



carbide 공구와 H.S.S. 공구가 도래하기 전에는 금속절삭에서 연속chip의 처리문제가 제기되지 않았었다. 낮은 절삭속도에서는 chip은 자연스럽게 말아지며 부서지는 경향이 있다. 그러나, 지금은 절삭속도가 증가하여 chip처리가 필요하게 되었다. 장시간 연속절삭을 하는 旋削에서 연속chip이 공구, 가공물 및 공작기계에 영여지며, 작업자에게 위험할 뿐 아니라 적절히 처리하지 않으면 切削刃에 기계적 chipping을 가져온다.

절삭유제를 공급할 때면 chip이 절삭유제의 유동을 방해하여 切削刃을 加熱과 冷却을 斷續的으로 하게 되고, 이 때 생기는 熱應力에 의하여 초경합금 등으로 된 공구의 수명이 감소된다.

연속chip을 대량취급하는 것이 하나의 중요한 경제적 문제를 제기하고 있으며, chip의 體積比(bulk ratio), 즉 chip이 차지하는 전체적을 uncut chip 체적으로 제한 값에 의해 chip 특성을 설명할 수 있다. 부서지지 않은 연속chip의 bulk ratio는 약 50, 뽀뽀히 감긴 chip의 bulk ratio는 약 15, 잘 부서진 chip의 bulk ratio는 3 정도이다. 따라서, 잘 부서진 chip의 체적은 부서지지 않은 것의 약  $\frac{1}{17}$ 에 해당되며, chip을 취급하고 제거하는 데 유리하다.

그림 10·1은 절삭작업에서 생길 수 있는 각종 chip 형태를 보여 준다. 긴 chip의 생성에서 오는 여러 가지의 위험과 기타의 문제 때문에 chip을 제어하고 부서지게 할 필요가 있다.

### 10·1 Chip의 말림

chip의 말림(curling) 형상은

- ① 상향 말림곡률(up-curling curvature)  $1/r$
- ② 측향 말림곡률(side-curling curvature)  $1/r$

1. ribbon chips	2. tubular chips	3. spiral chips	4. washer-type helical chips	5. conical helical chips	6. arc chips	7. elemental chips	8. needle chips
1.1 long	2.1 long	3.1 flat	4.1 long	5.1 long	6.1 connected		
1.2 short	2.2 short	3.2 conical	4.2 short	5.2 short	6.2 loose		
1.3 snarled	2.3 snarled		4.3 snarled	5.3 snarled			

그림 10·1 chip의 종류

③ chip 유동각  $\eta$  (≒ 절인경사각  $i_e$ )

의 조합에 의하여 정해지며, 그림 10·2 ( $\eta = 0^\circ, 15^\circ$ )는 이에 대한 예이다. 또한, 위의 3인자에 chip 두께, 폭 및 길이가 영향을 미친다.

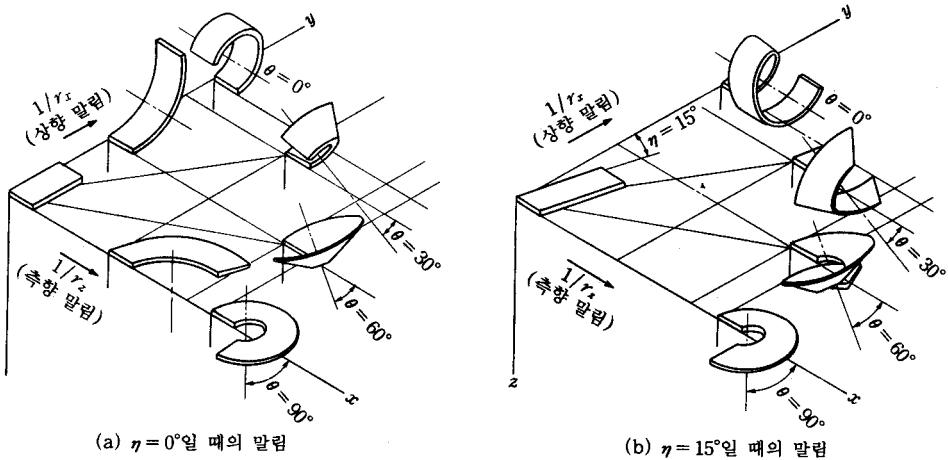


그림 10·2 chip의 말림

생성된 chip의 정보를 전할 때는 그림 10·3과 같이 표시된다.

- ① 바깥 지름  $2r$
- ② pitch  $p$
- ③ coil축과 chip 표면간의 각  $\theta$ 의 기호를 이용한다.

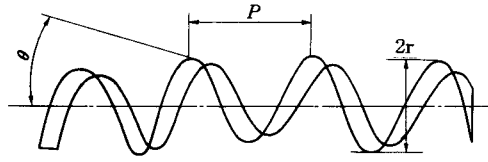
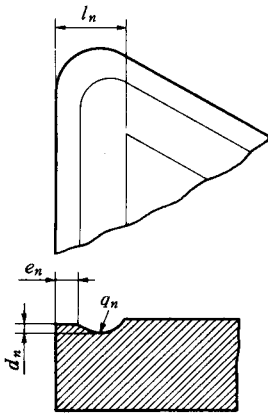


그림 10·3 chip 형상의 표현

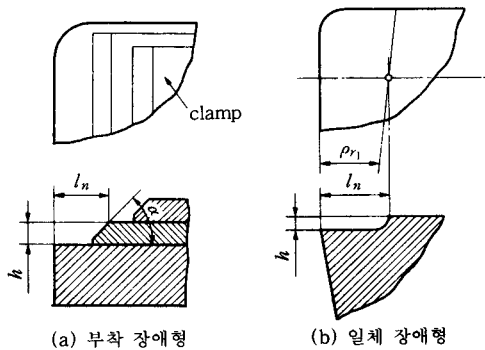
### 10·2 Chip breaker

chip을 제어하고 부스러지게 하는데에는 공구 경사면을 변형시키는 chip breaker가 필요하다. chip breaker는 경사면 자체에 홈 또는 돌기로 성형되거나 별도의 부착물로 되어 있다.

그림 10·4와 그림 10·5는 chip breaker의 중요한 치수표시를 보여 주며, chip breaker는 chip의 곡률 반지름을 조정해서 chip의 유동방향을 유도하며, chip을 짧게 부스러지게 한다. 따라서, 공구를 설계할 때는 chip의 공구 경사면에 따라 적당한 방향으로 유동할 수 있도록 하여야 한다. chip의 유동방향은 작용(유효)主切刃傾斜角( $i_e$ )에 따라 달라진다는 것을 앞에서 설명하였다.



$d_n$  : chip breaker 홈 깊이  
 $e_n$  : chip breaker land 폭  
 $l_n$  : chip breaker 거리  
 $q_n$  : chip breaker 홈 반지름



(a) 부착 장애형 (b) 일체 장애형

$h$  : chip breaker 높이  
 $l_n$  : chip breaker 거리  
 $\alpha$  : chip breaker 뺨기각  
 $\rho_{r1}$  : chip breaker 각

그림 10·4 홈(groove)形 chip breaker      그림 10·5 障礙(obstruction)形 chip breaker

절삭인의 경사각  $i_e$ 가  $0^\circ$ 이면 2차원 절삭(orthogonal cutting)에서와 같이 되며, 그림 10·6(a)와 같은 螺旋形 chip이 발생하고, 단단히 말리기 시작한다(주절인의 위치와 chip의 형태는 2차원 절삭과 유사하나 절삭저항이 3차원적으로 작용되므로, 엄밀한 의미에서는 3차원 절삭에 속하기 때문에 잠정적 표현으로 2차원적 절삭이라 칭한다). 절삭이 진전됨에 따

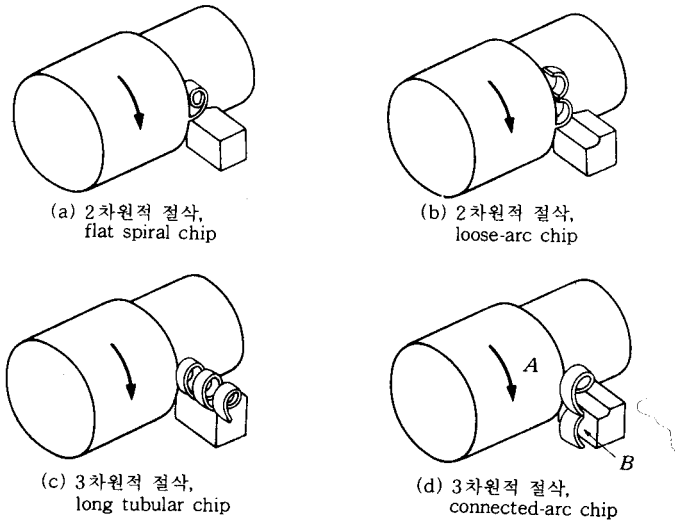


그림 10·6 旋削에서 chip 형태의 종류

라 점점 chip 곡률 반지름이 증가하면 chip의 응력이 증가하여 chip의 요철이 있는 쪽의 면에서 균열이 시작되고 마침내 파단된다. 고속절삭에서 chip이 자연스럽게 말려지지 않고 chip breaker가 없다면, 절삭이 계속됨에 따라 직선 또는 서로 얽히는 ribbon chip이 발생한다.

그림 10·6(b)는 chip이 가공되고 있는 면에 부딪쳐 작은 조각으로 부서지게 하는 가공물 장애형 chip breaker를 보여 준다. 이 때 arc chip을 형성하는 그 파편이切削域에서 갑자기 튕겨져 작업자에게 위험을 주는 경우가 있다.

作用主切削刃의 傾斜角  $i_e$ 가  $0^\circ$ 가 아닌 전형적인 3차원 절삭에서는 tubular, washer-type helical 또는 conical helical과 같은 긴 chip이 생성되어 서로 얽힐 수 있다. 그림 10·6(c)와 같이 tubular chip의 생성에서 chip의 나선각은 chip의 유동각과 거의 같고, 따라서 作用主切削刃의 傾斜角  $i_e$ 와도 거의 같다. 그러나 drilling과 같은 대부분의 경우에는 切削速度가 主切削刃의 위치에 따라 변하여 washer-type이나 conical-helical-type의 chip이 생성된다. 이러한 조건에서 chip의 파단을 유도하기 위해서는 chip breaker에 의하여 chip의 곡률 반지름을 조정하여야 한다. 그리고 작용주절삭인자  $K_e$ 와 작용주절삭인의 경사각  $i_e$ 는 chip의 自由端을 그림 10·6(d)와 같이 하여 공구의 여유면에 부딪칠 수 있게 하는 여유면 장애형이 있다.

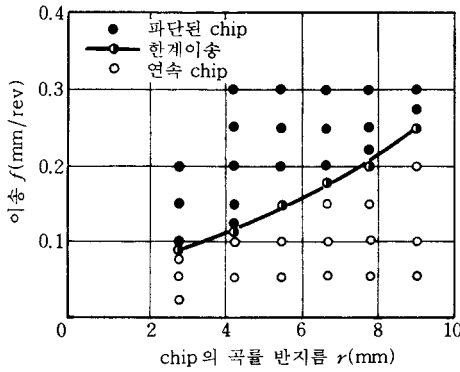
그림 10·6(d)에서 chip의 자유단은 가공물의 가공될 면의 점 A에 부딪치고, 회전이 계속되면 그 자유단은 밀려나와 공구 여유면에 부딪쳐서 곡률 반지름이 증가되고, 응력이 증가되어 드디어 파단된다. 이러한 절삭과정에 의하여 arc형 chip이 생성되고 곡률 반지름은 臨界값에 달하게 된다. 곡률 반지름이 너무 크면 chip이 공구에 부딪치지 않고 그 주위를 감게 되고, 곡률 반지름이 너무 작으면 chip이 공구면을 접촉하면서 빠져나와 tubular 또는

helical chip이 생긴다. 이 때 chip이 그 자체의 무게와 운동에 의하여 파단되기도 한다.

Hendriksen은 chip을 너무 잘게 부서진 chip(overbroken chip), 적당하게 부서진 chip (efficiently broken chip) 및 너무 크게 부서진 chip(underbroken chip) 세 가지로 분류했다. 일반적으로 서로 연결된 arc chip(connected arc chip)을 efficiently broken chip이라 한다.

기하학적으로 적당한 chip 생성을 할 수 있는 형상의 공구로 선삭할 때 생성되는 broken chip의 형태는 이송에 의해 조정할 수 있다. 이송의 변화는 chip 두께와 곡률 반지름에 영향을 주기 때문이다. 즉, underbroken chip을 efficiently broken chip으로 바꾸기 위해서는 이송을 증가시켜야 한다.

그림 10·7은 Nakayama의 실험결과인데 이송이 클수록, chip의 곡률 반지름이 작을수록 파단 chip(broken chip)의 생성이 용이해진다는 것을 알 수 있다.



S 45C를 1.83m/sec의 절삭속도로 절삭

그림 10·7 chip 곡률 반지름과 이송이 chip 파단에 미치는 영향

延性材料를 취성재료로 대체 함으로써 길고 위험한 chip의 문제를 피할 수 있다. 그러나 대부분의 경우에는 강도와 같은 기능적인 요구 때문에 위와 같은 재료의 대체가 불가능하다. 쾌삭강은 공구수명을 크게 하고 강도의 희생없이 broken chip을 얻기 위하여 개발된 재료이다. 쾌삭강 내에서 MnS 및 Pb 입자의 크기와 형상을 조정하면 chip의 延性を 줄일 수 있다.

Al, Cu 및 이들 합금과 같은 延性金屬의 선삭 및 drilling에서 알맞게 부서진 chip을 얻는 것은 쉽지 않기 때문에, 값비싼 자동공작기계에서 chip을 수작업으로 제거하기 위한 인부를 배치하거나, 그림 10·8에서 보여 주는 특별장치를 채용하여 긴 연속chip을 chip감음 바퀴 또는 전단기에 안내한다.

그림 10·9에서와 같이 twist drill의 상부에 taper collar를 부착하면, chip이 drill에 달라붙는 것을 막는 데 아주 효과적이라 한다.

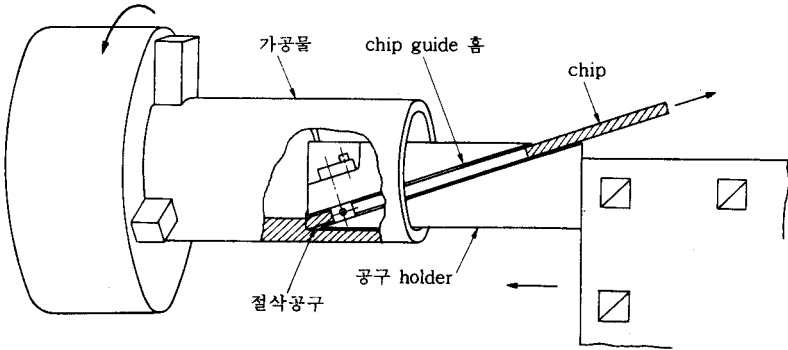


그림 10-8 chip 안내장치

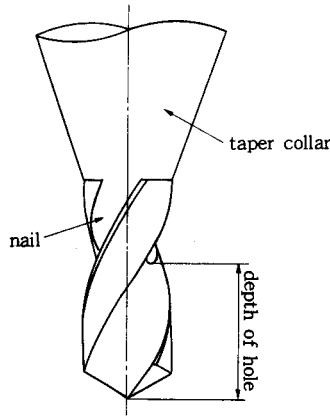


그림 10-9 drill에 taper진 collar의 부착

이 밖에 자동절삭가공 system의 발전과 더불어 chip 운반기, chip 분쇄기, chip-oil 분리기 등이 개발되어 산업체에서 사용되고 있다.

### 10-3 Chip 曲率 반지름

수많은 형태의 공구설계에 있어서 chip의 파단거동을 일일이 예측할 수는 없으나, chip breaker를 사용할 때 chip의 곡률 반지름을 예측할 수 있는 몇 가지 방법을 경험에서 알았다.

障礙形(obstruction-type) chip breaker에 대하여 chip은 chip-공구접촉 끝에서 말리기 시작하고, chip이 chip breaker에 닿은 후에는 일정한 곡률 반지름을 유지한다. 그림 10-10에서 chip의 곡률 반지름  $r$ 는 다음과 같다.

$$r^2 = (l_n - l_f)^2 + (r - h)^2$$

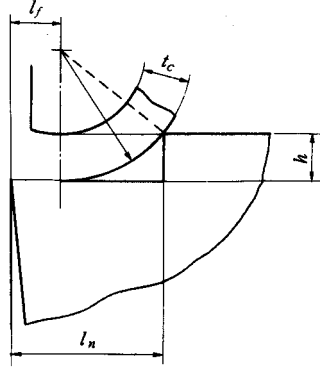


그림 10·10 일체 장애형 chip breaker 에서 chip 곡률 반지름

$$\therefore r = \frac{(l_n - l_f)^2}{2h} + \frac{h}{2} \tag{10·1}$$

여기서  $l_n$  : chip breaker 거리  
 $l_f$  : chip 과 공구의 접촉 길이  
 $h$  : chip breaker 의 높이

Creveling, Jordan 및 Thomsen 은 chip 과 공구의 접촉 길이에 대해서 연구하고, 다음과 같은 것을 발표하였다.

$$\frac{l_f}{t_c} = K \tag{10·2}$$

여기서  $K$  : 가공재료에 대한 상수,  $t_c$  : chip 두께이다.  
 식 (10·1)과 식 (10·2)에서

$$r = \frac{(l_n - K \cdot t_c)^2}{2h} + \frac{h}{2} \tag{10·3}$$

鋼에서  $K = 1$  이므로

$$r = \frac{(l_n - t_c)^2}{2h} + \frac{h}{2} \tag{10·4}$$

그림 10·11 에 의하면 식 (10·4)와 실험결과가 잘 일치한다.

그림 10·12와 같은 附着障礙形 chip breaker 에 대하여 chip 의 곡률 반지름은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} r &= [(l_n - l_f) - h \cdot \cot \alpha] \cdot \tan \frac{\pi - \alpha}{2} \\ &= [(l_n - l_f) - h \cdot \cot \alpha] \cdot \cot \frac{\alpha}{2} \end{aligned} \tag{10·5}$$

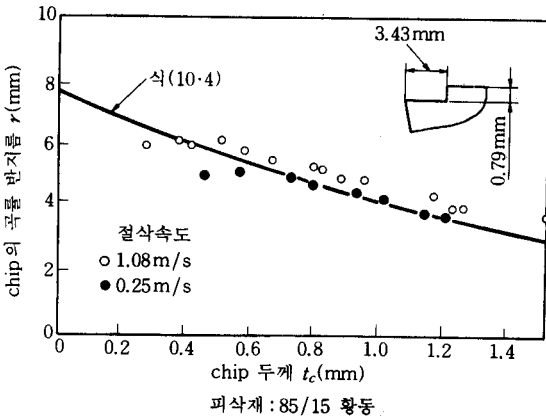


그림 10·11 chip 두께가 chip 곡률 반지름에 미치는 영향(after Trim and Boothroyd)

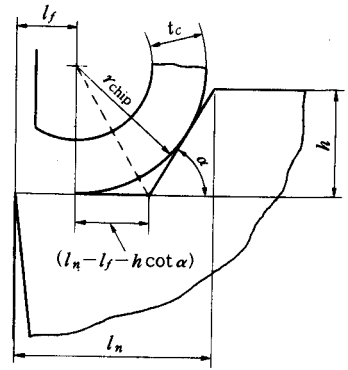


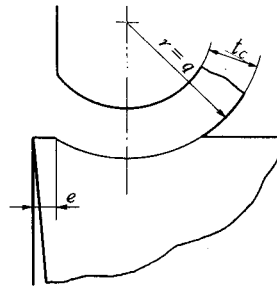
그림 10·12 부착형 chip breaker에서의 chip 곡률 반지름

여기서  $\alpha$ : chip breaker 쉐기각

$l_f = t_c$ 라 하면(강의 경우)

$$r = [(l_n - t_c) - h \cot \alpha] \cdot \cot \frac{\alpha}{2} \quad (10\cdot6)$$

그림 10·13 과 같은 홈形(grooved-type) chip breaker에서  $e < l_f$ 일 때에만 chip은 groove를 따라 유동하며  $r = q$ 의 곡률 반지름을 형성한다.



q: chip breaker 홈의 곡률 반지름  
e: chip breaker land 폭

그림 10·13  $e < t_c$ 일 때 홈형 chip breaker에서의 chip 곡률 반지름

### 10·4 Chip breaking 中 工具磨耗

공구가 마모될 때 공구면(tool face)에 crater가 생기는데, 이 crater의 형상은 chip의 말림형상에 따라 달라지므로 chip breaker의 설치는 공구마모에 영향을 준다. 역으로 crater가 평면공구에 생기면 crater는 chip breaker의 역할을 하게 된다. 그림 10·14는 동



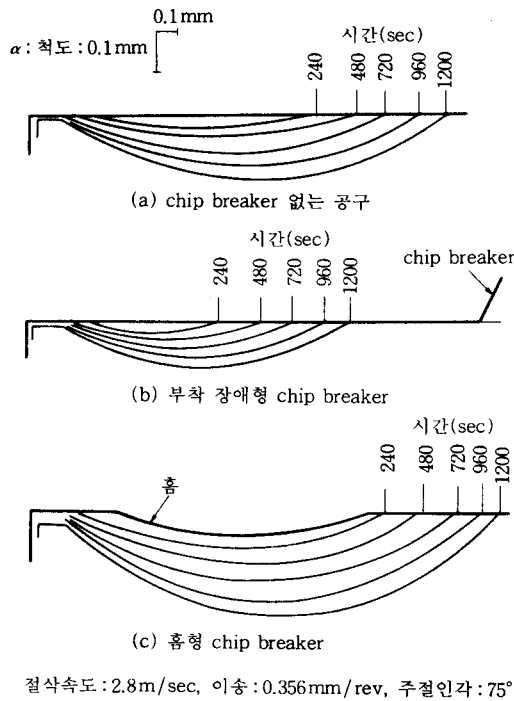


그림 10·14 AISI 1045의 열간 압연재를 carbide 공구 (Kennametal-K4H)로 절삭할 때의 crater 마모

일 절삭조건에서 3개의 공구에 대한 마모실험 결과를 보여 준다. 공구면의 마모형상은 4분 간격으로 측정되었다.


그림 10·14(a)와 같은 첫 번 실험에서 평면공구를 사용하였다. 처음에는 긴 ribbon chip 이 생기고, 시간이 지남에 따라 crater 때문에 점점 말리게 되었다. 8[min](480[sec]) 후에는 crater가 chip breaker의 역할을 하였다.

두 번째 실험인 그림 10·14(b)에서는 부착 장애형 chip breaker가 채용되었다. 이 방법은 chip의 곡률 반지름과 chip 파단을 제어할 수 있을 뿐 아니라 공구면의 마모를 감소시킨다는 것을 알 수 있다. 그러나, 마모가 계속됨에 따라 11[min](660[sec]) 후에는 chip의 곡률 반지름이 감소하여 chip이 너무 잘게 부서졌다.

세 번째 실험인 그림 10·14(c)에서는 흠형 chip breaker가 채용되었다. 여기에서도 11[min](660[sec]) 후에 chip의 곡률 반지름의 감소에 의하여 chip이 너무 잘게 부서지는 현상이 있었다. 이 실험에서 마모율은 평면공구의 것과 같았으나, 흠형 chip breaker에 의하여 chip 파단이 생기지 않는 기간은 없었다.

이 실험들에서 장애형 chip breaker는 공구면의 마모율을 감소시킨다는 것을 알았다. 공구 여유면의 마모는 0.25[mm]에 불과하나, 만족스런 chip 파단은 처음 11[min](660[sec]) 동안만 나타나므로 이 시간이 유효공구수명으로 된 셈이다.

결론은 유효공구수명은 chip breaker를 사용함으로써 감소된다는 것이다. 왜냐하면, 공구의 마모가 상당히 클 때까지는 chip 파단의 작용이 없기 때문이다.


**연습문제**

1. 單刃工具에 單體障礙形 chip breaker가 설치되어 있다. helical형 chip이 생성되도록 한 陽의 作用主切削刃의 傾斜角  $i_e$ 를 갖는 공구이다. chip breaker의 높이가 0.5[mm], chip breaker 거리는 1.5[mm]이다. uncut chip 두께(undeformed chip 두께)는 0.05[mm], 절삭비(cutting ratio)는 0.2이다. chip의 폭이 2[mm]일 때 연속chip coil이 서로 겹치지 않도록 하는 最小作用主切削刃의 傾斜角을 정하라. 다만, chip과 공구의 접촉 길이는 chip 두께와 같다.

[답]  $10^\circ$

2. 단체 장애형 chip breaker의 높이가 1[mm], chip breaker 거리는 4[mm]이다. chip 두께가 0.8[mm]일 때 chip이 만족스럽게 부서진다고 한다. 단체형 chip breaker와 동일한 舉動을 갖도록 하는 부착 장애형 chip breaker에서 chip breaker의 거리를 얼마로 하면 되겠는가? 다만, chip과 공구의 접촉 길이는 chip 두께와 같고 부착 장애형 chip breaker의 높이는 2[mm], chip-breaker 썸기각은  $45^\circ$ 이다.

[답] 5.32[mm]