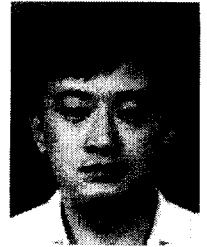


환경 친화적 공작 기계 및 가공 기술

강 재 훈*

Environmentally Conscious Machining Technology and Machine-tool

Jae-Hoon, Kang



1. 서 언

근래 선진 공업국들을 중심으로 활발한 경제 활동과 풍요로운 생활을 추구하는 한편, 개발 도상국들의 경우는 지속적으로 인구가 증가하고 공업화 및 생활 수준의 향상이 두드러지면서 자원 에너지와 환경 유해 화학 물질들을 다량 소비하는 추세에 이르러 폐기물의 대량 발생, 과도한 CO₂ 가스의 발생에 의한 오존층의 파괴와 이에 따른 지구 온난화, 산성비의 초래, 열대림의 감소와 이에 따른 지구 사막화 등 다양한 환경 문제들이 인간 사회를 점차 위협하고 있는 실정이므로 정치, 사회, 경제 및 기술적인 측면에서의 시급한 대응이 필요하다.

지구 환경 문제에 대한 관심은 “오존층을 파괴하는 물질에 대한 몬트리올 의정서(1987년)”와 캐나다의 토론토에서 개최된 “대기 변동 및 지구 환경 보전으로의 대응”이라는 주제의 국제 회의에서 제창된 CO₂ 가스 배출량의 억제화(1988년 대비 2005년 -20%)가 계기로 되어 전세계적으로 급속히 확산되었다.

최근에는 1997년 일본의 동경에서 160개국이 참가한 “지구 온난화 방지 회의”가 개최된 바 있으며, UN 산하에 기계 생산 부문인 UNEP 계획에 의한WG/SPD가 조직되어 사무국을 네덜란드에 두고 세계 각국이 회원이 되어 환경 조화형 제품의 개발을 위한 활약을 하는 한편, ISO14000 등의 국제 인증 제도 및 Green Round 등의 무역 규제 제도 등이 도입되고 있다.

선진국들은 이러한 인식 하에 1990년대에 진입하면서 관련 기술 개발을 표 1과 같이 대부분 정부 지원에 의하여 주도하고 있으며, 사후 처리의 기술 개발에서 점차 국제 환경 무역 장벽에 대비한 청정 생산 기술 개발에 중점을 두고 기술 투자 및 연구 방향을 확대시키고 있다.

한편, 국내의 환경 관련 기술은 사후 처리 기술 위주로서 이와 관련한 개발에 대한 지원은 선진국 대비 약 5% 정도의 수준으로 매우 미약한 실정이며, 환경 친화적 청정 생산(Green/Clean Manufacturing) 기술은 선진국 대비 약 10~20% 정도의 수준으로 크게 낙후되어 있다.

따라서 현재까지의 환경 문제 해결 방법인 “종말 처리

* 한국기계연구원 자동화연구부 정밀가공그룹 선임연구원

표 1 선진국들의 환경 관련 R&D 지원 현황

국가	주무 부처	환경친체 기술	청정생산 기술	사후처리 기술	청정 비중
미국	상무부, 에너지부, 국방부, 환경청	17.8억\$	9.7억\$	8억\$	55%
일본	통산성	7억\$	5.7억\$	1.3억\$	81%
독일	과학기술부	5.3억\$	3억\$	2.3억\$	56%

기술"에서 탈피하여 원천적으로 폐기물 및 오염물 발생을 방지하거나 극소화하는 예방 기술인 원천 생산 제조 기술 차원에서 기술 개발이 이뤄져야만 향후 Green Round 대처등을 통한 대외 경쟁력의 확보가 예상될 수 있다.

초기의 환경 친화형 생산 기술은 경제성과 인체 유독성 등의 측면은 소홀히 취급하였으나, 현재는 이 둘을 동시에 고려한 광범위한 의미에서 환경 친화형 생산 기술을 취급하는 추세에 있다. 즉, 폐기량 극소화, 인체 유독성 극소화, 절삭유 대체(극소)화 등의 환경성 측면과 동력(에너지) 절감화, 생산(가공)률 향상화, 제조 원가 절감화, 공구 마멸 극소화 등의 경제성 측면을 밸런싱있게 동시에 고려할 필요가 있다.

따라서 절삭유 사용량을 배제 혹은 극소화하거나 환경 오염 및 인체 유해성을 억제할 수 있는 절삭유를 사용하

고 가공 공정과 조건을 최적화하는 한편, 재활용이 용이한 칩이 형성되도록 환경성을 고려하고 가공 동력(에너지)의 극소화, 가공 능력의 극대화, 공구 사양 및 공작물 물성의 최적 선정, 공구 마멸의 억제, 절삭유 유지 관리비의 절감, 가공 시간의 단축 등 경제성을 고려한 생산 가공 기술을 개발, 적용하여야 한다.

본 문에서는 최근에 전개되고 있는 선진국들의 환경 친화적 청정 생산 기술의 경향을 나타내고 환경 친화적인 공작기계 및 가공 기술에 관한 주변 기술들을 정리하여 서술하였다.

2. 청정 생산 가공 기술의 경향

최근 전세계적으로 생산 기술 측면에 있어서 경쟁적으로 연구 노력을 진행중인 가공 관련 분야는 크게 미소 구조물(Micro Fabrication)화, 고속 가공(High Speed Machining)화, 복합 가공(Hybrid Machining)화, 쾌속 시제품(Rapid Prototyping)화 및 환경 친화형 가공(Environmentally Conscious Machining)화 등 다섯 가지 정도로 분류할 수 있으며 이들 중 환경 친화형 가공 기술은 그림 1에 나타난 바와 같이 21 세기를 주도하는 첨단 고부가가치

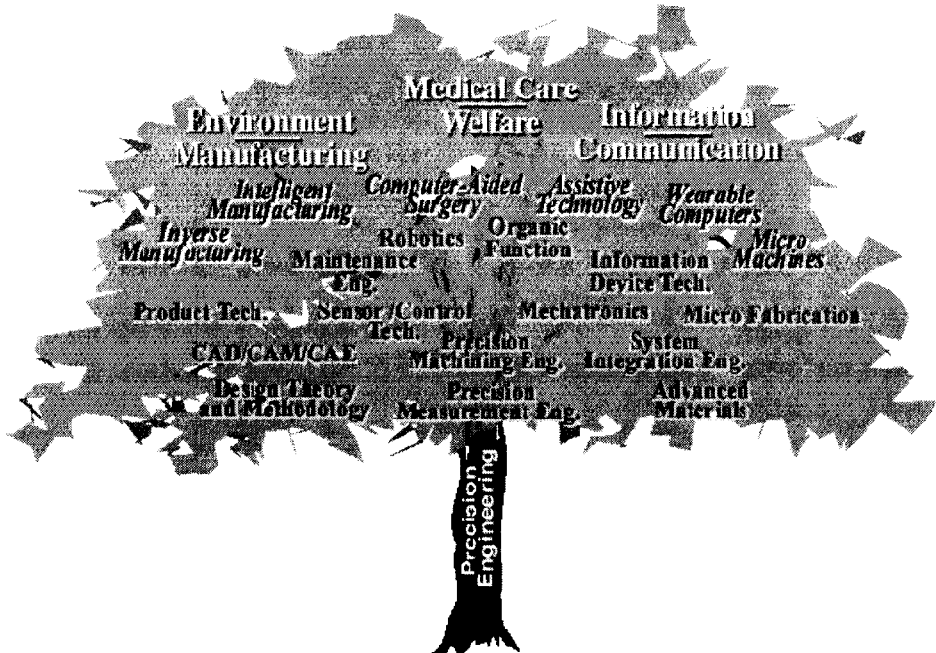


그림 1 21세기형 첨단 산업 분야의 Techno-tree

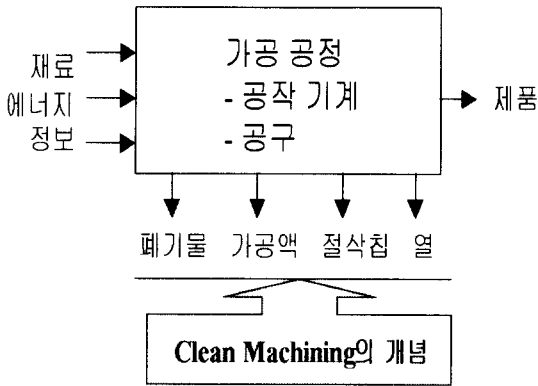


그림 2 가공 공정상의 입,출력 관계 도식도

산업 분야인 정보 통신 및 의료 기기 등의 산업 분야 등과 함께 중요하게 다뤄질 전망이다.

생산 작업 현장에 있어서 당면한 기술 개발 과제에의 일환으로써 가공 정도 및 가공 능력의 향상측면에 부가하여 환경 문제가 새로이 최근에 주목받기 시작하고 있다. 그 중에서도 후처리 비용의 문제와 쾌적한 공장 환경을 실현 시킨다는 차원에서 절삭유 사용의 억제하거나 전혀 사용하지 않는 건식 가공에 대한 관심이 고조되고 있다. 여기서는 환경 문제를 의식한 기계 가공 공정의 현황에 대하여 나타낸다.

기계 가공 기술의 개발 연구에 있어서 가공 정도와 가공 능력의 향상이 주요한 과제라는 것은 가공 기술자의 입장에서 공통적으로 인지하는 것이지만, 최근에는 이와 더불어 환경 문제에 대한 배려가 필요하다는 것이 새로이 인식되고 있다.

즉, 생산 가공 공정을 그림 2와 같이 하나의 변환 과정으로 정하여 입력 요인을 재료, 에너지(동력) 및 정보 등으로 할 때 출력으로 얻는 제품 외에 절삭칩, 열, 절삭액 및 기타 배출물도 동시에 산출되는 것이 기존의 입장이었지만 이에 환경 보호의 관점에서 문제가 되는 것을 최근에 새로이 도입하고 있는 실정이다.

생산 가공 분야의 환경 문제에 관한 의식이 높은 국가는 독일을 들 수 있으며, 벤츠사의 경우에는 재료의 리사이클을 시작으로 매우 적극적으로 전개하고 있는 대표적인 예라고 할 수 있고 "폐기물이 없는 생산 공장의 실현"이라는 슬로건을 내걸고 다각적인 관련 연구를 진행 중에 있다.

예를 들면 절삭 가공에 따른 배출물으로써 가장 문제가 되는 절삭액을 사용하지 않는 소위 건식 가공에 관한 연

구와 이러한 기술에 대하여 기초가 되는 절삭 온도의 해석 및 예측이라는 고전적인 과제에도 더욱 노력을 경주하고 있다는 것을 들 수 있다.

환경 문제를 취급하기 위해서는 무엇보다도 가장 의식이 필요하다고 할 수 있다. 벤츠사의 경우에는 환경 문제의 조사, 개선, 의식 향상 등의 임무를 담당하는 특별 이사회가 구성되어 있으며, 환경 보전을 위한 지출액은 '92년의 경우 579백만 마르크(약 450억원)로 시작하여 지속적으로 관련 비용이 상승하고 있고 이러한 비용은 주로 환경 문제에 관한 데이터를 수집하기 위하여 지출되는 것으로 나타났다.

그룹내 회사 전체를 대상으로 한 차원에서의 에너지 소비를 시작으로 각종 폐기물의 데이터를 수집하기 위한 시스템을 구축하기도 하여 최소한의 비용으로 수행하고 있다.

미국의 경우를 예로 들면, Machine Tool Agile Manufacturing Research Institute를 중심으로 Michigan Technological University(MTU), University of California-Berkeley(UCB), University of Nebraska-Lincoln(UNL), University of Illinois at Urbana-Champaign(UIUC) 등의 대학들이 공동으로 가공 공정에 있어서 지구 환경(Environmental), 작업 재해(Health), 안전(Safety) 등 유해 요소 EHS의 예측 및 억제 방안 정립, 가공 공정에 있어서 절삭유의 특성과 역할 도출, 건식 가공 공정 기술의 개발, 특수(비일반) 가공 공정에 있어서 폐기물의 특성 평가, 환경 친화성을 고려한 절삭 가공 공정의 계획 수립 등을 주 연구 목적으로 하여 환경 친화형 가공(Environmentally Conscious Machining: ECM)에 관한 관련 연구를 체계적으로 수행하고 있다.

또한, 미시건대의 경우는 환경 친화형 가공 Test-bed를 구축하고 절삭유 역할의 모델링, 절삭유 특성 분석 및 선정 기준안 정립, 절삭 칩 형성 특성의 분석, 절삭유와 공구 폐기물의 억제화, 건식 가공, 특수 복합 가공 기술의 개발 등을 중심으로 한 연구 내용으로 환경 친화형 생산(Environmentally Conscious Manufacturing: ECM)에 관한 과제를 추진하고 있다.

일본의 경우는 기계 기술 연구소에서 생산 분야에서의 경제적, 기술적 발전을 저해하지 않으면서 지구 환경 문제의 해결에 기여할 수 있는 차세대형 기계 기술을 확립하는 것을 목표로 에너지 소비량이 적을 것, 지구 생태계로의 부하가 적은 신자원 에너지로 전환할 것, 폐기량이 적거나 재활용 처리가 용이한 폐기물일 것, 지구 생태계에 유해한 물질을 사용하거나 생성하지 않을 것 등을 실현하

기 위한 Ecofactory(Ecology-Based Factory 혹은 Ecologically Conscious Factory의 압축 표현)에 관한 연구를 수행하고 있으며, 게이오대 및 사이타마대 등을 중심으로 극소량의 절삭유를 사용하거나 절삭유를 대체하여 냉풍 공급에 의한 건식 가공을 추구하기 위한 관련 연구 등을 추진하고 있다.

3. 환경 친화를 고려한 공작 기계

공작기계 측면에서 환경 친화를 고려한다는 것은 무엇보다도 에너지(동력) 절감을 추구한다는 것으로부터 비롯될 수 있어 고속화에 의한 가공 시간의 단축 및 공작 기계의 소형화와 배선의 최소화에 의하여 전력 소비량을 억제함으로써 가공 중의 에너지를 절감하는 것이 바람직하다.

또한, 유압 유닛트를 배제하고 오일 냉각에 의한 주축 냉각 방식으로부터 에어 냉각 방식으로 변경하는 한편, 주축의 윤활을 미스트 방식으로 변경하여 에어용 전력을 삭감하고 변속기의 채용으로 모터를 고효율 회전수가 되도록 유지함으로써 주축의 고속 회전을 실현하거나 절삭유 사용량의 억제로 소형화 펌프를 채택함으로써 전력 소비량을 억제하는 등 구성 유닛트와 부품 및 기구의 변경에 의하여 전력 소비량을 억제할 필요가 있다.

그리고 머시닝 센터의 공구 교환 시간 단축 등을 통하여 비가공 기간 중의 전력 소비량을 절감하고 가동 준비 시간 등의 공회전을 배제한 유지 전력 소비량의 절감함으로써 비가공 중의 에너지를 절감하는 것도 요구된다.

그림 3에 나타낸 바와 같이 대표적인 생산 제조 현장이라고 할 수 있는 기계 공장의 경우에 공작 기계(가공기)가 소비하는 에너지가 대부분이며 가공기의 용도별 에너지

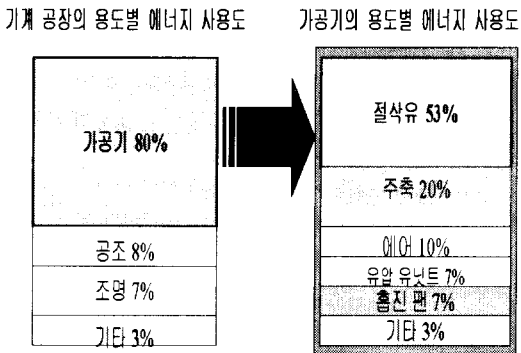


그림 3 생산 제조 현장에서의 에너지 소비 추세

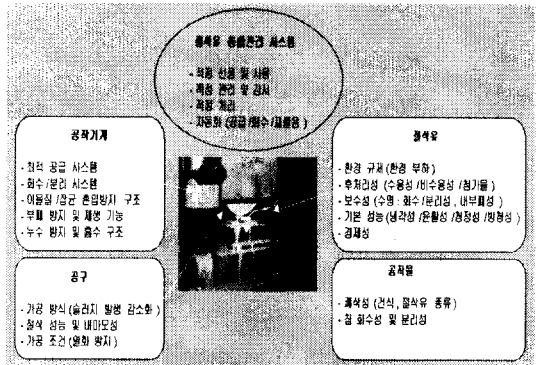


그림 4 절삭유에 의한 환경유해 부가성의 억제 방안

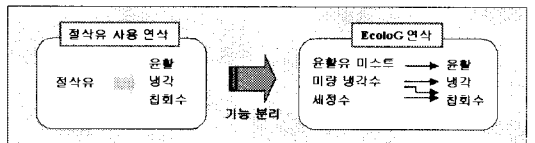
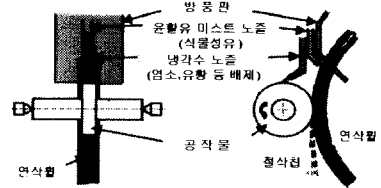


그림 5 일본 도요다공기의 EcoloG형 연삭 시스템의 개념도

사용도 측면에서는 절삭유와 관련한 부문이 반 이상을 차지한다는 것을 알 수 있다.

그림 4에는 절삭유로부터 비롯되는 환경 유해 부가성을 억제하기 위한 방안을 절삭유 총합 관리 시스템을 중심으로 하고 공작 기계, 공구, 공작물 및 절삭유 등의 측면을 세부적으로 분류하여 도식적으로 나타내었다.

표 2에는 일본에 있어서 현재 추진되고 있는 환경 친화형 공작 기계의 종류와 적용 방식을 분류하여 나타내었으며 건식 가공 방식을 채택하는 경우가 비중을 많이 차지한다는 것을 알 수 있다. 또한, 그림 5에는 최근 일본 도요다공기에서 개발, 적용하고 있는 EcoloG 연삭 시스템의 개념을 도식적으로 나타내었으며 절삭유의 기능을 분류하여 냉각과 윤활용 노즐을 병행하여 사용함으로써 광물성유를 대체한 식물성유와 냉각수를 각각 연삭 휠과 공작물 측에 분리하여 공급한다는 것을 알 수 있다.

표 2 환경 친화형 공작기계의 개발 예

기업명	시스템(방식)	특징	
건식 가공 방식	미쯔비시 정공	· 특수 코팅한 고속도강 호브를 이용한 완전 건식화 · 비절삭유화로 특수 장치의 배제 · 공구 수명 연장, 절삭 속도 개선에 따른 비용 절감	
	도요다 공기	EcoloG형 연삭 시스템	· 절삭유의 기능을 분리하여 윤활은 식물성유 의 미스트 방식, 냉각 및 칩 제거는 특수 냉 각수로 대체화
		냉풍 가공형 연삭 시스템	· 연삭 부위에 약 -30℃의 냉풍을 부여하는 가공 방식화 · 칩은 윤활유와 같이 집진기로 회수
	엔소와	질소 가스 공급 방식	· 공기로부터 고순도의 질소 가스를 공급받아 고압으로 가공 부위에 분사함으로써 가공열 을 냉각
호크스	주축내부 미소 절삭유 공급 방식	· 주축내 별도의 경로를 통하여 오일과 공기를 혼합하여 분사함으로써 가공열을 냉각	
회수 방식	오쿠마	복합 절삭유	· 공구 절삭 날 끝에는 미량의 비수용성 절삭 유를, 공작물에는 수용성 절삭유를 사용 · 가공후 양자의 비중차를 이용하여 급속 분리 함으로써 재사용
	모리정기	폐절삭유 재활 용 장치	· 사용된 절삭유를 여과 회수하여 항상 새롭게 유지, 비용도 폐처리 비용 절감화 · 도요다 화학사에서 개발
기구 변경 방식	히타치 정기	역 설계 방식	· 중력을 이용하여 칩을 밑으로 낙하, 수집하 는 기구를 채택
		자기 윤활형 리니어 가이드	· 자기 윤활 기능을 지닌 볼스크류 가이드를 채택하여 윤활유 사용을 억제
	도요다 공기	칩 낙하 베드	· 중력을 이용하여 칩의 자연 낙하되는 기구를 채택하여 절삭유 사용량을 반감



그림 6 절삭유를 사용한 습식 드릴링 및 성형 연삭 가공작업의 예

· 가공 정도를 향상시킨다
· 가공물 표면층의 재질적 변화나 잔류 응력을 억제한다
기계 제거 가공은 크게 절삭유를 사용하는 습식 가공과 절삭유를 사용하지 않는 건식 가공으로도 분류할 수 있으며, 그림 6에는 절삭유를 사용하는 습식 가공 작업의 예를 나타내었다.

절삭유로서 증류수를 비롯하여 채종유나 콩 기름 등을 사용한 적도 있으며, 제 2차 세계 대전을 계기로 광물성 기름이나 유지의 혼합유 혹은 유화유의 형식인 수용성 절삭유가 등장하여 보편화되었으나, 다양화되는 기계 가공에 대응하기 위하여 새로운 윤활 첨가제나 합성 계면 활성제 등이 개발되어 첨가되고 있다.

일본 공업 규격(JIS) 등에서는 광물성 기름을 주성분으로 하여 원액만을 사용하는 불수용성 절삭유와 계면 활성제를 혼합하여 물에 희석하여 사용하는 수용성 절삭유로 크게 분류하고 있다. 일반적으로 불수용성 절삭유는 윤활 성능, 수용성 절삭유는 냉각 성능이 우수하다고 할 수 있으며, 현재의 절삭 가공 현상에서는 인화 위험성이 높지 않아 자동화 운전 작업시에 안전성이 우수하며 고속 절삭 가공에 대응하여 높은 냉각 성능을 지니는 수용성 절삭유를 대부분의 경우에 있어서 사용하고 있다.

한편, 절삭유의 사용은 필연적으로 작업 환경의 악화라는 문제점도 수반하게 되어 절삭 가공시의 고온화에 의한 증발 비산은 특히 고속 가공의 경우에 있어서 두드러지게 나타나 작업 분위기를 오염시킨다. 또한 최근에는 절삭유에 각종 부가가치성 성분이 혼입되는 경우가 많아짐에 따라 비산되는 절삭유에 의한 인체의 영향도 무시할 수 없다고 할 수 있다.

특히 수용성 절삭유는 공작 기계 내부에 부착되어 녹발생의 원인이 되기도 하며 외부 공기에 대하여 노출되어 순환되는 방식으로 사용되므로 마생물의 혼입이 쉽게 이뤄져 유지 관리를 소홀히 하면 박테리아 등의 온상이 되

4. 환경 친화를 고려한 절삭유 대체형 생산 가공 기술

4.1 절삭유의 사용 현황

절삭유는 절삭이나 연삭 등의 다양한 기계 제거 가공에 있어서 공구와 가공물의 간섭 부분에 공급하는 물질을 총칭하는 것으로서 대부분의 경우에 액체계를 사용하고 있으며 절삭유의 사용 목적은 다음과 같다.

- 공구의 마멸을 억제하여 수명을 향상시킨다
- 가공물의 가공면을 양호하게 한다

어 부패와 악취를 야기시키기도 한다.

산업 폐기물로서의 절삭유 측면도 최근에는 환경 문제의식이 높아지면서 크게 주목받기 시작하였다. 작업 능력의 향상을 우선적으로 하여 발전된 절삭유는 폐기물로의 처리에 대단히 위험한 성분을 다량 함유하고 있는 관계로 처리 비용이 높아져 그 비용을 사용자가 부담하게 되는 동기가 되고 있다. 1960년대까지만 해도 절삭유의 폐기 비용이 거의 소요되지 않았으나 최근의 폐처리 비용은 절삭유를 새로 구입하는 비용과 거의 동일할 뿐만 아니라 희석률을 고려한다면 절삭유를 새로 구입하는 비용의 몇 배 이상을 초과한다고 생각할 수 있다.

이러한 문제에 대응하기 위하여 일본 공업 규격(JIS)에서는 1980년에 안전성이나 환경에 대한 사회 정세를 배려하여 비수용성 절삭유에 있어서 발암성 원인이 되는 N-니트로아민 성분의 Chemical solution 일부를 배제하는 한편, 비수용성 절삭유에 있어서 소각시의 유해 가스 발생에 따른 환경 공해의 방지 차원에서 극입 첨가제 사용량의 한도를 설정하기에 이르렀다.

또한 유럽의 경우에 있어서는 일본보다도 환경으로의 영향에 대한 관심이 높기 때문에 절삭유 사용에 따른 환경으로의 배려는 매우 심각할 정도라고 할 수 있으며, 한 예로써 절삭유 비용의 몇 배 이상에 해당되는 환경 기금을 부과해 높은 절삭유 가격으로 인하여 사용자 입장에서 아예 그 사용 자체를 재고하도록 유도하기도 한다.

4.2 생산 가공 현장에서 요구되는 절삭유 관련 기술

최근에 부각되고 있는 환경 규제 방안에 있어서는 생산 비용상의 작업 관리나 유지, 작업자의 건강과 안전 및 생산성 향상을 통한 일반적인 경쟁력 제고 등이 특히 강조되고 있는 생산 분야 측면도 그 범주에 포함되고 있다. 그러나 생산 가공 작업에 있어서의 환경 연구, 특히 생산과 건강 측면을 고려한 관련 연구들은 아직 매우 미흡한 실정이다.

가장 주요한 분야중의 하나가 과학적인 데이터보다는 주관적인 판단에 기준을 두어 진행되었던 절삭유의 선정과 유지이다. 최근에는 절삭유 공급자를 포함하여 적용되는 가공 기법의 범위, 절삭유 선정 임무 및 확보, 관리와 소진 등과 관련된 분야에 있어서 다소 주춤거리고 있는 양상이 나타나고 있으며, 결과적으로는 많은 가공 작업들에 있어서 절삭유의 선정과 관리가 완화될 전망이다.

현재 연구가 진행중인 대표적인 주요 관련 분야는 다음과 같다.

- (1) 가공조건의 표준화에서 다양한 절삭유의 열-물리적인 거동해석 및 분류
: 절삭유 등급에 따른 열전달 계수 및 동점성의 해석과 실험 기법 개발
- (2) 절삭유 수명과 고체 스크랩의 관리 등과 관련한 환경 요소의 해석(절삭유 억제상의 가공 특성, 고체, 액체, 분무와 증발 상의 각종 가공 쓰레기 종말 처리, 가공 작업과 관련된 건강의 위해성 등)
: 공정과 작업 등급에 있어서의 정량화와 실험적 감지 능력 개발
- (3) 후처리 공정과 재활용 처리 시간(원심 분리, 침전, 고순도 필터링 등의 기법에 의한 미생물 박테리아의 성장을 차단하기 위한)을 고려한 절삭유의 선정

4.2.1 절삭유의 열-물리학적 거동

가공 공정상의 칩 생성에 있어서 절삭유의 기능은 냉각과 윤활 작용으로 크게 분류할 수 있다. 제거 가공이 이루어지는 절삭 구역에 있어서 발생하는 가공 열은 공구의 경도와 고체 상태의 확산 작용에 크게 영향을 미치기 때문에 공구에 대한 냉각은 공구 수명의 개선 효과를 부여할 수 있다.

냉각 작용의 다른 역할은 공구, 공작물 및 가공 시스템 부품 등의 열 팽창을 효율적으로 억제함으로써 적당한 한도내의 클리어언스를 유지시킨다는 것이다. 또한, 냉각 작용은 고속화에 대한 빌트-업 모서리의 생성 영역을 변화시키는 한편, 표면 품질을 향상시키기도 한다.

경사면에 있어서의 윤활 작용은 칩과 공구의 간섭 부위에 있어서 얇은 필름막을 형성시켜 접촉 길이와 마찰 계수를 감소시키는 역할을 한다. 결과적으로 경사면에 있어서의 윤활은 칩의 압축, 빌트-업 모서리, 표면 거칠기, 절삭력 및 동력의 소비를 절감시키는 역할을 한다고 할 수 있다.

절삭유 성분의 데이터 베이스화는 절삭유 성분, 농도 및 온도 등을 함수로 하여 밀도, 비열, 열전도 등의 실험적 결정을 통하여 수행되고 있다. 이러한 데이터 베이스를 이용하여 임의의 공정을 위한 절삭 형성, 절삭유 주입용 노즐의 적용(그림 7의 분무, 주입, 젯트 방식 등) 및 열전달 계수를 Reynolds, Prandtl Number의 함수로 나타낼 수 있다.

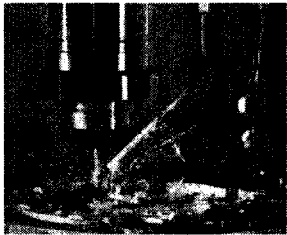
4.2.2 절삭유의 감소

가공 공정 중에 있어서의 절삭유 수명은 저장과 이동, 절삭유 혼합 및 공정상의 사용과 처리 등을 거쳐 종료된다. 이러한 과정중 공정상의 절삭유 사용이 가장 높은 관



(1) 주입식

(2) 젓트식



(3) 분무식

그림 7 절삭유 적용 방식의 예

심의 대상이 되고 있는 것은 가공 공정 중에 있어서 절삭유의 혼탁성(미생물 및 박테리아의 영향 제외)이 야기되기 때문이다.

가공 공정 중에 발생하는 절삭유에 대한 이물질의 혼입 현상은 공구의 수명을 단축시키고 공작 기계 부품과 공작물을 침식시킬 뿐만 아니라 공작 기계의 운동에 대하여 간접 작용을 일으킬 수 있다.

절삭유를 오래 사용하게 되면 절삭유의 상태가 악화되어 결국에는 절삭유의 역할을 제대로 수행하지 못하게 되어 폐처리하데 된다. 물의 자연적인 증발에 따른 농도의 변화, 부수적인 각종 오일의 혼입, 물과 침전물의 혼합, 산화 및 알카리화로의 변화, 절삭유 성분의 열적 약화 및 미생물의 증가 현상 등에 의하여 절삭유의 수명이 종료된다.

따라서 절삭유의 감소에 대하여 실시간적으로 피드백 처리할 수 있는 감지 및 진단 기법의 적용이 요구됨으로써 공구 마멸, 절삭력 및 공구 온도 등의 가공 인자들을 총합적으로 모니터링할 수 있는 상태 감시 기술의 개발 연구가 진행되고 있는 실정이다.

4.2.3 가공 폐기물의 환경 및 인체에 대한 영향

수용성 절삭유용 유화제의 Naphthenic oil, Sodium Petroleum, Tall Oil Fatty Acids Soap, Diethylene Glycol 성분들과 합성 절삭유의 Triethanolamine, Polyalkylene Gly-

col, Tall Oil Fatty Acid, Boric Acid 성분들은 인체에 유해한 작용을 함으로써, 작업자가 분무된 절삭유를 흡입하거나 피부에 접촉 혹은 간접적으로 섭취함에 따라서 각종 피부 및 안과 질환, 호흡기 질환이나 폐, 구강, 간, 피부암 발생 등의 발암 원인이 될 수 있으며, 폭발 위험성에 따라 작업 재해의 요인으로써 작용할 수도 있다.

절삭유와 관련된 인체 건강의 위험은 노출 경로에 비롯된다. 작업자들은 항상 각종 금속 작업용 절삭유에 피부가 노출되어 있을 뿐만 아니라 분무액을 흡입하거나 불순물 미립자와 절삭유를 본의 아니게 섭취하게 된다.

작업자들은 연기 및 연소 산화물을 혼입한 증기와 가스 및 각종 첨가제, 부가적인 오일류, 세정제, 그리고 가공 공정 중에 발생하는 금속계 이온 등에 쉽게 노출되어 있는 실정이다. 직접적으로 절삭유를 흡입하게 되면 대단히 인체에 위험할 수 있으며, 고체 상태의 공구와 공작물 분진은 그 크기에 따라서 인체의 위해성 여부가 좌우된다.

따라서 가공 공정 중에 있어서 절삭유의 분무 상태와 폐기물의 일종인 분진의 이동 경로 등을 모니터링하는 것과 접촉성 피부염 및 폐질환 등의 인체 위해 요인 등을 측정하는 것이 필요하므로, 분무 및 분진을 조합하여 감지하거나 이동 경로의 모델링 및 유해성을 추론하기 위한 관련 연구들이 진행 중에 있다.

한편, 그림 8에는 산업 재해를 예방하고 쾌적한 작업 현장을 유지하기 위하여 기계 가공 현장에서 분무되는 절삭유를 덕트로 흡입한 후, 필터링함으로써 절삭유 성분과 분진 등을 분리하여 순수 공기만을 다시 공급할 수 있도록 설계, 제작된 장치의 예를 나타내었다.

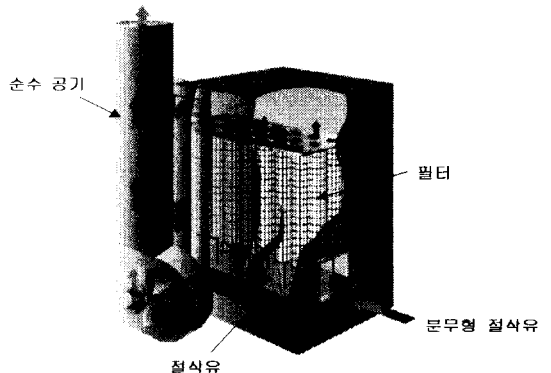


그림 8 분무 절삭유의 필터링 장치

4.2.4 절삭유의 재활용 기술

일단 사용된 절삭유는 재활용되거나 폐기 처리된다. 재활용 공정은 절삭유로부터 고체 및 액체 불순물을 분리하는 것과 재활용 및 새로운 절삭유를 혼합하는 것으로 구분할 수 있다. 재활용 시스템은 가공 라인의 규모, 공작 기계의 대수 및 가공 공정 종류 등의 인자를 고려하여 중앙 저장 탱크로의 절삭유 순환 장치를 이용한 중앙 공급식, 각 단위 공작 기계당 저장 탱크와 재활용 시스템이 부착된 기본 구성식, 그리고 이들을 혼합한 단위 공급 방식 등으로 분류하여 적용할 수 있다.

고체의 불순물은 그 크기에 따라 효율적으로 분리할 수 있도록 하기 위하여 침전식, 자성 분리식, 원심 분리식, 장애 여과식, 부유 제거식 등의 재활용 처리 장치가, 유체의 불순물은 부유 제거식, 원심 분리식, 합일식 재활용 처리 장치가 각각 개발되어 적용되고 있다.

서브-미크론급의 미소한 구멍 크기를 이용하여 미세한 고체의 불순물 뿐만 아니라 박테리아와 같은 미생물도 여과할 수 있는 재활용 처리 장치의 개발을 위한 관련 연구가 진행중에 있으므로 피부병 등의 주 원인 요소인 절삭유 중의 방청제 성분을 향후에는 배제할 수 있게 되리라고 판단된다.

4.3 환경 친화형 생산 공정 기술의 관련 연구

최근에 들어 환경 오염 방지법이 입법화되면서 환경 친화형 생산 기술 분야에 관한 관심이 고조되고 있다. 유럽에서 선창된 이래 주수출국인 미국의 산업체에 크게 파급되었으며 청정 제품 및 생산 공정에 대한 소비자의 욕구가 증대되고 있는 실정이다.

최근까지만 해도 생산 제품과 공정에 대한 산업체의 환경 친화형 노력은 크게 금속과 플라스틱의 재활용 공정의 개발과 세정 및 구리스 제거 및 도금과 같이 국한된 생산 제조 공정을 위한 화학적 공정의 대체화 개발과 같이 두 가지로 분류할 수 있다.

재활용 측면에 있어서는 정부와 산업체간의 노력에 의해 1990년을 기준으로 하여 미국의 경우 모든 고체 형태의 폐기물에 대한 약 17% 정도의 재활용 실적을 얻을 수 있게 되었다.

화학적인 공정의 대체화 측면에 있어서는 금속 도금이나 마무리 공정과 같은 주요 공정 응용 분야에 대한 대체화 및 전자 제품 생산 분야의 환경 친화형 솔벤트 개발, 세정과 비용해 납땀 공정의 개발 등에 국한되어 집중적으로 진행되어졌다.

생산 공정에 있어서 가장 널리 사용되는 가공 분야 역시 환경 친화형 생산 공정과 관계있는 특별히 관련된 공정 중의 하나라고 할 수 있다. 환경 친화형 가공 공정은 상용되는 공정의 보완 수정 혹은 대안이 될 수 있는 공정으로의 대체화 및 일반 가공을 대체할 수 있는 새로운 생산 공정의 개발 등으로 분류하여 생각할 수 있다.

그러나 제품 설계, 공정 계획과 공정 작업 등의 측면에서 대체화의 완전한 평가를 위해서는 공정 시간, 에너지 사용량, 공작물 제거 및 공정 영향 인자 흐름 등의 가공 사양이 결정되어야 한다.

여기에서 가공 공정의 영향 인자는 윤활유, 절삭유, 공구 등과 초기로부터 최종 상태에 이르기까지의 공작물 전이에 있어 도움을 줄 수 있는 광범위한 재료들을 포함한다. 이러한 차원의 평가는 에너지와 질량의 손실, 공정률과 기상, 액상, 고상 등의 2차적인 폐기물의 발생 해석과 관련있는 가공 공정 모델의 정립을 필요로 한다.

환경 친화적인 가공 공정의 총합적인 해석이 필요하며, 이러한 해석은 칩 생성 기구, 플랭크 마멸에 따른 공구 수명 및 액상, 기상의 절삭유 폐기물 생성 등의 영향을 조합화해야 한다. 해석을 통하여 공정 중의 에너지 소비, 공정률 및 폐기물 양의 흐름 등에 대한 가공 조건(가공 속도, 절삭 깊이량, 공구각 등)의 변화에 따른 영향을 추정할 수 있다. 폐기물의 흐름은 유해성과 가연성, 반응성 및 처리성 등과 상호 관련된 가치치 해석을 통하여 비교할 수 있다.

4.3.1 가공 공정의 모델링

가공 인자와 환경 친화 인자들 간의 상호 관계를 정립하기 위하여 재료 제거 기구, 공구 수명, 스크랩 생성 및 절삭유 흐름과 같은 4 가지의 일반적인 가공 공정 측면을 설정한다. 공정에 대한 입력 요소는 가공 형태를 포함하여 가공 인자, 초기와 최종적인 공작물의 기하학적 형상 및 치수, 공작물 재질, 공구 형상 및 재질 등을 포함하며, 출력 요소는 가공률, 공정 소요 에너지, 절삭력, 총 제거 가공 체적량 등을 포함한다.

여기에서 가공률(공정률)은 마멸 해석을 통한 공구 수명의 예측에 있어서 이용된다. 공구 수명과 총 제거 가공 체적량은 고체 폐기물(칩, 사용 공구, 부스러기 등)의 생성을 예측하기 위하여 공작물 스크랩의 모델을 통하여 평가된다. 절삭유의 물성과 주입률에 따라서 가공률은 액상 및 기상 형태로 방출되는 절삭유량의 예측에 이용된다.

가공 공정의 기구는 가공 속도, 재료 제거 체적량, 칩의 기하학적 형상, 절삭력 및 공정에 소요되는 에너지 등을

통하여 발생하는 모든 폐기물 등에 지배적인 영향을 미친다. 가공 공정 모델화의 목적은 폐기물 생성에 대한 요소들간의 상호 관계를 추정하는데 있으므로 일반적인 금속 절삭 기구의 해석을 이용할 수 있다.

가공 공정 모델을 정립하는데 있어서 한 가지 복잡한 것이 공정으로부터 질량의 손실에 대한 정량화이다. 주된 질량 손실이나 보조적인 질량 손실들은 기상, 액상, 고상 등의 다양한 형태로 생성된다.

주된 질량 손실은 가공 공정 중에 발생하는 칩에 의하여 이뤄지며, 보조적인 질량 손실은 절삭 지점 전방에서 증발되거나 칩과 공작물에 코팅되고 공구를 팽창하는 절삭유에 의하여 생성되는 폐기물에 의하여 이뤄진다.

용융, 확산을 기초로 한 공구 마멸의 해석적 예측은 공구 수명을 평가하는데 사용된다. 공구 수명의 해석에 있어서 관심있는 측면은 환경적인 전망으로 부터 비롯된 것에 있으며, 공구 마멸에 의하여 생성되는 현저한 폐기물은 가공 공정 중에 마멸되는 공구의 손실량이라기 보다는 사용 후에 발생하는 공구의 폐기량이 대부분을 차지한다.

4.3.2 절삭유 적용상의 기준 설정

절삭유는 기계 가공에 있어서 공구 수명의 향상, 공작물의 열 변형 억제, 표면 품질 향상 및 절삭 영역에서의 칩 제거 등의 목적으로 사용된다. 절삭유는 크게 수용성과 비수용성 절삭유 및 합성 절삭유와 준합성 절삭유 등으로 구분할 수 있다.

비수용성 절삭유는 비유화성으로 회석되지 않은 상태로 기계 가공에 적용되며 광물성 기름이나 석유 등이 주성분이지만 일반적으로 유지나 식물성 기름 및 에스테르 등의 윤활 성분과 염소, 황, 인 등의 극압 첨가제를 함유한다. 비수용성 절삭유는 윤활 성능은 우수하나 냉각 성능은 떨어진다고 알려져 있다.

수용성 절삭유는 물에 회석된 유화성으로 광물성 기름을 기본으로 하지만 유화제 성분이 첨가된다. 일반적으로 3-10% 정도의 농도가 되도록 희석하여 사용하는 한편, 양호한 윤활 및 냉각 성능을 지녀 가장 널리 사용되고 있으며 비용도 저렴하다.

합성 절삭유는 석유 성분을 함유하지 않으며 방청제와 함께 알카리 유기질, 무기질로부터의 광물성 기름을 주성분으로 한다. 일반적으로 3-10% 정도의 농도가 되도록 희석하여 사용하는 한편, 가장 우수한 냉각 성능을 지닌다.

준합성 절삭유는 합성 절삭유와 수용성 절삭유를 혼합한 성분과 특성을 지니며 비용과 냉각 성능 역시 합성 절

삭유와 수용성 절삭유의 중간 성능을 지닌다.

기계 가공에 있어서의 절삭유 역할을 요약하여 나타내면 다음과 같다.

- 주된 기능
 - 저속 절삭 가공 영역에서의 윤활 작용
 - 고속 절삭 가공 영역에서의 공작물 냉각 작용
 - 절삭 영역에서의 칩 배출
- 부속 기능
 - 가공면의 부식 방지 작용
 - 고온화된 가공면의 냉각으로 부품 취급 가능 작용
- 가공 공정상의 기능
 - 공구 수명 향상 작용
 - 공작물의 열 변형 억제 작용
 - 가공 품질 개선 작용
 - 칩 성형 용이화 작용

절삭유 선정의 기준은 다음의 각 측면을 고려하여 설정될 필요가 있다.

- 공정 수행 측면
 - 열전달 작용
 - 윤활 작용
 - 칩 배출 작용
 - 절삭유 분무 발생 작용
 - 방청 작용
 - 절삭유 안정성
- 비용 측면
- 환경 측면
- 인체 유독성 측면

4.3.3 절삭유의 유지와 폐기

절삭유의 유지를 위해서는 수용성 오일 유화제의 농도와 pH, 그리고 과경과된 오일 및 불순물의 양을 점검해야 한다. 농도를 일정하게 유지하기 위하여 물을 첨부할 필요가 있으며, 과경과된 오일을 걸러내는 한편, 박테리아의 발생을 억제하기 위하여 생물학적 첨가제를 부가하고 불순물을 분리해야 한다.

절삭유의 선정에 있어서 점차 중요하게 고려되고 있는 것은 수질 오염 측면이라고 할 수 있다. 폐기 처리시에 있어서 절삭유의 각 함유 성분들은 환경 오염에 대한 부하가 가능한 한 없어야 하며 폐수 처리시의 오염을 평가하기 위하여 다음과 같은 측면을 고려해야 한다.

- 공정의 모델링화
- 환경 오염 요인의 유출이 없는 폐기 처리