

■■■■■■■■■■
技術講座
■■■■■■■■■■

주철의 절삭가공

박희상 · 김정석* · 박익민†

Machining of Cast Iron

Hee-Sang Park, Jeong-Suk Kim* and Ik-Min Park†

1. 서 언

근래의 산업계를 둘러싼 상황은 한층 높은 생산비용의 절감과 품질향상을 추구하고 있다. 특히 부품가공 공정에서는 생산능률 향상을 위해 고속화, 자동화가 추진되고, 또 품질 향상을 위해 고정도화가 중요시되고 있다. 많은 경우에 주조나 성형공정을 통하여 가공된 부품들은 요구되는 치수정확도를 가진 최종 제품으로 완성되기까지 여러 가지 후속 공정들을 필요로 하며, 제조산업 분야에서 이를 위한 다양한 소재제거공정(material-removal process)들이 널리 사용되고 있다. 오늘날 절삭가공은 산업계에서 매우 큰 비중을 차지하고 있는데 이는 자동차, 가전제품, 항공기, 공작기계, 철도차량산업 등의 많은 분야에서 이를 이용하여 제품을 생산하고 있기 때문이다. 이와 같은 산업제품의 성능향상 요구에 따라 최근 신소재의 개발, 정밀가공기술의 응용 등이 두드러지고 있으며, 생산성 향상 및 제품의 원가절감을 목적으로 한 공정의 합리화·자동화·고속화 등의 영향으로 절삭가공분야에서도 새로운 기술축적이 요구되며, 이를 위하여 이러한 분야에 대한 지속적인 연구개발이 진행되고 있다. 여기서는 주철의 절삭가공에 있어서의 절삭성과 가공특성을 설명하고자 한다.

2. 절삭가공의 정의 및 절삭성 평가 기준

절삭가공이란 상대적으로 경도가 높은 절삭공구

(cutting tool)를 사용하여 피가공물(workpiece)의 불필요한 부분을 얇은 두께의 칩(chip)의 형태로 제거함으로써 공작물을 원하는 형태로 만드는 작업을 의미한다.

기계가공에서 최소의 생산비 또는 최대의 생산성을 실현하기 위해서는 적절한 절삭속도, 피드, 절삭깊이 등 절삭조건 선택이 중요하다. 그런데 이러한 절삭조건들의 최적화는 소재의 절삭성과 깊은 연관을 가지며 효율적인 가공을 위해서는 가공소재의 절삭성 및 일반적인 화학조성과 기계적인 성질을 아는 것이 필수적이다.

절삭성이란 어떤 주어진 조건하에서 소재가 가공될 때, 그 가공성이 쉽거나 어려운 정도에 대한 재료의 성질로 정의된다. 절삭성을 평가하는 기준은 크게 절삭가공면, 절삭공구의 마멸·손상, 절삭칩 및 절삭저항 등이다[1].

첫째, 「절삭가공면」으로 절삭가공의 목적은 정밀도 높은 우수한 표면을 얻는 것이며, 그 표면의 형상은 치수, 조도 및 가공변질층의 유무 등으로 평가할 수 있다.

둘째, 절삭가공시 발생하는 「절삭공구의 마멸·손상」의 현상이다. 이것은 생산비용에 영향을 주는 중요한 인자로서 마멸, 손상 및 인선 변형의 세가지 항목 등을 통하여 절삭공구의 수명에 따라 평가할 수 있다.

셋째, 절삭가공시 생기는 「절삭칩」이다. 이것의 형상과 색채는 절삭상태를 나타내는 많은 정보를 포함하고 있다. 또 자동화된 공작기계에는 절삭칩이 기계에 말리지 않는 것이 원활한 자동운전의 조건이 된다.

부산대학교 재료공학부(Department Metallurgical Engineering, Pusan National University)

*부산대학교 기계공학부(Department Mechanical Engineering, Pusan National University)

†E-mail : impark@hyowon.pusan.ac.kr

이것은 절삭칩의 모양, 색채 및 그 처리성에 따라서 평가할 수 있다.

넷째, 절삭작업에 수반되어 관측되는 절삭온도, 진동, 음향 등의 「절삭저항」이다. 이것은 절삭상태를 나타내는 중요한 인자이면서 위의 세가지 항목을 간접 측정하기 위한 신호로서 사용되는 경우가 많다.

3. 주철 절삭가공의 특징

3.1 주철 물성인자의 영향

표 1에서는 주철의 대표예인 회주철과 구상흑연주철의 물성치를 연강과 비교하여 나타내었다.

표 1의 물성치로부터 생각할 수 있는 주철 절삭의 특징 혹은 주의사항은 다음과 같다.

(1) 비중, 비열은 연강에 비해 큰 차이는 없다. 탄성계수는 크게 달라 회주철은 연강의 1/2이하, 구상흑연주철은 70%정도이다. 이러한 강성의 저하에 따른 변형은 연강보다 크게 되므로, 가공물의 고정방법 등에 신중한 처리가 요구된다.

(2) 열전도도는 연강에 비교해서 나쁘다. 공작물내의 온구구배가 크기 때문에 가공정도를 높이기 위해서는 온도가 균일하게 되게 충분한 시간을 두고 절삭할 필요가 있다는 것을 알 수 있다. 단지 열팽창계수가 연강보다 약간 낮은 것은 유리하게 작용한다.

(3) 전기저항은 연강의 수배이다. 이것은 통전가열절삭을 할 때는 유리한 성질이다.

(4) 진동에 대한 감쇠능은 연강보다 훨씬 크다. 이것은 당연히 진동에 대해 유리하게 작용한다.

3.2 주철 조직의 영향

주철은 흑연(graphite)과의 복합조직을 가지기 때문에 절삭가공시 몇가지 특징을 발견할 수 있다.

(1) 주철가공시 절삭칩은 연속성이 없이 작은 조각으

로 생성된다. 이것은 절삭칩처리를 용이하게 하고 특히 자동화된 공작기계에는 귀중한 성질이다.

(2) 조직 중의 흑연은 공구와의 마찰에 대해 자기윤활성이 있다. 이 때문에 절삭온도, 절삭저항은 일반적으로 낮고 절삭유가 필요없고 또한 절삭유를 사용하는 경우도 있지만, 이 때는 수성을 사용한다.

(3) 복합조직이기 때문에 완전한 평면 가공이 힘들다. 버핑(buffing) 마무리 가공으로 경면이 되지만, 흑연부분의 탈락에 의한 작은 패임이 생기기 쉽다.

3.3 주조공정의 영향

(1) 응고시 냉각속도의 차이로 인한 국부적인 조직 변화가 있고, 이것이 공구수명, 가공정밀도에 영향을 준다.

(2) 주물표면의 흑피나, 모래혼입 그리고 내부의 수축공 등은 절삭가공시 공구수명을 단축시킨다.

이처럼 주철절삭에는 몇가지 특징, 문제점이 있다. 이것들의 문제해결에는 기술자의 경험과 직감력, 독창력에 의존하는 바가 많다.

4. 주철의 절삭성

주철의 절삭성은 다른 철강재료에 비하여 매우 우수하다. 이는 조직 중의 흑연이 칩 브레이커(chip breaker)로서 역할하여 절삭칩을 세분시키며, 또 흑연분이 바이트(bite)와 피삭재간의 고체윤활제로 작용하기 때문이다. 그러므로 기지조직의 경도뿐만 아니라, 흑연의 형상, 크기 및 분포상태 등이 주철의 절삭성에 영향을 미친다.

주철의 절삭가공시 흑연의 표면탈락에 따른 흠집이 생기는 경우가 종종 있는데, 이러한 현상에 대한 몇가지 실험예를 다음에 서술한다[2].

표 1. 주철의 물성

구분	연강(MS)	회주철(GC)	비(GC/MS)	구상흑연주철(DC)	비(DC/MS)
비중	7.86	7.18	0.913	7.1	0.903
비열 cal/°C	0.114	0.132	1.16	0.12	1.05
탄성계수 kg/mm ²	21150	10250	0.485	15400	0.728
열전도율 kcal/mh°C	48	38	0.792	28.8	0.6
열팽창계수 × 10 ⁻⁶ /°C	11.22	10.5	0.936	10	0.891
전기비저항 μΩcm	14.8	95	6.42	62	4.19
감쇠능	소	대	대	중	대

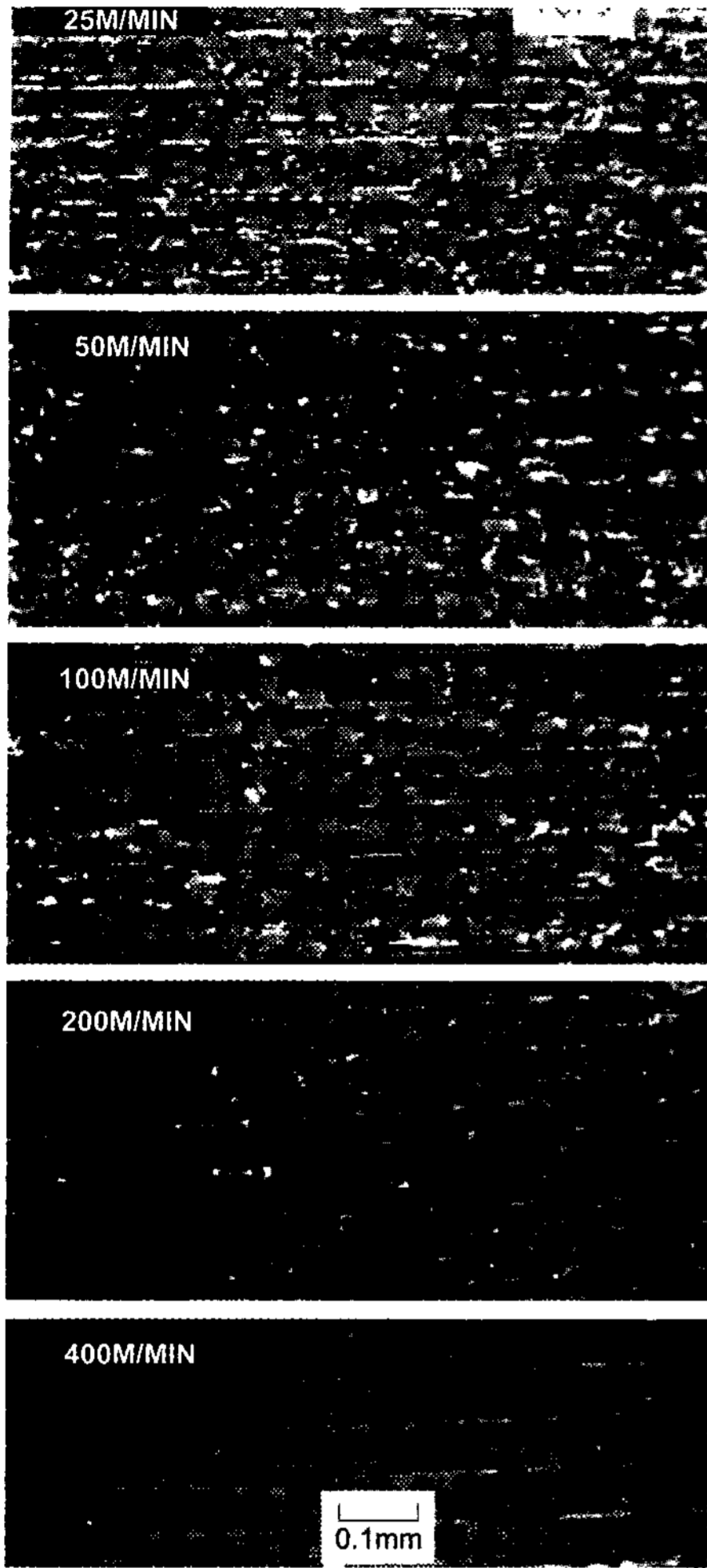


그림 1. 주철의 절삭가공면
 피삭재 : GC25, 이송속도 : 0.1 mm/rev, 절삭깊이 : 0.3mm.

그림 1은 회주철(GC25)을 여러 가지의 절삭속도로 가공했을 때 절삭면의 사진이다. 저속으로부터 절삭속도 100 m/min 근처까지는 다량의 부착물의 탈락흔적이 절삭면에 나타나고, 전송 마크도 불명확하다. 절삭속도가 100 m/min 이상이면 부착물 양은 감소하나, 약 10 μm 정도의 흠이 발생하는데, 이는 흑연형상, 크기와는 일치하지 않는다. 이는 절삭속도를 높이면 감소하는데, 부착물의 생성·탈락에 기인한다.

그림 2는 이러한 패임흔적의 전자현미경 사진이다. 강절삭에서의 부착물의 생성, 탈락으로 생긴 흔적과 유사함을 알 수 있다.

절삭능이 좋은 절삭공구를 사용해서 절삭깊이를 아

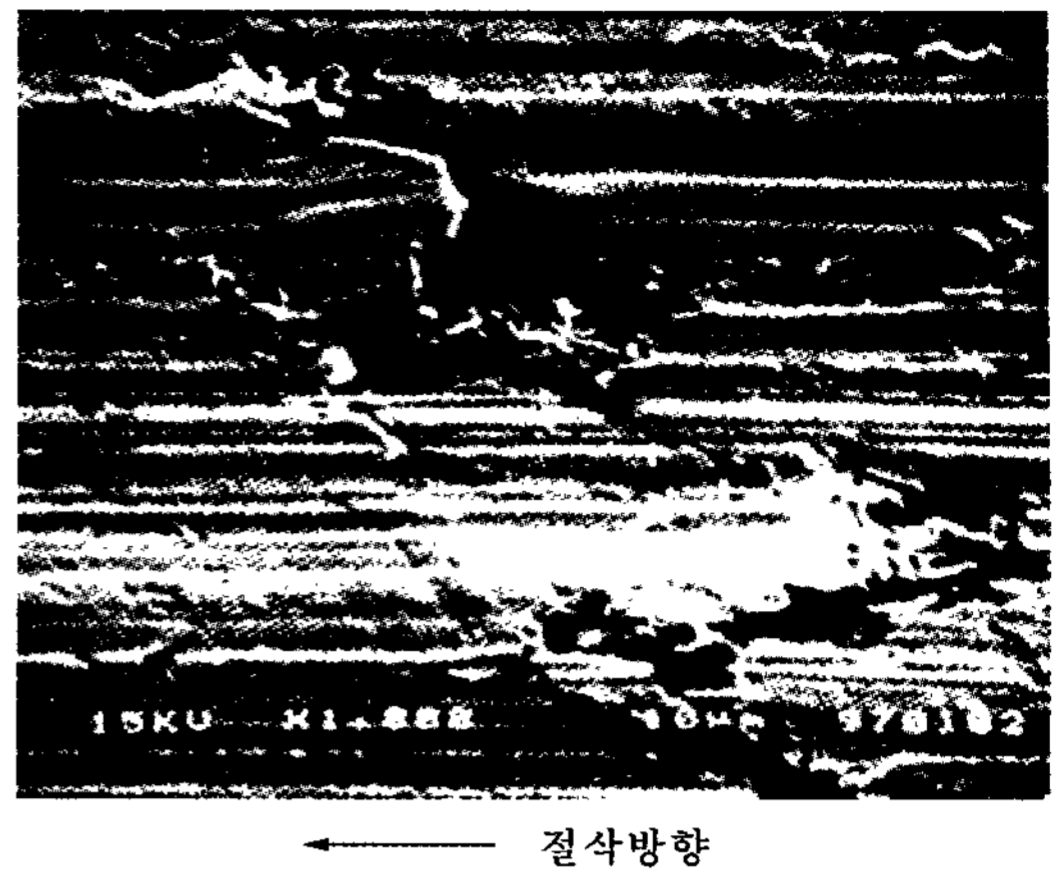


그림 2. 주철의 절삭면에 보이는 패임흔적
 피삭재 : GC25, 절삭속도 : 200 mm/min.

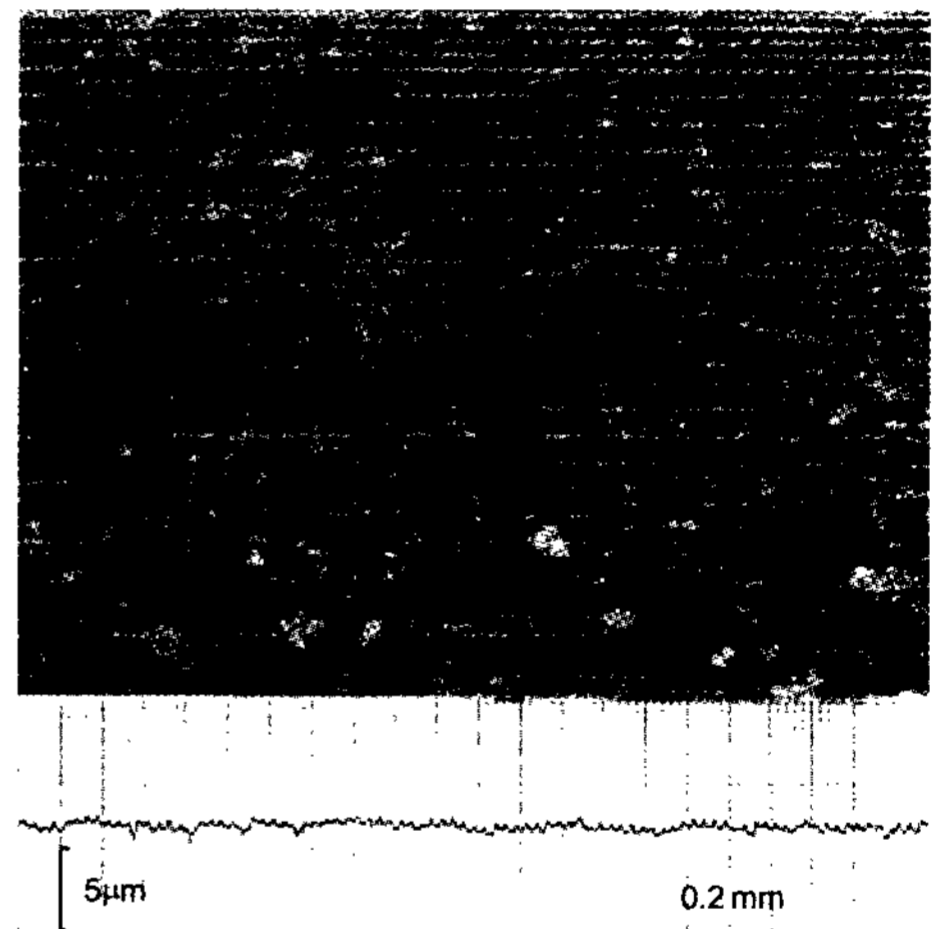


그림 3. 주철(GC25)의 정밀절삭면과 조도
 절삭속도 : 185 m/min, 이송속도 : 0.025 mm/rev
 절삭깊이 : 0.08 mm.

주 작게하고, 미소전송으로 고속절삭하면 이러한 문제의 해결이 가능하다.

그림 3은 이 실험의 결과로서 GC25를 미소이송으로 절삭했을 때 절삭면의 사진과 조도를 표시한 것이다. 사진에서는 편상의 흑연이 그대로 절삭된 모양도 살필 수 있고, 이송흔적도 명료하고, 표면조도도 1 μm 이하가 되어서 위의 생각이 옳다는 것을 알 수 있다. 보다 고속으로 절삭하면 더욱 양호한 표면을 얻을 수 있으리라 생각되지만 실험에 의한 확인이 필요하다.

이처럼 절삭능이 좋은 공구로 얇은 깊이로 절삭을 하면 주철에서도 상당히 좋은 표면을 얻을 수 있다는

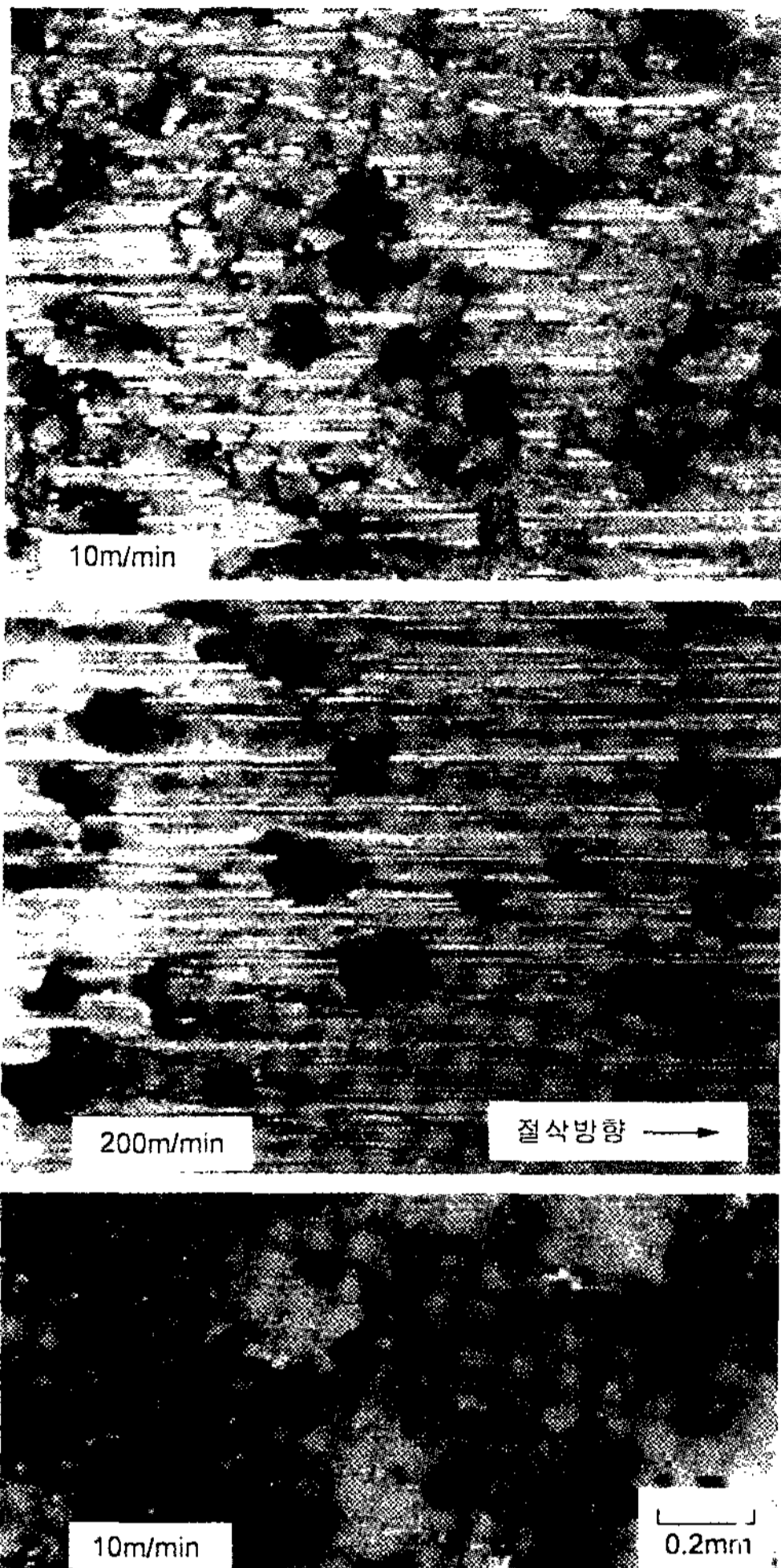


그림 4. 주철(GCD60)의 절삭면과 탈락한 흑연 이송속도 : 0.1 mm/rev, 절삭깊이 : 1 mm.

사실을 알 수 있지만 이것은 흑연의 형상과 크기에 의존한다. 미세한 편상흑연의 경우에는 표층의 금속의 유동에 따라서 흑연부가 덮히는 경우도 있어, 위에서 서술한 것처럼 평활한 면을 얻을 수 있지만, 구상흑연주철로 흑연의 형상이 큰 경우에는 흑연의 탈락이 발생한 곰보상태의 표면이 된다. 그림 4는 비교적 입경이 큰 구상흑연주철의 절삭면의 예로서 흑연의 탈락을 보여주는 경우이다. 절삭시 탈락한 흑연입의 사진을 병행하여 나타낸다.

그림 5는 GC25을 3000번 연마지로 연마한 것과 버핑연마한 것을 비교한 것이다. 연마지 연마의 경우 평활하고 흑연의 표면에의 노출은 적다. 버핑연마의 경우 광택은 있으나 오히려 표면조도가 크다. 기계부품으로 어느 쪽이 좋은지 토론의 대상이 되고 있다.

그림 6은 주철 절삭면의 표면조도와 절삭속도와의

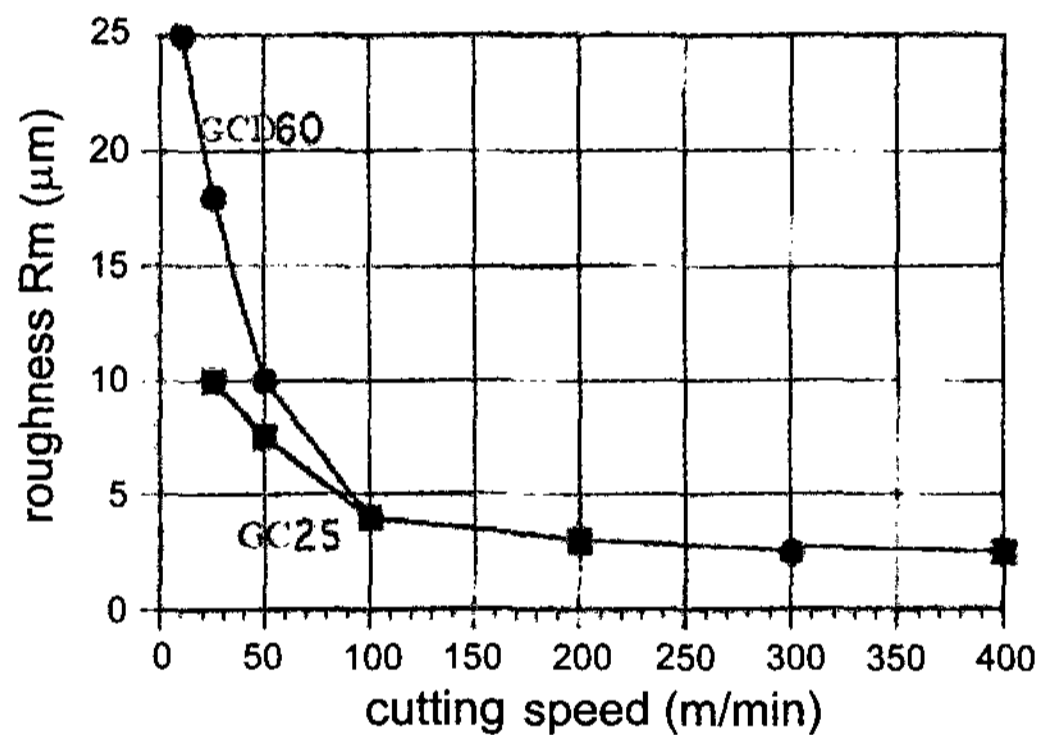


그림 6. 주철 절삭면의 조도와 절삭속도와의 관계 이송속도 : 0.1 mm/rev, 절삭깊이 : 1 mm.

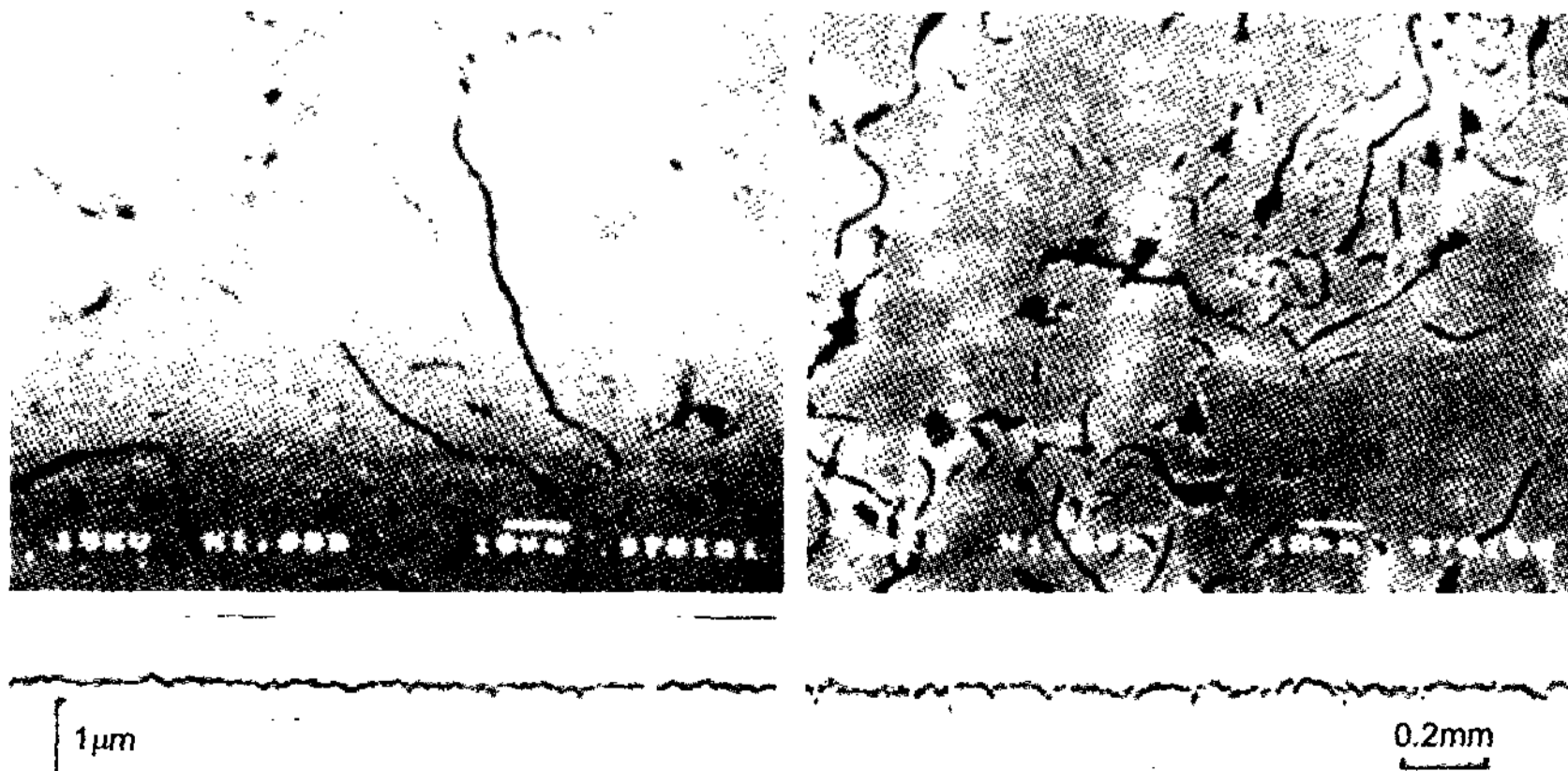


그림 5. 주철(GC25)의 절삭면 좌 : #3000 연마면, 우 : 버핑연마면.

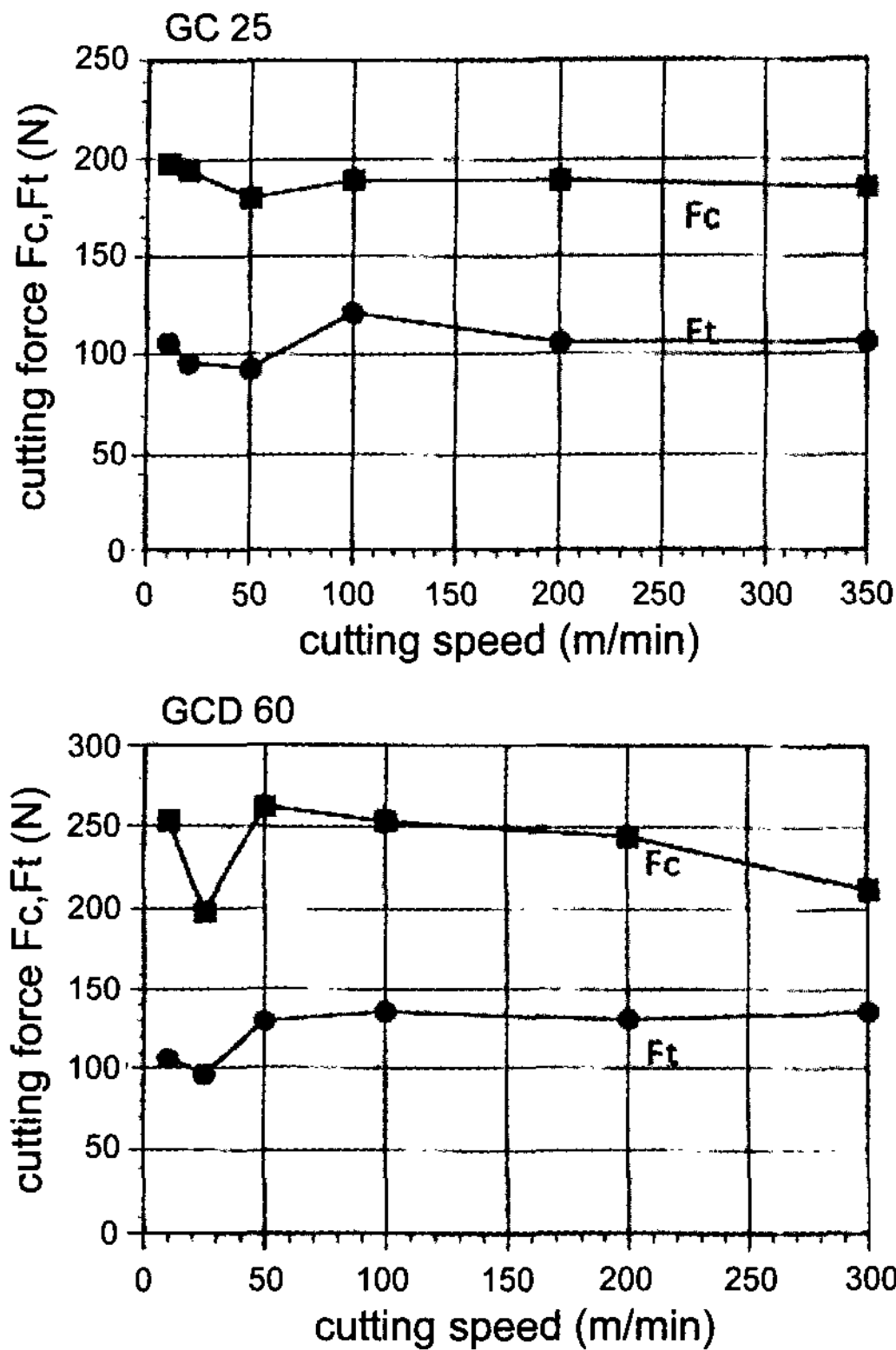


그림 7. 주철 절삭에 있어서의 절삭저항
 이송속도 : 0.1 mm/rev, 절삭깊이 : 1 mm
 F_c: 절삭저항, F_t: 이송저항.

관계를 나타낸 것이다. 연강 절삭에서 나타나는 현상과 유사하다. 표면조도의 이론치(S²/8R, S:이송, R:공구의 날끝반경)는 이 경우 1.6 μm이다. 절삭속도가 증가할수록 표면의 조도가 양호해지는 것을 알 수 있다.

지금까지는 표면형상에 대해 설명했는데, 다음으로 주철절삭에 있어서 절삭저항에 대해 설명한다.

그림 7은 GC25와 GCD60의 절삭저항과 절삭속도와의 관계를 표시한 그림이다. 강절삭에 비해 절삭저항의 절대치가 적은 것이 눈에 띈다. 저속영역에서 구성인선(built-up edge)때문이라고 생각되는 절삭저항의 감소가 보이고, 절삭속도가 증가함에 따라 절삭저항이 서서히 감소하는 경향이 있는 것은 강절삭과 유사하다.

5. 주철의 기조직과 절삭성

주철조직, 경도 및 절삭성은 서로 깊은 연관성을 가진다.

표 2. 주철의 절삭성에 미치는 기조직의 영향

기조직	인장강도 (kg/mm ²)	BHN	절삭속도 (m/min)
침상조직(acicular)	41.3	263	45.5
미세 퍼얼라이트	31.2	225	93.9
페라이트(소둔)	11.0	100	292.0
조대 퍼얼라이트	24.5	195	98.4

표 2에 편상흑연주철의 절삭성에 미치는 기조직의 영향을 나타내었다[3]. 이 자료는 바이트 선단부의 마멸이 0.03in이 될 때까지 200in³의 절삭량이 되는 절삭속도로 가공한 경우이다. 이 표에서 베이나이트(bainite) 기지인 침상조직(acicular)주철이 가장 절삭성이 나쁘며 미세 퍼얼라이트(pearlite)주철의 약 1/2 정도이다. 이상과 같은 두 예로 보아 절삭성을 개선하려면 페라이트(ferrite)기지로 만들어야 된다. 그러나 실린더 라이너(cylinder liner)와 같은 내마모성과 강도를 요구하는 부품에서는 페라이트 조직이 없어야 됨으로 어느 정도 절삭성을 희생할 수 밖에 없다.

절삭성에 대한 첨가원소의 영향을 보자. 유리탄화물의 석출을 방지하는 원소인 Ni 및 Cu를 0.5~1.5% 정도 첨가하면 절삭성이 향상된다. 한편 탄화물 안정화원소인 Mn과 Cr은 절삭성을 해치므로 첨가량을 제한하고 있다. Cr은 0.4% 이하로 하며, MnS를 만들 수 있는 범위 내의 Mn 함량은 별로 큰 영향을 나타내지 않으나 1.0% 이상 함유되면 얇은 부분에 칠(chill)이 발생하여 절삭성을 해친다.

그림 8은 대표적인 주철의 기조직에 따른 재료특성을 비교한 것이다[4].

표 3의 화학조성의 차이에 의한 기지내 페라이트량의 변화에 따른 공수수명의 차이를 그림 9와 그림 10에 나타내었다[5].

대부분의 공업용 주철은 페라이트나 퍼얼라이트로 되어 있으며, 절삭 중 전단면에서의 거동은, 연성의 결핍과 강도로부터 쉽게 예측할 수 있다. 페라이트와 흑연으로 구성된 저강도 주철은 절삭율을 크게 할 수 있다는 점에서 피삭성이 가장 좋다고 볼 수 있다.

6. 주철의 절삭공구재료

주조나 성형가공에서 주형이나 다이의 재료선택이 중요하다듯이, 절삭공구재료 및 이의 적절한 선정은 절삭

	GC		CV		GCD	
조직						
기지	페라이트+퍼얼라이트	퍼얼라이트	퍼얼라이트 (70%)	퍼얼라이트 (95%이상)	페라이트+퍼얼라이트	퍼얼라이트
인장강도 (MPa)	150-220	200-270	400-470	420-580	400-600	600-700
경도 (HB)	150-200	180-240	190-220	200-250	140-200	240-300
피삭성	좋은 ←				→ 나쁨	

그림 8. GC, CV, GCD 재료특성비교.

표 3. 피삭재의 주요화합성분과 경도.

피삭재	주요화합성분 (mass %)							페라이트량 (vol %)	브리넬 경도
	C	Si	Mn	S	Cr	Mg	Fe		
a	3.07	1.81	0.87	0.140	0.058	0.005	Bal.	0.5	206
b	2.60	1.64	0.86	0.092	0.046	<0.001	Bal.	10	161
c	3.30	2.27	0.051	0.099	0.055	<0.001	Bal.	27	131
d	4.00	2.19	0.42	0.110	0.051	<0.001	Bal.	33	124

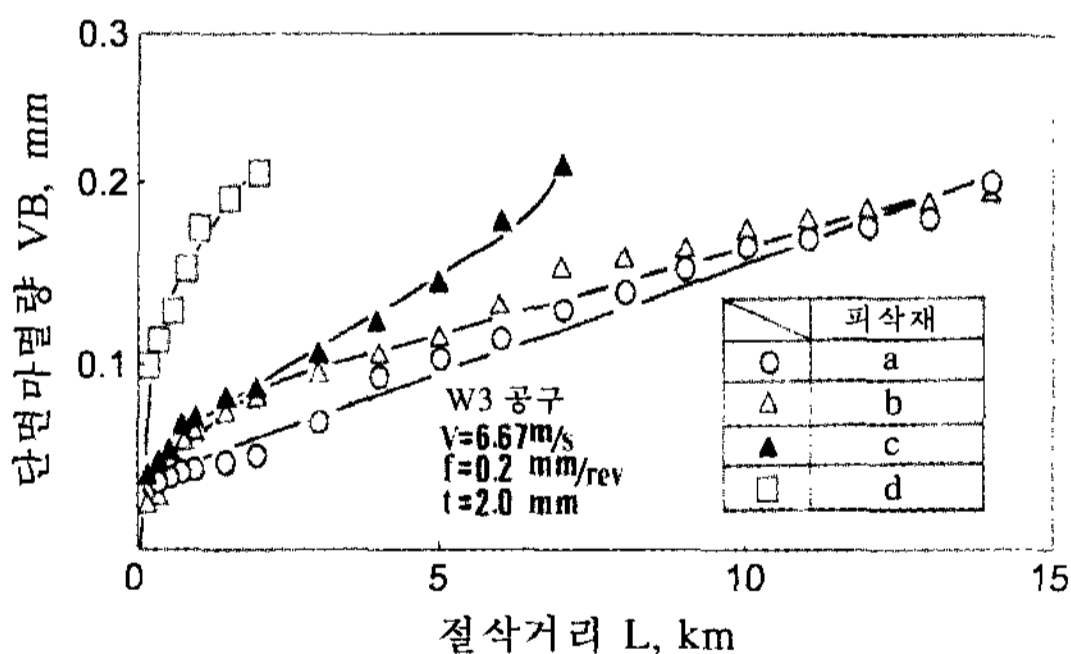


그림 9. 기지내 페라이트량이 다른 주철재를 가공하는 경우의 단면마멸특성

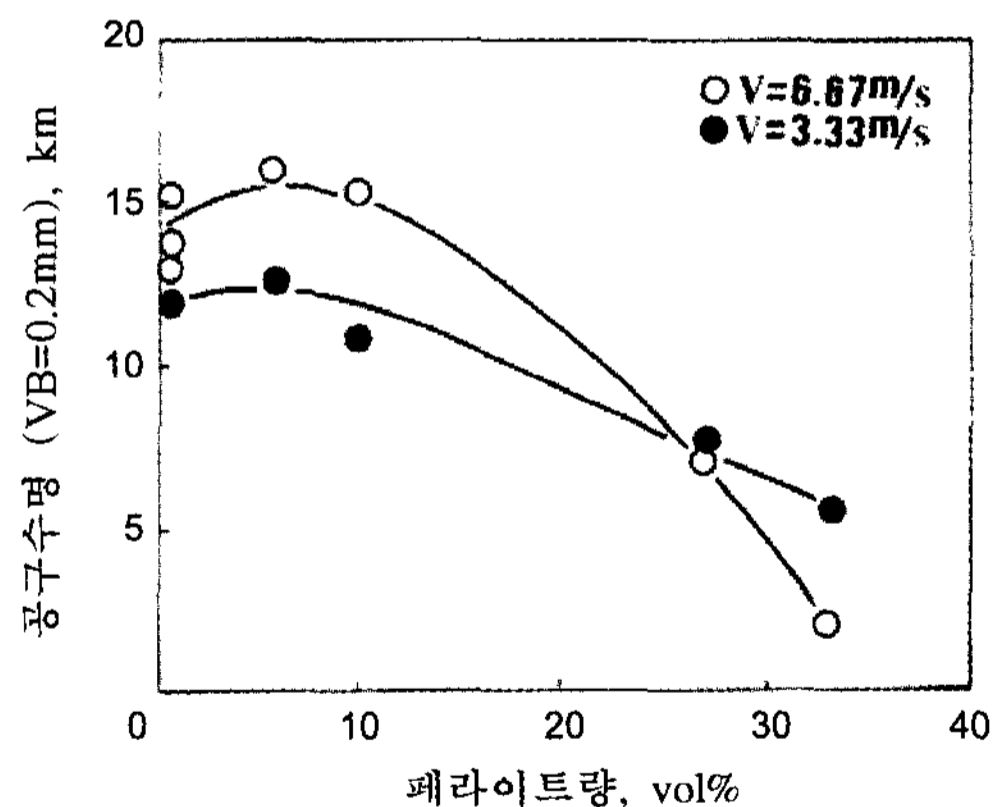


그림 10. Al₂O₃에 SiC_w를 첨가한 공구에 있어서 피삭재 페라이트량과 공구수명과의 관계

작업에 있어서 가장 중요한 사항들 중의 하나이다. 절삭작업시 공구는 높은 온도와 접촉응력, 그리고 칩 및 가공면과 미끄럼마찰상태에 있게 된다. 이러한 관점에서 절삭공구에 요구되는 재료학적 특성들이 많이 있겠으나 크게 세가지로 나누어 보면 다음과 같다.

첫째, 칩 또는 피삭재와의 심한 마찰시 발생하는 마멸에 대한 저항성인 내마멸성이 요구된다. 이에 대한

여는 공구재료의 경도, 강도 등과 같은 기계적 특성과 고온에서의 산화, 용해, 확산 등에 대한 화학적 안정성 등이 요구된다.

둘째, 높은 응력 또는 충격력이 작용될 때 일어날 수 있는 균열발생 및 성장에 대한 저항성으로 높은 파

표 4. WC 공구의 사용선택기준 (KS B 3248)

사용분류 기호	피삭재	절삭방법	작업조건
K 01	주철	정밀선삭, 정밀보오링, 다듬질 밀링	고속에서 소절삭면적일 때, 또는 진동이 없는 작업조건일 때
	칠드주철 및 이와 유사한 경도가 높은 주철, 담금질 강	선삭	아주 저속에서 소절삭면적일 때, 또는 진동이 없는 작업조건일 때
	흑연, 경질지, 도기, 아스베스트 등 인공재료, 고실리콘 알루미늄		진동이 없는 작업조건일 때
K 10	H_B 200 이상의 주철, 가단주철 (비연속형 칩이 발생할 때)	선삭, 밀링, 보오링, 브로우칭리이밍	중속에서 소~중절삭면적일 때, K형열중 비교적 일반 작업일 때, 또는 비교적 진동이 없는 작업조건일 때
	담금질 강	선삭	저속에서 소절삭면적일 때, 또는 비교적 진동이 없는 작업조건일 때
K 20	실리콘 알루미늄합금, 경도가 높 은 동합금, 유리, 경질고무, 경화 지, 자기, 합성수지 등 인공재료		비교적 진동이 없는 작업조건일 때
	H_B 220 이하의 주철	선삭, 밀링, 플레이닝, 리이밍, 브로우칭, 드릴링	중속에서 중~대절삭면적일 때, K형열중 일반작업일 때, 또는 큰 인성을 요구하는 작업조건일 때
K 30	비철금속, 적층목재		큰 인성을 요구하는 작업일 때
	인장강도가 낮은 강, 경도가 낮은 주철, 비철금속	선삭, 밀링, 플레이닝, 셰이핑	저속에서 대절삭면적일 때, 썸 좋지 않은 작업조건일 때, 또는 큰 윗면경사각을 사용하고자 할 때
K 40	경도가 낮은 비철금속, 목재	선삭, 밀링, 플레이닝, 셰이핑	K 30보다 더욱 작업조건이 좋지 못할 때, 또는 큰 윗면 경사각을 사용하고자 할 때

표 5. 세라믹 공구재료의 특징, 용도, 적응절삭속도

종 류	특 징	인 성 ($MN/m^{3/2}$)	주 요 용 도	절삭속도 (m/min)
Al_2O_3 -TiC 계	흑색 세라믹이라 불림 일반적으로 고온압축과 HIP에 의하 여 제조 고온경도 높음	4~5	주철선삭 고경도강의 선삭	~1000 ~200
Al_2O_3 - ZrO_2 계	지르코니아의 마르텐사이트 형전이를 이용해서 강화시킨 알루미나계 세라믹. 강도는 높지 않지만 인성이 매우 높고 내마멸성 약간 떨어짐.	5~6	강 절삭	~800
Al_2O_3 -SiCw 계	알루미나에 탄화규소 휘스커(whisker)를 첨가해서 강화시킨 알루미나계 세라믹. 통상 고온압축으로 제조된다. 강도, 인 성은 높으나 내산화성, 내마멸성 낮음	6~7	주철 선삭 내열합금 선삭	~500
TiC 계	탄화티탄을 주체로 한 세라믹. 서멧의 결합금속을 제거한 타입. 내마멸성은 알루미나 탄화물계와 거의 동일하지만 내열충격성이 우수	5	CV주철 선삭	~600
Si_3N_4 계	인성이 큰 질화규소 세라믹. 내열충격성에 우수. 일방 알루 미나계와 비교해서 내마멸성이 떨어짐.	6~7	주철 선삭	~1000
SiAlON 계	질화규소에 알루미나를 고용시킨 세라믹. 인성, 강도는 질화규소에 떨어지지만 고용경도는 우수.	5~6	내열합금 선삭	~500

괴인성이 필요하다.

셋째, 높은 온도상승시 공구에 작용하는 응력으로 소
성변형이 일어나지 않아야 하므로 공구의 고온 소성변
형 저항성이 요구되는데 이 때는 고온에서 공구의 경

도가 문제된다.

주철의 대표적인 절삭공구재료 WC, 세라믹과 CBN
소결체 공구를 소개한다.

WC 공구의 사용상 선택기준은 KS B 3248에 규정

표 6. CBN 소결체공구 및 종래 공구재질의 특성비교

	BN500	BN600	세라믹	cermet	피복공구
경도 (Hv10)	3300~3500	3900~4200	1600~2100	1600~1800	1000~1800
항절력 (kg/mm ²)	100~110	95~110	90~130	130~200	200~400
열전도율	○	△	×	×	△
내열성	◎	○	○	×	×

되어 있는데, 주철소재의 가공에는 K등급의 공구가 이용된다. 구체적인 선택기준은 표 4에 나타나 있다. 최근 Si이 다량 함유된 주철의 정밀가공에서는 공구의 마멸이 큰 문제가 되는데, 초경공구에 TiAlN 등의 피복층을 형성하여 고속가공에서도 우수한 성능을 발휘하는 경우도 있다.

표 5에는 세라믹 공구재료의 특징, 용도 및 적응절삭속도를 표시하였고, 표 6에는 CBN소결체공구와 다

른 공구재질의 특성을 비교하였다. 여기서 BN500과 BN600은 CBN공구를 나타낸다[6].

그리고 그림 11과 그림 12에서는 GC절삭에 있어서의 세라믹 공구와 CBN소결체 공구를 비교한 그림이다[7].

세라믹 공구에 의한 절삭보다는 CBN소결체공구를 사용한 절삭가공이 보다 좋은 표면조도를 얻을 수 있고, 공구의 마멸 손상이 적다는 것을 알 수 있다.

7. 결 언

판상, 구상흑연 주철은 피삭성이 아주 좋은 것으로 알려져 있으며, 주철을 많이 사용하는 이유도 값이 저렴하고 주조가 용이한 점에도 있겠으나 피삭성이 좋다는 데에도 있다.

즉, 주철의 절삭에서는 낮은 공구 마멸률과 높은 절삭능률 그리고 낮은 절삭력과 동력이 소요된다. 주철의 가공면은 광택은 없으나 표면조도도 양호하다. 주철가공시 절삭칩은 작은 조각으로 생성되어 고속에서도 처리가 용이하다. 페라이트와 흑연으로 구성된 저강도주철은 절삭능률을 크게 할 수 있는 점에서 피삭성이 매우 좋다고 볼 수 있다.

최근에는 알루미나 또는 실리콘질화물 등의 세라믹 공구를 사용하여 주철을 가공하는 기술이 개발되고 있고, 초경공구에 TiAlN 등의 피복층을 형성시킨 피복공구 등을 통하여 고속가공이 가능하게 하고 좋은 표면조도도 얻어지는 것으로 보고되고 있다.

참 고 문 헌

- [1] 上原邦雄: 切削加工の概論と今後の方向, 精密工學會第239回講習會テキスト, (1997) 5
- [2] 上原邦雄: 切削加工研究の展望と鑄鐵の切削概説, 鑄造工學, Vol. 70 (1998) 425
- [3] Casting Design Handbook : U.S. Air Force Machinability Report, Vol. 1 (1950) 135
- [4] Manfred Tholl, 曲田, Steve Dawson : 鑄物 67 (1995) 898

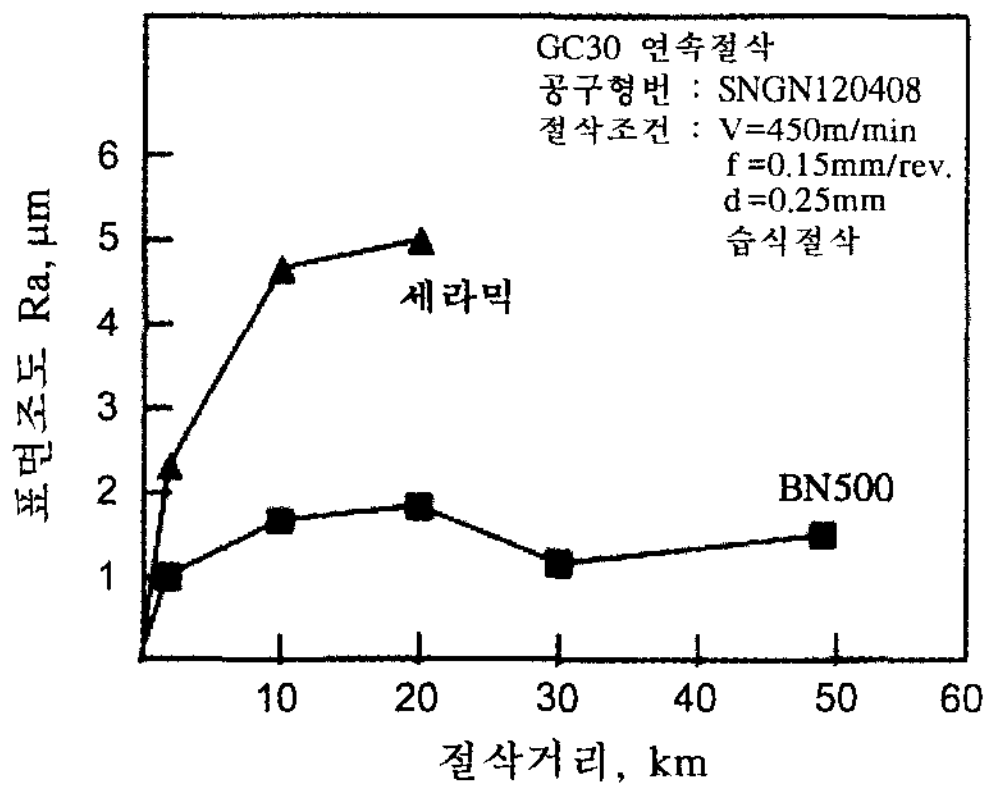


그림 11. GC절삭에 있어서 절삭거리와 표면조도와와의 관계.

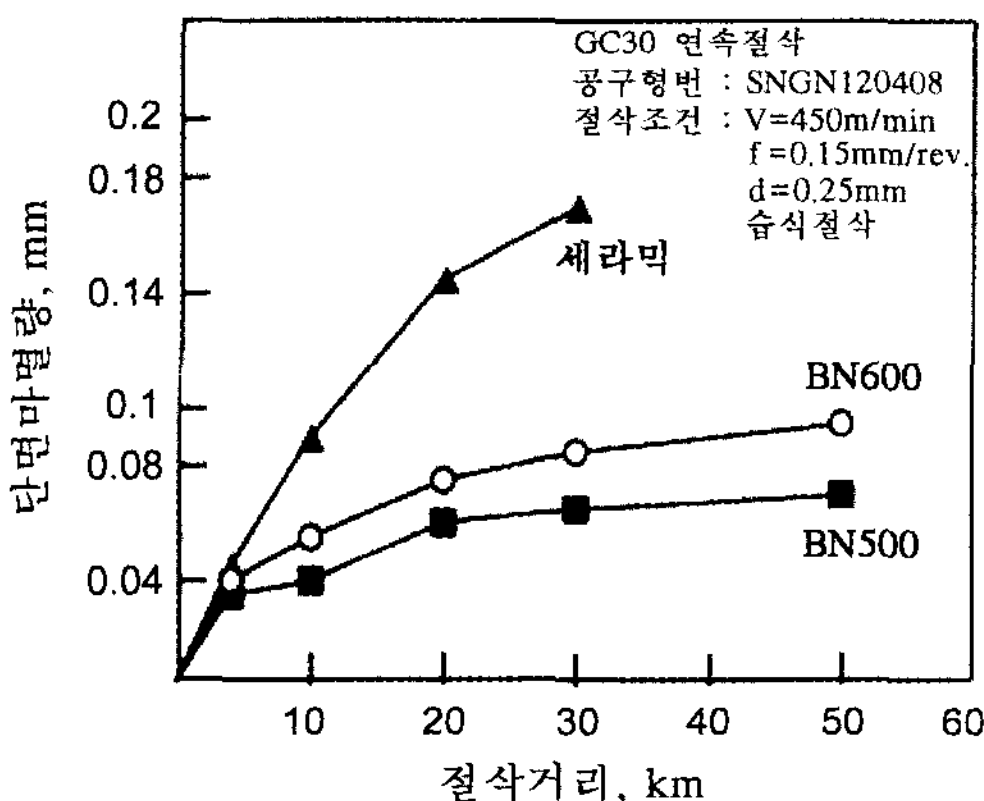


그림 12. GC절삭에 있어서 절삭거리에 대한 단면마멸량의 변화.

[5] 新谷一博 : ねずみ鑄鐵材料における高速切削の可能性, 鑄造工學, Vol. 70 (1998) 432~438
 [6] 淺野道也, 深谷朋弘, 白石順一, 中井哲男 : 立方晶化ほう素燒結

工具による鑄鐵切削, 鑄造工學, Vol. 70 (1998) 441
 [7] 深谷朋弘 : ツールエンジニア 2 (1995) 110

國內外鑄物關聯行事

2001

7월 6일 ~ 7월 7일

한국주조공학회 하계기술강연대회
인천

9월 19일 ~ 9월 21일

7th International Fair for Foundry
Kielce, 폴란드

9월 18일 ~ 9월 20일

FONDEREI 2001
Paris, 프랑스

9월 21일 ~ 9월 22일

CIATF Technical Forum
Warsaw, 폴란드

9월 19일 ~ 9월 21일

The 7th International Fair for Foundry Metal 2001
폴란드

9월 24일 ~ 9월 28일

43rd International Engineering Fair
Brno, 체코