는 比가 상대적으로 감소하기 때문에 제 2 단계(2s)에서 연삭량이 增加하나 연삭이 進行됨에 따라 제 2 단계(2s)에서도 마멸이 커져 研削量은 감소한다. 또한 이에따라 제 3 단계(3s)에서 研削量이 增加하게 된다. 따라서 研削加工은 시간이 경과하면 스톨의 마멸이 前端部에서 後端部로 옮겨져 간다. 이와같이 進行되는 橫方向 研削을 有效하게 행하기 위해서 橫方向 量을 適切히 選定하지 않으면 안된다. 즉 橫方向 量을 너무 크게 하

면 切削殘量을 完全히 除去할수 없어(스톨의 切入量과 研削量과의 差가 크게 된다) 치수精度와 研削面거칠기가 나빠지며 逆으로 그 量이 적으면 스톨의 後端部에 金屬除去 作用이 없어지고 다만 工作物 表面을 스쳐가는 部分이 存在하기 때문에 스톨의 幅에 따른 橫方向 量의 設定이 橫方向 研削의 良否를 定하는 重要한 要素가 된다.

### 6. 高速度 研削

고속도 研削法은 연삭精度 加工面의 特性等 加工品質을 向上시키는데 有效한 方法으로, 또는 研削能率을 增大하는 方法으로 그 위에 加工品質과 研削能率과의 양쪽을 同時に 改善하는 方法으로 利用되고 있다. 一般的으로 研削속도는 스톨의 속도  $V_s$ 와 工作物속도  $V_w$ 에 의해 決定되지만  $V_s \gg V_w$ 이기 때문에 研削속도는 주로  $V_s$ 에 의해 支配되므로 고속연삭은  $V_s$ 를 增大하는 方法으로 理解할 수 있다.

그런데 導入한 고속연삭法이 加工品質을 向上시킬 것인지, 研削能率을 增大시킬 것인지 또는 양쪽을 同時に 改善할 것인지는  $V_s$ 를 增大하였을 때 이에 對應하는  $V_w$ 를 어떻게 選定하느냐 즉 工作物과 스톨과의 속도비  $K_v = V_w/V_s$ 의 값에 의해 定해진다. 이것은 칩의 두께, 길이 切削의 切入角등의 칩 形狀을 決定하는 式이 속도

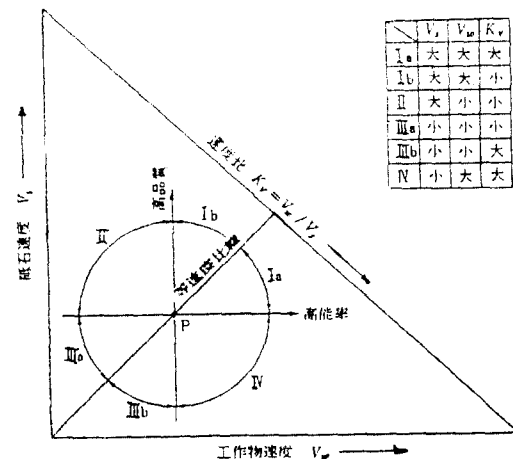


그림 7 高능률, 高品質을 위한 研削 속도 조건 設定範圍

■ 解 說

비  $K_V$ 의 함수로 表示되기 때문이다. 또한 加工品質은 칩의 形狀을 작게 할수록 良好해지고 研削능률은 工作物속도  $V_w$ 와 숫돌切入量  $\Delta$  그리고 研削幅  $B$ 의 積으로 주어지기 때문에  $V_w$ 를 크게 할수록 높게 된다.

그림 7은 고능률 고품질 연삭을 행할 경우 숫돌의 속도  $V_s$ , 工作物속도  $V_w$ , 그리고 속도비  $K_V$ 를 어떤범위로 設定할 것인지를 숫돌의 切入量이 一定한 경우에 따라 表示한 것이다.

지금 點  $P$ 에서 주어지는 연삭속도( $V_s, V_w$ )와 속도비  $K_V$ 를 變化시킬 경우 숫돌과 工作物의 속도 增減에 따른 속도조건의 變化범위는 I, I<sub>a</sub>, II, III, III<sub>a</sub>, IV의 6개로 分割된다. 먼저 제 1상한은  $V_s$ 와  $V_w$ 가 같이 增加하는 범위로 等速度比線에 의해 2개의 범위로 나뉜다. I<sub>a</sub>에서는  $K_V$ 는 增加하고 I<sub>b</sub>에서는  $K_V$ 가 減少한다. 제 II상한에서는  $V_s$ 는 增加하지만  $V_w$ 가 감소한다(그 結果  $K_V$ 가 감소 한다) 제 3상한은  $V_s$ 와  $V_w$ 가 함께 감소하는 범위이다. 等速度比線에 따라 2개의 범위로 分割되고 III<sub>a</sub>에 있어서  $K_V$ 는 감소 III<sub>b</sub>에서는  $K_V$ 가 增加한다. 제 4상한에서는  $V_s$ 는 감소  $V_w$ 는 增加하는 結果로  $K_V$ 는 커진다. 이러한 경우 고속연삭에 있어서는 숫돌의 속도  $V_s$ 를 增加하여야 하기때문에 제 1과 제 2상한이 아니면 안된다.

한편  $V_s$ 를 一定하게하고  $V_w$ 를 增加 시키면 研削능률은  $V_w$ 에 比例하여 增加하지만  $V_w$ 의 增加는 속도비  $K_V$ 의 增加때문에 칩形狀은 크게되어 加工品質의 劣化를 가져온다. 逆으로  $V_w$ 를 一定하게하고  $V_s$ 를 增加 시키면 研削能率は 거의 變하지 않지만 速度比  $K_V$ 의 감소로 칩形狀이 작아져 결국  $V_s$ 의 增加는 고품질화를 초래한다.

따라서 고능률 고품질을 保證하기 위한 고속연삭에 있어서 속도조건을 제 1상한 內에 設定하지 않으면 안된다. 特히 제 1상한 中의 等速度比線에 따라 숫돌의 속도와 工作物속도를 增加 시킬 경우에는 工作物속도의 增加에 따라 고능률을 얻을 수 있고 숫돌의 [속도增加에 따라 칩의 形狀이 一定하게 保持되므로 加工品質을 劣化시키

지 않고 연삭능률을 一定하게 할 수 있다. 따라서 加工品質을 一定하게하고 研削능률을 增大하기 위한 고속연삭법으로 等속도비선을 利用하여야 한다.

7. 重研削加工

연삭능률은 숫돌의 切入量  $\Delta$ 와 工作物속도  $V_w$ , 그리고 연삭폭  $B$ 와의 積에 의해 決定되므로  $\Delta$ 를 增加하는, 즉 重研削化에 따라 研削能率을 增大시킬 수 있다.

여기 平均칩의 두께  $t_m$ , 最大칩의 두께  $t_{max}$ , 칩의 길이  $L_c$ , 숫돌의 切入量  $\Delta$ , 속도비  $K_V$ , 연속 切刃간격  $\delta$ 라 할때 이들 사이의 관계는

$$t_m = t_{max} \cdot L_c / 2 = K_V \cdot \Delta \cdot \delta$$

와 같으며 숫돌의 속도  $V_s$ 가 一定할때

$$t_m \propto V_w \cdot \Delta \cdot \delta$$

가 된다. 따라서 숫돌의 切入量  $\Delta$ 는 增加하고 工作物속도  $V_w$ 는 감소하여도 결국  $\Delta \cdot V_w$ 가 增加하던 연삭능률은 增大 하나 칩의 形狀은 大形化되어 연삭능률과 加工品質을 동시에 높인다는 것은 어려운 일이므로  $\Delta$ 의 증가에 따라 고능률을 얻는 重研削加工에 있어서 加工品質을 向上하기 위해서는 特別한 考慮가 있어야 한다.

그 하나의 方法이 最近 實用化되고 있는 숫돌의 切入量  $\Delta$ 의 增加에 따른 칩形狀의 大形化를 工作物속도  $V_w$ 의 감소에 의해 억제하는 方法이다.

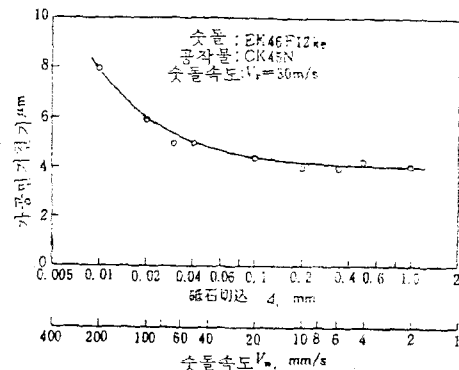


그림 8 重研削에 있어서 加工面の 거칠기

그림 8은 슛돌속도  $V_w$ 를 一定하게하고 슛돌切入量  $\Delta$ 를 增加하였을때  $V_w \cdot \Delta$ 가 一定(연삭능률이 一定)하게 工作物속도  $V_w$ 를 變化시키면서 연삭면의 거칠기를 測定한 예이다.

그림에서 알 수 있듯이  $V_w \cdot \Delta = \text{一定}$  즉 연삭능률을 一定하게 하였을때  $\Delta$ 를 크게 할수록 加工面의 거칠기는 改善되고 있다. 이것은 平均칩의 두께  $t_n$ 은  $V_w \cdot \Delta \cdot \delta$ 에 比例하므로  $V_w \cdot \Delta$ 를 一定하게  $\Delta$ 를 增加시키면  $V_w$ 가 감소하게 되어 加工面 거칠기의 改善은 연속切刃간격  $\delta$ 의 감소에 起因되는 것으로 여겨진다.

다시 말하면 슛돌切入量  $\Delta$ 를 增大시키면 슛돌表面에서 깊은 위치에 있는 연삭粒子가 研削에 関여하게되어 同時に 作用하는 切刃數가 增加, 연속切刃의 간격  $\delta$ 가 짧아진다. 그 結果 연삭능률을 一定하게 ( $V_w \cdot \Delta = \text{一定}$ )하고 있는데도 칩의 形狀이 작아져 加工品質이 向上하게 된다.

스�돌의 切入량을 향상시킬수 있는 또 하나의 方法은 슛돌 作業面 形狀을 修正하는 方法이다.

橫方向 研削에서는 슛돌과 工作物과의 사이에 슛돌幅 方向으로 상대운동이 주어지기 때문에 슛돌作業面의 形狀과 슛돌幅 方向의 各 위치에 있어서 切入깊이와는 密接한 關係가 있다.

그림 9는 슛돌作業面 形狀과 슛돌 各部分의 切入깊이와의 幾何學的 關係를 表示한 것이다.

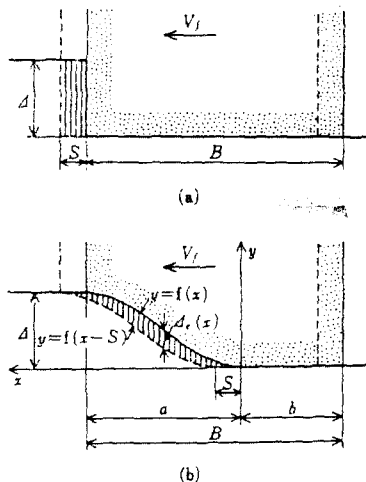


그림 9 作業面 修正스�돌에 의한 橫方向 研削

그림 (a)는 平坦한 슛돌을 利用한 橫方向 研削의 경우이다.

스�돌作業面 中 工作物 1回轉當의 橫方向量  $f$ 에 相當하는 前端部가 金屬除去作用의 대부분을 담당하기 때문에 이 部分에는 過大한 負荷를 받아 커다란 슛돌마멸과 연삭버어닝(burning)이 일어나기 쉽다.

이것에 對해 그림 (b)는 슛돌作業面의 一部를 任意的 形狀  $y=f(x)$ 로 修正한 슛돌에 의한 橫方向 研削의 경우를 나타낸 것이다. 슛돌作業面을 이와같이 修正하면 슛돌幅 方向의 各 위치에 있어서 實効切入깊이  $\Delta_r(x)$ 는 슛돌切入깊이  $\Delta$ 보다 작지만 金屬除去作用을 할 수 있는 部分을 넓힐 수 있기 때문에 커다란 슛돌마멸과 연삭버어닝은 일어나지 않고 슛돌作業面 全體를 有效하게 使用한 고능률 고정도의 橫方向 研削이 가능해진다.

上述한 概念을 具體化하는 제 1 단계로 그림 10에 表示한 것과 같이 傾斜스�돌에 의한 橫方向 研削을 생각할 수 있다. 슛돌形狀을 이와같이 修正하였을때 경사부 의 實効切入깊이  $\Delta_r = f \cdot \tan \theta$ 가 된다.

$\Delta_r$ 는 그림에서와 같이 零에서부터  $f \cdot \tan \theta$ 까지 直線으로 增加하고 경사부에서 一定한 값을 取한 後 平行部가 始作되는 곳에서 다시 零까지 直線으로 감소한다. 이 경우 實効切入깊이  $\Delta_r$ 는 슛돌 切入量의 影響을 받지 않고 橫方向量  $f$ 와 경사각  $\theta$ 에 의해 定해진다.

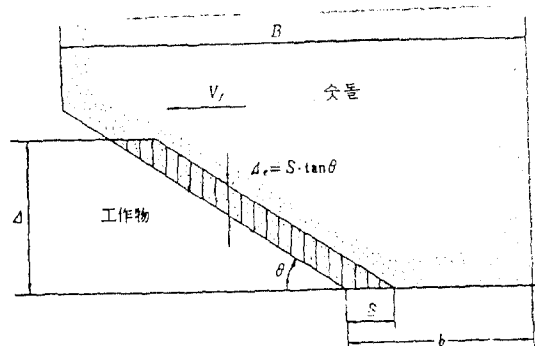


그림 10 傾斜스�돌에 의한 橫方向 研削

