

금속가공유 측정 및 노출기준

I. 서 론

금속가공유(metalworking fluids, MWFs)는 그라인딩, 커팅, 밀링, 드릴링 작업시 금속부품과 작업공구와의 윤활과 쿨링의 역할, 절삭된 금속파편을 제거하는 역할 등을 위해 사용되는 유체를 말한다. 이러한 과정 중에 공기중으로 금속가공유 미스트가 발생하게 되는데 이를 금속가공유 에어로졸이라 한다.

금속가공유는 물에 희석하지 않고 사용하는 비수용성 금속가공유와 물에 희석하여 사용하는 수용성 금속가공유로 크게 구분할 수 있으나, 금속가공유의 주요 구성성분 함량에 따라 미국 국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH) 경우 비수용성 금속가공유 한 가지와 수용성 금속가공유를 다시 세 가지로 세분한 총 네 가지로 분류하고 있으며 분류기준은 다음과 같다.⁽¹⁾

첫째, 비수용성 금속가공유(straight MWFs): 정제된 석유계 기유(base oil)나 동·식물성 오일, 또는 합성 오일로서 단독 또는 첨가제와 같이 사용되어지며 물에 용해되지 않는 특성이 있다.

둘째, 수용성 금속가공유(water soluble oils 또는 soluble MWFs): 30% ~ 85% 정도의 석유계 기유, 각종 첨가제, 그리고 기유와 첨가제를 유화시킬 수 있는 유화제가 5%~20% 정도 들어있다.

셋째, 준합성 금속가공유(semisynthetic MWFs): 5% ~ 30% 정도의 석유계 기유, 각종 첨가제, 그리고 기유와 첨가제를 유화시킬 수 있는 유화제가 5% ~ 10% 정도 들어있다.

넷째, 합성 금속가공유(synthetic MWFs): 석유계 기유를 함유하지 않는 수용성 또는 준합성 금속가공유를 말한다.

위 분류에서 수용성, 준합성 그리고 합성 금속가공유는 금속가공유 자체에 물이 함유되어 있거나 또는 사용시 물에 희석하여 사용하는 수용성 금속가공유이다.

금속가공유에 대한 우리나라 KS규격인 절삭유제 규격(KSM 2173)에 따르면 절삭유제의 종류는 비수용성 절삭유제와 수용성 절삭유제 2종류로 분

류하고 있다.⁽²⁾

비수용성 절삭유제는 물에 희석하지 않고 사용하는 절삭유제로 기유와 에스테르유로 제조된 것을 1종으로 하고, 극압첨가제(절삭시 마찰국부에서 녹아 붙는 것을 억제하고, 절삭성을 향상시키기 위해 기유에 첨가하는 물질로 주로 염소·유황계 물질이 사용됨)를 넣은 것을 2종으로 분류하고 있다. 1종은 동점도 및 지방유분 함량에 따라 1 ~ 6호까지 여섯 종류로 세분하고 있으며, 2종은 동점도, 지방유분, 염소분, 동판부식에 따라 1 ~ 6호 및 11 ~ 17호까지 열세가지 종류로 세분화하고 있다.

수용성 절삭유제는 물에 희석하여 사용하는 절삭유제로 희석액의 외관 및 광유와 계면활성제의 비율에 따라 W1종과 W2종으로 분류하고 있다. 사용시 물에 희석하였을 경우 W1종은 백탁이 되고, W2종은 투명 또는 반투명이 된다. W1종과 W2종은 pH, 염소분, 금속부식에 따라 각각 1 ~ 3호로 세분화하고 있다.

1. MWFs가 건강에 미치는 영향

금속가공유는 여러 가지 종류의 화학물질이 혼합된 복합물질이기 때문에 노출에 따른 건강영향에 있어서도 단일물질 노출로 인한 건강영향보다 매우 복잡하다. 지금까지 금속가공유 노출로 인한 건강장해와 관련하여 보고된 것을 살펴보면 다음과 같다.

가. 호흡기계 영향

금속가공유 노출과 관련된 호흡기계의 주요 건강장해는 천식, 기도자극 및 만성기관지염, 과민성 폐렴증상이 보고되고 있다.⁽³⁻⁶⁾

천식발생의 위험성은 금속가공유 종류에 따라 달라지는 것으로 보고되고 있다. Eisen등의 연구에 의하면 합성 금속가공유에 노출된 작업자가 노출되지 않은 작업자에 비해 천식 발병의 상대위험비가 약 3배 높았으며,⁽⁷⁾ 이들 작업자의 금속가공유 노출수준은 흡입성 분진으로서 0.36 mg/m³ ~ 0.91 mg/m³이었다고 한다. 이외에도 합성 금속가공유 노출에 의한 천식발병 위험성이 다른 종류의 금속가공유 노출에 의한 천식발병보다 높다는 연구결과는 여러 연구자에 의해 보고되었다.^(8,9)

수용성 금속가공유 노출과 천식발병과의 관계는 합성 금속가공유에 비해 아직까지는 그 상관성이 약한 것으로 보고되고 있으며, 비수용성 금속가공유의 경우 천식발병의 위험성이 있기는 하지만 합성이나 수용성 금속가공유보다 훨씬 낮은 것으로 보고하고 있다.⁽¹⁰⁻¹¹⁾

천식이외의 다른 호흡기계 증상은 금속가공유의 종류에 상관없이 일으킬 수 있는 것으로 알려져 있으며, 특히 Greaves의 경우 금속가공유 노출수준이 흉곽성 분진으로서 $0.41 \text{ mg/m}^3 \sim 0.55 \text{ mg/m}^3$ 에서 호흡기계 증상과 통계적으로 강한 양-반응관계를 확인하기도 하였다.⁽⁸⁾

전반적으로 금속가공유에 대한 호흡기계 영향은 비수용성 보다는 합성, 준합성 및 수용성 금속가공유가 더 유해한 것으로 보이며,⁽⁶⁾ 이는 첨가제나 2차 오염물질, 즉 금속가공유 사용에 따른 미생물 오염에 의한 바이오에어로졸과 관련이 깊은 것으로 보고되고 있다.⁽¹¹⁾

나. 발암성

금속가공유 노출과 관련된 발암성은 처음에는 주로 피부의 편평세포암과 음낭암이었으며,⁽¹⁷⁾ 식도암,⁽¹⁸⁾ 위암,⁽¹⁹⁾ 직장암,⁽²⁰⁾ 췌장암,⁽²¹⁾ 후두암⁽²²⁾ 등이 있다.

Savitz가 금속가공유 노출과 관련된 발암성에 대한 역학조사 보고서들을 종합하여 내린 결론에 의하면 상기에 언급된 여러 종류의 암중 비수용성 금속가공유 노출 경우 직장암과 후두암의 발병 위험성을, 그리고 수용성, 준합성 및 합성 금속가공유의 경우 후두암 발병 위험성을 높이는데 유의한 증거가 있다고 한다.⁽¹⁸⁾

금속가공유 중의 어떤 성분이 노출 근로자에게 암을 일으키는지에 대한 연구는 주로 금속가공유 중에 함유된 다핵방향족탄화수소와 니트로소아민류에 의한 발암가능성이었다.⁽¹³⁾ 다핵방향족탄화수소의 경우 합성금속가공유를 제외한 나머지 금속가공유 성분 중에 포함된 석유계 기유에 함유된 물질로 기유의 정제기술에 따라 그 함량은 달라지며, 또한 니트로소아민류의 경우는 주로 첨가물질로 사용되는 물질이다. 그러나 금속가공유 종류에 따라 이러한 성분의 함량은 다르고 또한 이들이 공기 중으로 발생될 때 근로자들에게 어느 정도 노출되는지를 정량적으로 평가하기가 아직까지는 매우 어려운 상황이다.

다) 피부질환

금속가공유 접촉에 따른 피부질환은 주로 접촉성 피부염과 관련된 연구들로 비수용성 금속가공유 경우 모낭염, 여드름, 피부각화증이 종종 보고되고 있으며, 수용성 금속가공유 경우 주로 자극성 접촉피부염과 알레르기성 접촉피부염이 보고되고 있다.^(19,20)

금속가공유 노출에 의한 접촉피부염 유병률은 5% ~ 50% 정도인 것으로 알려져 있으며,⁽²¹⁻²²⁾ 우리나라 경우 10% ~ 50%로 보고되고 있다.⁽²³⁻²⁵⁾ 천병철등⁽²⁵⁾이 국내 자동차 공장의 엔진 및 구동부서 근로자 667명을 대상으로 실시한 조사에 의하면 수용성 금속가공유를 사용하는 근로자 중 접촉피부염은 22.7%에서 발견되었고, 비수용성 금속가공유를 사용하는 근로자들 중에서는 9.8%가 발견되었다고 한다. 그러나 동 조사에서 근로자의 나이와 근무기간에 대한 영향을 통제한 후 금속가공유 종류에 따른 피부질환 발병 위험도를 분석한 결과, 수용성 금속가공유를 사용한 군은 금속가공유를 사용하지 않은 군에 비해 위험도가 1.4~3.3배 높았지만 비수용성 금속가공유를 사용한 군은 금속가공유를 사용하지 않은 군과 유의한 차이가 없었다고 한다.

금속가공유 노출로 인한 접촉피부염의 80%는 자극성 접촉피부염이고, 나머지 20% 정도가 알레르기성 접촉피부염이란 주장도 있으나⁽²⁶⁾ 알레르기성 접촉피부염이 전체 접촉피부염의 50% 정도에 달한다는 보고도 있다.⁽²¹⁾ 국내의 경우 금속가공유 노출에 의한 접촉피부염 중 알레르기성 접촉 피부염은 22% ~ 52.8%로 보고되고 있다.^(25,27)

금속가공유에 노출되는 근로자들의 접촉성피부염이나 다른 피부질환 유발에 관여하는 요인으로 생각해볼 수 있는 것은 금속가공유 종류, 금속가공유와 피부의 접촉면적, 작업자 피부의 손상유무, 개인의 감수성, 금속가공유를 취급한 후 접촉된 피부를 세척하는데 있어서 개인위생 정도, 금속가공유에 오염된 개인피복을 어느 정도 재사용 하는지 여부, 개인보호구 착용여부, 금속가공유를 취급하는 작업장의 청결정도, 작업장의 온·습도 조건, 금속가공유를 사용하는 기계류의 종류, 운전조건 및 금속가공유 에어로졸 발생을 억제할 수 있는 제어장치를 어느 정도 설치했는지 여부 등 매우 다양한 요소가 관여할 것으로 판단된다.

금속가공유를 사용하는 공정에서는 공기 중으로 금속가공유가 미스트 형태로 발생되게 되고 이는 각종 호흡기계 질환이나 접촉피부염과 같은 건강

장해를 일으킬 수 있다고 말하고 있다. 또한 적절히 관리되지 못한 수용성 금속가공유의 경우 미생물이 번식하게 되고 이들 미생물로부터 분비되는 엔도톡신과 같은 바이오에어로졸의 흡입과 또는 접촉에 의해 각종 알레르기 질환과 접촉성 피부질환 등의 건강장해를 가져올 수 있다고 한다. 정제가 덜된 기유를 사용하는 금속가공유나, 그리고 정제가 잘된 기유를 사용하는 금속가공유라 할지라도 금속가공유가 사용되는 공정에서의 고열에 의해 여러 종류의 다핵방향족 탄화수소가 생성될 수 있고, 금속가공유 중에 함유된 질산염과 이차 아민이 금속 가공과정에서 발생하는 고열에 의해 니트로소아민을 생성시킬 수 있는데 이들 중 상당부분은 발암물질인 것으로 알려져 있다.⁽²⁸⁾

2. 금속가공유 발생원 및 발생공정

금속가공유는 그라인딩, 커팅, 밀링, 드릴링 작업 시 금속부품과 작업공구와의 윤활과 냉각의 역할, 절삭된 금속파편을 제거하는 역할을 위해 사용되기 때문에 매우 다양한 산업에서 사용되어진다.

금속가공유가 적용되는 주요 공정을 살펴보면, 금속가공 공정(그라인딩, 커팅, 밀링, 드릴링, 절곡 공정 등), 방적기계 및 암반천공 작업 시에도 사용되고, 금속제품의 부식방지 작업, 잉크의 첨가제, 고무 유연제로 사용되어지기도 하는데, 금속가공 공정에 대하여 좀더 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.⁽²⁹⁾

가) 절삭공정

절삭이라 함은 회전체의 원통절삭, 테이퍼(taper) 절삭 및 윤곽절삭 등과 같이 가공물의 회전운동과 단인공구의 직선이송에 의해 가공물을 깎아내는 공정을 말한다.

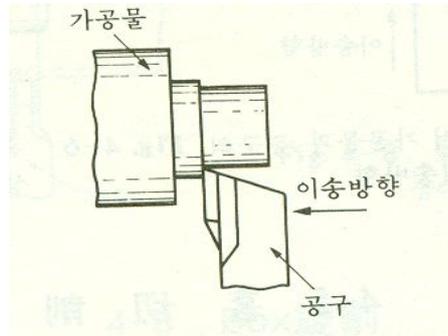


그림 1. 절삭에서 가공물과 공구의 상대위치 및 이송방향

나) 보링(boring)

이미 뚫려 있는 구멍을 단인공구를 사용하여 아래 그림과 같이 일정한 치수로 확대 가공하는 작업을 말한다.

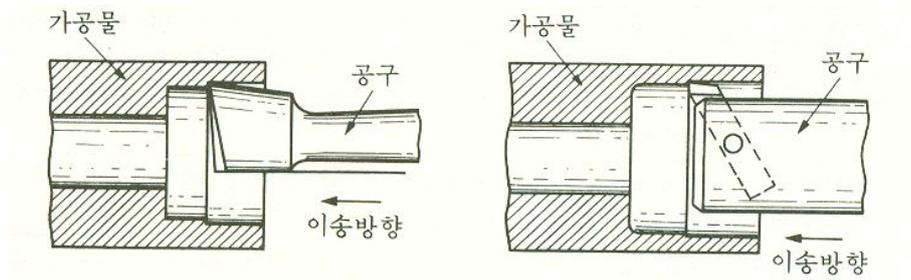


그림 2. 보링에서 가공물과 공구의 상대위치 및 이송방향

다) 단면절삭

아래그림과 같이 선반에서 가공물을 회전시키고 단인공구를 축 방향에 직각으로 이송시킴으로서 끝면을 평면가공 하는 작업이다.

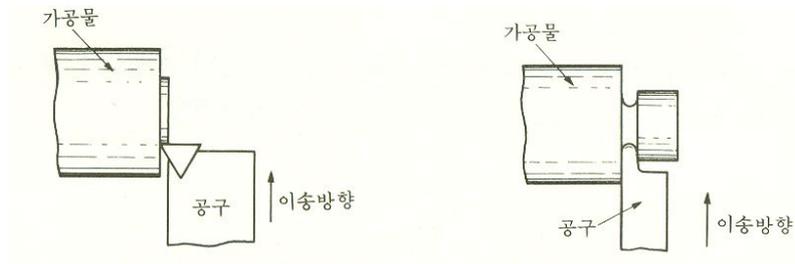


그림 3. 단면절삭(좌)과 홈 절삭(우)에서 가공물과 공구의 상대위치 및 이송방향

라) 홈절삭

위 그림에서와 같이 가공물에 주어진 깊이, 폭 및 형상으로 홈을 파는 것이며 가공물의 축 방향에 공구는 직각으로 이송된다.

마) 총형절삭(總形切削)

아래 그림과 같이 선반에서 회전하는 가공물에 곡선 또는 불규칙한 면으로 절삭하는 것을 말한다.

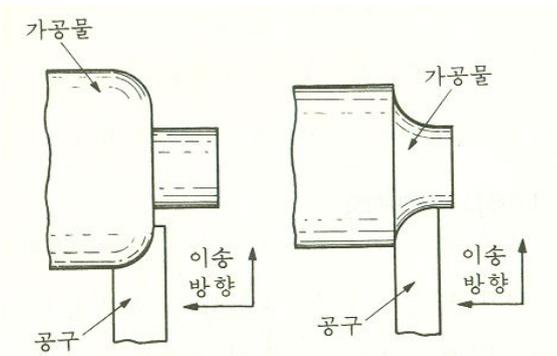


그림 4. 총형절삭에서 가공물과 공구의 상대위치 및 이송방향

바) 절단절삭

아래 그림에서 보듯이 절단절삭은 단면절삭과 유사하나, 절삭이 가공물을 관통하여 이루어지고 한쪽 끝을 절단해 낸다는 점이 다르다.

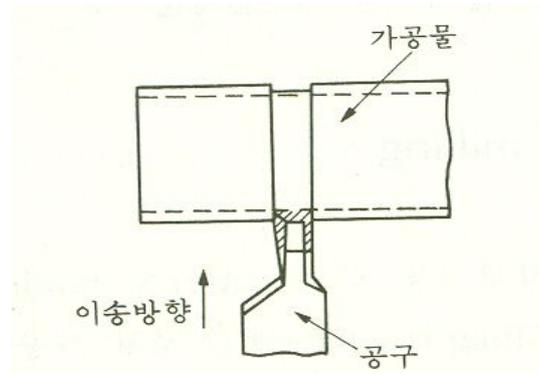


그림 5. 절단절삭에서 가공물과 공구의 상대위치 및 이송방향

사) 박스(box) 선삭(旋削)

선삭이라 함은 선반작업에서 둥근모양의 가공물을 회전시키면서 공구를 그 표면을 깎아내는 작업을 말한다. Box turn turret 선반작업은 보통의 선삭과 유사하나, 공구나 공구의 홀더 및 공작물 지지대가 아래그림에서와 같이 일체로 되어 있는 것이 다르다.

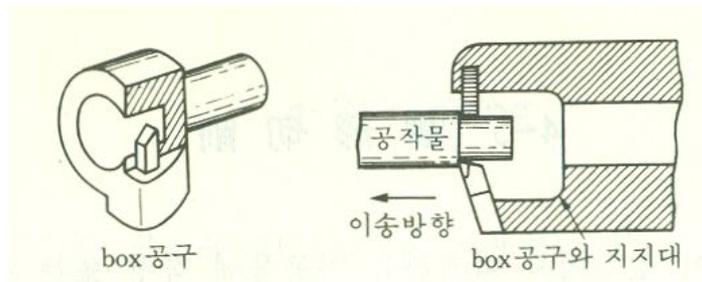


그림 6. Box turn turret 선반에서 box 공구와 지지대의 상대위치 및 이송방향

아) Trepanning

Trepan 작업은 아래그림에서 보는 것처럼 단인공구를 사용하여 원주홀을 축방향으로 파서 구멍을 뚫는 것을 말하며, 이때 코어(core)가 나오게

된다. 공구에 이송을 주면 중공(中空)의 원통 공구대를 따라서 코어가 빠져 나오게 된다. Trepanning은 칩(chip)의 생성방법에서 드릴링과 다르다.

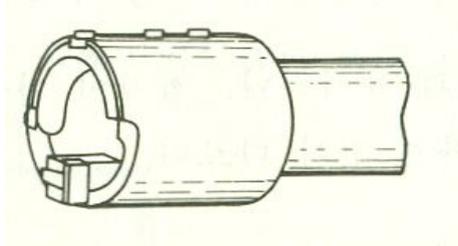


그림 7. Trepanning 공구 모습

자) 밀링(milling)

밀링은 한 개 또는 그 이상의 절삭 날을 갖는 커터(cutter)를 밀링기계에 고정하여 회전시킴으로서 밀링기계에 고정된 가공물을 절삭하는 것을 말하며, 이때 이송은 커터 밑에서 가공물에 주어진다.

(1) 정면(正面) 커터에 의한 절삭

정면절삭은 원주와 모서리에 절인이 있는 커터로써 이루어지며, 아래그림에서 보는 것처럼 회전축에 수직한 평면을 가공할 수 있도록 정면 커터(face cutter, face mill)가 설계되어 있다.

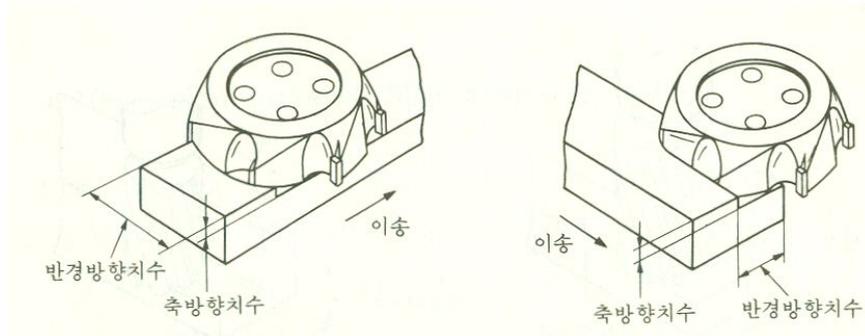


그림 8. 전면 정면절삭(좌)과 단짓기 정면절삭

(2) end mill에 의한 절삭

end mill은 원통형으로서 고정하여 구동시킬 수 있는 자루가 있으며, 아래 각종 작업그림에서 볼 수 있는 것처럼 바닥과 원주면에 직선 또는 나

사절인을 갖고 있다.

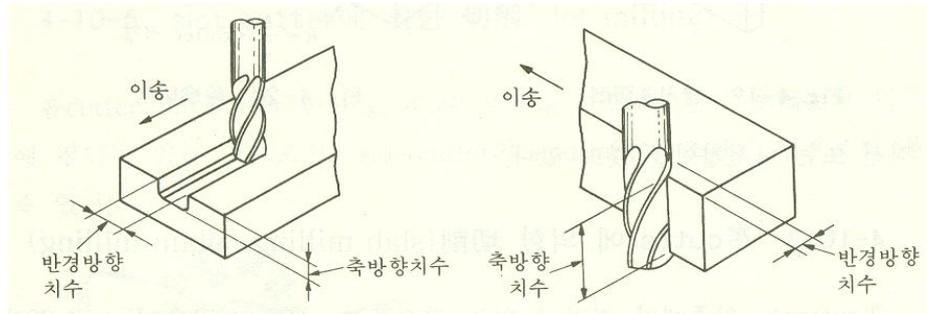


그림 9. 열립 홈절삭(수직 milling machine, 좌)과 원주절삭(수직 milling machine, 우)

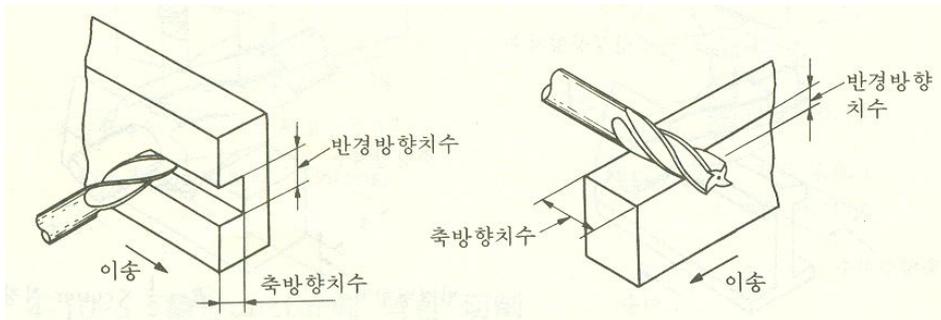


그림 10. 열립 홈절삭(수평 milling machine, 좌)과 원주절삭(수평 milling machine, 우)

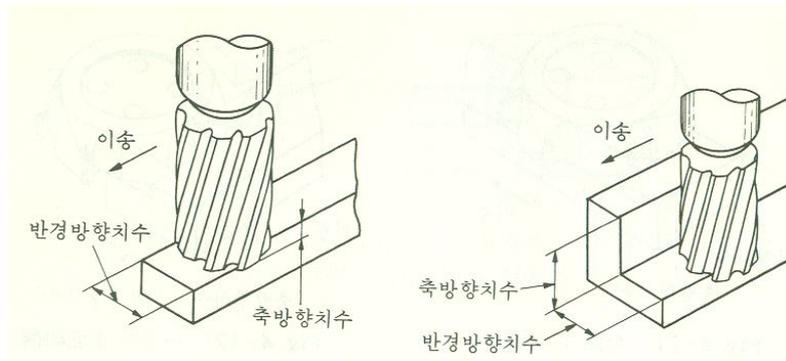


그림 11. 정면절삭(좌) 및 단짓기 절삭(우)

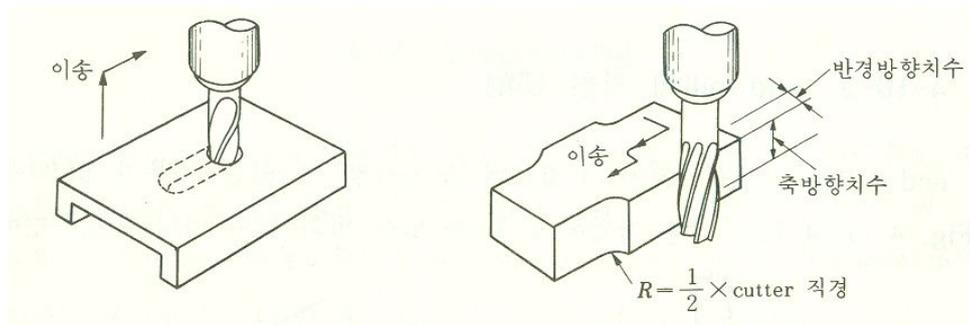


그림 12. 단침홈절삭(좌) 및 윤절삭(우)

(3) 평 커터에 의한 절삭(slab milling, plain milling)

평 커터는 원주에만 절인이 있는 것으로 아래 그림에서 보는 것처럼 축에 평행한 평면의 가공만을 한다.

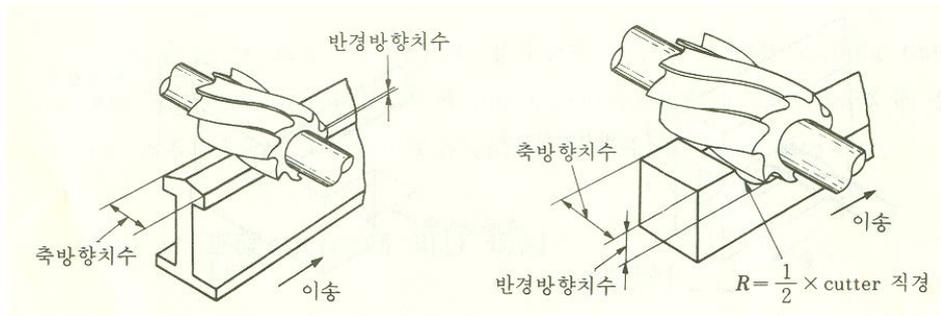


그림 13. 파양(破壞)되기 쉬운 부품의 평면절삭에 이용되는 plain cutter(좌)와 곡률반경이 큰 가공에 이용되는 plain cutter(우)

(4) 측면 커터(side cutter)에 의한 절삭(side milling)

측면 커터는 아래그림과 같이 원주면과 측면의 한쪽 또는 양쪽에 절인을 갖는 커터로서, 열린홈가공, 단짓기 가공 및 양단짓기 가공 등에 사용된다.

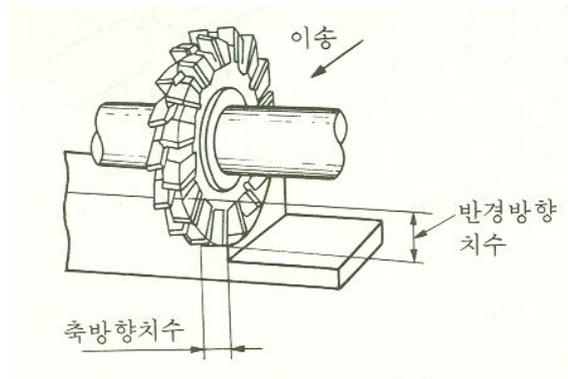


그림 14. 측면 밀링(side milling)

(5) 홈 커터(slot cutter)에 의한 절삭(slot milling)

홈커터는 아래그림과 같이 양측면과 원주에 절인이 있는 것으로서, side cutter와 end mill이 조합된 것으로도 볼 수 있다.

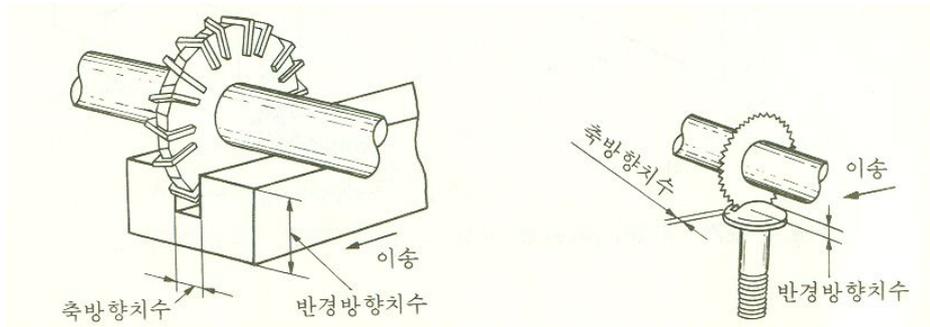


그림 15. 홈 가공(slotting, 좌) 및 작은 홈 가공(small slotting, 우)

(6) 총형 커터에 의한 절삭

총형커터(formed milling cutter)는 캠(cam) 형상의 절인을 갖는 것으로서, 불규칙한 곡면 또는 원주면을 가공하는데 사용되며, 경사면을 연삭함으로써 원형을 보존한다. 총형커터에는 블록면, 오목면, 모서리 곡면을 갖는 것과 치차용, 다중 나사용 및 hob 등이 있다. 아래 그림은 전형적인 총형절삭의 예이다.

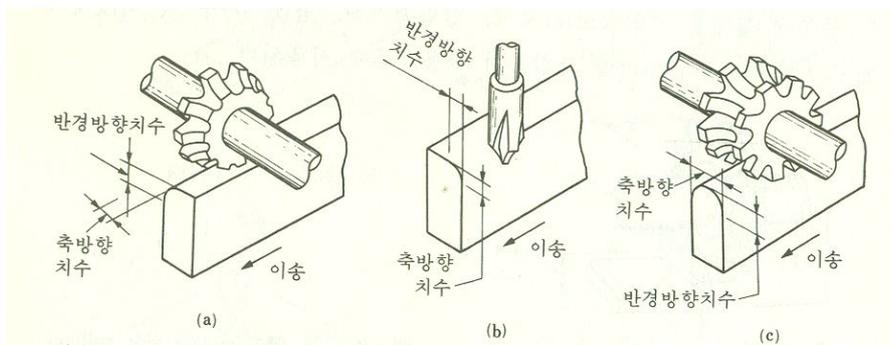


그림 16. 둥근 모서리 cutter(a), 둥근모서리 end mill(b), 및 오목 cutter에 의한 블록면 가공(c)

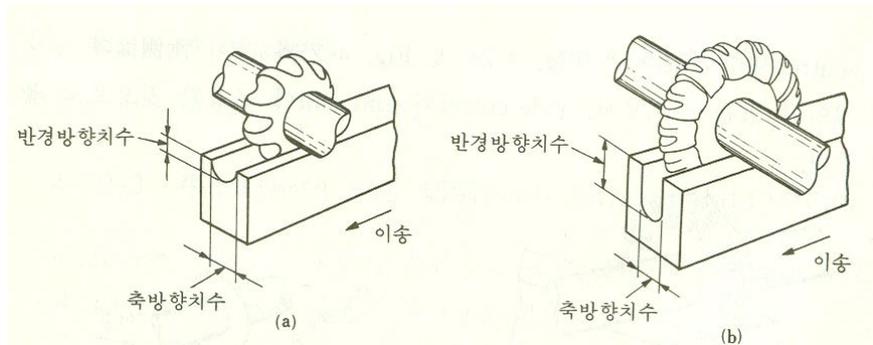


그림 17. 블록 커터 (a) 및 반경커터에 의한 오목면 가공(b)

(7) 톱 커터(saw cutter)에 의한 절삭

톱 커터는 아래 그림과 같이 원주에만 절인 있는 얇은 평 커터로서, 절인에 여유각을 주기 위하여 접시처럼 오목한 측면을 가지고 있으며, 잘단 또는 좁은 홈 가공에 사용된다.

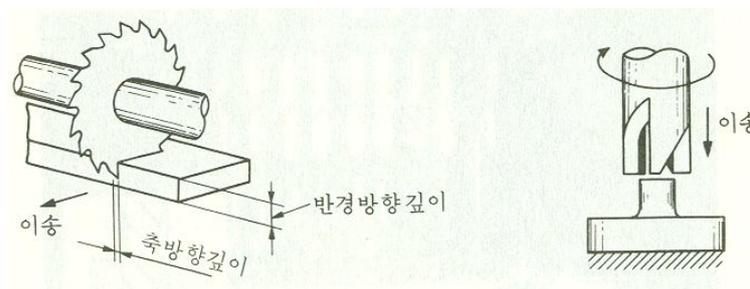


그림 18. 톱 가공(mill sawing, 좌) 및 중공 커터에 의한 가공(hollow milling, 우)

(8) 중공 밀에 의한 절삭에 의한 절삭

중공 밀(hollow mill)은 위 그림과 같이 한 쪽 끝 부분에 절인을 갖는 관형 커터로서 안 쪽에 여유각이 있으며, 원통 공작물의 치수를 조정하거나 가공물의 직선부 일단을 가공하는 데 사용된다.

(9) 나사가공(thread milling)

나사 절삭용 커터는 아래 그림과 같이 절인이 가공물을 단속적으로 절

삭하여 특정형태의 내부나선 또는 외부나선을 가공하는 데 사용된다.

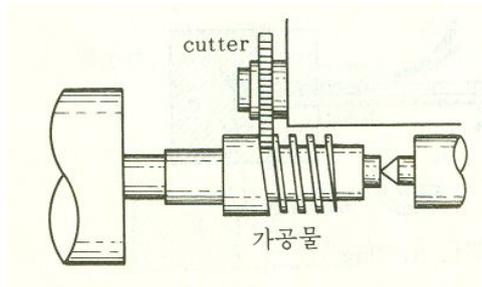


그림 19. 나사가공(thread milling)

차) 드릴링(drilling)

드릴은 아래 그림에서 보는 것처럼 한 쪽 끝에 한 개 또는 그 이상의 절인을 갖고 있으며, 구멍을 뚫을 때 절삭유제와 칩의 통로인 나선 또는 직선의 홈이 드릴 몸체에 있는 공구이다.

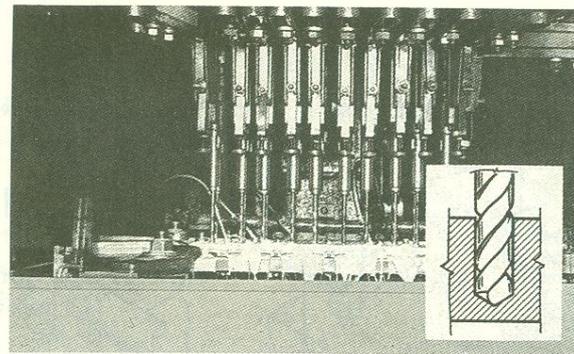


그림 20. 다축 drilling machine

카) 심공(深孔) 드릴링(gun drilling)

심공드릴은 아래그림에서 보는 것처럼 드릴 자루를 통하는 구멍에 들어간 금속가공유가 직선홈을 따라 칩을 배출시키도록 설계되어 있다. 가공물이 회전하고 심공드릴은 고정되어 구멍깊이가 지름의 5배 이상일 경우에

사용된다. 심공드릴로 가공하면 다른 가공법으로는 얻을 수 없는 예외적인 정밀도 및 표면조도를 얻을 수 있다.

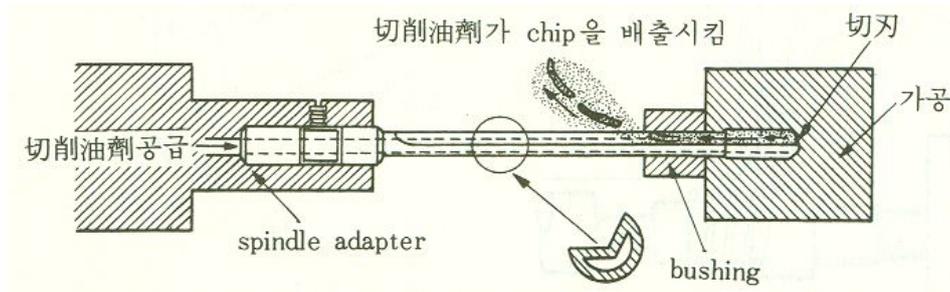


그림 21. 심공 드릴링

타) 카운터보링(Counterboring)

카운터보링이란 이미 뚫려진 구멍의 일단을 아래 그림처럼 저면에 단이 생기는 확대가공을 말하며, 본래의 구멍과 확대된 구멍이 동심(同心심)이 되도록 counter bore의 선단에 안내부가 붙어 있다.

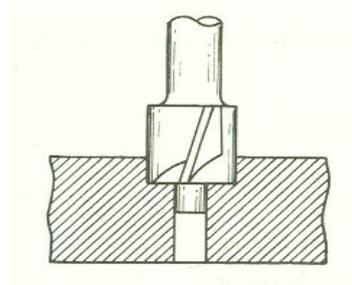


그림 22. Counterboring

파) 스팟 페이스잉(Spot facing)

구멍에 수직인 원형 평면 가공으로서 볼트 머리 또는 너트의 전면이 접촉하도록 할 때 필요한 가공이다. Counterboring에서 깊이가 얇은 경우에 이용된다.

하) 카운터싱킹(Countersinking)

아래 그림과 같이 2개의 홈과 양측경사절인을 갖는 공구를 사용하여 구멍의 일단을 원추가공 함으로써 볼트 또는 리벳 등의 접시머리가 밀착되도록 하는 가공이다.

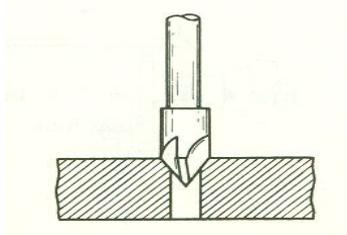


그림 23. Countersinking

거) 리밍(Reaming)

기존의 구멍을 약간 확대하면서 정도를 높이기 위해서 아래그림처럼 reamer를 이용하는 가공이며, reamer는 선단과 원통에 수개의 절인을 갖고 있어 절삭작용을 하고, 축방향의 홈은 금속가공유의 공급 및 칩의 배출구로도 이용된다.

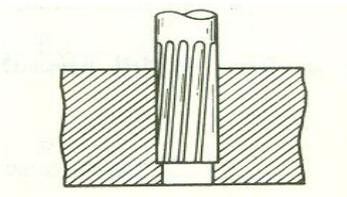


그림 24. Reaming

너) 브로우칭(Broaching)

브로우치(broach) 공구를 사용하여 황삭(荒削기)과 다듬가공이 동시에 이루어지는 것으로서 짧은 시간에 다량의 절삭을 할 수 있으면서 다축공구인 브로우치의 각각의 절인이 받는 하중이 적은 것이 특징이다. 브로우칭기계는 수평식과 수직식이 있다.

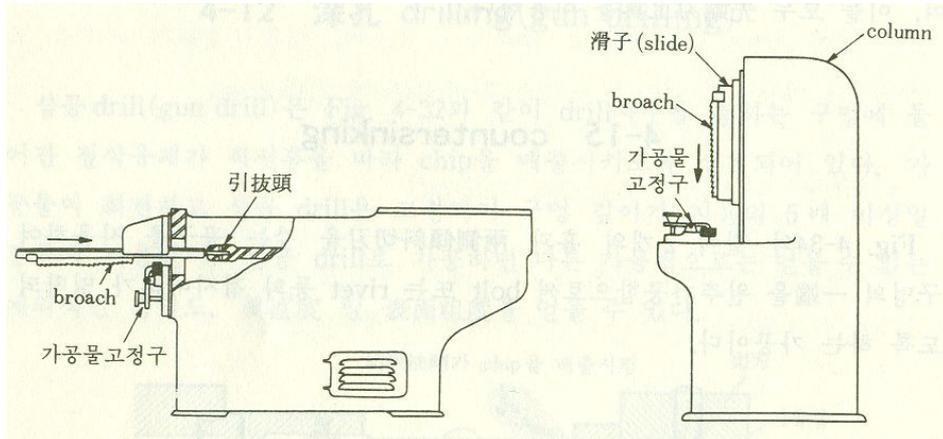


그림 25. 수평식(좌) 과 수직식(우) broaching machine



그림 26. 브레이크 라이닝의브로우칭 작업 예

더) 태핑(tapping, 내부나사 절삭)

아래그림과 같이 원주에 소요 형태의 나사절인을 갖는 공구인 탭(tap)을 회전과 축방향의 운동으로 내부나사 가공을 하는 것이다.

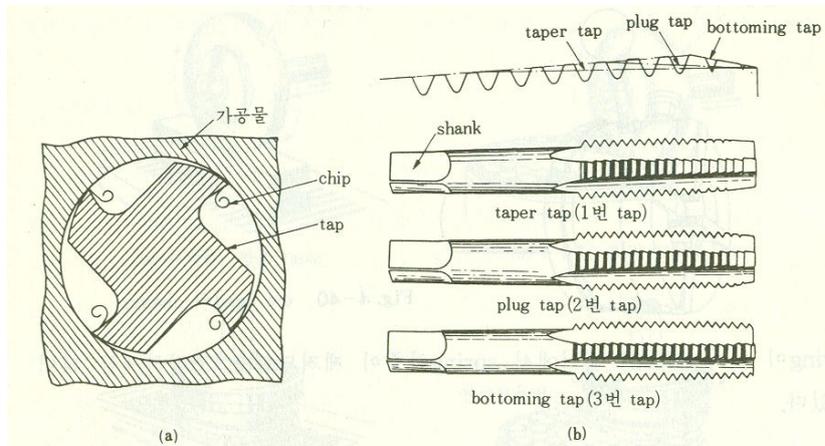


그림 27. 태핑

러) 체이싱(chasing, 외부나사가공)

한 조의 절인이 아래그림같이 다이헤드(die head)에 심어져 있는 나사 절인다이(chaser)를 이용한 외부나사절삭을 체이싱이라 하며, 다이헤드에는 스프링이 있어 전절삭(全切削이) 깊이에서 스프링의 하중이 제거되도록 조절하게끔 되어 있다.

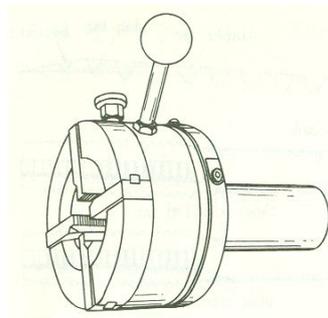


그림 28. chaser

며) 연삭(研削)

연삭이란 연삭 스톨차, 기타 형상의 스톨 및 사포에 의한 절삭을 말하며, μ 단위에서 1/6 인치 정도의 크기를 갖는 극경재료(極硬材料)의 입자가 절삭인자로 작용한다. 수백만개의 이들 입자를 서로 결합시키거나 천에 접촉하여 가공물의 표면을 고속으로 문지르면 많은 양의 금속을 제거하고, 공차가 비교적 작고 매끄러운 면이 생성된다. 연삭은 제 2의 다듬질 가공에

이용되었으나 현재에는 다량의 금속제거에도 그 이용이 증가추세에 있다.

(1) 평면연삭

아래그림과 같이 평면연삭은 가공물을 숫돌차 밑에서 왕복 운동시키고, 가공물(또는 숫돌차)을 테이블의 수직방향으로 이송을 줌으로서 이루어진다.

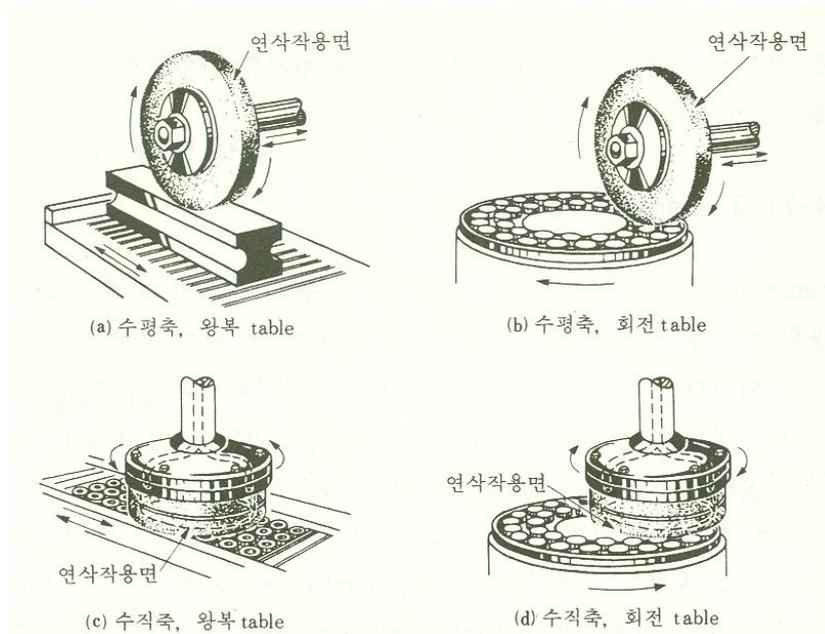


그림 29. 평면연삭

(2) 내면연삭

내면연삭에는 두 가지의 방법이 있는데, 가공물이 원통의 길이방향으로 왕복운동을 하고 숫돌이 회전운동을 하는 경우이고, 다른 방식은 가공물과 숫돌의 상대회전운동은 앞의 것과 같으나 가공물이 척(chuck)에 고정되어 있다는 점이 다르다. 이송은 연삭이 진행될 때 주어진 깊이에 맞게 반지름 방향으로 숫돌을 이송시킴으로써 이루어진다.

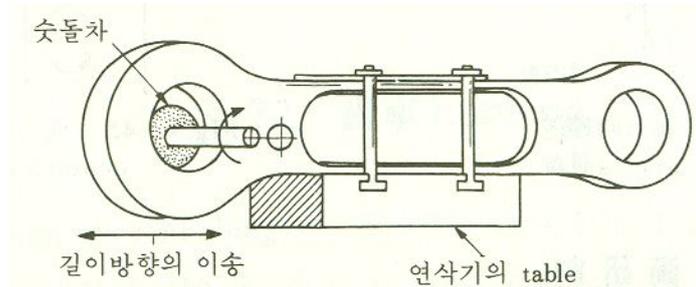


그림 30. 가공물이 원통길이 방향으로 왕복 운동하는 내면 연삭

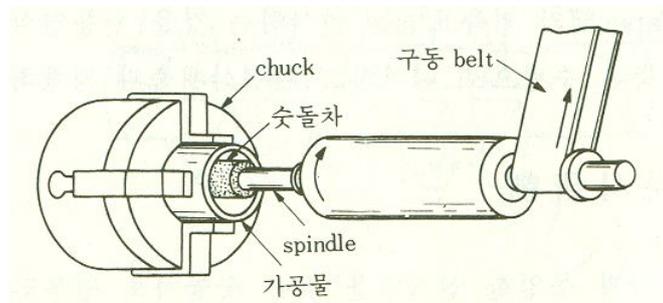


그림 31. 회전 chuck에 가공물을 고정하는 내면연삭

(3) 치차연삭(齒車研削)

경화시킨 후 다량의 금속을 제거할 필요가 있는 치차의 최종가공 또는 정밀도를 높이기 위한 목적으로 치차를 연삭하는 것을 말한다.

버) 톱 절삭

절삭가공의 일종인 톱절삭에는 소정의 치수 또는 형상으로 재료를 절단하기 위하여 동력장비를 사용한다. 금속절삭에 가장 많이 사용하는 것은 활톱기계(backsawing machine), 원형톱기계(circular sawing machine) 및 띠톱기계(band sawing machine)의 세 가지이다. 활톱기계는 왕복 운동하는 rack에 톱날을 가지고 있으며, 전진행정에서 절삭작용을 하고 후진행정에서는 톱날이 절삭면에 접촉하면서 끌리지 않도록 들어 올려져 마치 수가공과 흡사하다.

원형톱기계는 중절삭에서 활톱기계 대신 보통 사용된다. 금속용 띠톱기계는 목재용 띠톱기계의 원리를 이용한 것으로 손쉽게 취급할 수 있고 테이블에 고정할 수 있는 부품의 절단에 사용되고, 길이나 중량이 큰 것에는 부적합하다.

서) 호닝(honing)

호닝은 절삭가공 및 끝마무리 연삭 후 원통내면과 외면을 정밀도 높은 치수와 기하학적 형상을 갖도록 하는 연삭가공의 일종이다. 내부호닝을 위해서는 공구주위에 일정한 간격으로 슷돌막대를 배열하고 원심력이 슷돌을 내면 벽에 밀어대면서 입자의 절삭이 이루어지고, 이송은 공구지름의 증가에 의한다. 호닝스틀은 연삭스틀처럼 명세에 따라 산화알루미늄, 탄화규소 또는 다이아몬드 입자를 금속과 합성수지 또는 유리질의 결합체로 결합하여 막대모양으로 형성된 것이며, 결합도와 입자에는 여러 종류가 이용될 수 있다.

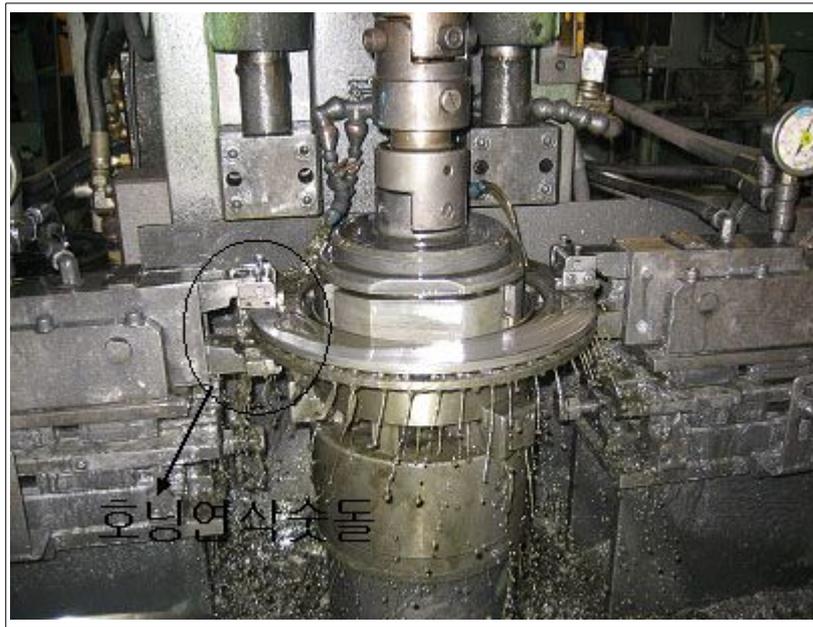


그림 32 호닝금속가공 작업

어) 래핑(lapping)

래핑도 연삭된 부품 또는 평면을 정밀 다듬 가공하는 또 하나의 방법으

로서 일반적으로 0.001 인치 이하의 금속량 제거에 사용된다. 유리된 극미한 입자(분말)와 연질의 황동, 구리, 주철, 또는 납으로 된 공구가 사용된다.

II. 금속가공유 측정방법

1. 측정방법 고찰

금속가공유는 단일물질이 아닌 복합 혼합물이며, 그 구성성분에 있어서도 매우 다양하기 때문에 근로자에게 노출되는 양을 정확히 측정하기란 매우 어려운 문제이다. 지금까지 알려진 금속가공유의 측정방법을 살펴보면 다음과 같다.

PVC 여과지를 이용하여 오일미스트를 채취한 후 중량분석하는 방법인 NIOSH 분석방법 0500번 이 있다(NIOSH, 2000a). 오일미스트를 비교적 간편하게 채취할 수 있는 장점이 있지만 작업장에서 채취되는 것이 오일미스트 뿐만 아니라 이러한 금속가공유 이외의 미스트나 먼지가 동시에 채취되어 실제농도보다 과대평가 될 수 있는 단점이 있는 방법이다.

MCE 여과지를 사용하여 오일미스트를 채취한 후 Freon 113(1,1,2-trichloro -1,2,2-trifluoroethane) 용매로 추출한 후 적외선분광광도계를 이용하여 흡광도를 측정하여 평가하는 NIOSH 5026 방법이 있다.⁽³⁰⁾ 이 방법은 비수용성 금속가공유만을 측정할 수 있는 분석방법으로 수용성 금속가공유만을 사용하거나 수용성 금속가공유와 비수용성 금속가공유를 동시에 사용하는 사업장의 경우 측정이 불가능한 방법이다.

미국 산업안전보건청(OSHA, Occupational Safety and Health Administration)도 NIOSH와 같이 오일미스트를 중량분석하거나 적외선분광광도계를 이용하는 방법인 OSHA IMIS 5010과 9135를 각각 제시하고 있다.⁽³¹⁾

영국 보건안전청(HSE, Health and Safety Executive)에서 제시하고 있는 측정방법인 MDHS 84번이 있다.⁽³²⁾ 이 방법은 GFF 여과지로 작업환경 중 비수용성 오일미스트를 채취한 후 c-hexane으로 용매추출하는 방법으로 용매추출 전후의 무게차이로 금속가공유의 농도를 측정하는 방법이지만 c-hexane에 용해되지 않은 수용성 금속가공유에 대하여는 적용하기가 불가

능한 방법이다.

HSE의 또 다른 측정방법으로 MDHS 95/2가 있다.⁽³³⁾ 이 방법은 수용성 금속가공유 측정방법으로 현장에서 사용되어지는 대부분의 수용성 금속가공유에는 미생물이 번식하기 쉽기 때문에 첨가제로 미생물을 제거하기 위한 붕산염을 첨가하게 되는데, 이 붕산염의 붕소나 또는 수용성 금속가공유에 흔히 존재하는 칼륨, 또는 나트륨 금속을 지표물질로 이용하는 방법이다. 즉 현장에서 사용 중인 수용성 금속가공유와 공기 중에서 여과채취 한 금속가공유 중의 지표물질을 원자흡광광도계나 유도결합플라즈마 분광광도계를 이용하여 분석한 후 이들 값과 사용 중인 금속가공유의 fluid strength를 함께 고려하여 작업자에게 노출되는 금속가공유의 농도를 측정하는 방법이다. 이 방법의 장점은 기존 방법에 비해 미량의 금속가공유 농도까지 측정할 수 있다는 점이지만 사업장에서 여러 종류의 수용성 금속가공유를 사용하거나 또는 동일한 금속가공유를 사용한다고 할지라도 사용기간이 서로 다를 경우 금속가공유의 fluid strength가 달라지기 때문에 금속가공유 미스트가 공기 중으로 발생하는 정도가 달라지는데 이를 모두 고려하기가 어렵고 또한 비수용성 금속가공유에는 적용하기가 불가능하다는 점이다. 기타방법으로 PVC나 GFF 여과지로 오일미스트를 채취하여 용매로 추출시킨 후, 다시 용매를 증발시키고 잔유물의 무게로 평가하는 방법이 있으나 이 방법 역시 비수용성 금속가공유에만 적용가능하고 또한 실제농도보다 과소 평가되는 단점이 있는 방법이다.⁽³⁴⁾

앞서 언급된 방법들은 모두 수용성 또는 비수용성 금속가공유 각각에 대해서만 적용가능한 방법이라는 점이다. 그러나 실제 현장에서는 수용성과 비수용성을 함께 사용하는 경우가 많기 때문에 이러한 모든 종류의 금속가공유에 적용가능한 방법이 필요한데, 이러한 측정방법으로 제시된 방법이 NIOSH 5524번과 KOSHA A-1-2004 방법이 있다.^(35,36) 이들 방법은 모든 종류의 금속가공유에 적용 가능할 뿐만 아니라 분석과정의 특성상 충분진 뿐만 아니라 충분진 중 추출가능물질(금속가공유)의 무게 또한 동시에 측정할 수 있는 방법이다. 지금까지 언급된 측정방법을 정리하면 표 33과 같다.

표 1. 금속가공유 취급사업장의 작업환경측정방법

측정방법	여과지	분석방법	비 고
NIOSH 0500	PVC	중량분석	충분진으로 평가
NIOSH 5026	PVC 또는 MCE	적외선분광광도계	비수용성에만 적용가능
NIOSH 5524	PTFE	용매추출중량분석	수용성과 비수용성에 모두 적용 가능
KOSHA A-1-2004	PTFE	용매추출중량분석	수용성과 비수용성에 모두 적용 가능
OSHA IMIS 5010	PVC	중량분석	충분진으로 평가
OSHA IMIS 9135	PVC 또는 MCE	적외선분광광도계	비수용성에만 적용가능
MDHS 84	GFF	용매추출중량분석	비수용성에만 적용가능
MDHS 95/2	MCD	원자흡광광도계	수용성에만 적용가능
Ford 005	GFF	용매추출중량분석	비수용성에만 적용가능

2. 용매추출증량분석법을 이용한 금속가공유 측정방법

금속가공유

분석방법 : 용매추출 증량분석법

○ 시료채취 및 분석개요

시 료 채 취	분 석 개 요
<p>1. 채취</p> <p>1) 방법 : 여과포집</p> <p>2) 기구 및 채취제 : 37-mm 2단 카세트+ 37-mm, tared 2-μm PTFE</p> <p>3) 시료채취 유량 : 2 ℓ/min</p> <p>4) 총량 : 최소 - 1000 ℓ (at 0.5 mg/m^3) 최대 - 평가되지 못함.</p> <p>2. 운반 : 일반적인 방법</p> <p>3. 시료의 안정성 : 냉장보관하여 2주 이내 분석실시</p> <p>4. 공시료 : 시료셋트 당 최소 5개의 현장 공시료</p> <p>5. 벌크시료 : 추출용매의 용해성 시험을 위해 현장에서 사용중인 금속가공유를 채취 할 것.</p>	<p>1. 원리 및 기기</p> <p>1) 원리 : 용매 추출을 통한 증량분석법</p> <p>2) 기기 : 전자저울(해독도 0.001mg) ※노동부 노출기준(5 mg/m^3) 농도를 평가 하기 위해서는 해독도가 0.01mg의 전자저울도 사용가능.</p> <p>2. 추출</p> <p>1) 용매 : Tetrahydrofuran 또는 Tetrahydrofuran:toluene:methanol(1:1:1)</p> <p>2) 효율: 100.2%~102.8%</p> <p>3. 전자저울 보정 : 주기적으로 검·교정 실시</p> <p>4. 정 도 :</p> <p>1) 범 위 : 0.25 $\text{mg}/\text{시료}$ - 1 $\text{mg}/\text{시료}$</p> <p>2) 정 밀 도 : 1.2%~2.2%</p> <p>3) 전체 정밀도 : 14.6%</p> <p>5. 검출한계 : 0.05 $\text{mg}/\text{시료}$</p> <p>6. 적 용 : 추출용매에 용해되는 모든 금속가공유(합성유, 수용성, 준합성, 합성)에 적용 가능함</p> <p>7. 방해작용 : 추출용매에 용해되는 금속가공유 이외의 입자상 물질은 방해물질로 작용할 수 있음.</p>

□ 원리

작업환경중의 금속가공유를 여과채취 하여 추출용매로 추출한 후 필터의 시료채취 전·후 무게 차이를 이용하여 정량하는 방법이다.

□ 기구

- 가. 채취기 : 37-mm PTFE, 2 μ m pore size + 패드+ 2단 카세트(closed-face)
- 나. 개인시료 채취용 펌프 : 1.6 - 2 ℓ /min의 고유량 펌프
- 다. 전자저울: 해독도, 0.001 mg
- 라. 정전기 제거제 : 210Po, 생산일로부터 9개마다 교체하여 사용할 것.
- 마. 추출깔때기(extraction funnel) : 여과표면적이 37 mm 필터에 적합한 것이어야 함(국내에서 제작 가능 또는 S.K.C. Cat No. 225-605)
- 바. 바이엘 : 20 ml, 금속가공유 용해성 시험용
- 사. 철망(메탈스크린) : 금속가공유를 추출하고 난 PTFE 필터를 건조시키기 위해 얹어 놓기 위한 것임.
- 아. 핀셋: 정전기 방지를 위해 플라스틱 재질이나 크롬으로 도금된 철 재질이어야 함.
- 자. 각종 피펫, 용량플라스크 등

□ 시약

- 가. Ethyl ether, Methanol, Toulene : 시약등급
- 나. Calcium sulfate : 수분제거제로 사용
- 다. 추출용매 : 금속가공유 종류에 따라 Ethyl ether, Toluene과 Methanol을 부피 비로 1:1:1로 혼합하여 사용

□ 채취 및 처리

- 가. 시료채취 전 필터준비 과정
 - 1) 시료채취용 필터와 현장 공시료용 필터를 아래 2)의 절차에 따라 무게를 잰다.

2) 무게를 재는 과정

① 전자저울이 설치된 중량실에 재고자 하는 필터를 최소한 1시간 정도 방치하여 중량실의 온·습도 조건에 필터의 온·습도 조건을 평형화 시킨다.

② 무게를 재기 전에 저울을 0점 조정한다.

③ 편셋이나 필터가 정전기를 나타낼 때에는 정전기 제거제 위를 반복 통과시켜 정전기를 제거한 후 무게를 재야한다.

※ 마이크로 전자저울 사용에 있어 가장 큰 영향을 미치는 것 중의 하나는 필터와 저울간의 정전기에서 오는 저울의 안정화 문제이다. 이 정전기가 클 경우 필터의 무게가 계속 변하기 때문에 중량분석에 많은 문제가 발생하게 된다. 이 정전기에 크게 기여하는 것이 습도조건이다. 따라서 무게를 재기 위해 필터의 습도와 저울이 설치된 중량실의 습도조건을 일치시키는 것이 중요하며, 만약 정전기 제거제가 없을 경우 필터를 올려놓을 중량팬 위에 정전기를 띄지 않은 물체를 올려놓고 그 위에다 필터를 위치시켜 중량을 재는 것도 정전기에 의한 저울의 안정화 방해를 억제할 수 있는 방법이 된다.

④ 필터가 일정한 무게를 나타낼 때까지 반복하여 시료채취용 필터(W1) 및 공시료 필터(B1)의 무게를 잰다(연속하여 잰 필터의 무게 차이가 $10\mu\text{g}$ 이내여야 하며 이를 평균하여 무게로 사용한다.)

3) 2단 카세트에 패드와 함께 PTFE 필터를 장착시키고 카세트의 양쪽 구멍을 마개로 막고 카세트 연결부위는 시료채취 시 누설되지 않도록 셀룰로즈 밴드 등으로 밴딩 처리를 한다.

나. 시료채취

1) 시료채취 펌프를 보정한다(시료채취시와 동일한 연결 상태에서).

2) 시료채취시 채취되는 입자상 물질의 무게가 약 2 mg을 초과하지 않도록 시료채취 시간을 조정하여 시료를 채취하도록 한다.

※작업환경중의 금속가공유 농도가 0.5 mg/m^3 일 경우 최소한 1000 ℓ 시료채취가 필요함

3) 현장에서 사용중의 금속가공유에 대한 추출용매의 용해성 시험을 위해 현장에서 사용중인 금속가공유 벌크시료를 10 ml 정도 채취하여 PTFE 마개가 달린 유리재질의 용기에 담는다.

4) 동일 현장에 채취되는 시료 세트당 최소 5개의 현장 공시료를 분석실에 제출하여야 한다.

※ 현장 공시료 경우 시료채취를 하지 않는다는 점을 제외하고는 현장 시료와 모든 면에서 동일하게 취급해야 한다. 즉 현장 공시료 용 시료 채취기의 경우 펌프를 연결하지 않은 상태에서 카세트의 마개를 열고 현장 시료채취시간과 동일하게 현장의 오염되지 않은 지역에 보관한 다음 현장 시료채취가 종료되는 시점에 시료채취기 마개를 막고 현장시료와 동일하게 운반하도록 하여야 한다.

5) 시료는 냉장보관 시료채취 후 2주 이내에 분석하여야 한다.

□ 분석과정

가. 시료 전처리

1) 벌크시료로 채취한 금속가공유의 용해성 시험

① 벌크시료 병을 세차게 흔들어 채취한 벌크시료가 완전히 혼합되도록 한다.

② Ethyl ether, Methanol, 그리고 Toluene을 부피 비로 1:1:1로 혼합한 용액 10 ml를 PTFE 마개가 달린 시험관에 넣는다.

③ 금속가공유 벌크시료를 50 μ l를 취해 ②의 시험관에 넣은 후 마개를 막고 세차게 흔든다. 침전물 생기지 않아야 하며, 층 분리가 일어나지 않고 용액이 맑으면(clear) 해당 금속가공유는 추출용매에 완전히 녹은 것으로 판단할 수 있다.

※ Ethyl ether만으로 채취한 벌크시료를 완전히 용해시킬 수 있다면 추출용매를 ethyl ether 단독으로만 사용할 수도 있다.

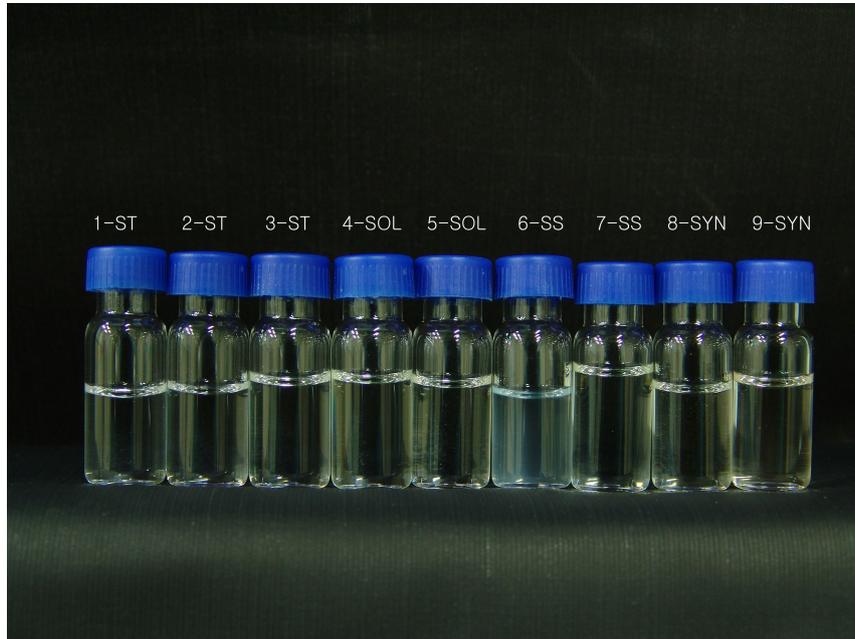


그림 33. MWFs completely solved in ETM solvent.

④ 필터의 카세트(공시료 포함) 외벽에 붙어있는 먼지를 물에 젖은 티슈로 잘 닦은 다음 티슈는 버린다.

⑤ 카세트 마개를 열고 카세트를 calcium sulfate가 들어 있는 데시케이터 안에 넣어 둔다. 데시케이터 안에 보관하는 시간은 2시간을 초과하지 않도록 해야 한다.

⑥ 데시케이터 안에서 카세트를 꺼낸 다음 저울이 설치된 중량분석실에 최소한 1시간 이상 놓아둔다.

⑦ 카세트를 열어 필터를 조심스럽게 꺼낸 다음 무게를 잰다.

⑧ 가. 2)의 과정에 따라 각 시료필터 무게(W2) 및 공시료 무게(B2)를 잰 후 기록한다.

※ 필터의 상태 즉 과포집, 누설발생, 찢어짐 등 분석결과 해석에 도움이 될 만한 한 상황이 있으면 모두 기록한다.

나. 교정 및 정도관리

1) 무게를 달기 전에 전자저울은 반듯이 0점을 맞추어야 하며, 시료채

취 전, 시료채취 후, 그리고 시료추출 후에 사용되는 모든 전자저울은 동일한 것이어야 한다.

2) 전자저울은 주기적으로 검·교정을 실시한 후 사용하여야 한다.

다. 추출과정

1) 아래과정을 거쳐 금속가공유를 필터로부터 추출해 내야하며, 추출과정 및 필터 건조과정은 흡 후드 내에서 실시하도록 한다.

① 필터를 추출용 깔때기의 필터 장착부위 위에 조심스럽게 위치시키고 추출용 깔때기를 조립한다.

② 추출용매 10 ml를 붓는다. 이 때 추출용 깔때기에 진공을 가해서는 안 되며 반드시 중력에 의해 여과되도록 해야 한다. 여과시간은 5분에서 10분 정도 소요되나, 채취된 입자상 물질의 양 및 금속가공유 종류에 따라 추출 시간은 달라 질 수 있다.

③ 다시 추출용매 10ml 가하여 ②와 동일한 방법으로 여과시킨다.

④ 추출용매 1-2ml로 조심스럽게 깔때기 내부 벽에 붙어 있는 입자상 물질을 씻어 내 필터위로 옮겨지도록 한다.

⑤ 추출깔때기에 진공을 약하게 걸어 필터에 묻어 있는 추출용매를 제거한다.

※ 필터에 묻어 있는 솔벤트를 완전히 제거할 필요가 없기 때문에 진공을 약하게 그리고 짧은 시간(10초 이내) 동안만 가해야 한다.

⑥ 추출깔때기로부터 필터를 조심스럽게 들어 내 철망 위에 올려놓고 건조시킨다.

※ 진공이 걸린 상태에서는 절대로 필터를 추출 깔때기로부터 꺼내서는 안 되며, 필터의 건조시간은 최소 2시간 이상이 되도록 하여야 한다.



그림 34. 다체닐 용매 추출갈대기

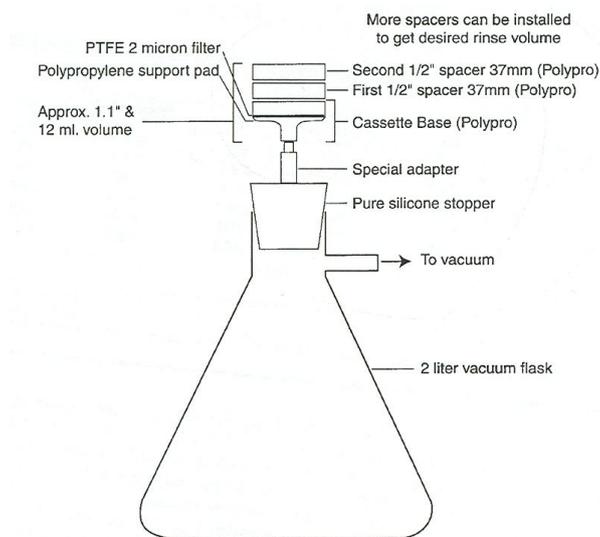


그림 35. 3단 카세트를 직접 여과 추출하는 모습

2) 가. 2)의 과정에 따라 금속가공유 추출 후의 시료필터 무게(W3) 및 공시료 무게(B3)를 잰 후 기록한다.

※ 필터의 무게 변화에 영향을 미치는 상황 발생시, 즉 필터의 찢어짐 등 분석결과 해석에 도움이 될 만한 상황이 있으면 모두 기록한다.

□ 농도계산

다음 식에 의하여 농도를 구한다.

가. 총 입자상 물질 농도

$$C(\text{mg}/\text{m}^3) = \frac{(W2 - W1) - (B2 - B1) \cdot 1000}{V}$$

W1 : 시료채취 전의 필터 무게(mg)

W2 : 시료채취 후의 필터 무게(mg)

B1 : 시료채취 전의 공시료 들의 평균 무게

B2 : 시료채취 후의 공시료 들의 평균 무게

V : 시료채취 총량(ℓ)

나. 금속 가공유 농도

$$C(\text{mg}/\text{m}^3) = \frac{(W2 - W3) - (B2 - B3) \cdot 1000}{V}$$

W2 : 시료채취 후의 필터 무게(mg)

W3 : 금속가공유 추출 후의 필터 무게(mg)

B2 : 시료채취 후의 공시료 들의 평균 무게

B3 : 금속가공유 추출 후의 공시료 들의 평균 무게

V : 시료채취 총량(ℓ)

Ⅲ. 금속가공유 노출기준

국가 분류		광물성오일 (8012-95-1)	식물성오일 (68956-68-3)	금속가공유
미국	OSHA, PEL	5 mg/m ³	15 mg/m ³ (충분진) 5 g/m ³ (호흡성분진)	-
	NIOSH, REL	5 mg/m ³ ST10 mg/m ³	10 mg/m ³ (충분진) 5 mg/m ³ (호흡성분진)	0.5 mg/m ³ (충분진) 0.4mg/m ³ (흡입성분진)
	ACGIH, TLV	5 mg/m ³ ST10 mg/m ³	-	(0.2 mg/m ³)
일본	JSOH, OEL	3 mg/m ³	-	-
	MHLW	-	-	-
독일	MAK	-	-	-
스웨덴	NGV	-	-	-
영국	WEL	-	-	-
프랑스	VME	-	-	-
노동부		5 mg/m ³ ST10 mg/m ³	10 mg/m ³	-

1. 미국

가) OSHA: PEL(Permissible Exposure Limits)

미국의 산업안전보건국 (Occupational Safety and Health Administration : OSHA)의 허용기준치는 1968년 ACGIH에서 정한 400여개 물질에 대한 허용농도를 약간 수정하여 미국 국립표준연구소(American National Standards Institute : ANSI)에서 정한 기준과 합쳐서 만들어져 Walsh-Healey Contracts Act로 공포되었으며, 정부기관 근로자들의 노출한 계로 규제하게 되었고, 1970년 산업안전보건법에 의거하여 모든 기업체의 근로자들에게 적용할 유해물질의 폭로허용기준치를 제정하였다.

OSHA의 허용기준을 개정하기는 ACGIH에서 허용농도를 개정하는 것에 비해서 훨씬 어렵다. 따라서 OSHA의 허용기준은 ACGIH의 허용농도보다 높거나 낮은 물질도 있고 또 허용농도는 정해져 있으나 OSHA의 허용기준은 정해져 있지 않는 물질도 있다. 현재 OSHA의 허용기준은 1988년 이전에 정해진 것이 대부분이다.

금속가공유는 복합적인 건강상의 영향을 가지고 있는 물질이다. 그래서 1996년에 OSHA는 금속가공유를 특별한 관리조치가 필요한 10대 과제 (priorities) 중 하나로 선정하였고, 1997년 8월에는 금속가공유 사용으로 인한 문제점을 검토하기 위해 금속가공유 Standard Advisory Committee(이하 SAC라 함)를 구성하였다. 1999년 7월에 SAC는 금속가공유에 노출되면 피부염, 각종 호흡기계 장애는 물론이고 여러 조직에서 암을 유발 할 수 있으며, 노출기준은 현재의 5 mg/m³에서 0.5 mg/m³으로 낮추어야 할 것이며, 금속가공유에 대해서 시스템 관리와 의학적 감시를 필요로 한다는 내용의 보고서를 OSHA에 제출하였다.

OSHA는 금속가공유로서는 노출기준(PEL)을 설정하고 있지 않으며, 광물성오일경우 5 mg/m³(충분진), 식물성오일 경우 15 mg/m³(충분진), 5 mg/m³(호흡성분진)으로 설정하고 있으며, 이 기준은 1972년도에 제정된 기준이다.

표 2. OSHA의 PEL

종류	TWA	최고 노출기준	근 거
광물성오일	5 mg/m ³ (총분진)	-	OSHA, 1989b
식물성오일	15 mg/m ³ (총분진) 5 mg/m ³ (호흡성분진)	-	
금속가공유	-	-	

나) NIOSH: REL(Recommended Exposure Limits)

오일미스트의 종류를 구분하지 않고 모든 종류의 금속가공유에 적용되는 노출기준을 제시하고 있는 기관은 미국 NIOSH이다.

현재 NIOSH에서 제시하고 있는 기준은 1일 10시간 주 40시간 근무기준으로 흡광성분진으로 채취 시 시간가중평균노출기준(REL-TWA)으로 0.4 mg/m³을 제시하고 있고, 총분진으로 채취 시 시간가중평균노출기준(REL-TWA)으로 0.5 mg/m³을 제시하고 있다.⁽³⁷⁾

동 기준은 금속가공유 노출에 의한 천식, 과민성폐렴 또는 다른 호흡기계 건강장해를 예방하고자 설정된 기준이다. 또한 동 기준을 제시면서 금속가공유 경우 피부에 알러지 반응이나 자극을 유발하므로 피부노출을 최소화하는 것도 중요하다고 언급하고 있으며, 대부분의 금속가공유 작업에서 있어서 노출농도를 0.4 mg/m³이하로 유지하는 것이 기술적으로 가능하고 밝히고 있다.

NIOSH 경우 광물성오일과 식물성오일에 대해서도 노출기준(REL)을 제시하고 있다. 광물성오일의 경우 시간가중평균노출기준(REL-TWA)으로 5 mg/m³, 그리고 단시간노출기준(REL-STEL)으로 10 mg/m³를 제시하고 있으며, 식물성오일에 대해서는 시간가중평균노출기준만을 제시하고 있는데 총분진으로 평가시 10 mg/m³, 그리고 호흡성분진으로 평가시 5 mg/m³을 적용토록 하고 있다.

표 3. 금속가공유에 대한 NIOSH의 노출기준(REL)

종류	시간가중평균노출기준	최고노출기준	근 거
광물성오일	5 mg/m ³	10 mg/m ³	NIOSH, 2005
식물성오일	10 mg/m ³ (충분진) 5 mg/m ³ (호흡성분진)	-	
금속가공유	0.5 mg/m ³ (충분진) 0.4 mg/m ³ (흡입성분진)	-	

다) ACGIH : TLV (Threshold Limit Value)

현재 ACGIH의 경우 모든 종류의 금속가공유에 단일로 적용할 수 노출 기준은 설정되어 있지 않고, 광물성 오일미스트(oil mist, mineral)와 식물성 오일미스트(vegetable oil mist)로 구분하여 노출기준을 제시하고 있다.

(1) 광물성오일미스트

현재 광물성 오일미스트에 대한 노출기준은 증기상 물질을 시료채취하지 않는 방법으로 채취된 충분진의 평가기준으로서 시간가중평균노출기준(TLV-TWA)으로 5 mg/m³과 단시간노출기준(TLV-STEL)으로 10 mg/m³을 제시하고 있다. 동 기준의 설정근거는 노출근로자의 호흡기계자극을 최소화하고, 그리고 상대적으로 높은 농도에서 발생할 수 있는 화학적 폐렴(chemical pneumonitis), 지질성 폐렴(lipoid pneumonia)과 같은 폐질환을 예방하고자 설정된 노출기준이다.^(38,39) ACGIH가 동 기준을 제시하면서 밝힌 내용은 이 기준은 모든 종류의 금속가공유에 적용은 가능하지 않다고 말하고 있다.⁽⁴⁰⁾

ACGIH에서 제시하고 있는 현 기준 중 시간가중평균노출기준은 1962년에 제안되어 1964년에 채택되어 현재까지 유지되고 있는 기준이며, 단시간 노출기준은 1976년에 채택된 기준이다. 그 동안 ACGIH는 현 기준에 대한 개정공고를 여러 차례 하였으나 채택되지 않았고, 2006년 현재는 광물성 오일미스트(oil mist, mineral)란 용어는 철회하고 광물성오일(mineral oil)로서 다음과 같이 기준 개정공고를 하고 있는 상황이다.

- 광물성 오일
- 금속가공 작업 시 발생하는 광물성 오일: 0.2 mg/m³- 충분진으로 평가, 덜 정제된(poorly and mildly refined) 광물성 오일인 경우 A2, 고도로 정

- 제된 광물성 오일인 경우 A4로 분류
- 순수하고 고도로 정제된 광물성 오일: 5 mg/m³, A4 - 충분진으로 평가

표 4. ACGIH의 광물성 오일미스트의 노출기준 변천사

년 도	내 용
1962	TLV-TWA, 5 mg/m ³ 제안
1964-69	TLV-TWA, 5 mg/m ³
1970-1976	TLV-TWA, 5 mg/m ³ - 증기상 물질 제외 TLV-STEL, 10 mg/m ³ 제안(1976)
1977-현재	TLV-TWA, 5 mg/m ³ , STEL-10 mg/m ³
1992	- 고도로 정제된 광물성오일미스트: 5 mg/m ³ 제안-증기상 물질을 제외한 충분진 포집방법 - 덜 정제된 광물성 오일미스트: 0.2 mg/m ³ , A2 제안-씨클로hexan 추출물로 평가
1996	- 고도로 정제된 광물성오일미스트: 5 mg/m ³ 제안-증기상물질을 제외한 충분진 포집방법 - 미국 NTP에서 규정하고 있는 15가지 발암물질의 합: 0.005 mg/m ³ 제안
2001	- TLV-TWA, 0.2 mg/m ³ 제안-충분진으로 평가
2006	- 금속가공 작업시 발생하는 광물성 오일: 0.2 mg/m ³ (개정공고), 일반 광물성 오일: 5 mg/m ³ (개정공고)

(2) 식물성오일

식물성오일미스트에 대한 노출기준은 1964년 시간가중평균노출기준으로 15 mg/m³(일반 충분진)이 제시되었다가, 1972년에 10 mg/m³(실리카 함량이 1% 미만인 충분진)으로 개정되었으며, 이는 1990년 기준은 10 mg/m³을 유지하되 이 충분진에는 실리카 함량이 1% 미만이어야 하고 석면이 포함되어 있지 않아야 한다고 규정하고 있다. 동 기준은 2005년 폐지를 공고했으며, 그 다음해인 올해(2006)에 동 기준은 폐지된 상태이다.

ACGIH가 식물성 오일미스트에 대한 노출기준을 폐기하기 전의 노출기준인 10 mg/m³의 설정근거는 작업장 바닥에서 미끄러짐 및 시약확보 방해를 예방하기 위해 설정한 기준이었다. 그러나 동 근거를 제시하면서 밝힌 내용

은 식물성 오일도 직업적 피부염 및 호흡기계 자극을 유발 할 수 있으므로 이러한 오일미스트의 노출이 철저히 관리되어야 한다고 밝히고 있다.

2. 일본

일본은 작업장 내 작업환경관리를 위하여 관리농도를 사용하고 있다. 미국의 노출기준은 각 근로자가 유해물질에 노출되는 농도를 나타내는 한계치이지만 일본의 노동안전위생법 제 65조의 작업환경측정 기준에 의한 작업환경기준은 작업환경 중의 유해물질 농도로서 근로자가 실제로 노출되는 농도가 아니므로 노출한계의 개념을 그대로 적용하는 것은 불합리하다고 생각하여 노출기준과는 별도로 작업환경을 관리하기 위한 행정적인 규제농도로서 관리농도의 개념을 도입하였다. 즉, 일본의 노동안전위생법에서의 관리농도라 함은 작업환경을 관리하는 과정에서 유해물질에 관한 작업환경 상태를 평가하기 위하여 작업환경의 측정기준에 따라 단위작업장소에 대해 실시한 측정결과로써 당해 단위작업장소의 작업환경관리 상태의 적부판정을 결정하기 위한 지표라 정의하고 있다. 이 정의에서 알 수 있는 바와 같이 관리농도는 작업장 공기 중의 유해물질 농도를 행정적인 견지에서 작업환경관리의 적부를 판단하는 기본 수치이다. 또한, 이는 노출한계 또는 관리의 기술적 가능성 등을 감안하여 행정부에서 정한 것이므로 근로자 개개인의 노출농도와의 비교를 전제로 하여 설정한 노출기준과는 차이가 있다.

일본에서 작업환경측정이 의무화되어 있는 92개의 유해물질 중 현재 72개 물질에 대한 관리농도의 수치가 작업환경 평가 기준에 의해 구체적으로 제시되어 있다. 일본의 산업위생학회가 매년 총회를 거쳐서 노출기준을 권고 하고 있다. 이 노출기준의 권고는 행정업무와는 무관하게 설정된다.

일본의 경우 금속가공유에 대한 관리농도는 현재 설정되어 있지 않고 있으며, 다만 일본 산업위생학회에서 광물성오일에 대하여 충분진으로 평가시는 5 mg/m^3 를, 그리고 충분진 중 오일미스트의 농도로 평가시는 3 mg/m^3 으로 노출기준을 권고하고 있다.

3. 영국

영국은 지금까지 작업장에서의 유해물질에 대한 노출기준(occupational exposure limit: OEL)을 직업성 노출기준(occupational exposure standard: OES)과 최대노출기준(maximum exposure limit: MEL) 2 가지로 나누어 제시하였으나, 사업주와 주주들이 좀 더 이해하기 쉽고 산업장에서 좀 더 광범위하게 적용할 수 있도록 하기 위해 기존의 OEL과 MEL를 합쳐 작업장 노출기준(workplace exposure limit: WEL)으로 변경하였다.⁽⁴¹⁾

영국의 경우 현재 금속가공유에 대해 설정된 노출기준은 없다. 다만, WEL 체계 이전에 OEL로서 고도로 정제된 mineral oil에 대해서 8시간 가중평균노출기준(TWA)은 5 mg/m³으로 15분 단시간노출기준(STEL)은 10 mg/m³으로 제시하였었다.

4. 한국

우리나라 경우 금속가공유로는 노출기준이 설정되어 있지 않고 금속가공유 종류인 광물성오일과 식물성오일에 대한 노출기준만이 설정되어 있다. 광물성오일은 8시간 가중평균노출기준(TWA)은 5 mg/m³으로 단시간노출기준(STEL)은 10 mg/m³으로 설정하고 있고, 식물성오일은 시간가중평균노출기준(TWA) 10 mg/m³을 설정하고 있다.

표 5. 우리나라의 금속가공유 노출기준

종류	TWA	STEL	근거
광물성오일	5 mg/m ³	10 mg/m ³	노동부고시 제2002-8호
식물성오일	10 mg/m ³	-	
금속가공유	미설정	미설정	

참고문헌

1. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH): Criteria for recommended standard: occupational exposure to metalworking fluids [DHHS (NIOSH) Pub. No. 98-102]. Cincinnati, OH; NIOSH, 1998.
2. 기술표준원: 한국공업규격 KSM 2173-절삭유제. 기술표준원, 2001.
3. Ely, T.S., S.F. Pedley, and F.T. Hearne: A study of mortality, symptoms, and respiratory function in humans occupationally exposed to oil mist. *J. Occup. Med.*, 12:253-261 (1970).
4. Kriebel, D., S.R. Sama, S. Woskie, D.C. Christiani, et al.: A field investigation of the acute respiratory effects of metal working fluids. I. effects of aerosol exposures. *Am. J. Ind. Med.*, 31(6):756-766 (1997).
5. Robins, T., N. Seixas, A. Franzblau, L. Abrams, et al.: Acute respiratory effects on workers exposed to metal working fluids in an automotive transmission plant. *Am. J. Ind. Med.*, 31:510-524 (1997).
6. Ameille, J., P. Wild, D. Choudat, G. Ohl, et al.: Respiratory symptoms, ventilatory impairment, and bronchial reactivity in oil mist exposed automobile workers. *Am. J. Ind. Med.*, 27:247-256 (1995).
7. Eisen, E.A., C.A. Holcroft, I.A. Greaves, D.H. Wegman, et al.: A strategy to reduce healthy worker effect in a cross-sectional study of asthma and metal-working fluids. *Am. J. Ind. Med.*, 31(6):671-677 (1997).
8. Grieves, I.A., E.A. Eisen, T.J. Smith, L.J. Pothier, et al.: Respiratory health of automotive workers exposed to metal-working fluid aerosols: respiratory symptom. *Am. J. Ind. Med.*, 32(5):450-459 (1997).
9. Rosenman, K.D., M.J. Reilly, and D.J. Kalinowski: A state-based surveillance system for work-related asthma. *J. Occup. Environ. Med.*, 39:415-425 (1997).
10. Rosenman, K.D., M.J. Reilly, and D.J. Kalinowski: Work-related asthma and respiratory symptoms among workers exposed to metal-working fluids. *Am. J. Ind. Med.*, 32(4):325-331 (1997).
11. Kriebel, D., S.R. Sama, S. Woskie, D.C. Christiani, et al.: A field

- investigations of the acute respiratory effects of metal working fluids. I. Effects of aerosol exposure. *Am. J. Ind. Med.*, 31:756-766 (1997).
12. Jarvholm, B., L. Lillienberg, and G. Sallsten: Cancer morbidity among men exposed to oil mist in the metal industry. *J. Occup. Med.*, 23(5):333-337 (1981).
 13. Kazeroni, N., T.L. Thomas, S.A. Petralia, and R.B. Hayes: Mortality among workers exposed to cutting oil mist: Updated of previous reports. *Am. J. Ind. Med.*, 38:410-416 (2000).
 14. Eisen, E.A., J. Bardin, and R. Gore: Exposure-response models based on expanded follow-up of a cohort mortality study in the automobile industry. *Scand. J. Work Environ. Health*, 27(4):240-249 (2001).
 15. Vena, J.E., H.A. Sultz, R.C. Fiedler, and R.R. Barnes: Mortality of workers in an automobile engine and parts manufacturing complex. *Br. J. Ind. Med.*, 18:351-360 (1985).
 16. Bardin, J.A., E.A. Eisen, P.E. Tolbert, M.F. Hallock, et al.: Mortality studies of machining fluid exposure in the automobile industry V: A case-control study of pancreatic cancer. *Am. J. Ind. Med.*, 32(3): 240-247 (1997).
 17. Eisen, E.A., P.E. Tobert, M.F. Hallock, and S.K. Hammond: Mortality studies of machining fluid exposure in the automobile industry III: A case-control study of larynx cancer. *Am. J. Ind. Med.*, 26:185-202 (1994).
 18. Savitz, D.A.: Epidemiological evidence on the carcinogenicity of metalworking fluids. *Appl. Occup. Environ. Hyg.*, 18:913-920 (2003).
 19. Alomar, A.: Occupational skin disease from cutting fluids. *Dermatologic Clinics*, 12(3):537-546 (1994).
 20. Goon, A.T., and C. Goh: Epidemiology of occupational skin disease in Singapore 1989-1998. *Contact Dermatitis*, 43:133-136 (2000).
 21. Almore, A., S. Conde-Salazar, and C. Romaguera: Occupational dermatosis from cutting oils. *Contact Dermatitis*, 12:129-138 (1985)
 22. Fisher, A.A.: Allergic contact dermatitis of hands due to industrial

oils and fluids. *Cutis*, 23:131-142 (1979).

23. 박병찬, 이준영, 김형욱, 김정원: 절삭유 사용으로 인한 피부질환에 관한 역학조사. *대한피부과학회지*, 29(3):298-303 (1991).

24. 진영우, 이준영, 김은하, 박승현, 채창호, 최용휴, 김규상: 금속가공유를 취급하는 남성근로자의 접촉피부염. *예방의학회지*, 30(2):381-391 (1997).

25. 천병철, 김희옥, 김순덕, 오철환, 염용태: 절삭유 취급근로자의 피부질환에 관한연구. *예방의학회지*, 29(4):785-799 (1996).

26. De Bore, E.M., W.G. Van Ketel, and D.P. Bruynzeel: Dermatitis on metal workers(I) Irritant contact dermatitis. *Contact dermatitis*, 20:212-218 (1989).

27. 이준영, 고익준, 김영환, 김형욱, 김정원: Metal working fluid에 의한 접촉 피부염. *대한피부과학회지*, 28(3):283-287 (1990).

28. Simpson, A.T., M. Stear, J.A. Groves, M. Piney, et al.: Occupational exposure to metalworking fluid mist and sump fluid contaminants. *Ann. Occup. Hyg.*, 47(1):17-30 (2003).

29. 한국하우톤. 절삭·연삭유제. 1994.

30. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH): Method 0500. In NIOSH pocket guide to chemical hazards and other databases [DHHS (NIOSH) Pub. No 2000-130]. Cincinnati, OH; NIOSH, 2000.

31. Occupational Safety and Health Administration (OSHA): IMIS 5010, 9135 [Online]. Available at http://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/toc/toc_chemsamp.html (Accessed 2005).

32. Health and Safety Executive (HSE): Method 84. In methods for the determination of hazardous substance (MDHS). HSE, 1999.

33. Health and Safety Executive (HSE): Method 95/2. In methods for the determination of hazardous substance (MDHS). HSE, 2003.

34. Ford Motor Company: Sampling and analytical method for metalworking fluids, method No. FIH-005. Ford, 1995.

35. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH): Method 5524. In NIOSH manual of analytical method, 4th ed. P.M. Eller(ed.), [DHHS (NIOSH) Pub. No. 2003-154]. Cincinnati, OH; NIOSH,

2003.

36. 한국산업안전공단. 유해물질 측정방법 KOSHA A-1-2004. 2004.
37. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Criteria for recommended standard: occupational exposure to metalworking fluids [DHHS (NIOSH) Pub. No. 98-102]. Cincinnati, OH; NIOSH, 1998.
38. National Institute for occupational Safety and Health(NIOSH). Health hazard evaluation report, HHE-73-193-133. US technical information service. 1979.
39. National Institute for occupational Safety and Health(NIOSH). Health hazard evaluation report, HHE-79-062-606. US technical information service. 1979.
40. American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). Documentation of the threshold limit values and biological exposure indices. 2001.
41. Health and Safety Commission(HSC). Proposals to introduce new occupational exposure limits(OEL) framework. HSC, 2003.