

# 경제성을 고려한 환경 친화형 가공 기술

강재훈\*, 이찬홍, 송준엽, 이재경 (한국기계연구원 자동화연구부)

## Environmentally Conscious Machining Technology Considered Economic View

J.H.Kang\*, C.H.Lee, J.Y.Song, J.K.Lee (KIMM)

### ABSTRACT

Environmental factors have become important in manufacturing planning due to governmental regulations and a growing preference for "green" products. However, planning decisions must also consider traditional dimensions such as production rate and quality. In this study, technology related to basic decision method of environmentally conscious machining considered economic view was dealt. And experiments of dry type machining excluded coolant and semi-dry type machining using minimum coolant were established for the comparison of conventional machining outputs.

**Key Words :** Environmentally Conscious Machining(환경 친화형 가공), Clean Manufacturing(청정 생산), 절삭유(Coolant), 폐기물(Waste),

### 1. 서론

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 밸런싱 있게 그림 1과 같이 동시에 고려할 필요가 있다.

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

본문에서는 생산 가공 현장에서 가장 문제가 되고 있는 절삭유를 중심으로 한 환경 유해성 및 인체 유해성 등을 파악하는 한편, 절삭 공정에 있어서 경제성을 고려한 청정 생산 평가 기법을 설정하기 위한 기초적인 지침을 설정하였다.

또한, 절삭유를 배제 혹은 대체하거나 극미량만을 공급하는 방식에 있어서의 가공 성능에 대한 상

대 평가를 수행하는 한편, 청정 생산 가공 기술과 관련한 개발 방향을 설정하였다.

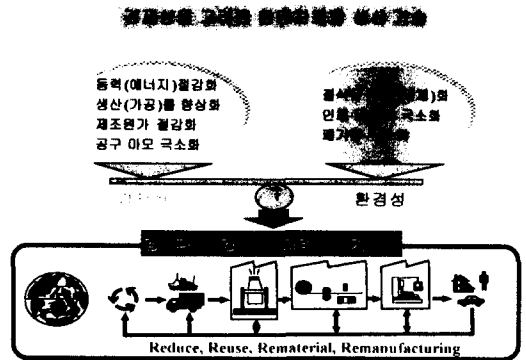


그림 1. 경제성을 고려한 환경 친화형 생산 기술

### 2. 환경 친화형 생산 기술의 개념

생산 작업 현장에 있어서 당면한 기술 개발 과제의 일환으로써 가공 정도 및 가공 능력의 향상에 부가하여 환경 문제가 새로이 최근에 주목받기 시작하고 있다. 그 중에서도 후처리 비용의 문제와 쾌적한 공장 환경을 실현시킨다는 차원에서 절삭유의 사용을 억제하거나 전혀 사용하지 않는 건식 가공에 대한 관심이 고조되고 있다.

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.

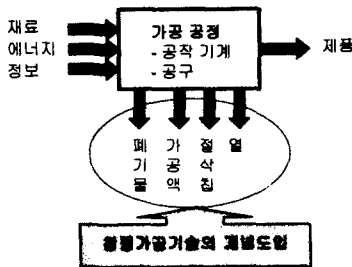


그림 2. 청정 가공 기술의 개념

가공 인자들과 환경성간의 관계를 파악하기 위하여 그림 3과 같이 재료 제거 기구, 공구 수명, 스크랩 유출과 절삭유 흐름 등 일반적인 네 가지 측면의 가공 공정을 해석할 수 있다.

공정의 입력 변수는 절삭, 밀링, 드릴링 등 가공 작업의 종류, 가공 인자, 초기와 최종의 공작물 형상, 공작물 소재, 공구 형상과 공구 소재 등이며, 출력 변수는 생산률, 에너지 소비량, 가공 저항과 공작물의 총 제거 체적량 등이다.

공구 수명과 재료의 제거 체적량은 칩과 사용된 공구 등 고체 폐기물 유출의 발생 정도를 추정할 수 있는 스크랩 모델을 통하여 평가할 수 있다. 물론 절삭유의 물성과 공급률에 따라 변화되지만 칩과 공작물로의 코팅이나 화학적인 분해 등 액상 및 기상으로 소비되는 절삭유의 양은 생산률에 의하여 추정할 수 있다.

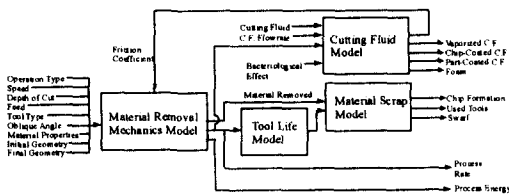


그림 3. 환경성과 경제성을 고려한 가공 공정의 모델링

### 3. 경제성을 고려한 환경 친화형 가공 공정의 설정

생산 작업 현장에 있어서의 가공 소요 시간은 생산성 측면과 밀접한 관계를 지니며 가공 소요 에너지와 더불어 경제적인 측면에 있어 지배적인 판단 기준이 될 수 있다. 최근에 있어서의 환경성을 고려한다는 차원은 광범위한 표현으로서는 사실상 경제성을 포함한다고도 할 수 있다.

즉, 가공 시간이 단축되어 가공 에너지가 적게 소요된다는 것은 그만큼 동력원이 절감된다는 것이며, 이는 동력원의 일한인 화석류 자원의 연소를 감축하여 대기중에 일산화탄소 가스 등 다양한 대기 오염원의 발생을 억제하여 지구 환경 오염을 감소하는 역할을 하기 때문이다.

초기의 공작물 상태에서 최종적으로 임의의 형상을 지닌 제품에 대하여 기계적인 제거 가공을 수행하는 경우에 대하여 다양한 가공 방식을 순차적으로 수행함에 있어 경제성을 고려한 환경 친화형 가공 공정이 성립될 수 있는 가공 순서를 설정하는 방법론에 대하여 알아보기 위하여 그림 1과 같은 제품을 대상으로 하였다.

그림 4와 같은 도면의 제품은 일반적으로 엔드 밀 공구를 이용한 밀링 가공에 의한 단차 및 slot 형상 가공과 드릴링 가공에 의한 구멍 형상 가공 및 브로우칭, 리밍 가공 등이 적용되어 최종적인 형상을 지닌 제품으로 완성 가공하게 된다.

표 1에는 각 가공 공정의 조건들을 나타내었다.

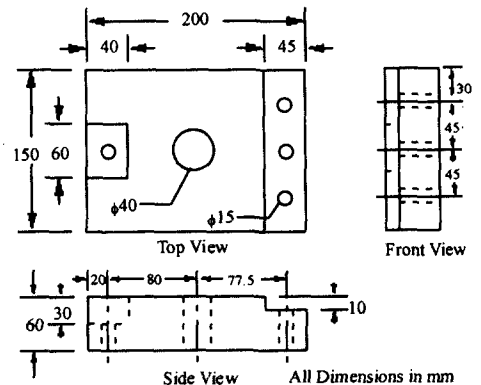


그림 4. 가공 대상 제품의 예

그림 4와 같은 형상의 제품을 가공할 수 있는 방법은 그림 5와 같이 모두 5가지의 가공 경로에 통해서 수행할 수 있다. 기하학적인 가공 미커니즘을 토대로 한 수식들을 이용하여 가공 소요 에너지, 가공 시간, 칩과 공구의 질량, 공작물 및 공구에 코팅되거나 기화된 절삭유의 질량에 대한 계산한 결과를 표 2에 나타내었다.

표 1. 가공 조건

Process	Machining Conditions
End Milling	V=75m/min, f=0.1mm/tooth, $\Delta$ =20mm
Drilling	V=11m/min, f=0.25mm/rev.
Boring	V=135m/min, f=0.075mm/rev., $\Delta$ =2.5mm
Broaching	V=31m/min, f=2m/min
Reaming	V=15m/min, f=0.40mm/rev.

표 2로부터 가공 소요 에너지가 가장 적게 소요되는 경우는 네 번째인 반면에 가공 시간이 가장 적게 소요되어 생산률이 가장 높은 경우는 두 번째임을 알 수 있다. 여기서 가장 주요한 가공 공정 폐기물의 유출은 발생하는 칩과 칩에 코팅되는 절삭유의 양이라고 할 수 있다.

물론 동일한 형상의 제품을 가공하는 경우이므로 총 제거 체적량이 일정하기 때문에 배출되는 칩의 양은 같으며 칩에 코팅되는 절삭유의 양은 칩의 단면적에 따라 변화하고, 마모 혹은 수명을 다한 공구의 질량은 가공 공정 및 조건에 의하여 영향을 받게 된다고 생각할 수 있다.

표 3에 환경 유해성 및 인체 위해성, 안정성 등을 대상으로 한 정량화된 기준 수치를 가중치로 부여하여 계산한 결과를 중심으로 다시 비교하여 나타내었다. 이로부터 경제성을 고려하면서도 환경성에 가장 적게 영향을 미치는 가공 공정의 순서는 네 번째가 될 수 있다는 것을 확인할 수 있다.

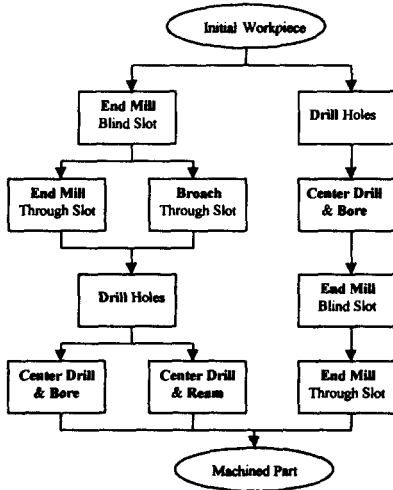


그림 5. 가공 경로의 설정

표 2. 일반적인 가공 결과의 산정

Outputs	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
Process Energy(MJ)	563	546	554	537	596
Process Time(min.)	3,030	2,490	3,450	2,910	3,040
Mass of Chip(kg)	1,750	1,750	1,750	1,750	1,750
Mass of Tool(kg)	56	43	48	35	61
Mass of Evap. Fluid(kg)	1	1	1	1	1.2
Mass of Coated Fluid(kg)	1,080	1,072	1,060	1,052	1,128

표 3. 가중치를 부여한 가공 결과의 산정

Outputs	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
Process Energy	563	546	554	537	596
Process Time(min.)	3,030	2,490	3,450	2,910	3,040
Weighted Mass(kg)	3,903	<u>3,875</u>	3,865	<u>3,827</u>	4,001

#### 4. 절삭유 특성 및 청정 가공화를 위한 평가 실험

절삭 가공에 있어서 절삭유의 주요한 역할은 크게 다음과 같은 3가지로 구분할 수 있다.

- ①윤활 작용
- ②냉각 작용
- ③절삭칩 배출 작용

절삭유의 기능은 그림 6과 같이 공작물 및 가공 시스템의 방청과 카버의 세정 및 윤활 작용도 보조적으로 지니고 있다.

이 중에서 윤활 작용은 임의의 윤활류 성분에 의해서만 달성할 수 있지만 냉각 작용은 다량의 공기에 의해서도 어느 정도 달성할 수 있다.

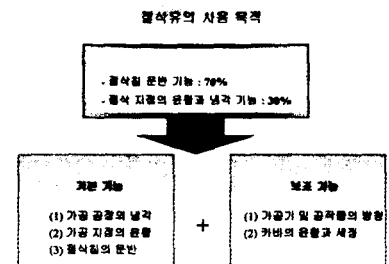


그림 6. 절삭유의 사용 목적 및 기능 분류

그림 7과 8에는 절삭유의 종류와 부가 방식에 따른 가공 특성을 비교하기 연삭 가공 실험 시스템의 사진과 공구 및 구성 개략도를 각각 나타내었다.



그림 7. 연삭 가공 실험 시스템의 사진

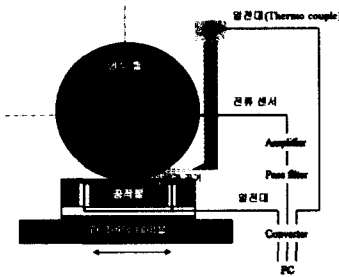


그림 8. 연삭 가공 실험 시스템의 개략도

절삭유의 윤활 및 냉각 작용을 간접적으로 평가할 수 있는 방안으로서는 가공 공정 중에 발생하는 가공 열과 공구의 마멸량을 측정 비교하는 한편, 가공면 상태를 관찰하는 것을 들 수 있다. 아울러 공작물의 총 제거 체적량에 대한 공구의 총 마모 체적량의 비를 가공비(연삭비, 밀링비)로 표현하여 상대 비교할 수 있다.

따라서 그림 8의 개략도에 나타난 바와 같이 열전대(Thermo couple) 센서를 공작물의 하부 두 지점에 구멍을 성형하여 부착함으로써 절삭 작용이 진행됨에 따른 가공 열의 열전도를 측정하는 한편, 전류 센서를 주축 구동용 모터에 연결하여 가공 공정 중의 가공 저항을 측정, 각각 비교하여 윤활 및 냉각 작용을 평가하였다. 그리고 공구의 마멸량을 Stereoscopic microscope를 사용하여 측정한 후, 가공물의 총 제거 체적량을 계산하여 가공비를 구함으로써 고찰하였으며 가공면 상태를 촬영하여 비교하였다.

그림 9에 밀링 가공과 연삭 가공에 이를 각각 적용한 경우의 결과를 비교하여 나타내었다. 일반적인 절삭유 공급량(물에 광물성 절삭유를 40:1로 희

석, 11,000cm<sup>3</sup>/min)을 공급하는 가공, 극미량의 에스테계 절삭유를 분무식으로 적용하는 가공 및 건식 가공의 세 가지 경우들에 대하여 가공비(밀링비, 연삭비)와 가공면 거칠기를 비교한 결과 가공비(공작물의 총 제거 체적량 / 공구의 총 마멸 체적량) 측면에서는 일반 습식 가공에 미치지 못하지만 가공면 거칠기 측면에서는 거의 동등하게 나타나는 것을 알 수 있다.

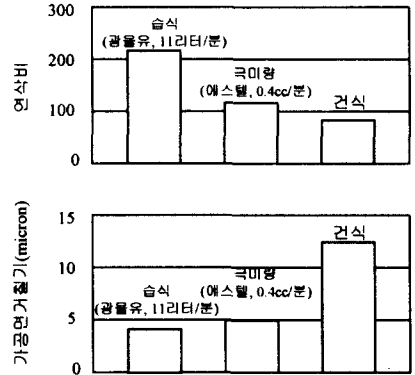


그림 9. 각 연삭 방식에 따른 결과의 비교

## 5. 결론

경제성을 고려한 환경 친화형 가공 공정을 설정하기 위한 기초적인 방법론을 제시하였다. 아울러 절삭유의 사용을 극소화하거나 대체하기 위한 실험을 통하여 일반 절삭유를 채택하는 습식 가공에 비하여 가공 결과가 유사하게 나타남을 확인할 수 있었다.

## 참고문헌

1. Olson, W. W., and J. W. Sutherland, "Environmentally Conscious Manufacturing," Proceedings of the Japan-USA Symposium on Flexible Automation, pp. 1035-1042., 1994
2. John W. Sutherland, Yan Yue, Yuliu Zheng, "Modeling Mist Formation and Heat Generation to Achieve Environmentally Conscious Machining", Proc. of the 1997 NSF Design & Mfg. Grantees Conf., pp.201-202., 1997