

工具의 幾何學

Fig. 61은 旋削에서의 幾何學을 보여 주며, 앞으로 많은 用語를 소개하고 차츰 精確한 數학적 해석을 하여 나가기로 한다.

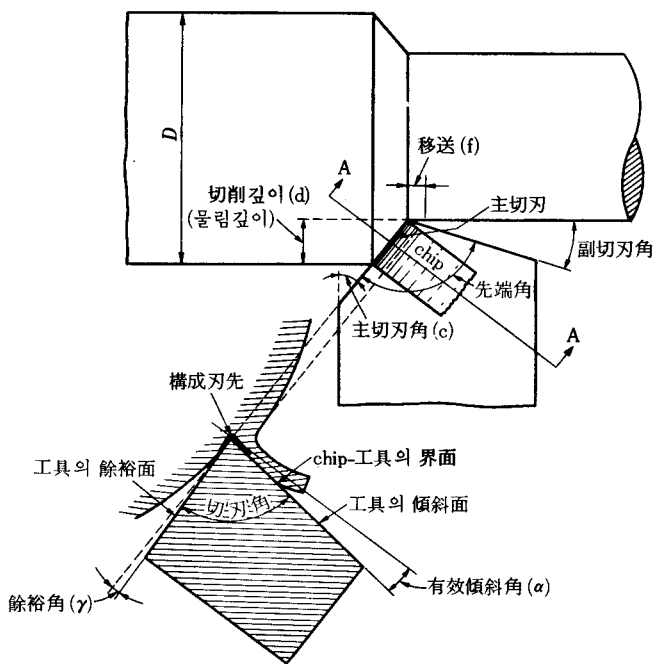


Fig. 61 用語의 정의

5-1 基準面과 工具傾斜面 사이의 4大 重要角

工具幾何學이란 工具角 및 그들의 상호 관계를 취급하는 金屬切削學의 1개 분야이다. 이러한 것들은 특히 工具壽命, 온도, 切削力, 加工面の 정도, 振動 및 生産성과 같은 切削性能에 커다란 영향을 주는 경우가 많다.

이와 같이 중요한 역할을 하는 데에도 그것들이 서로 너무나 복잡한 관계에 있기 때문에 각 각이 切削性能에 미치는 영향의 정도가 모호하다. 工具幾何學은 3 차원이어서 chip流動과 切削性能을 정하여 주는 공구의 여러 角을 눈으로 볼 수 있게 나타난다는 것이 어려울 때가 가끔 있다. 正面 milling cutter의 工具幾何學은 旋盤工具의 것과 동일하므로 먼저 正面 milling cutter를 생각하는 것이 보다 쉬울 것 같다.

Fig. 62는 1947년 Chicago에서 열린 工作機械展示會에 출품된 正面 milling cutter의 透明 plastic모형⁷⁸⁾을 본따서 만든 것이며, 이와 같은 모형은 취급코저 하는 문제를 직접 볼 수 있

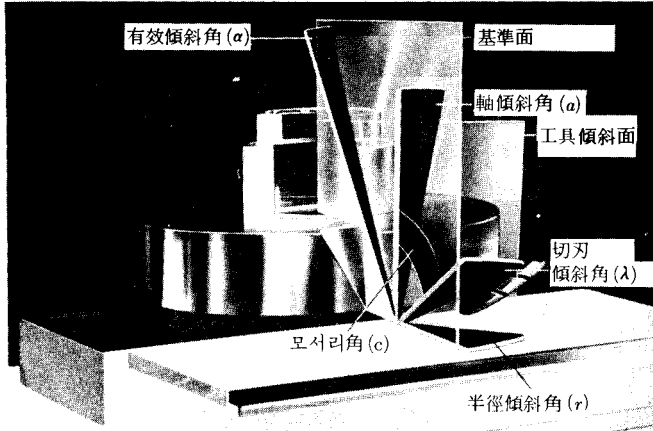


Fig. 62 工具角의 모형*

어 연구하는 데 편리하다. 다음의 5개 角은 관찰에 의하여 쉽게 알 수 있을 것이다. 즉,

- (1) 有效傾斜角 α 는 正面 milling과 旋削에서의 정의가 같다.
- (2) 切削刃傾斜角(the angle of inclination of the cutting edge) λ 의 정의는 正面 milling과 旋削에서 같다.
- (3) 正面 milling에서 軸傾斜角(axial rake angle) α 는 旋削에서의 上面傾斜角(back rake angle) b 와 같다.
- (4) 正面 milling에서 半徑傾斜角(radial rake angle) r 는 旋削에서의 側傾斜角(side rake angle) s 와 같다.
- (5) 正面 milling에서 모서리角(corner angle) c 는 旋削에서의 主切刃角(major cutting edge angle) c 와 같다.

이상과 같은 定義가 국제적으로 표준화되어야 하는 데에도 아직까지 의견의 일치를 보지 못하고 있다.⁷⁹⁾ 이 점에 있어서는 St. Clair⁸⁰⁾가 지적한 바와 같이 미국에서조차 확정되어 있지 않은 실정이다. 예를 들면 側傾斜角(side rake angle)에 대한 것은 미국에 두 가지가 있는데, 하나는 공구의 軸方向과 직각인 방향에서 측정되는 것이며(本書에서는 이 정의에 따른다), 다

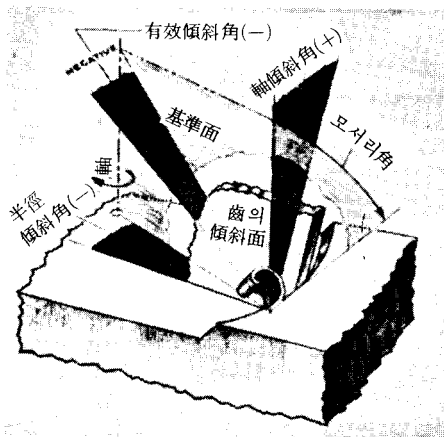
* 譯者が 模型을 제작하여 소장하고 있음

은 하나는 切削刃에 수직인 방향에서 측정되는 것이다. 그러나 後者의 角이 有效傾斜角으로서 切削性能을 결정하여 주는 角이며 본서에서 정의하는 側傾斜角과 上面傾斜角 및 主切削角을 합성한 각이라 할 수 있다(11 장 참조).

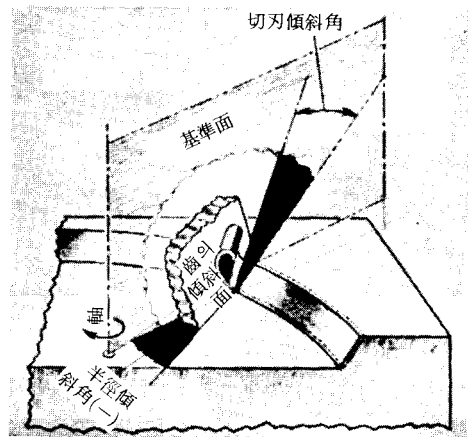
이러한 관계는 plastic模型을 관찰하고 數學的으로 解析을 하여 보면 더욱 확실해질 것이다. cutter의 回轉軸이 milling cutter의 幾何學에서 基準線이 되며, 같은 방법으로 旋盤의 中心線(回轉軸線)이 旋盤工具幾何學의 기준선이 된다. 전술한 5 개의 角이 切削性能을 지배하는 주요 각이며, 이들은 상호 수학적으로 관련되어 있다. 투명 모형을 관찰하면 처음 4 개의 각은 工具傾斜面과 基準面(reference plane) 사이에서 기준면에 수직인 平面內에 있다는 것을 알 수 있다.

기준면은 旋盤軸의 中心線(또는 正面 cutter의 軸線)을 포함하고, 工具先端을 지나는 평면으로 우선 定義하며, 보다 상세한 정의에 대하여는 차차 설명하기로 한다.

처음 4 개의 角을 측정하는 면이 기준면에 수직하나 그 방향은 각각 다르다. 즉, 半徑傾斜角面(r 의 측정면)은 加工面上에 있고(Fig. 62), 軸傾斜角面(a 의 측정면)은 가공면에 수직이다(Fig. 63a, 63b).



(a)



(b)

Fig. 63 有效傾斜角 및 切削傾斜角

切削刃傾斜角面(λ 의 측정면)은 切削刃과 基準面에 대한 절삭인의 投影線 사이의 면이고, 有效傾斜角面(α 의 측정면)은 위의 投影線과 기준면내에서 직각을 이룬다. 모서리角 c 는 기준면 내에서 回轉軸과 切削刃의 投影線이 이루는 角이고, 回轉軸에 대하여 切削刃은 일반적으로 비틀어져 있으므로 실제에는 工具傾斜面에서 모서리각을 측정하거나 研削하여야 한다.

回轉軸을 기준으로 한 工具幾何學에 있어서는 主要角들은 切削分力 및 切削速度의 방향과 관계되어 있다는 것을 알아 둘 필요가 있다. Fig. 62에서 기준면에 수직한 4 개의 면은 先端을 지나고 가공물 또는 cutter의 회전에 대한 接線方向의 單一線에서 서로 교차하며, 이 교차선은 切削力의 接線分力에 또한 平行하다.

切削力の 반경방향 分力은 기준면상에서 回轉軸에 수직하게 되는데, 그 이유는 기준면이 軸을 포함하면서 工具先端을 지나기 때문이다. 切削刃이 正面 cutter의 직경 또는 가공물의 직경에 비하여 아주 길 때인 twist drill 및 여기에서 취급되지 않는 유사한 공구에서는 角 관계를 설명하기 위한 다른 기준면을 고려할 필요가 있다.

基準面과 工具傾斜面에 존재하는 角으로서 모형에 표시되지 않은 斜傾斜角(oblique rake angle)이 있으며, 이 角은 工具傾斜面에 수직인 평면내에서 측정된다는 점에 있어서 有效傾斜角과 다르다. 따라서 이 각의 측정면은 기준면 및 切削速度의 순간적 방향에 대하여 傾斜지게 된다. 切削刃의 경사각이 아주 큰 경우가 아니면 斜傾斜角은 有效傾斜角의 크기와 별 차이가 없다. 예를 들면 切削刃의 경사각이 30°일 경우에 斜傾斜角과 有效傾斜角의 차는 1° 정도에 지나지 않는다.

모형의 관찰에 의하면, 모서리角의 변화가 有效傾斜角 및 切削刃의 경사각의 크기에 영향을 준다는 것을 쉽게 알 수 있다. 모형의 切削刃을 上向으로 회전시키면(cutter의 모서리角 또는 旋削工具의 主切刃角을 작게 연삭하는 것에 해당함) 軸傾斜角 및 半徑傾斜角의 크기가 변하지 않고도 切削刃傾斜角과 有效傾斜角이 회전하게 된다. 따라서 正面 cutter 또는 旋削工具를 軸傾斜角과 半徑傾斜角(또는 상면경사각과 측경사각)만으로 불충분하므로 모서리角 또는 主切刃角을 표시하여야 한다. 모서리角을 크게 하면 金屬切削量을 증가시킬 수 있다는 것이 1939년에 著者が 실시한 실험에서 밝혀졌으며, 이에 관해서는 제 2 편에서 설명하기로 한다.

工具學의 연구에서 Galloway⁸¹⁾는 미국과 유럽의 用語와 概念을 비교하여 미국 또는 유럽에서 사용되는 系에 관계없이 工具傾斜面の 傾斜(旋削)는 工具低面을 포함하는 기준면에 대한 有效傾斜角으로 측정된다고 보았다. 著者は 이와 같은 제안에 동의하지 않는다. 工具의 低面은 切削幾何學에 직접 관련되지 않을 뿐 아니라 milling cutter, drill 및 기타의 공구에는 적용될 수 없기 때문이다. 回轉軸이 공간에서 基準面을 정하는 데 합당한 線이며, 이것은 切削過程의 고유한 특성을 나타낼 수 있기 때문이다.

Kronenberg가 定義한 내용이 이제 ISO에서 채택되었음을 譯者가 소개한다.*

5-2 主要工具角의 定義⁸²⁾

5-2-1 有效傾斜角(true rake)

數學的 定義 切削刃 위의 임의의 점에서의 각 有效傾斜角(individual true rake) α 는 回轉體(cutter 또는 加工物)의 中心線과 切削刃의 지정점을 지나는 기준면에 대한 工具傾斜面

* 金屬切削理論, 徐南燮, 東明社, p. 280

의 傾斜로써 정의되며, 그 有效傾斜角은 가공물과 공구의 상대운동방향을 포함하고, 그 점에서 切削刃으로 생성되는 평면에 수직인 평면내에서 측정된다.

實用的 定義 切削刃의 모든 점에 동일하게 적용되는 汎有效傾斜角(*generalized true rake*) α 는 回轉體(*cutter 또는 加工物*)의 중심선과 공구의 點(*工具先端, tool nose*)을 지나 는 기준면에 대한 工具傾斜面の 實用傾斜로써 정의되며, 가공물에 대한 공구 위의 점의 운동 방향을 포함하고 切削刃상의 선택한 점에 의해 생성되는 면에 수직인 평면에서 측정된다. 數學的 定義에서 고려되는 각 기준면이 달라지는 것으로부터의 영향이 汎有效傾斜角의 경우에는 무시된다.

- [註 1] 각 有效傾斜角이 측정되는 평면은 기준면 및 그 평면에 切削刃을 투영한 것과 모두 수직이다.
- [註 2] 汎有效傾斜角이 측정되는 면은 선택점에서 先基準面(*nose*를 통하는 기준면) 및 그 기준면에 대한 切削刃의 투영에 대하여 모두 수직이다.
- [註 3] 앞으로 汎有效傾斜角을 간단히 有效傾斜角이라 하고 先基準面을 기준면이라 부르기로 한다.

5-2-2 斜傾斜角(*oblique rake*)

數學的 定義 切削刃의 모든 점에서의 각 斜傾斜角은 切削刃의 특정점을 지나는 回轉體(*cutter 또는 加工物*)의 각 基準面에 대한 工具傾斜面の 실제적 傾斜로서 정의되며, 그 점을 지나는 切削刃에 수직인 각 평면에서 측정된다.

實用的 定義 切削刃의 모든 점에 동일하게 관계하는 汎斜傾斜角(*generalized oblique rake*)은 回轉體(*cutter 또는 加工物*)의 축을 통하여 택한 先基準面에 대한 工具傾斜面の 실제 傾斜로서 정의되며, 切削刃에 수직인 평면에서 측정된다. 切削刃에 연한 각 기준면의 변화로부터의 영향은 汎斜傾斜角의 경우에는 무시된다.

- [註 1] 有效傾斜角(각 有效傾斜角 또는 汎有效傾斜角)이 측정되는 면은 항상 運動方向에 위치하고 있는 데 반하여 斜傾斜角이 측정되는 면은 언제나 切削刃에 수직하다.
- [註 2] 切削方向은 工具傾斜面 또는 切削刃에 수직되지 않고 기준면에 대한 切削刃의 투영에 수직이다.
- [註 3] 앞으로는 汎斜傾斜角을 간단히 斜傾斜角이라 부르기로 한다.

5-2-3 切削刃의 傾斜角(*inclination angle of cutting edge*)

數學的 定義 切削刃의 임의의 점을 통하는 回轉體의 基準面에 대한 切削刃의 투영과 切削刃 사이의 角 λ 를 切削刃의 각 傾斜角이라 한다.

實用的 定義 切削刃의 임의의 선택점에서 切削刃과 先基準面上에 대한 切削刃의 投影이 이루는 角을 切削刃의 汎傾斜角(또는 간단히 切削刃의 傾斜角)이라 한다.

切削刃의 正 또는 負傾斜角 切削刃에 선택한 점(先行點, $\lambda=0^\circ$)의 이웃점이 加工面에서 멀어질 때 先基準面에 대하여 임의의 점에서 切刃의 경사각(inclination angle)을 正(+)으로 한다.

[註] 切削刃이 직선이고 λ 가 正일 때 工具先端이 先基準面에 대하여 切刃의 다른 부분보다 먼저 접근한다. 直線의 切削刃이 先基準面에 있거나 평행하면 切削刃傾斜角 λ 는 0° 가 된다.

5-3 定義에 대한 理由

이상과 같은 定義를 하게 된 데에 대한 몇 가지의 이유가 있다. 실제에는 單一有效傾斜角(true rake)이란 것은 없는데 그 이유는 工具와 加工物 사이의 力系가 有效傾斜角뿐 아니라 斜傾斜角(oblique rake)에 의하여도 영향을 받기 때문이다. chip流動方向은 有效傾斜角의 定義에 포함되어 있지 않는데, 그 이유는 chip流動方向은 주어진 工具의 幾何學的 성질뿐 아니라 加工物, 工具 및 切削劑 등의 물리적 성질의 영향도 받기 때문이다.

工具에 작용하는 力系의 완전한 해석이 이루어지기 전과, 著者が 알기로는 과거 80여 년간⁸³⁾은 汎有效傾斜角만을 생각하였고, 그 角을 切削의 汎方向, 즉 先基準面에 수직인 방향에서 측정하는 것이 표준화되었었다. 動力 소모를 결정하는 切削分力이 平削의 경우에는 그 방향이고, 旋削과 正面 milling에서는 그 방향에 아주 접근한다는 사실로부터 위의 표준이 정하여진 것이다.

실제에 있어서는 각 有效傾斜角(또는 斜傾斜角)과 汎有效(또는 斜)傾斜角을 구별하는 것은 대단히 어려운 것이다. 切削刃에 연하여 각각의 角(individual angle, 절삭인상의 위치에 따라서 기준면이 달라지는 경우의 각)은 거의 변하지 않기 때문에 이 각(각 경사각 및 그 分角)을 측정하기 위해서는 복잡하고도 정확한 방법이 요청된다.

그러나 切削刃이 回轉中心에 근접하여 回轉體의 반경에 비하여 길이가 길게 될 경우에는 각각의 角과 汎角을 구별하는 것이 좋다. 이와 같은 경우는 작은 가공물을 상당히 큰 깊이로 切削하는 旋削, 圓周 milling, twist drilling을 하고 刃의 傾斜角 λ 가 존재할 때 대두된다. 平削의 경우에는 각각의 각과 汎角의 차이가 없게 된다. 有效傾斜角과 斜傾斜角의 차이는 일반적으로 무시할 정도로 작으며, 그것도 刃의 傾斜角 λ 가 존재할 때에 한해서 차이가 있게 된다. 즉, 刃의 傾斜角이 0° 이면 차이가 없다.

5-4 工具幾何學的의 方程式

Fig. 64는 工具傾斜面과 기준면 사이에 4개의 주요 角이 있는 위치를 보여 주고, 이들 관계를 나타내는 式을 유도하기 위한 것이다. 실용에 중요한 것에 대해서만 고려하는데, 이 각

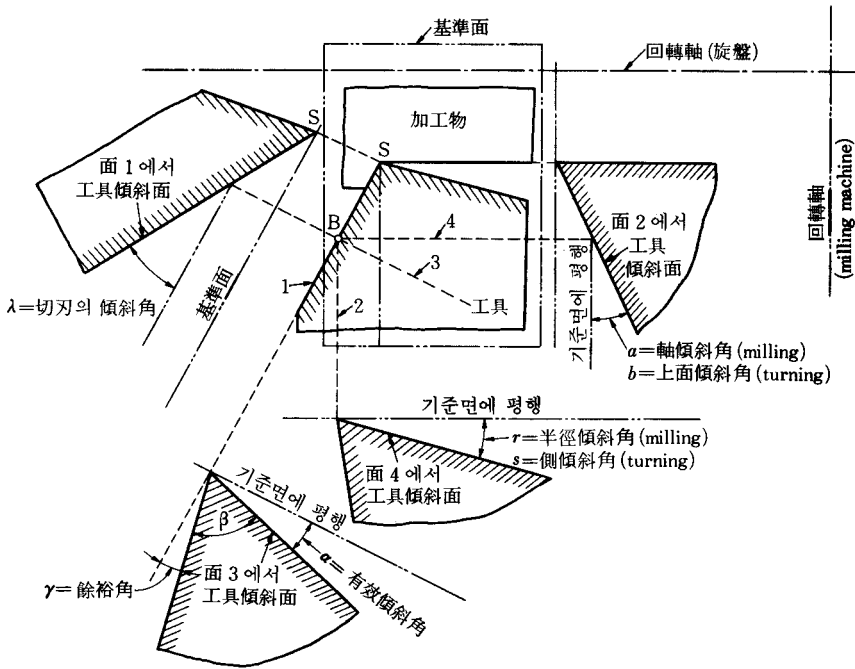


Fig. 64 可變3角形的頂點에서의 4大主要角

들은 工具先端 S와 回轉軸을 지나는 기준면에 수직한 평면에서 측정된다.

Fig. 64에서 보면 2개의 回轉軸이 있는데 하나는 旋盤에 대한 것이고 다른 하나는 旋盤의 回轉軸과 90°를 이루는 milling machine(face milling)에 대한 것이다. 따라서 도출된 모든 결론은 旋削과 正面 milling에 똑같이 적용된다.

頂點이 工具先端 S에 있고 S 주위로 회전할 수 있는 可變3角形(elastic triangle)이 있는데 1변은 基準面내에서 이동하고 다른 1변은 工具傾斜面에서 움직인다는 것을 염두에 두고 Fig. 64를 보기 바란다. 3角形平面은 기준면에 항상 수직을 유지하며, 頂點 S에 대하여 회전할 때 頂點에서의 角은 기준면과 工具傾斜面の 2平面 사이에 존재한다. 3각형이 切削刃 SB에 연한 평면 1에 있을 경우에는 頂點에서의 각은 切削刃의 傾斜角 λ 가 된다. 可變3角形을 S 주위로(加工物 또는 正面 cutter) 回轉軸에 수직(旋削의 경우) 또는 평행(milling의 경우) 할 때까지 회전시키면 평면 2에 평행하게 되며, 頂點에서의 각은 上面傾斜角(旋削의 경우) 또는 軸傾斜角(milling의 경우)이 된다. 可變3角形을 더 회전시켜 切削刃의 투영에 직각되게 하면(평면 3) 頂點에서의 각은 有效傾斜角이다. 끝으로 3각형을 계속 회전시켜 旋盤軸에 평행되게 하면 포함된 角은 側傾斜角(旋削의 경우) 또는 半徑傾斜角(milling의 경우)이 된다. 이와 같이 可變3角形을 이동시켜 보면 3次元旋削 모형을 보다 쉽게 이해할 수 있고, Fig. 62의 plastic milling cutter 모형에서 나타나는 기하학적 조건이 旋削의 것과 일치하는 것도 알 수 있다.

5-4-1 有效傾斜角 (α) 의 式

Fig. 65는 有效傾斜角式을 도출하기 위하여 Fig. 64로부터 발췌한 것으로서 기준면은 切削刃의 임의점 B를 지나며 3 각형 BTQ는 결정되어야 할 角과의 관계를 나타낼 수 있는 평면에 그려져야 한다. Fig. 65에서 有效傾斜角 α 를 側傾斜角 s , 上面傾斜角 b 및 主切刃角 c 의 함수로 나타내고자 한다. 그 결과식은 半徑傾斜角 r , 軸傾斜角 a 및 모서리角 c 의 함수로 표시되는 有效傾斜角에게도 똑같이 적용된다.

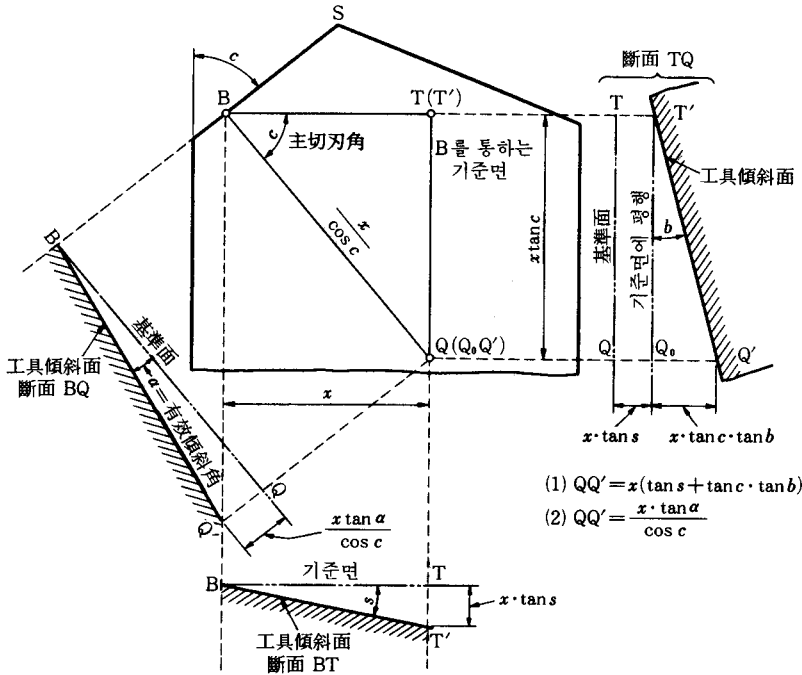


Fig. 65 有效傾斜角

BQ는 有效傾斜角이 위치하는 평면의 방향에 있으며, 上面傾斜角은 TQ를 포함하는 평면에 있고, BT는 側傾斜角의 평면을 나타낸다. 이상의 3 방향은 主切刃角 c 를 포함하는 3 각형을 형성한다.

3 각형 BTQ의 임의의 한 변의 길이를 x 라 하고 基準面上的의 Q에서 工具傾斜面上的의 Q'까지의 거리는 有效傾斜角을 구할 수 있는 2 개의 식을 얻을 수 있도록 정해져야 한다. 有效傾斜角 α , 側傾斜角 s 및 上面傾斜角 b 인 각각의 角은 3 각형 BTQ의 각 변을 통하는 斷面을 택 함으로써 구할 수 있다.

변 BT를 통하는 단면으로부터

$$TT' = x \cdot \tan s$$

변 TQ를 통하는 단면에서는 工具上面傾斜角 b 에 의하여 工具傾斜面이 後側으로 기울어지는 것을 볼 수 있다. 따라서 B와 T를 통하는 基準面은 斷面 TQ상의 工具傾斜面을 지나지 않으므로 T'에서 基準面에 대한 평행선 T'Q₀를 그으면

$$\begin{aligned} QQ' &= QQ_0 + Q_0Q' = TT' + Q_0Q' = x \cdot \tan s + (x \cdot \tan c) \cdot \tan b \\ &= x(\tan s + \tan c \cdot \tan b) \end{aligned}$$

QQ'은 단면 BQ상에도 있으므로

$$QQ' = \frac{x}{\cos c} \cdot \tan \alpha$$

위의 식에서

$$\frac{x}{\cos c} \cdot \tan \alpha = x(\tan s + \tan c \cdot \tan b)$$

$$\therefore \tan \alpha = \tan b \cdot \sin c + \tan s \cdot \cos c \quad (84)$$

正面 milling cutter에서는 角 b 대신에 軸傾斜角 a , 角 s 대신 半徑傾斜角 r 및 主切刃角 c 대신에 모서리角 c 를 대입하면 된다. 사실상 동일 해당각에 대한 명칭이 다를 뿐이다.

5-4-2 切削刃傾斜角(λ)의 式

切削刃傾斜角도 앞에서와 같은 방법으로 구할 수 있으며, Fig. 66에서 切刃 SB의 방향에 있

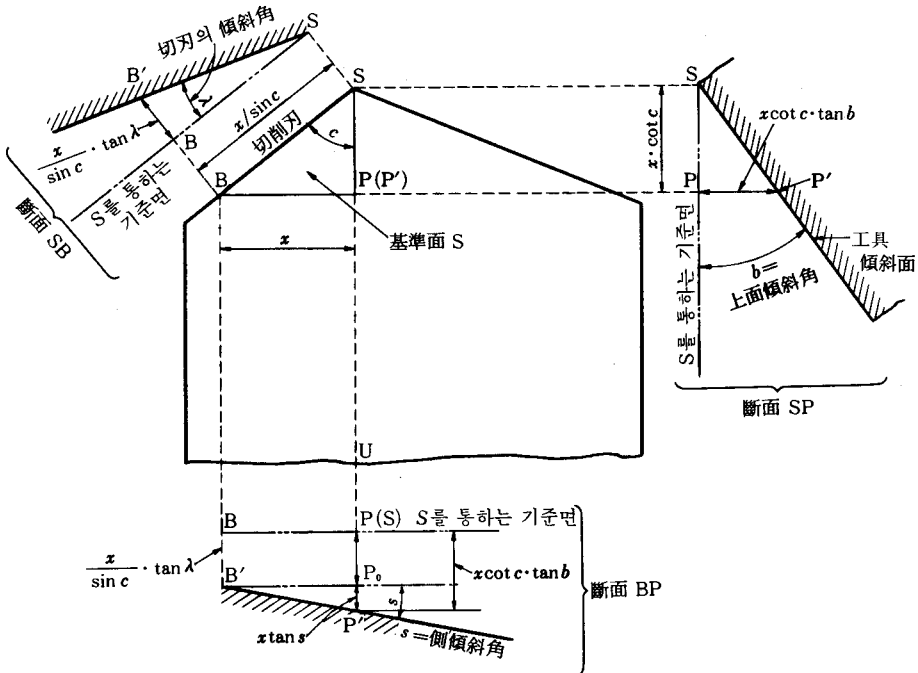


Fig. 66 工具刃의 傾斜角

는 切刃傾斜角 λ 는 側傾斜角 s , 上面傾斜角 b 및 主切刃角 c 의 함수로 되어 있으므로, 3 각형 SBP를 基準面에 그리면 각 邊은 이들 角을 측정할 수 있는 평면상에 있게 된다.

斷面 SP에서 거리 PP' 는

$$PP' = (x \cdot \cot c) \cdot \tan b$$

斷面 BP에서 $(BB' + P_0P') = PP'$ 인데 BB' 는 斷面 SB에서 구해지므로

$$PP' = BB' + P_0P' = \frac{x}{\sin c} \cdot \tan \lambda + x \cdot \tan s$$

위의 두 식을 等値시켜서 λ 에 대하여 정리하면

$$\frac{x}{\sin c} \cdot \tan \lambda + x \cdot \tan s = x \cdot \cot c \cdot \tan b$$

$$\therefore \tan \lambda = \tan b \cdot \cos c - \tan s \cdot \sin c \quad (85)$$

식 (85)에서 切刃傾斜角 $\lambda = 0^\circ$ 라 하면

$$\tan c = \frac{\tan b}{\tan s} \quad (86)$$

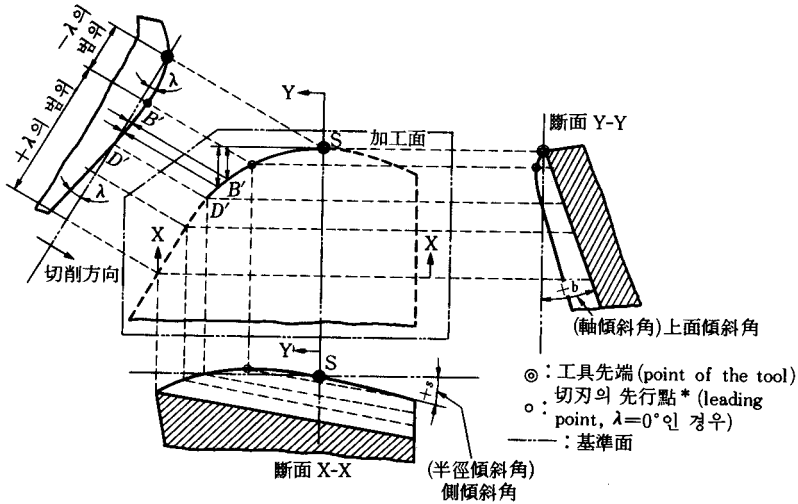
$\lambda = 0^\circ$ 인 경우에는 切刃은 수평으로 되어 基準面上에 있으며 加工物側이나 반대쪽으로 切刃이 기울어져 있지 않다.

切刃傾斜角이 加工物에 대한 chip流動方向을 정하여 주기 때문에 때로는 有效傾斜角 보다도 중요한 경우가 있는 데에도 불구하고 실제로 있어서 소홀히 취급된다. 切刃傾斜角이 陽(+)이면 切刃은 加工物과 반대쪽으로 기울어지고 chip은 加工面에서 멀어지는 방향으로 流動한다. 반대로 切刃傾斜角이 負(-)이면 切刃은 加工物측으로 기울어지고 chip은 加工物을 향하여 이동하며 加工面을 손상시킨다. 正面 milling의 경우에는 切刃傾斜角이 負이면 chip이 cutter 몸체와 加工物 사이의 공간에 들어가게 되고, 切刃傾斜角이 陽이면 chip이 이탈되어 나갈 수 있다. 주요 각들의 어떤 조합하에서 λ 가 陽이고, 언제 負이며, 이것에 대하여 실제 무슨 조치를 할 수 있는가는 차후에 취급하기로 한다. 切刃의 陽 또는 負의 傾斜角에 대한 정의는 미국과 유럽에서 각각 다르다. 즉, 미국에서는 工具先端에서 下向으로 멀어지는 傾斜를 갖는 각을 陽으로 하고, 독일과 스위스 및 그 밖의 나라에서는 그러한 경우 切刃傾斜角을 負로 한다. 그러나 이러한 것은 일관된 것이 아니라 上面傾斜角, 有效傾斜角 및 側傾斜角의 부호는 그들도 우리 미국에서와 같은 방법으로 정한다.

ISO에서는 切削刃傾斜角의 方向符號로서 미국식의 것을 채택하고 있음을 譯者가 소개한다.*

切刃이 직선이 아니고 곡선일 때에는 切刃傾斜角은 刃先의 위치에 따라 변하게 되며, 先端이 圓弧일 경우에도 마찬가지로 변하여 曲率半徑의 크기가 切削性能에 영향을 준다는 것을 말하여 준다. Fig. 67은 曲線刃에서 切刃傾斜角이 변하는 것을 보여 주는 것으로서 先端 부근에

* 金屬切削理論, 徐南燮, 東明社, p. 283~284



* 기준면에 수직인 속도방향에서 제일 앞서가는 점

Fig. 67 曲線切削刃에서 切削刃先傾斜의 변화

서는 切削傾斜角이 負이고 先端에서 어느 정도 멀어지면 陽의 값으로 된다.

切削方向에서 加工物에 먼저 접근하는 先行點($\lambda=0^\circ$ 인 點)이 절삭을 시작하고 나머지 부분이 곧 뒤따라 절삭하게 된다. 이 때 負의 切削傾斜角의 범위가 얼마나 큰가 또는 chip 生成을 어떻게 하는가 하는 것은 曲線切削部の 길이에 달려 있다. 負의 부분이 클 때에는 chip은 加工物측으로 유동하여 加工面に 손상을 주거나 工具와 加工物 사이에 끼워져서 切削性能을 해치게 된다.

chip流動은 chip과 工具傾斜面 사이의 마찰에 의하여도 영향을 받으며,^{*)} 마찰이 상대적으로 작으면 chip은 切削傾斜角에 의하여 정해지는 螺旋角으로 유동한다. 切削중 chip의 螺旋角의 변화는 마찰의 변화, 즉 螺旋角이 증가하면 마찰의 감소를 의미하고(chip의 螺旋이 성기게 된다), 螺旋角이 감소하면 마찰이 증가하는 것을 보여 준다(chip의 螺旋이 조밀하다). 이 외에 切削輪廓線의 변화도 chip의 螺旋形成에 영향을 준다.

5-4-3 斜傾斜角(σ)의 式

斜傾斜角 σ 는 有效傾斜角 α 와 切削傾斜角 λ 에 의존하며, 이들의 관계식을 앞에서와 같은 방법으로 구하면 다음과 같다.

$$\tan \sigma = \tan \alpha \cdot \cos \lambda \quad (87) *$$

有效傾斜角과 斜傾斜角의 차이는 작기 때문에 일반적으로 有效傾斜角에 斜傾斜角을 관련시켜서 생각할 필요가 없으며, Fig. 68은 有效傾斜角을 斜傾斜角으로 換算하는 데 이용된다.

* 식 (87)의 도입 과정과 圖面이 필요하면 譯者에게 문의 바람(原書의 圖面番號가 전체적으로 달라지기 때문에 挿入하지 않았음)

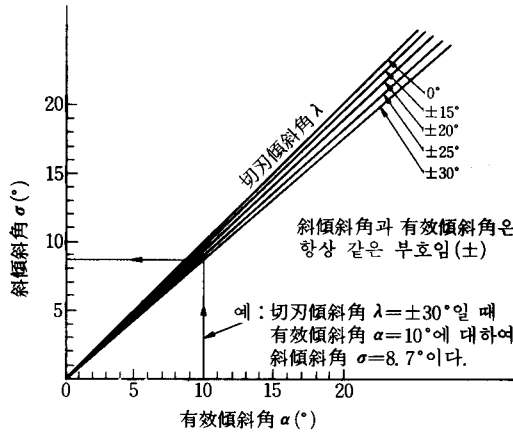


Fig. 68 有效傾斜角과 斜傾斜角의 換算

5-5 有效傾斜角의 最大值(±)

식 (84) $\tan \alpha = \tan b \cdot \sin c + \tan s \cdot \cos c$ 의 有效傾斜角 α 를 c 에 대하여 微分함으로써 有效傾斜角의 最大值(±)를 구할 수 있으며, 이것으로 切刃에서의 새로운 양상을 알아 보는 것은 흥미있는 일이다.

$\sec^2 \alpha \cdot \frac{d\alpha}{dc} = \tan b \cdot \cos c - \tan s \cdot \sin c$ 에서 $\frac{d\alpha}{dc} = 0$ 이라 하면

$$\tan c = \frac{\tan b}{\tan s}$$

$$\therefore \tan c_{\alpha=\alpha_{\max}} = \frac{\tan b}{\tan s} \quad (88)$$

로 되어 이 때 有效傾斜角은 最大值에 달하며, $\alpha_{\max}$ 를 다음과 같이 구하여 본다.

$\sin^2 c + \cos^2 c = 1$ 에서

$$1 + \cot^2 c = \frac{1}{\sin^2 c}, \quad 1 + \tan^2 c = \frac{1}{\cos^2 c}$$

$$\therefore \sin^2 c = \frac{1}{1 + \cot^2 c}, \quad \therefore \cos^2 c = \frac{1}{1 + \tan^2 c}$$

윗식에 식 (88)을 대입하면

$$\sin^2 c = \frac{1}{1 + \left(\frac{\tan s}{\tan b} \right)^2}, \quad \cos^2 c = \frac{1}{1 + \left(\frac{\tan b}{\tan s} \right)^2}$$

$$\therefore \sin c = \pm \frac{\tan b}{\sqrt{\tan^2 b + \tan^2 s}}, \quad \therefore \cos c = \pm \frac{\tan s}{\sqrt{\tan^2 b + \tan^2 s}}$$

윗식을 식 (84)에 대입하면

$$\begin{aligned} \tan \alpha_{\max} &= \tan b \cdot \left(\pm \frac{\tan b}{\sqrt{\tan^2 b + \tan^2 s}} \right) + \tan s \cdot \left(\pm \frac{\tan s}{\sqrt{\tan^2 b + \tan^2 s}} \right) \\ &= \pm \frac{\tan^2 b + \tan^2 s}{\sqrt{\tan^2 b + \tan^2 s}} = \pm \sqrt{\tan^2 b + \tan^2 s} \\ \therefore \tan \alpha_{\max} &= \pm \sqrt{\tan^2 b + \tan^2 s} \end{aligned} \quad (89)$$

上面傾斜角과 側傾斜角이 같은 예로써 有效傾斜角 α 는 主切削角 $c=45^\circ$ 일 때 [식 (88)] 최대가 된다. 따라서 기계공장에서는 側傾斜角과 上面傾斜角이 같을 경우에는 主切削角 c 가 ($\pm$) 45° 이어야 하는 것으로 알고 있다.

한편 上面傾斜角 $b=0^\circ$ 이면 有效傾斜角이 최대가 되기 위해서는 主切削角 c 도 0° 가 되어야 한다 [식 (88)]. 이것은 바로 切刃이 移送方向에 대하여 직각인 側面切削工具의 경우가 된다. 이 때 식 (88)과 식 (89)에 의하면 有效傾斜角은 側傾斜角과 같게 된다. 앞에서 지적한 바와 같이 主切削角이 45° 라고 해서 有效傾斜角이 항상 최대가 되는 것은 아니고 上面傾斜角과 側傾斜角이 동일할 때에 한해서 有效傾斜角이 최대라는 사실이다. 식 (88)에 의하면 側傾斜角 $s=15^\circ$ 이고 上面傾斜角 $b=10^\circ$ 일 때 主切削角 $c=34^\circ$ 이며, 식 (89)에 의하여 有效傾斜角 $\alpha_{\max}=18^\circ$ 가 된다.

側傾斜角 $s=0^\circ$ 이면 最大有效傾斜角을 얻기 위해서는 이론적으로 主切削角 $c=90^\circ$ 이어야 한다. 이것은 切刃이 加工物の 中心線에 평행한 경우이다. 이와 같은 조건에 대한 工具幾何學을 25년 전에 著者が 正面 milling cutter에 적용하여 좋은 결과를 얻었다.

여러 편의 논문에 발표된 바 있지만 소련에서는 主切削角을 아주 크게 한 旋削工具를 사용하여 큰 성과를 거두었다. 이와 같이 主切削角 c 가 크게 되려면 식 (88)에 의하여 上面傾斜角 b 가 크고 側傾斜角 s 가 작아야 한다. 즉, 식 (89)에 의하면 有效傾斜角 α 가 上面傾斜角 b 와 같게 되고, 식 (85)에서 主切削角 $c=90^\circ$ 이고 $s=0^\circ$ 이면 切刃傾斜角 $\lambda=0^\circ$ 가 된다. 이같이 工具角의 관계는 工具의 切削作用을 설명하는 데 도움이 된다.

5-6 有效傾斜角 및 切削刃傾斜角의 關係圖

工具의 설계자 및 사용자에게는 有效傾斜角과 切刃傾斜角이 필요하다는 사실을 감안할 때 이들 角을 주어진 다른 角들의 組合으로 나타내 보는 것은 의미가 있는 일이다.

Fig. 69는 식 (84)와 식 (85)를 組合해서 나타낸 것으로서 5개의 角중에서 3개의 角(c, b 및 s)이 주어질 때 나머지 2개의 角(α 와 λ)에서 1개의 角을 읽을 수 있도록 되어 있다. 이와

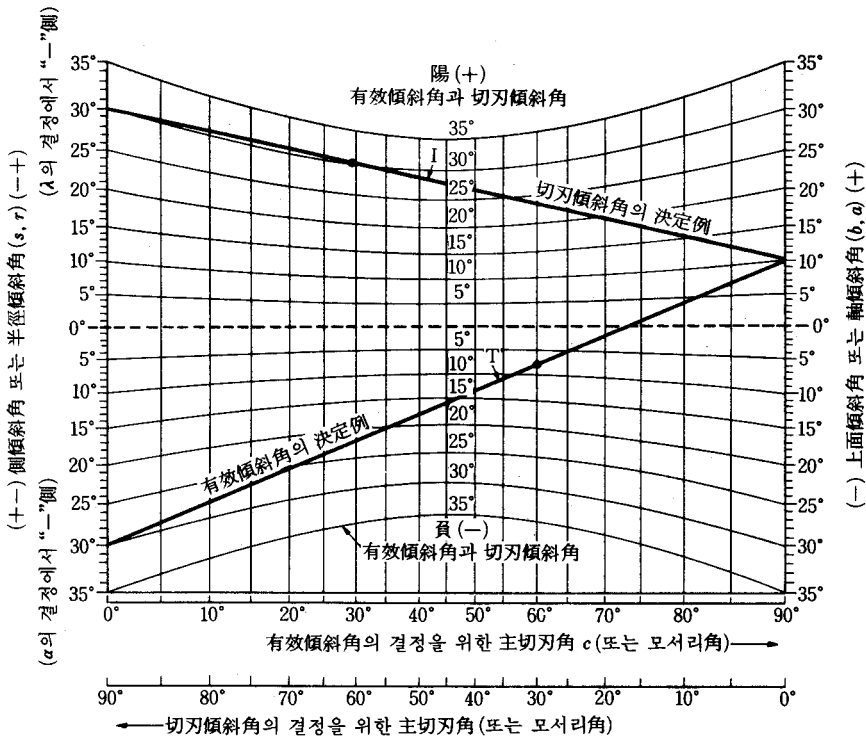


Fig. 69 有效傾斜角과 切刃傾斜角의 결정

같은 計算圖表에 의해 4 개의 變數를 1 개의 直線으로 그어 서로 관련시킬 수 있으므로, 식 (84) 및 식 (85)의 해석에 의한 것보다 圖表를 이용하여 실용적 결과를 얻는 것이 더욱 편리하다.

Fig. 69에 有效傾斜角을 정하는 것과 切刃傾斜角을 정하는 방법에 대한 2 개의 예들 들었다.

예제 5-1. 上面傾斜角 $b = +10^\circ$, 側傾斜角 $s = -30^\circ$, 主切刃角 $c = 60^\circ$ 일 때 有效傾斜角 α 를 구하라.

(解) $b = +10^\circ$ 에서 $s = -30^\circ$ 를 향하여 直線 T 를 긋고 $c = 60^\circ$ 에서의 交點上의 有效傾斜角 $\alpha = -8^\circ$ 를 읽는다.

예제 5-2. b , s 및 c 가 예제 5-1에서와 같을 때 切刃傾斜角 λ 를 구하라.

(解) $b = +10^\circ$ 에서 $s = -30^\circ$ 를 향하여 直線 I 를 긋고 $c = 60^\circ$ 인 直線과의 交點에서의 切刃傾斜角은 $\lambda = 30^\circ$ 이다.

上面傾斜角 b 와 側傾斜角 s 를 일정하게 할 때 主切刃角 c 가 有效傾斜角 α 에 미치는 영향을 Fig. 69에서 쉽게 알 수 있다. 따라서 主切刃角 c 를 다르게 研削하면 有效傾斜角 α 와 切刃傾斜角 λ 의 크기도 달라진다는 것을 확실히 알 수 있다.

앞의 예제에서 $c = 60^\circ$ 대신에 $c = 0^\circ$ 로 하면 有效傾斜角 α 는 -8° 이었던 것이 -30° 가 되며, 主切刃角 c 가 클수록 有效傾斜角 α (절대값)가 작게 되는 범위가 있다는 것도 알 수 있다.

本例에서 主切刃角 c 가 74° 보다 크면 側傾斜角이 負(−)의 값을 갖고 있는 데에도 有效傾斜角은 負(−)의 값에서 陽(+)의 값으로 변하게 된다. 이것으로부터 曲線切刃을 갖는 工具에서는 有效傾斜角이 切刃上의 위치에 따라 다르다는 것을 알 수 있는데 이것은 曲線切刃上의 각 點에서의 接線으로 정해지는 主切刃角이 변하기 때문이다.

유사한 조건이 切刃傾斜角에도 적용된다. 즉, 主切刃角을 다르게 研削하면 切刃傾斜角의 크기가 다르게 된다. 앞의 예제 5-2에서 $c=0^\circ\sim 90^\circ$ 의 범위에서는 λ 는 10° 에서 30° 로 되어 切刃傾斜角은 陽(+)의 상태를 유지한다.

5-7 實用을 위한 結論

4 개의 角의 여러 값을 組合함으로써, 즉 Fig. 69에 여러 값에 대한 직선을 그려 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다.

5-7-1 有效傾斜角

(1) 有效傾斜角은 主切刃角을 研削하여 다르게 함으로써 쉽게 변화시킬 수 있다. 陽(+) 및 負(−)의 上面傾斜角과 側傾斜角을 조합하면 陽(+) 또는 負(−)의 有效傾斜角을 얻을 수 있다. 主切刃角이 클 때에는 側傾斜角의 再研削이 有效傾斜角에 미치는 영향은 미소하나, 主切刃角이 작을 때에는 그 영향은 크게 된다. 반면에 上面傾斜角의 再研削은 主切刃角이 작을 때 有效傾斜角에 미치는 영향이 작고 主切刃角이 클 때 영향은 크게 된다.

(2) 工具에 2 개의 主切刃角(正面 milling cutter에서는 모서리角)을 研削하면 2 개의 有效傾斜角과 2 개의 切刃傾斜角이 존재할 수 있다.

側傾斜角과 上面傾斜角이 陽(+)일 경우에는 有效傾斜角은 2 개 모두가 陽(+)이고, 側傾斜角과 上面傾斜角이 負(−)일 경우에는 有效傾斜角은 2 개 모두 負(−)가 된다. 그러나 上面傾斜角과 側傾斜角 중에서 1 개만 負(−)이면 同一工具에서 2 개의 有效傾斜角 중 1 개는 負(−)이고 다른 1 개는 陽(+)일 수도 있다. 즉, 主切刃角 c 에 따라 2 개의 有效傾斜角은 陽(+)이 될 수 있고 負(−)가 될 수도 있다.

(3) 曲線切刃(또는 曲線先端)의 경우에는 側傾斜角과 上面傾斜角이 모두 陽(+)일 때 有效傾斜角은 主切刃角의 증가에 따라 최대까지 증가하다가 다시 감소함으로써 曲線을 따라 변하게 된다. 側傾斜角과 上面傾斜角이 모두 負(−)이면 有效傾斜角은 최소까지 감소하다가 다시 증가한다. 上面傾斜角과 側傾斜角이 상이한 부호(±)일 경우에는 有效傾斜角의 최대값이나 최소값은 없으며, 有效傾斜角은 어느 主切刃角에서 0° 가 되고 그 點을 지나면서 부호가 바뀐다.

(4) 側傾斜角과 上面傾斜角의 부호를 陽(+)과 陽(+) 또는 負(−)와 負(−)로 조합된 상태

에서 主切刃角을 적절히 研削함으로써 最大有效傾斜角을 얻을 수 있다. 上面傾斜角과 側傾斜角의 크기가 같을 경우에만(양자가 陽 또는 負) 主切刃角이 45° 일 때 有效傾斜角은 최대가 된다.

(5) 側傾斜角과 上面傾斜角이 陽(+)이면 有效傾斜角은 언제나 陽(+)이고, 側傾斜角과 上面傾斜角이 負(-)이면 有效傾斜角은 負(-)이다. 그러나 側傾斜角과 上面傾斜角중에서 하나만 負(-)이면 有效傾斜角은 陽(+)이 될 수도 있다는 사실은 기술자들에게는 예측밖의 일이다.

이와 같은 모든 결론들은 Fig. 69에 각각의 직선을 그어 보면 쉽게 볼 수 있다.

5-7-2 切削刃傾斜角

(1) 切刃傾斜角이 0° 이면 有效傾斜角은 최대가 되므로 [식 (86), 식 (88)에서] 切刃을 切削速度方向에 수직되게 위치시키는 것이 유리하다는 것을 알 수 있다.

(2) 角 b 와 角 s 가 모두 陽(+)인 통상적 傾斜角의 組合의 경우에 정해진 主切刃角에서 切刃傾斜角은 0° 가 될 수 있다(境界點). 實主切刃角이 경계점의 경우보다 작으면 切刃傾斜角은 陽(+)이고, 主切刃角이 그보다 크면 切刃傾斜角은 負(-)가 된다. 따라서 Fig. 69에 의하면 구하고자 하는 陽(+) 또는 負(-)의 切刃傾斜角을 정하여 주는 主切刃角을 선택하는 것이 가능하다.

(3) 曲線切刃의 경우에는 切刃의 위치에 따라 陽(+) 또는 負(-)가 된다는 것을 Fig. 69에서 알 수 있다. 切刃傾斜角이 0° 인 主切刃角은 先端 S (Fig. 67)로부터 떨어진 切刃上의 先行點(leading point)의 위치에 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 陽(+)과 陽(+)의 傾斜角(b 및 s)의 組合에 있어서 切刃傾斜角은 先端半徑에 의하여 先端 근처에서는 負(-)가 되고, 最大有效傾斜角은 切刃의 先行點에 존재한다.

(4) 上面傾斜角과 側傾斜角이 陽(+)과 負(-)의 조합일 경우에 主切刃角 $c=90^\circ$ 까지의 범위에서 切刃傾斜角은 언제나 陽이 된다. 따라서 工具先端은 主切刃의 他部分보다 항상 先行하여 先端이 바로 先行點이 된다.

(5) 負(-)와 陽(+) 傾斜角의 組合($b:-$, $s:+$)의 경우에 主切刃角의 90° 까지의 범위에서 切刃傾斜角은 언제나 負(-)이다.

(6) 負($b:-$)와 負($s:-$)의 傾斜角의 組合에서 특정 主切刃角에 대하여 切刃傾斜角은 0° 이다. 그보다 작은 主切刃角에 대하여 切刃傾斜角은 負(-)이나, 그보다 큰 角에 대해서는 切刃傾斜角은 陽(+)이 된다. 陽(+)과 負(-)의 切刃傾斜角의 組合이 曲線刃上에서도 생기게 된다.

그러나 曲線切刃의 경우에는 切刃傾斜角이 0° 인 主切刃角은 工具의 先端 S點에서 멀리 떨어진 切刃上의 追從點(trailing point)*의 위치를 알려 준다. 이 追從點에 負(-)의 最大有效傾

* 기준면에 수직인 속도 방향(단일 방향으로 간주)에서 가장 뒤져가는 점

斜角이 존재하며, 負($b:-$)와 負($s:-$)의 傾斜角의 組合의 경우에 그 點 附近에서 陽($+$)의 切刃傾斜角이 존재한다.

5-7-3 圓周 milling

前述한 旋削工具의 側傾斜角은 正面 milling cutter의 경우 半徑傾斜角으로, 上面傾斜角은 軸傾斜角으로, 主切刃角은 모서리角으로 언제나 대체할 수 있으나, 圓周 milling의 경우는 旋削과의 유사성을 찾는 것이 간단하지 않다. 圓周 milling에서는 모서리角은 언제나 0° 이고, 전에 유도된 公式들은 이런 조건에서 圓周 milling에 응용할 수 있다. 切刃傾斜角은 cutter軸에 대하여 측정된 螺旋角에 상당한다. 이들의 관계를 다음과 같이 간단히 나타낼 수 있다.

식 (84)에서 $c=0^\circ$ 이므로

$$\text{有效傾斜角: } \tan \alpha = \tan s \quad (90 a)$$

식 (85)에서 $c=0^\circ$ 이므로

$$\text{切刃傾斜角: } \tan \lambda = \tan b \quad (90 b)$$

圓周 milling cutter를 종이로 감아싼 다음 그 자국에서 螺旋角을 알 수 있고, 그것이 바로 切刃傾斜角에 해당한다.