



切削工具의 角

절삭공구에서 가장 중요한 것은 두 切削刃이다. 즉, 그림 1·4 및 그림 7·10에서와 같이

① 금속을 절삭하는 主切削刃(major cutting edge)

② 가공물 표면을 최종적으로 결정하는 副切削刃(minor cutting edge)이 있으며, 각각의 傾斜面(face)과 餘裕面(flank)이 교차하여 2개의 切削刃을 형성한다. 單刃工具라 하더라도 그의 기하학적 형상과 用語(nomenclature)는 상당히 복잡하여 각을 측정하는 기준면을 정하는 것이 쉽지 않다. 특히, 여러 종류의 幾何學的 形狀과 nomenclature가 존재하기 때문에 공구 경사면(tool face)의 경사(slope)를 결정하는 것이 더욱 어렵다. 여러 공구 nomenclature(ISO system, 英國最大傾斜角 system, 美國標準協會 system)의 장단점을 알기 위하여 공구형상이 chip의 유동방향에 미치는 영향을 우선 이해할 필요가 있다.

많은 연구에 있어서 다소 인위적이지만 그림 9·1(a)와 같은 2차원 절삭에서는 절삭공구의 直線切削刃이 절삭방향에 대하여 직각을 이룬다. 그러나, 실제에서는 切削刃이 절삭방향에 대하여 직각을 이루는 경우는 극히 드물다. 대부분 절삭인이 그림 9·1(b)와 같이 경사진 3차원 절삭의 위치를 갖는다. 그림 9·1(b)에서 절삭인이 절삭방향에 직각인 면과 이루는 각 i 를 切削刃의 傾斜角이라 한다. 2차원 절삭에서는 $i = 0^\circ$ 인 셈이다. 3차원 절삭에서 chip은 공구면(face)을 따라 절삭인과 직각으로 공구면에 그은 선과 η_c 를 이루고 유동하며,

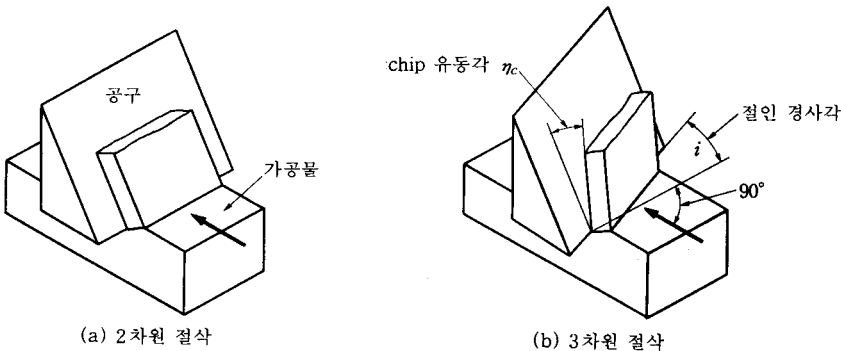


그림 9·1

이 각을 chip의 流動角이라 한다.

그림 9·2는 3차원 절삭 중에 생성되는 chip의 전개도이다. 切削刀 아래의 도면은 신가공면에 수직으로 본 것이며, 切削刀 위의 것은 공구면에 수직으로 본 것이다. 그림 9·2에서 보는 바와 같이 chip이 생성되는 중에 폭의 변화가 없다면

$$i = \eta_c \tag{9.1}$$

가 된다.

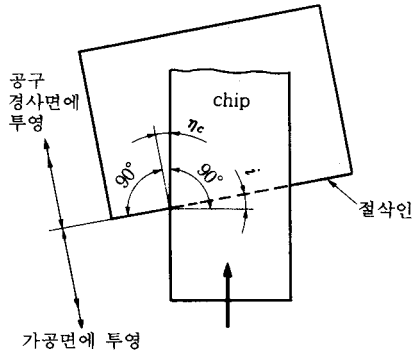


그림 9·2 Stabler의 chip 流動($i = \eta_c$)

실험에 의하면 切削刀의 傾斜角(inclination angle)과 chip 流動角은 다소 다르다고 한다. 그러나, 대부분의 경우에는 식 (9·1)을 이용하여도 무리가 없다. 이 식을 Stabler의 chip 流動法則이라 부르기도 한다. Stabler 법칙의 중요한 것은 절삭인의 경사각 i 가 절삭역에서 chip이 유동하여 나가는 방향을 정하는 데 중요한 매개변수의 역할을 하기 때문에 공구설계에서 고려하지 않으면 안 될 중요한 각이다. 즉, 절삭속도 방향의 절삭저항과 절삭인 경사각과 관련된 chip 유동방향의 공구 경사면상 마찰저항을 포함하는 평면 내에서 합절삭저항과 공구 경사면 경사각이 가장 크고, 이 때의 공구면 경사각을 유효 경사각이라 하여 중요시한다.

따라서, 공구의 표시법은 절삭작업에 관련하여 실제적인 의미를 갖는 切削刀 傾斜角의 정의를 내포하여야 한다. 공구연삭에 관련된 표시법을 선정하는 데 중요한 것은 연삭 vise나 jig에 특정된 공구각을 설치하는 것이 가능하여야 한다. 이상의 두 가지의 중요한 것을 염두에 두고, 과거에 사용된 여러 가지의 절삭공구의 표시법을 지금부터 검토하기로 한다.

9.1 과거의 切削工具 표시법

9.1.1 영국 最大傾斜角

그림 9·3은 공구면(tool face)의 경사를 공구면과 공구 밑(tool base)에 수직인 평면에

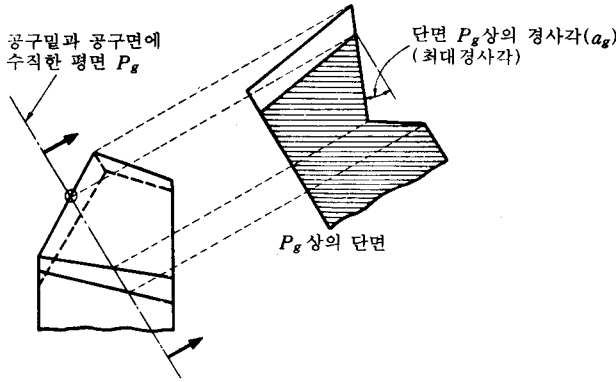


그림 9.3 과거 영국 최대경사각 system

서, 즉 最大傾斜方向으로 공구 경사각(rake angle)을 측정하는 영국 system(BS 1886)을 보여 준다. 이 방법은 연삭 vise에 특정한 각으로 공구를 고정하여 경사면을 특정된 각으로 연삭할 수 있는 이점이 있다.

이 system의 문제점은 특정된 각이 절삭인의 위치와 무관하다는 데 있다. 따라서, chip 유동방향을 계산하기 위해서는 복잡한 식을 이용하여야 한다. 이러한 system은 chip이 공구면의 최대경사각 방향으로 유동한다는 생각에서 도입된 것이나, 사실과는 맞지 않기 때문에 이 system은 절삭작업에서는 아무런 실질적 의미가 없다.

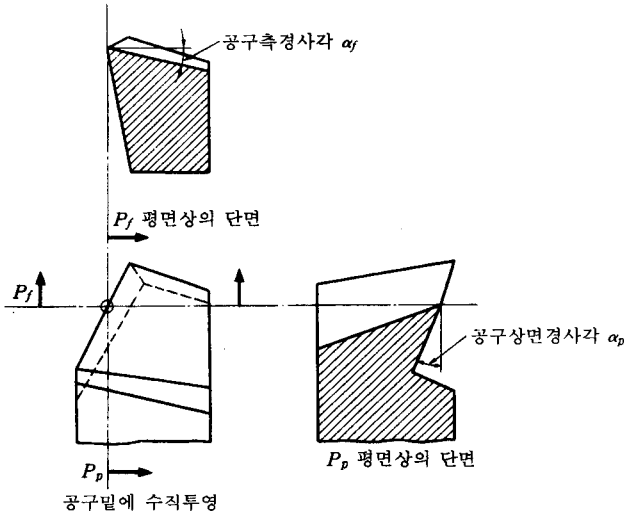
9.1.2 미국 標準協會傾斜角

미국표준협회(American Standard Association: ASA) system에서는 공구면(tool face)의 경사를 두 직각 평면상에서 정의하고 있다. 즉, 한 평면은 공구축에 평행하고 다른 하나는 공구축에 수직하며, 두 평면 모두 공구밑(tool base)에 수직하다. 정해진 두 각을 그림 9.4(a)에서와 같이 각각 공구 축 경사각(工具上面 경사각, tool back rake) 및 공구 측경사각(tool side rake)이라 한다.

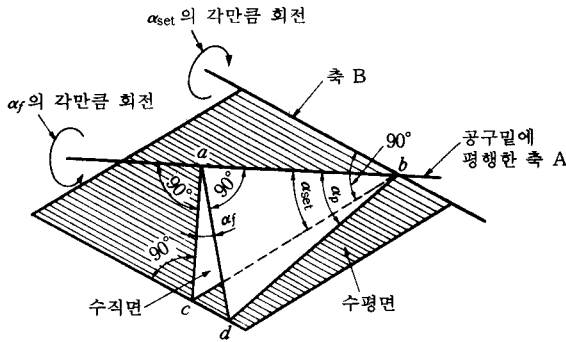
이 시스템에서도 영국 최대 경사각 system에서와 마찬가지로 각은 절삭인의 위치와 무관하게 정해지기 때문에 절삭공구의 실제운동에 아무런 지표가 되지 못한다. 이 system의 장점은 單刃工具의 研削이 간편하다는 데 있으나, 상면경사각과 측경사각의 관계식을 이용하지 않고서는 정확한 연삭을 할 수 없다.

예를 들면, 공구연삭에 2축 vise를 사용한다고 하자. vise에는 서로 직각인 2축이 있고 두 축은 수평면상에 0°가 되도록 고정한다. vise의 A축이 공구축에 평행하게 되도록 공구를 vise에 고정한다. 공구면을 연삭할 때에는 vise를 사용하여 수평면에서 연삭되어 형성될 공구면을 조정한다.

그림 9.4(b)에서 축 B를 회전축으로 하여 공구축을 공구상면경사각에 맞춰 α_r 만큼 위로 들어 올린다. 다시 축 A를 회전축으로 하여 공구를 공구 측경사각인 α_f 만큼 반시계 방향으로



(a)



(b)

그림 9·4

로 회전시킨다. 측경사각 α_f 를 주기 위하여 축 A를 회전시키면 처음에 조정한 상면경사각에 변화를 주게 된다. 그림 9·4(b)는 필요한 상면경사각이 α_p 라고 하면 식 (9·2)와 같이 B축은 α_{set} 에 맞춰야 한다.

$$\begin{aligned} \cos \alpha_f &= \frac{ac}{ad}, & \tan \alpha_p &= \frac{ad}{ab} \\ \therefore \cos \alpha_f \cdot \tan \alpha_p &= \frac{ac}{ad} \cdot \frac{ad}{ab} = \frac{ac}{ab} = \tan \alpha_{set} \\ \therefore \tan \alpha_{set} &= \cos \alpha_f \cdot \tan \alpha_p \end{aligned} \tag{9·2}$$

즉, 처음에 α_{set} 로 기울여 연삭하고, 다음에 α_f 로 기울이면 α_f 와 α_p 가 정해지나, 실제에서는 두 각이 작을 때 오차는 무시할 정도이므로, 이상과 같이 보상(compensation)을 할 필요가 없다. 이 system에서도 각들이 切削刃의 위치와 무관하다는 것이 문제점이다.

9.1.3 독일 傾斜角

독일식 system에서는 상면경사각과 측경사각의 두 각에 의하여 공구각을 결정한다. 그러나, 이 시스템에서는 이들 각과 切削刃의 위치가 서로 관련되어 있다. 독일식 system의 상면경사각은 그림 9.5에서와 같이 切削刃을 포함하고, 공구 밑에 수직인 평면에서 측정된 切削刃의 傾斜角이다. 측경사각은 상면경사각이 측정된 평면과 공구 밑에 수직인 평면에서 측정된 공구면의 경사각이다.

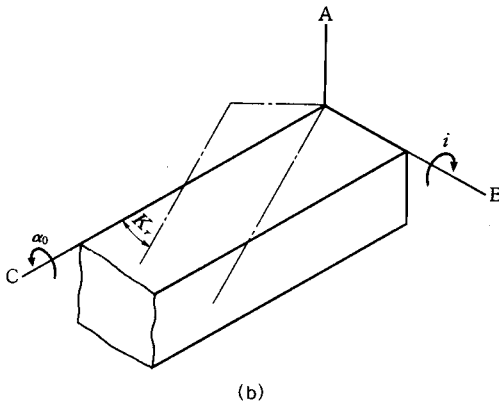
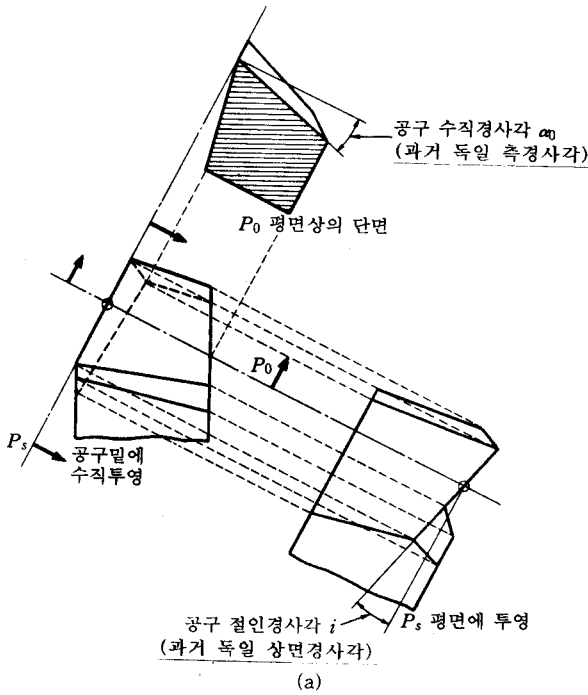


그림 9.5 과거 독일표준 system

이 system은 두 각이 切削刃과 관련되어 정해지기 때문에 다소의 실질적 의미가 있으나, 미국식 system에서와 같이 절삭공구의 연삭에 어려움이 있다. 공구를 독일식 system으로 연삭하는 절차는 다음과 같다.

① 3축 A,B,C가 0°에 있도록 하고 공구를 만능 vise(3축 vise)에 고정한다.

② 목적하는 主切削刃을 축 C(前後의 수평축)에 평행하도록 主切削角만큼 수직축 A의 주위로 공구를 회전시킨다.

③ 목적하는 切削刃을 수평면에 놓기 위하여 독일식 상면경사각만큼 제2의 수평축 B(左右의 수평축)의 주위로 공구를 회전시킨다.

④ 다음 단계는 독일식 측경사각만큼 축 C의 주위로 공구를 회전시킨다. 그러나 목적하는 切削刃의 주위로 공구가 회전함으로써 측경사각이 切削刃에 수직이고, 공구 밑면에 수직이 아닌 평면에서 측정된다. 따라서, 정확한 연삭을 위하여는 C축에 대한 조정이 미국식 system에서와 같이 식을 이용하여(B축의 조정에 따라) 이루어져야 한다.

측경사각을 절삭인에 수직인 평면 내에서 측정한다면, 측경사각을 아무런 보상(compensation)없이 제3축 C상에서 맞출 수 있어 앞에서의 어려움을 피할 수 있을 것이다. 이러한 생각에서 新 ISO 표준으로 채택되고 있는 수직경사각 system이라 불리는 절삭공구의 nomenclature가 Stabler 에 의하여 1955년에 제안되었다.

9.2 切削工具의 國際標準表示法

9.2.1 手中傾斜角과 使用傾斜角

절삭공구의 nomenclature에 대한 ISO의 추천위원회는 공구 경사면(tool face)과 여유면(flank)의 각을 定義하는 데 이용되는 평면을 정하였다.

각과 평면의 두 system을 먼저 이해하는 것이 필요하다. 첫 번째 system은 각과 평면의 手中 system(tool-in-hand system)으로서 공구를 손으로 잡고 연삭하기 위하여 정의되는 각과 평면을 의미한다. 두 번째 system은 사용상의 system(tool-in-use system)으로서 공구가 공작기계에서 사용될 때 작용하는 각과 평면이다.

두 시스템을 필요로 하는 이유는 다음과 같다. 첫째, 그림 9.6에서와 같이 간단한 선삭에서 이송이 증가하면 有效傾斜角(effective rake angle)은 증가하고 有效餘裕角(effective clearance angle)은 감소한다. 둘째로, 절삭공구 특히 單刃工具는 方位를 달리하여 여러 가지로 공작기계로 고정할 수 있기 때문에 그 때마다 공구의 유효각들이 변한다. 그리하여 手中工具 system은 공구 밑에 관련시켜 정의하고(회전공구에는 공구축), 사용상의 system은 合切削方向(resultant cutting direction)과 이송운동방향(direction of feed motion)에 관련시켜 정의한다.

V : 절삭속도, V_f : 이송속도, V_e : 합절삭속도
 α_n : 공구 수직경사각, α_{ne} : 작용(유효) 수직경사각
 θ_n : 공구 수직여유각, θ_{ne} : 작용(유효) 수직여유각

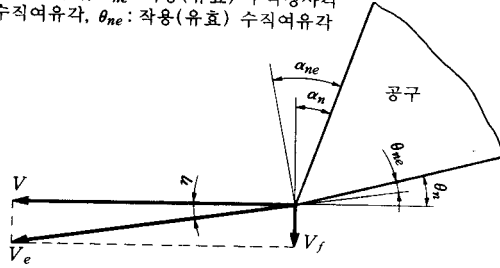


그림 9.6 합절삭속도각 η 가 수직경사각 및 수직여유각에 미치는 영향

그림 9.7에서 그림 9.10까지는 單刃工具의 主切刃上の 선택된 점과 관련하여 공구형상을 정의하는 데 필요한 평면의 두 system을 보여 준다.

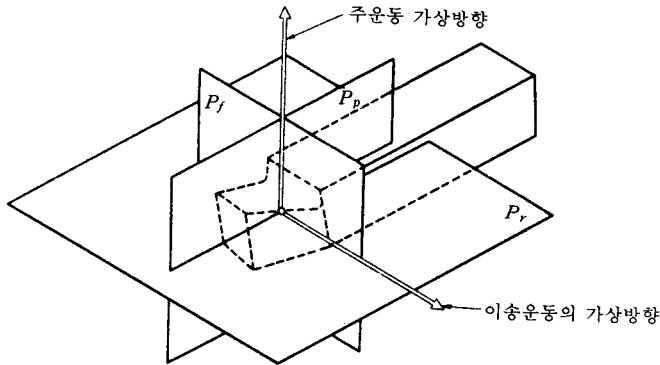


그림 9.7 단인공구에서 주절인을 정하기 위한 수중면 P_r , P_f 및 P_p

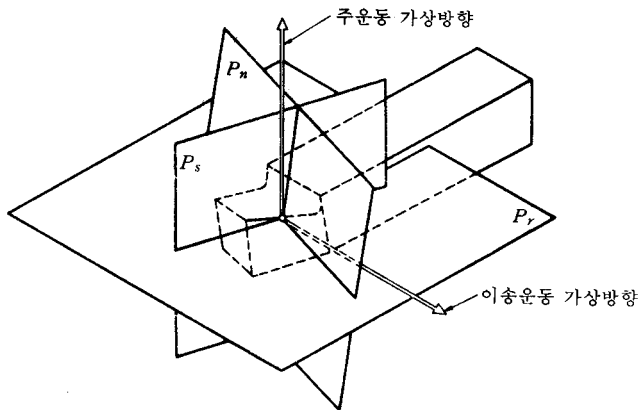


그림 9.8 단인공구에서 주절인을 정하기 위한 수중면 P_r , P_s , P_n

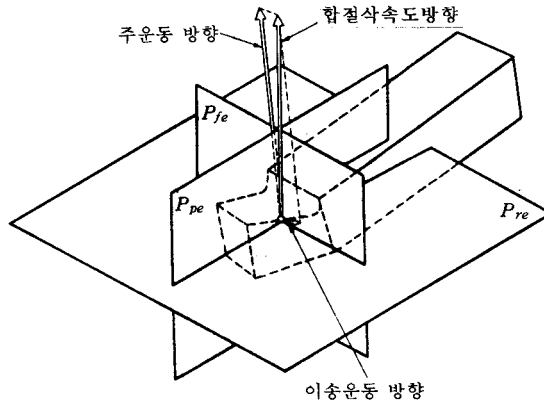


그림 9.9 단인공구에서 주절인을 정하기 위한 작용면 P_{re} , P_{fe} , P_{pe}

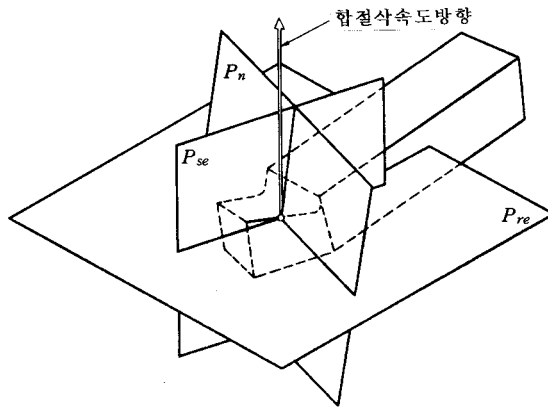


그림 9.10 단인공구에서 주절인을 정하기 위한 작용면 P_{re} , P_{sc} , P_n

표 9.1은 이들 평면 system을 이용하여 각들이 어떻게 정의되는가를 보여 준다. 수중 system에서 평면과 각에는 “tool”, 사용상의 system에서는 “작용(유효)”이라는 接頭語를 각각 붙이기도 한다. 그러나, 두 시스템에 똑같이 해당될 때에는 붙이지 않는다. 예를 들면, 표 9.1에서 수직경사각(tool normal rake) α_n 은 공구면 A_α 와 공구기준 평면(tool reference plane) P_r 사이의 각이며, 切削刃의 法線平面 P_n 에서 측정된다.

각 평면은 문자 P 에 해당평면을 의미하는 첨자를 써서 나타낸다. 여기에서 정의된 모든 평면과 각의 선택 기준점은 주절인(S)에 있다. 그러나, 선택점이 부절인상에 있다고 하면 평면 또는 각도 부절인을 표시하는 기호 “'”(prime)을 사용한다. 예를 들면, P'_s 는 공구의

표 9·1 공구각 및 작용각의 정의

()은	()	()	()	()	비 고
수직경사각	α_n	A_α	P_r	P_n	그림 9·8
작용(유효) 수직경사각	α_{ne}	A_α	P_{re}	$P_{ne}(\equiv P_n)$	그림 9·10
수직여유각	θ_n	A_θ	P_s	P_n	그림 9·8
작용수직여유각	θ_{ne}	A_θ	P_{se}	$P_{ne}(\equiv P_n)$	그림 9·10
주 절 인 각	K	P_s	P_f	P_r	그림 9·7, 9·8
작용주절인각	K_e	P_{se}	P_{fe}	P_{re}	그림 9·9, 9·10
절인경사각	i	S	P_r	P_s	그림 9·8
작용절인경사각	i_e	S	P_{re}	P_{se}	그림 9·10
선 단 각	ϵ_r	P_s	P'_s	P_r	그림 9·8
수직췌기각	$\beta_n(\equiv \beta_{ne})$	A_α	A_θ	$P_n(\equiv P_{ne})$	그림 9·8

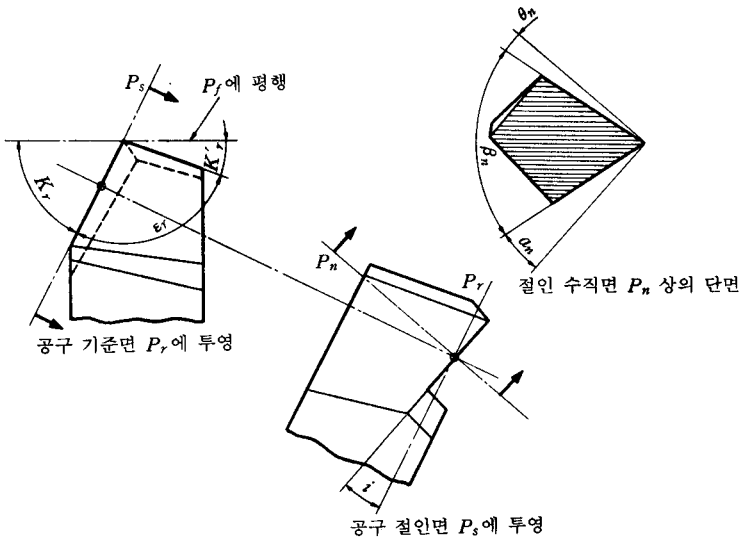
A_α : 경사면, A_θ : 여유면, S : 주절인, ('prime): 부절인

부절인 평면일 것이며, α'_n 는 공구 부절인의 수직경사각이다.

사용상의 system에서 평면 또는 각의 기호에 유효 또는 작용이라는 의미로 "e"를 첨자한다. 예를 들면, P_{se} 는 작용 切刃平面이며, α_{ne} 는 작용(有效) 수직 경사각이 된다.

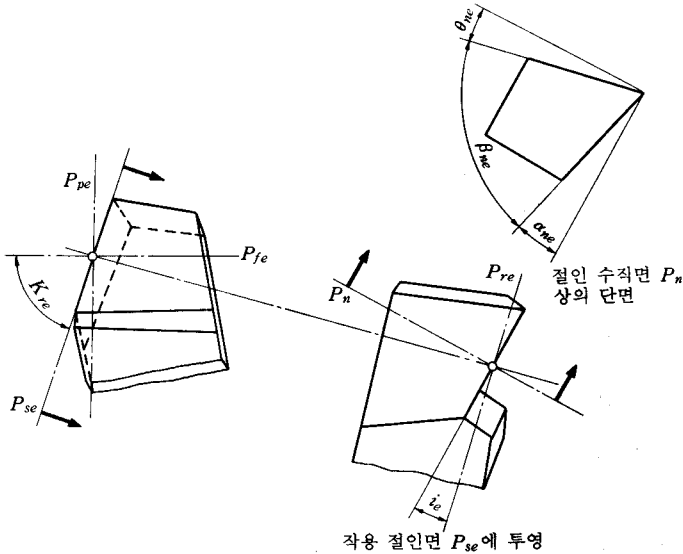
그림 9·11 과 그림 9·12는 單刃工具의 工具角과 작용각을 보여 준다.

실제에 있어서 合切削方向과 主運動(primary motion) 방향 사이의 각, 즉 合速度角 η 는 일반적으로 아주 작다. 따라서, 원통선삭 등에서는 공구를 기계에 항상대로 고정하여도 tool-in-use system이나 tool-in-hand system은 거의 일치한다. 그러나, 공구를 본래위치



K_r : 주절인각, K'_r : 부절인각, i : 절인경사각,
 α_n : 수직경사각, θ_n : 수직여유각, β_n : 수직췌기각,
 ϵ_r : 선단각

그림 9·11 단인공구의 각



K_{re} : 작용 주절인각, i_e : 작용 절인경사각, a_{ne} : 작용 수직경사각
 θ_{ne} : 작용 수직여유각, β_{ne} : 수직찌기각(β_n), ϵ_{re} : 작용선단각

그림 9·12 단인공구의 작용각

(tool-in-hand system에 따른 위치)와 다르게 方位를 취하면, 작용각은 공구각과 서로 크게 다를 것이다. 시스템을 서로 관련시키기 위하여 공작기계에서 공구의 方位를 정의할 필요가 있다. 이런 목적으로 평면과 각의 설치 system(setting system of planes and angles)이 필요하나 본서에서는 생략하기로 한다.

연 습 문 제

1. 공구의 手中 system(tool-in-hand system)과 사용상의 system(tool-in-use system)을 설명하라.
2. 표 9·1의 角을 표시할 수 있는 것은 그림 9·7~9·10 중에서 각각 어느 것인가?