

에코융합형 신개념 절삭 공구의 관련 기술 현황과 개발 사례

강재훈 | 한국기계연구원

[요약문]

이제 더 이상 지구 온난화는 나만 혹은 우리를 제외한 남의 일이 아닌 것이다. 거의 매일 우리는 지구 온난화로 인한 난처한 현상들을 보고 듣거나 직접 느끼고 있는 중이다. 지구 온난화의 주 원인인 이산화탄소 가스의 배출은 비록 다양한 배출 요인들로부터 비롯되고 있다지만 무엇보다도 과다한 생산 제조 활동 때문이라는 것을 모르는 사람은 거의 없을 것이다. 과다한 생산 제조 활동의 증가 추세가 둔화되지 않는 것을 지속적인 신규 생산 제조 활동으로부터 비롯되는 것이라 생각할 수 있다. 이를 막을 수 있는 방안은 말이 쉽긴 하나 재활용 더 나아가 재사용하는 길 뿐이다. 사실상 재활용 역시 상대적으로나 적은 범위의 국한된 생산 제조 활동일 뿐이지 이산화탄소 가스의 배출은 역시 원천적으로 차단하기가 거의 곤란하다. 결국은 재사용의 선택만이 효과적으로 이를 최대한 억제할 수 있는 바른 길이 될 수 있을 것이다. 한편, 최근에 들어서 이른 바 눈에 보이지 않는 자원 전쟁의 분위기가 전세계적으로 고조되고 있는 실정이다. 희귀 금속 자원을 보유하고 있지 않는 국내의 경우는 전반적인 산업 분야에 걸친 생산 제조 활동에서 요구되고 있는 부품 소재용 원천 금속 자원을 매년 막대한 외화를 지불하며 종속적으로 중국 등의 국가들로부터 수입에 의존하고 있다. 이 또한 매년 일정한 수입량이 보장되지도 않을 뿐만 아니라 해마다 관세가 높아져 여간 골치 아픈 일이 아니다. 따라서 생산 제조 활동을 주로 하여 수출에 많은 기대를 하고 있는 OECD 국가의 일원인 국내의 경우에는 환경적인 측면과 경제적인 측면을 동시에 고려한 이른 바 에코지향형 생산 제조 활동을 더욱 심도있게 추구할 당위성이 제기된다. 이 중의 하나가 바로 생산 제조 활동의 주역을 이루는 매개체 중의 일원인 에코융합형 신개념의 절삭 공구라고 할 수 있다.

1. 녹색 생산 기술의 도입 배경

1990년대에 진입하면서 지구환경 보존에 대한 관심을 지닌 선진국들을 중심으로 하여 관련기술 개발을 대부분 정부지원에 의하여 주도하고 있으며, 사후처리의 기술개발에서 점차적으로 국제환경 무역장벽에 대비한 청정생산 기술개발에 중점을 두고 기술 투자 및 연구 방향을 확대시키고 있다. 한편, 국내의 환경관련 기술은 현재까지 사후처리 기술 위주로서 이와 관련한 개발에 대한 지원은 선진국 대비 약 10%를 상회하는 정도의 수준으로 매우 미약한 실정이며, 환경친화적인 청정생산(Green/Clean Manufacturing) 기술은 선진국 대비 약 20~30% 정도의 수준으로 크게 낙후되어 있다.

따라서 현재까지의 환경문제 해결방법인 “종말처리 기술”에서 탈피하여 원천적으로 폐기물 및 오염물 발생을 방지하거나 극소화하는 예방기술인 원천 생산제조 기술차원에서 기술개발이 이뤄져야만 향후 Green Round 대처를



통한 대외경쟁력의 확보가 예상될 수 있다.

근래에 들어서 선진공업국들을 중심으로 활발한 경제활동과 풍요로운 생활을 추구하는 한편, 개발도상국들의 경우에는 지속적으로 인구가 증가하고 공업화 및 생활수준의 향상이 두드러지면서 에너지 자원과 환경유해 화학물질들을 다량 소비하는 추세에 이르러 그림 1에 나타낸 바와 같이 폐기물의 대량 발생, 과도한 CO₂ 가스의 발생에 의한 오존층의 파괴와 이에 따른 지구온난화, 산성비의 초래, 열대림의 감소와 이에 따른 지구 사막화 등 다양한 환경문제가 인간사회를 점차 위협하고 있는 실정이므로 시급한 정치, 사회, 경제 및 기술적인 측면에서의 대응이 필요하다고 할 수 있다.

국내에서도 2007년 4월 12일에 산자부가 후원하고 에너지관리공단이 주최한 “기후변화협약 대응을 위한 온실가스저감·자원기술 포럼”이 개최된 바 있다. 포럼의 핵심 내용은 포스트교토체제 본격협상으로 인하여 우리나라도 2013년 이후엔 온실가스감축 의무부담 국가로 편입될 압력이 가중될 수 있으므로 이에 대한 대비책이 서둘러 이뤄져야 한다는 것이다. 즉, 발전·철강·시멘트 산업 등 에너지 다소비형 업종의 피해가 불가피하며 국제협력강화 및 온실가스감축 전문인력의 양성이 시급하다는 것이다.

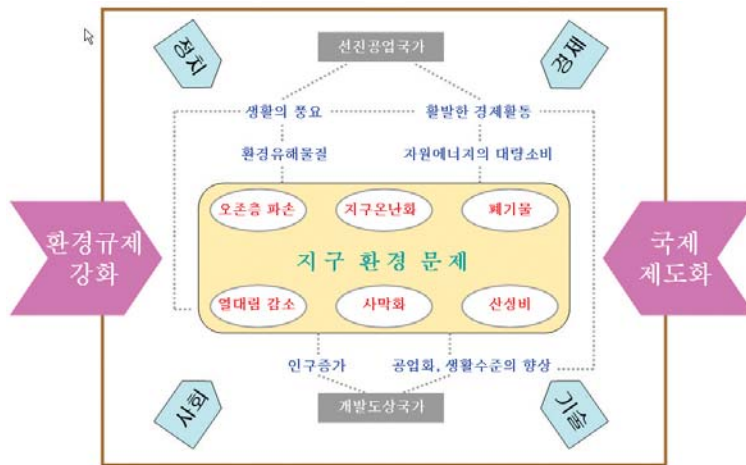


그림 1. 환경규제강화와 국제제도화의 필요성

1990년대에 진입하면서 지구환경 보존에 대한 관심을 지닌 선진국들을 중심으로 하여 관련기술 개발을 대부분 정부지원에 의하여 주도하고 있으며, 사후처리의 기술개발에서 점차적으로 국제환경 무역장벽에 대비한 청정생산 기술개발에 중점을 두고 기술 투자 및 연구 방향을 확대시키고 있다. 국내의 환경관련 기술은 현재까지 사후처리 기술 위주로서 이와 관련한 개발에 대한 지원은 선진국 대비 약 10%를 상회하는 정도의 수준으로 매우 미약한 실정이며, 환경친화적인 청정생산(Green/Clean Manufacturing) 기술은 선진국 대비 약 20~30% 정도의 수준으로 크게 낙후되어 있다. 따라서 현재까지의 환경문제 해결방법인 “종말처리 기술”에서 탈피하여 원천적으로 폐기물 및 오염물 발생을 방지하거나 극소화하는 예방기술인 원천 생산제조 기술차원에서 기술개발이 이뤄져야만 향후 Green Round 대처를 통한 대외경쟁력의 확보가 예상될 수 있다.

생산제조공정에서 가장 널리 적용되고 있는 가공작업을 대표적인 공정으로 들 수 있으며 가공공정에 관한 환경성의 해석을 위한 구조는 환경성을 극소화하기 위한 세 가지 방식으로 나타낼 수 있는 바, 현재 적용하고 있는 가공공정의 수식화, 양자 택일할 수 있는 공정의 대체화 및 기존의 가공을 대체할 수 있는 새로운 생산공정의 개발 등을 들 수 있다. 그러나 제품설계, 공정수립과 공정작업 등의 변경에 대하여 완벽하게 평가하기 위해서는 그림 5에 나타낸 바와 같이 공정시간, 에너지사용, 공작물 소재의 첫 번째 흐름 및 공정축매의 두 번째 흐름 등에 대한 정량적인 차원

에서의 해석이 필요하다. 가공공정에 있어서의 촉매란 초기의 공작물로부터 최종적인 상태로 변화될 때까지 도움을 주는 윤활유, 냉각제(절삭유), 공구 및 기타 관련 재료 등을 포함한다고 할 수 있다. 이와 같은 측면의 평가를 위해서는 에너지와 질량손실의 해석, 공정률, 기상, 액상 및 고상의 2차적인 폐기물 유출을 포함한 공정 모델링의 개발이 필요하다고 할 수 있다.

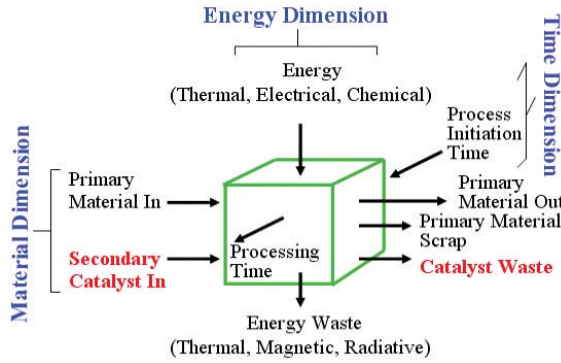


그림 2. 가공공정에 있어서 환경성해석을 적용한 개략도

2. 초경합금재 절삭 공구의 적용 가속화 추세와 문제점

절삭가공이란 기계적인 제거방법으로 절삭공구를 공작물에 접촉이동 시킴으로써 피삭재의 내부에 발생하는 국부적인 높은 응력을 이용하여 불필요한 부분을 제거하여 임의의 형상과 치수, 가공면 상태를 만족하는 제품이 될 수 있도록 성형하는 가공방법이라고 정의할 수 있다. 절삭공구란 공작기계와 피삭재를 포함한 절삭가공의 3대 구성요소 중의 하나로서 절삭가공이 이뤄지도록 하는 도구로 사용되는 중요한 역할을 지닌다.



그림 3. 절삭공구의 역할

최근 들어 정밀 기계 요소 부품 및 미세트로닉스, 항공 우주, 의료기기, 장위 산업 등에서보다 더 가혹한 환경 분위기 하에서도 우수한 특성과 기능을 발휘할 수 있는 신소재나 난삭재의 적용을 불가피하게 요구함에 따라 기존에는 가공이 용이하지 않은 난삭성의 이유로 인하여 사실상 적용을 회피하던 난삭재를 효율적으로 활용하기 위한 방안이 제기되고 있다.



절삭 가공과 관련한 최근의 기술 동향은 과거의 정밀 가공 위주의 경향으로부터 탈피하여 이 뿐만 아니라 생산성 향상과 에너지 절감 및 환경 문제 등을 감안한 고능률화와 고효율화가공에 적합한 절삭 공구의 개발에 주안점을 두는 추세로 변천되고 있다.

이와 같은 추세에 따라 다이아몬드, CBN, 소결체 등을 이용한 절삭 공구나 서어멧, 다층 코칭형 절삭 공구 등이 새롭게 개발되어 왔으나 이 중에서도 현재 초경합금재 절삭 공구가 가장 널리 이용되고 있으며, 원소재의 안정적 확보나 신규 구매 비용의 절감을 위하여 폐스크랩의 회수 및 리사이클링을 통한 재활용 공구의 개발과 상품화를 위한 노력이 전세계적으로 활발하게 진행되고 있다.

이를 위해서는 국가적인 차원에서의 제도적인 뒷받침이나 환경 규제의 강화 등이 우선적으로 해결되어야 할 필요성도 있으나 분말야금 소결체의 특성상 재활용 공정으로 처리된 초경합금재 절삭 공구의 성능 한계가 제기 될 수 있어 적용상의 문제점이 불가피하게 제안되고 있는 실정이다.

초경합금은 복합합금 재료로써 다양한 원료를 조합할 수 있으나 그 가운데에서도 실온부터 고온까지 기계적 성질이 특히 우수한 WC-Co계 합금(WC-Co, WC-TiC-TaC-Co)을 보편적으로 의미한다. 탄화물과 경합금속의 특성이 나타나 대단히 굳고 강인성이 높아 용도가 다양하여 절삭공구(바이트·프레이즈·드릴·엔드밀·커터 등), 내마모공구(신성용 다이스·관인용 다이스와 플러그·제관용 다이스·분말 성형용 다이스·게이지 말단부 등), 내충격공구(광산용 비트·헤딩다이·각종구멍 뚫기용 공구·페이싱다이 등), 초고압 발생용 부품 등의 재료로 널리 사용되고 있다. 그 밖의 응용품으로서 고급시계의 외장물·볼펜의 볼·스노타이어용 핀·컴퓨터의 도트 인쇄장치용 핀 등이 있다.



그림 4. 초경합금의 주요 용도

각종 초경합금 가운데 절삭공구용으로는 WC-TiC-TaC-Co합금이 사용되며, 그 밖에는 거의 WC-Co합금(3~25% Co)이 활용되고 있다. 특히 비자성이 요구되는 경우에는 WC-Mo-Ni합금, 내식성이 요구되는 경우에는 CrC-Ni합금, 황금빛 색조를 내는 경우(장식용품)에는 TaC-Ni합금이 각각 활용된다.

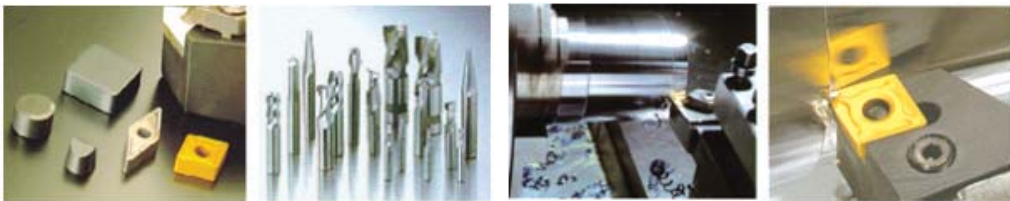
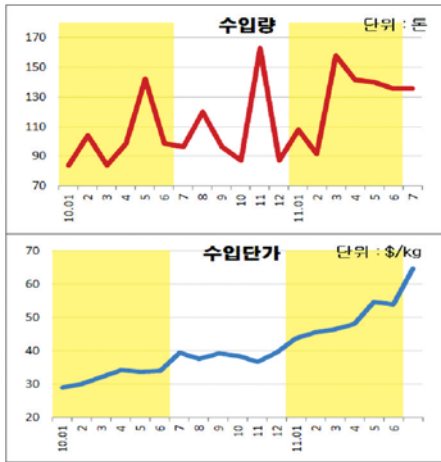


그림 5. 초경합금의 절삭공구로의 용도

과거에는 국내에도 중석이라고 불리우는 텅스텐의 원석이 경상북도 상동 지역에 존재하여 수급이 이뤄진 적도 있으나 현재는 고갈되어 전량을 국외로부터 수입하여 활용하고 있는 실정이다. 텅스텐은 10대 희귀 금속에 속하는데

표적인 원료로써 2011년에 들어서서는 마그네슘, 망간과 더불어 수입단가가 급등하고 수입량이 감소하는 추세를 나타내 안정적인 수급을 위한 세심한 주의가 요망되기도 하고 있다.

국내의 경우에는 초경합금의 주원료로 활용되는 텅스텐의 총 수입액이 최근에 들어서 매년 평균 1,500~2,000억 원대에 이르며 국제청의 2011, 7월 총계 자료에 의하면 중국으로부터의 수입량이 90%로 절대적인 우위를 차지하는 한편, 수입량은 전년 대비 약 40% 증가하고 단가도 63\$ 정도나 급등하고 있다는 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 통계 자료로부터 알 수 있듯이 지구에 존재하는 매장량의 대부분을 차지하고 있는 중국이 최근에 자원 보호 무역 주의를 내세우며 텅스텐 원료의 안정된 공급이나 일정한 가격대 형성을 무너뜨리고 있어 국내의 경우는 물론 일본과 같은 공업 선진국들에 있어서도 희귀 금속의 확보에 전쟁 아닌 전쟁을 치루고 있는 실정이라고 해도 과언이 아니다.



텅스텐	증감률(%)		
	전월비	전년비	
수입량(톤)	135	△0.1	40.4
① 중 국	115	3.5	46.2
② 일 본	14	△13.2	△15.1
③ 베 트 남	5	△10.0	-
수입단가(\$/kg)	64.74	19.8	63.6
① 중 국	62.41	26.4	90.7
② 일 본	82.85	2.6	16.3
③ 베 트 남	60.01	0.0	-

그림 6. 초경합금의 주원료인 텅스텐의 수입 동향 (관세청, 2011.7.)

초경합금과 같이 고가의 희귀금속소재로 제조된 절삭공구를 사용한 후에 자원효율 제고성을 고려하지 않고 전체를 폐기하는 경우에 있어서 이와 같은 폐공구 스크랩을 원천소재로 재활용하기 위한 재생산공정은 청정생산을 추구해야 하는 현재의 전세계적인 당위성에 위배되며, 부분적인 날끝(인신) 텃 부분만 이와 같은 소재를 적용하되 용



그림 7. 초경합금재 절삭 공구의 사후 처리 상의 문제점



이한 교체만으로도 재사용이 가능한 신개념의 절삭공구는 친환경성과 경제성 및 효율성 등의 측면에서 상대적으로 우수하여 향후 절삭공구 관련시장을 필연적으로 잠식하게 될 것으로 전망되고 있는 실정이다.

일본의 도시바, 히타치, 미쯔비시와 같은 관련제조사들의 경우에는 최근에 날끝(인선) 팁 부분만 교체하여 재사용할 수 있는 드릴, 엔드밀과 같은 절삭공구들을 다양한 형태의 모델로 개발하여 세계시장을 대상으로 한 판매에 나서고 있으며, 체결방식의 차이에 따른 각 사들의 특허가 등록되어 있으나 현재까지도 절삭성의 향상과 안정화 등을 추구하기 위한 관련기술의 보완이 요구되고 있다.

특히, 작고 깊은 홀의 성형가공에 적용하기 위한 직경대비 길이가 상대적으로 큰 제품의 경우에는 강성의 향상과 칩의 원활한 배출을 위한 관련기술의 부족이 장애요인으로 작용하고 있다.

무엇보다도 국내의 경우에 있어서는 근래까지 환경친화성을 고려한 생산제조 관련기술의 도입 필요성에 대한 인식이 선진국들과 대비하여 전반적으로 부족한 실정이었으며 특히, 생산가공 분야와 관련한 법제화된 규제 자체도 아직은 매우 미흡한 실정이라서 절삭공구 생산사들의 경우에 지속적인 청정기술 도입에 대한 노력이 부족한 것이 사실이다.

국내의 절삭공구 생산관련 우수기업들인 H, O, D 등은 습식가공에서의 절삭유 사용을 배제하기 위한 환경친화형 진식가공공구와 가공효율성을 증대하기 위한 중공형 혹은 다중코팅형 고속가공공구 등의 개발에 주안점을 두고 노력하고 있는 상황이다.

아직까지 작업현장에서의 용이한 부분적인 교체에 의하여 재사용을 할 수 있는 절삭공구의 개발에 관한 연구결과는 거의 없으며, 마모된 절삭공구를 회수하여 재가공을 함으로써 재사용을 하는 형태의 접근은 다소 이뤄진 바 있다.

본문에서는 전량 수입에 의존하는 고가의 희귀 금속자원의 사용량을 가급적 억제하고 반복적인 신규 생산과정에 따른 이산화탄소 가스 배출량을 억제하기 위하여 부분적인 초경합금재 선단 팁만을 체결형으로 하여 용이하게 교체함으로써 재사용을 할 수 있는 새로운 개념의 드릴 공구를 개발한 사례를 소개하고자 한다.

3. 에코융합형 절삭 공구의 개발 사례

3.1 부분 교체형 재사용 드릴의 도입 배경

기계적인 제거가공 방식들 중에서 드릴링 가공은 구멍(Hole)을 성형하는 역할로 각종 금형을 비롯한 기계요소부품과 구조물, 자동차·항공기기, 디스플레이, 의료기기 관련산업 등의 전반적인 생산제조 분야에서 필수적으로 적용하는 가공공정 기술이다. 최근에 들어서 신소재와 난삭재의 소재 대체화가 적극적으로 이뤄지면서 이에 효율적으로 대응하기 위한 절삭공구의 소재 대체화도 역시 활발하게 추진되고 있는 실정이다.

드릴공구의 경우도 경질 다층 코팅형의 모델에 이르기까지 다양한 신형제품이 개발되어 상품화에 이르고 있으나 내마모성이나 가공능률 등을 추구하는 측면에서는 아직 초경합금 소재를 적용한 제품이 가장 대중적으로 활용되고 있다고 해도 과언이 아니다. 대부분의 절삭공구와 마찬가지로 드릴공구의 경우도 거의 많은 중소기업들이 군락을 이루어 경쟁적인 제품생산을 하고 있으며 각기 틈새시장을 공략하기 위한 독창적인 개념의 사양과 형상을 지니는 모델을 개발하는데 집중하고 있다.

본 문에서는 전량 수입에 의존하는 고가의 희귀자원인 초경합금의 주원료 텅스텐의 사용량을 절감함으로써 폐공구 스크랩의 발생량도 억제하여 경제성과 환경성을 동시에 고려할 수 있는 선단 팁 부분 교체형 방식의 드릴 공구 개발에 있어서 정량적인 절삭 안정성을 신뢰성이 높게 추출하여 비교 제시하기 위한 방안의 일환으로 초경합금재 슬리드 드릴공구와 함께 절삭력 측면의 가공 안정성 비교에 관한 실험을 수행한 결과를 사례로 나타내었다.

3.2 부분 교체형 재사용 드릴의 개발과 절삭안정성 평가 실험

공구 바디의 강성에 관한 시뮬레이션 해석 결과 측면에서 우월하다고 판명된 스트레이트 형을 기본으로 하고 가

장 널리 사용되고 있는 초경합금재 솔리드 드릴의 직경 군에서 10, 16mm를 선정하여 공구 바디와 체결형 선단 팁에 대한 세부 설계를 수행하였다.

또한, 체결 부위를 중심으로 한 강성 예측을 위한 시뮬레이션 해석 결과를 토대로 하여 최종 모델링을 한 시작품을 제작한 바, 체결부의 폭과 높이는 동일하게 2.5mm로 하고 체결용 볼트의 직경은 1.6mm, 포스트 핀의 직경은 2.5mm가 되도록 각각 설정하였다.

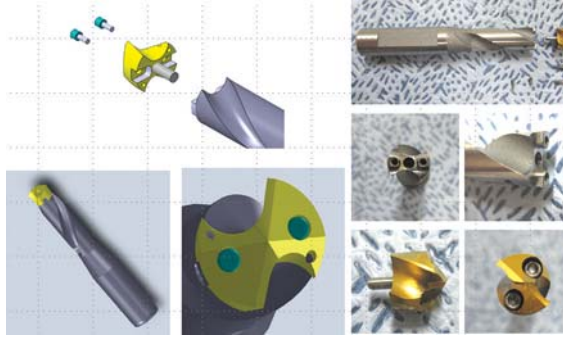


그림 8. 부분 교체형 재사용 드릴의 설계와 제작

공구의 절삭성능이나 특성, 안정성 등을 정량적이고 신뢰성이 높게 상대평가를 할 수 있는 방법으로는 절삭력 (Cutting force)을 측정하여 분석하는 것이라고 할 수 있다.

본 실험에서는 그림 8, 9에 나타낸 바와 같이 드릴링 가공 전용 공구동력계(KISTLER Co., 9272 Model)를 통하여 얻은 수직 방향으로의 절삭력(추력) F_z 와 회전 방향으로의 토오크력 M_z 의 두 성분을 신호증폭기(KISTLER Co., 5019B Model)로 처리한 후 실시간 데이터 분석 S/W P/G 상에서 정량적으로 추출하여 비교하였다.



그림 9. 부분 교체형 재사용 드릴의 절삭 안정성 평가실험

직경 10, 16mm를 지나는 국내산 초경합금재 솔리드 드릴공구(선단각 118°, 전장 100mm, 날길이 55mm)와 동일한 직경 크기를 지나는 초경합금 선단 팁 교체형 드릴공구(선단각 140°, 전장 115mm, 날길이 57mm)를 사용하고 공구동력계 상에 장착한 연강(S45C)재 공작물에 대하여 이송속도 60mm/min, 공구주속도 1,200rpm, 가공 깊이 25mm의 조건으로 수용성 절삭유를 공급하는 습식형태의 드릴링 가공실험을 수행하였다.

Fig.3, 4에는 드릴공구가 이송되는 수직방향으로의 절삭분력(추력)을 대상으로 하여 두 가지 공구형태에 따른 신

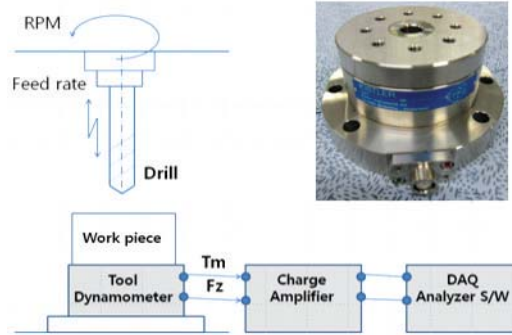


그림 10. 절삭 안정성 평가 실험 장치의 구성 개략도

호값과 파형 모드의 차이를 비교하기 위해 각각 나타내었다. 수직방향으로의 절삭분력은 절삭날끝이 공작물에 관입되어지는데 주로 소요되는 힘으로 드릴링 가공시의 절삭분력을 중에서 가장 크게 나타나 상대적으로 명확하게 비교할 수 있는 인자가 된다고 할 수 있다.

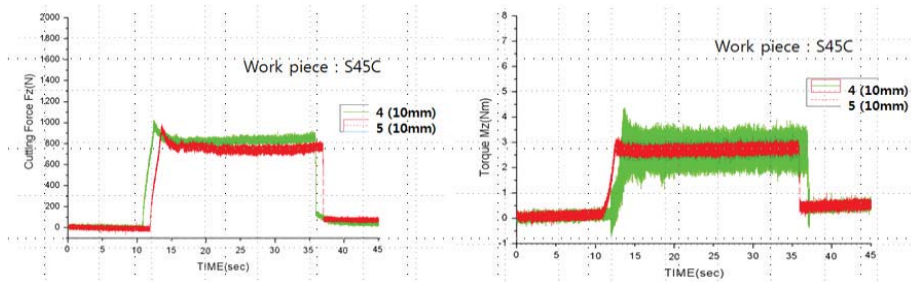


그림 11. 절삭 저항 Fz과 Mz의 비교(공구 직경 10mm)

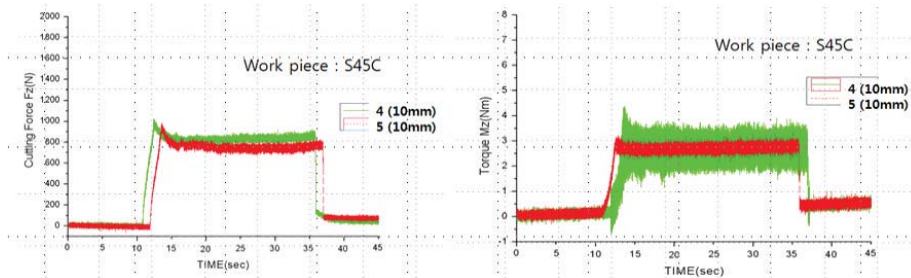


그림 12. 절삭 저항 Fz과 Mz의 비교(공구 직경 16mm)

절삭성능이나 특성은 측정된 절삭 분력의 신호를 나타낸 파형의 크기로 비교할 수 있는 한편, 절삭 안정성은 일반적으로 파형의 진폭을 대상으로 하여 상대 평가를 할 수 있다.

Fig.3, 4로부터 우선적으로 직경 10mm의 드릴 공구에 비하여 직경 16mm의 드릴 공구를 사용하여 동일한 가공 조건으로 가공을 수행한 경우에 있어서 수직방향으로의 절삭분력 Fz는 약 2배, 회전방향으로의 절삭분력 Mz는 약 3 배 정도가 큰 값으로 나타나는 한편, 회전방향으로의 절삭분력 Mz의 경우에 파형의 진폭이 상대적으로 크게 나타난다는 것을 파악할 수 있다. 이와 같은 결과로부터 칩의 형성 과정이 더욱 밀집하게 작용한다고 할 수 있는 회전방향으

로의 절삭분력 M_z 는 드릴 공구의 직경이 커질수록 상대적으로 더욱 비선형적으로 증대되고, 접촉면적과 간섭현상으로 인하여 파형의 진폭이 크게 나타날 수 있다는 것을 확인할 수 있다.

또한, Fig.3, 4로부터 선단 팁 교체형 드릴 공구의 경우에 솔리드 드릴공구와 비교하여 수직방향으로의 절삭분력 F_z 는 약 5~7%, 회전방향으로의 절삭분력 M_z 는 약 7~10%가 상대적으로 낮게 나타나며, 파형의 진폭도 최대 약 5% 정도 적게 형성된다는 것을 확인할 수 있어 절삭성능 뿐만 아니라 절삭 안정성 측면에서도 우수하다는 것을 추정할 수 있다. 물론 솔리드 형태의 드릴 공구와 동일 설계에 의하여 제원이 설정된 선단 팁 교체형 드릴 공구가 아니므로 단정할 수는 없겠으나 절삭 날끝이나 공구 바디의 선회형상 및 각도 등의 고유한 차이에 의하여 상대적으로 더 우수한 결과가 나타났다고도 생각할 수 있어 향후 더 많은 실험 데이터의 확보에 의한 판별이 요구된다.

3.3 결론

드릴링 절삭 안정성을 간접적으로 상대평가하기 위한 방법으로 드릴링 전용 공구동력계를 이용한 가공실험과 절삭력 측정, 분석을 수행하였다. 연질재료인 연강에 대한 가공성과 안정성을 수직방향으로의 절삭분력과 토오크력 측면에서 정량적으로 비교할 수 있었으며, 고유 모델링과 설계 및 정밀제작에 의한 선단 팁 교체형 드릴 공구의 경우에도 일반적으로 상용화되고 있는 솔리드 형태의 드릴 공구와 비교하여 본 실험의 조건 내에서 절삭분력이나 파형의 진폭이 거의 동등하거나 다소 우수하게 나타나 체결 강성이 양호하다는 것을 확인할 수 있다.

4. 맺음말

국내의 경우도 미래의 대외경쟁력 확보를 위하여 관련 연구사업들에 대한 지원이 이뤄지고 대기업들을 중심으로 환경친화형 생산기술에 대한 인식이 고조되고 있는 실정이다. 향후 생산제조 분야와 관련한 세계 시장에서 낙오되지 않는 한편, Green Round 등의 무역규제에 적절히 대응하여 대외기술력을 인정받기 위해서는 현 시점에서 좀 더 다양한 분야의 환경친화형 생산가공기술에 관한 연구들이 병행되어 추진되는 것이 바람직하다고 생각된다.

❁ 참고 문헌

- [1] <http://www.ecn.nl/units/wind/>
- [2] http://www.risoe.dtu.dk/Research/sustainable_energy/wind_energy.aspx
- [3] <http://www.dewi.de/dewi/index.php>
- [4] <http://wind.nrel.gov/designcode/>
- [5] <http://www.g1-garradhassan.com/en/software/GHBladed.php>
- [6] <http://www.samtech.com/files/files/s4wt.pdf>
- [7] http://www.wmc.eu/FOCUS6_2010.pdf
- [8] 풍력발전시스템 성능 기지화 사업, 한국에너지기술연구원, 2005년
- [9] 중대형 풍력발전 시스템의 성능평가 기반 및 기술기준 확보, 한국표준과학연구원, 2007년
- [10] 100kW급 풍력발전 시스템 실증에 관한 연구, 한진산업, 2009년



강 재 훈

- 한국기계연구원 첨단생산장비연구본부
광응용기계연구실 책임연구원
- 관심분야 : 에코융합형 생산가공 공정 및
전용시스템 기술
- E-mail : jnksng@kimm.re.kr