

# 放電加工機의 火災危險과 對策

## 1. 방전가공기

방전가공은 방전현상을 인공적으로 만들어 그 에너지를 이용한 가공법이다. 방전현상을 금속의 가공에 응용한 것은 1800년대 말 미국에서의 전기펜이 처음이다. 이를 본격적으로 응용하게 된 것은 소련으로서 1943년부터이다. 일본에서는 1948년 동경대학 연구실에서의 천공(穿孔)가공이 그 시작이다. 그 후 1955년 경부터 실험적으로 사용되기 시작하여 현재는 20,000대 이상이 사용되고 있고, 매년 증가하고 있다.

### 가. 가공원리

절연성의 가공액 가운데에서 가공전극(일반절삭가공의 절삭공구에 해당하는 것)과 피가공물을 양극으로 하고, 절연과피를 일으키는 전압을 가하면 코로나방전, 불꽃방전, 아아크방전과 진행, 그 사이에 방출된 에너지가 단시간에 커진다. 그 때문에 방전점에서는 수천도 이상의 고온이 되어 피가공물이 용해한다. 또, 고온에 의한 가공액의 기화 등을 수반하는 충격압력에 의하여 용해물을 가공액 중으로 비산, 제거하여 가공전극의 형상을 피가공물에 복제하는 전사가공이 된다. 가공전극은 피가공물의 경도에 관계없이 동(Cu)같은 부드러운 재질을 사용할 수 있기 때문에 형의 가공이 용이하다. 또, 전기를 직접 에너지화하여 사용하기 때문에 에너지의 임의설정이 가능하고 정밀도가 높은 복잡한 형상의 가공이 용이한 것이 특징이다.

### 나. 방전가공기의 종류

방전가공기에는 가공전극의 형상과 종류에 따라

총형전극을 이용한 형조방전가공기와 가는 금속선을 전극으로 하는 와이어방전가공기 등 2종류가 있다. 이 가운데 와이어방전가공기는 물을 주성분으로 하는 불연성 가공액을 사용하기 때문에 화재위험이 거의 없으나 형조방전가공기는 인화성 오일을 가공액으로 사용하기 때문에 화재위험이 크다. 본 자료에서는 형조방전가공기(이하 방전가공기라고 한다)의 화재위험과 대책에 관하여 설명하고자 한다.

## 2. 화재위험의 특징

방전가공기 화재위험의 가장 큰 특징은 인화성의 가공액을 다량으로 사용하고, 그 가공액 가운데에서 방전불꽃을 발생시킨다는 점이다. 즉, 화재의 3요소(가연물, 점화원, 산소)가 모두 갖추어져 있기 때문에 화재발생위험이 대단히 크다. 화재위험의 특징을 정리해 보면 다음과 같다.

### 가. 가공액

가공액은 절연도가 높은 유전체(誘電體)액이 사용된다. 또, 전극과 피가공물과의 간극이 수미크론으로 극히 좁기 때문에 너무 점도가 높은 것은 적당하지 못하다. 그렇기 때문에 현재는 등유와 같은 저점도의 오일이 사용되는 일이 많다. 그러나 등유는 인화점이 30~60℃로 낮기 때문에 사소한 트러블에서도 화재가 되기 쉽다. 즉, 거친 가공을 장시간 연속하게 되면 냉각장치의 능력이 충분하지 않은 경우 액온이 40~50℃로 높게 되어 대단히 인화하기 쉽게 된다.

가공액의 주된 역할은 ①방전불꽃의 냉각 ②가공시 발생하는 슬러지의 냉각 ③전극의 소모방지 ④슬러지의 비산제거 등이 있으나 이러한 조건을 만족

하는 방전가공기 전용 가공액이 판매되고 있다.

1대의 가공액 보유량은 기계에 따라 천차만별이지만 대개 200~400ℓ의 다량을 보유하는 것이 많아서 발화시 손해를 크게 하기 쉽다고 말할 수 있다.

#### 나. 가공액 중의 방전불꽃

방전가공은 앞의 가공원리에서도 설명한 바와 같이 가공액 중의 전극과 피가공물과의 사이에서 방전 불꽃을 발생시켜서 가공하기 때문에 방전불꽃이 착화의 계기가 되기 쉽다.

방전이 항상 가공액 중에서 일어나면 착화에 필요한 공기(산소)와의 접촉을 방지할 수 있기 때문에 착화하지 않지만 가공액을 순환공급하는 장치의 트러블 등에 의한 액면저하 등으로 인하여 방전불꽃이 액면위로 노출하여 화재가 될 위험이 있다. 또 가공시 발생하는 슬러지의 제거가 불충분하거나 가공전류치의 설정을 잘못하면 피가공물 표면에 슬러지가 부착, 성장하고, 이에 따라 전극이 상승하기 때문에 방전불꽃이 액면위로 노출되어 화재가 되는 경우가 있다.

#### 다. 가공의 장시간화

방전가공기는 방전불꽃의 열에 의하여 피가공물을 용해제거시키는 가공법이기 때문에 종래의 절삭가공에 비하여 가공속도(단위시간당의 절삭량)가 떨어져 매분 2~3g 정도이다. 그래서 가공시간이 길어지기 쉽다. 또, 최근 많이 사용되고 있는 수치제어(NC) 방전가공기에서는 정해진 프로그램에 따라 복잡한 가공이 연속하여 일어나기 때문에 가공시간이 길어지고 있다. 가공의 장시간화에 따르는 무인상태의 운전 즉, 휴식시간이나 야간, 휴일에도 연속하여 가공하게 되어 화재가 발생했을 때에 초기 소화의 지연을 초래할 위험이 있다.

### 3. 화재사례

방전가공기 500대중 30% 정도가 화재의 경험이 있다고 하는 통계가 있으나 여기에서는 최근 발생한 방전가공기 화재 가누데 100만円 이상의 손해를 가쳐온 사례를 소개하기로 한다. 사례에서 보는 바와 같이 야간, 새벽 등 무인상태에서 출화한 것이 많아서 손해를 확대시키고 있다.

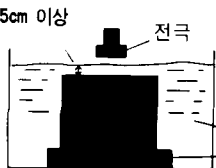
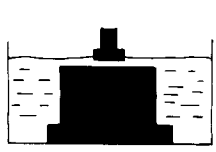

#### [방전가공기 화재사례]

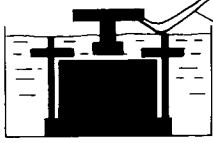
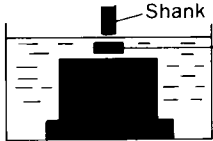

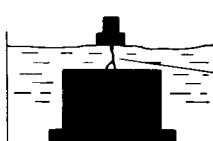


출화시간	화재상황	손해액
01 : 00	○ 종업원이 22시까지 작업한 후 귀가하여 무인운전 중에 출화하였다. 통행인이 화재를 발견하고 부근의 사람과 협력하여 소화에 힘쓴 결과 건물의 일부와 방전가공기만을 소실한 후 진화하였다.	2,451천円
07 : 00	○ 사고가 발생한 방전가공기는 작업의 종료, 가공액의 부족, 액면저하 등의 경우 자동으로 정지하는 자동기계이므로 사고 전날 19:00경부터 자동조작상태로 무인운전되고 있었다. 그러나 가공물에 대한 전류의 설정이 너무 커서 많은 전류가 흐르게 되어 이상가공이 되었다. 이때문에 가공전극이 조금씩 상승하여 액면위로 노출되었으나 전극상승시의 자동정지가 잘 작동되지 않아서 액면상의 방전불꽃을 점화원으로 화재가 되었다.	2,468천円
03 : 50	○ 대형금형(실린더 헤드 가스켓)을 제작하기 위하여 방전가공기를 3일전부터 연속운전하고 있었다. 작업의 진행상태를 체크하기 위하여 사고 전날 오후, 작업을 일시정지시키고 공작물의 상태를 조사한 후 재운전을 하였다. 그런데 가공액면이 서서히 저하하고 전극이 액면위로 노출되어 화재가 되었다.	14,164천円

출화시간	화재상황	손해액
03 : 41	○ 방전가공기를 야간 무인운전하고 있을때 슬러지가 생성, 성장하였다. 이에 따라 전극이 상승하여 액면위로 노출되면서 화재가 되었다. 무인운전이었기 때문에 발견이 늦어져 화재가 확대되었다.	44,601천円
19 : 00	○ 종업후 경비원이 순찰하고 있을때 방전가공 공장에서 불이 난 것을 보고 소방서에 통보하였다. 방전가공기는 다량의 가공액을 수납하고 있었기 때문에 화재가 강하여 소화활동이 지연되었다.	120,052천円
03 : 15	○ 방전가공기의 가공액 공급호스가 빠져 가공액이 유출되었다. 이로 인한 액면저하로 방전불꽃에 의하여 인화하였다. 가공조의 오일이 천정까지 타올라 동력배선이 소손됨에 따라 이상전류가 흘러 변전실 내의 큐비클에서도 불꽃을 내었다. 심야작업중인 종업원이 화재를 발견하고 소화기로 소화하려 하였으나 화재가 강하여 소화할 수 없었다. 그러나 신고를 받고 급히 출동한 소방차에 의하여 기계설비와 건물의 일부를 소손한 채 진화되었다.	19,052천円
19 : 00	○ 방전가공기의 전극에 다량의 카본이 부착되어 방전상태가 나빠지고 이로 인하여 가공액에 인화하였다. 또 가공조의 불이 전원장치와 기계전체를 소손시켰으나 다행히 건물에는 착화하지 않았다.	10,014천円
10 : 30	○ 금형가공공장의 중앙부에 배치되어 있던 방전가공기에서 가공액면의 저하로 액표면에 인화하였다. 화재는 동 공장내에 설치된 13대의 기계에 연소된 외에 건물의 천정, 지붕, 내벽의 일부를 소손시켰다. 가공액면이 저하한 원인은 밝혀지지 않았다.	163,705천円

#### 4. 화재발생의 원인

앞의 화재사례에서도 밝혀진 바와 같이 사례 모두가 가공액에 착화한 것으로서 가공액의 착화원인을 다음의 9가지로 고찰할 수 있다.

- ① 
  - 가공조의 깊이에 대하여 무리한 높이의 공작물을 가공한 경우
    - 가공액면으로부터 공작물의 상면까지의 거리는 5cm이상 확보하여야 한다.
- ② 
  - 가공조에 여유가 있지만 가공액을 충분히 채우지 않은 상태로 공작물을 가공한 경우
- ③ 
  - 헤드와 공작물지지구와의 방전이 일어난 경우
    - 예상하지 않은 부분에서도 액면가까이에서 방전을 일으킨다.

- ④  ● 절연피복이 벗겨진 인입선과 공작물지지구와의 방전이 일어난 경우
- ⑤  ● 전극과 전극축(shank)이 떨어져 그 사이에서 방전이 일어난 경우
- ⑥  ● 가공액 분사가공시 이에 착화한 경우
- ⑦  ● 이상방전에 따른 슬러지의 성장으로 액면에서 방전한 경우
- ⑧  ● 본의 아니게 액면이 저하한 경우
- ⑨  ● 전극과 노즐사이에서 방전한 경우

**5. 예방대책**

화재의 원인은 거의 모두가 가연성 가공액의 사용과 방전불꽃에 있다. 따라서 출화 방지대책은 이 2가지에 집약된다.

**가. 출화 방지대책**

**① 불연성가공액의 사용**

가장 바람직한 예방대책은 가연성의 가공액을 사용하지 않고 불연성의 가공액을 사용하는 것이다. 이 경우 방전가공기에서의 화재위험은 거의 없다고 할 수 있다. 불연성가공액을 사용하는 방전가공기를

최근 몇개 회사에서 판매하고 있으므로 구입시 이를 적극적으로 검토하도록 권장한다. 기존의 방전가공기에는 불연성가공액을 사용할 수 없는 경우가 많으나 화재위험이 큰 거친 가공에서는 사용가능한 경우도 있으므로 제조회사와 상담해 볼 것을 권장한다.

**② 전용가공액의 사용**

가공액은 전기절연, 슬러지의 냉각, 제거, 전극의 소모방지 등의 성능이 요구 되므로 제조회사가 추천하는 방전가공기 전용가공액을 사용하여야 한다. 그러나, 실제로는 증발 등으로 인한 감량분의 보충에 전용가공액을 사용하지 않고 일반등유 등을 사용하는 케이스가 많다. 이런 상태하에서는 가공액의 역

합을 충분히 할 수 없기 때문에 화재발생의 우려가 많다. 따라서, 반드시 전용의 가공액을 사용토록 하여야 한다.

### ③ 올바른 가공방법의 준수

○ 가공액면은 피가공을 상단에서 5cm 이상이 되도록 고정

가공조의 깊이에 비하여 피가공물이 크면 전술한 바와 같이 가공액면과 피가공물과의 간격이 5cm 미만이 되는 일도 있다.

○ 가공조의 확대개조 금지

소형의 방전가공기만을 사용하고 있는 공장에서도 대형의 금형을 제작해야 할 때가 있다.

이 경우 피가공물이 가공조보다 작기 때문에 가공조밖으로 나오게 된다. 이를 방지하기 위하여 가공조를 확대개조하는 일이 있으나 개조부분에서 가공액이 누설되어 화재에 이르는 사례가 있다.

이와 같은 사고를 방지하기 위하여 방전가공기의 능력, 크기에 맞는 공작물을 가공하도록 하고, 가공조를 변형한 능력 이상의 가공작업을 금지하여야 한다.

### ④ 분사가공에 대한 유의

가공액을 노즐을 통하여 가공부분에 직접 뿌려 가공하는 일이 있으나 분출압력이나 분출방향에 따라서는 가공액이 주변에 비산할 우려가 있다. 가공액만 비산하는 것은 위험이 적지만 가공액과 동시에 가열된 슬러지가 비산하면 화재가 될 위험이 많다. 또, 노즐의 위치가 부적절하면 가공이 진행되는데 따른 전극의 이동으로 전극과 노즐의 거리가 작아져 이들 사이에서 방전이 되어 화재가 될 위험도 있다.

따라서 분사가공을 할 때는 가공액이 가공조 주변에 비산하는 일이 없도록 유의하고, 노즐과 전극과의 위치관계도 충분히 검토하여야 한다. 특히, 가공이 진행되는데 따라 피가공물의 형상이 변화하므로 가공액의 반사방향도 변하기 때문에 감시를 계속하여 안전을 확인하는 것이 중요하다.

### ⑤ 액온의 상승방지

어느 실험데이터에 의하면 실험전에 23℃였던 액온이 30분간의 가공을 3회했을 때 39℃까지 상승하였다. 다듬질가공의 경우에는 전류치가 낮아 발열도 적지만 거친가공에서는 발열량이 커서 액온이 상승하기 쉽다.

액온이 상승하면 가공액의 인화점에 가깝게 되어 화재가 되기 쉽다고 말할 수 있다. 특히 전극부근은 국부적으로 고온이 되어 인화성 증기의 발산이 활발해지기 때문에 가열된 슬러지가 액면위로 나오게 되면 용이하게 인화한다.

최근의 방전가공기에는 가공액 냉각장치가 설치된 것이 많아서 액온이 상승하기 어렵게 되어 있으나 구식의 방전가공기에는 냉각장치가 없는 것이 있어 액온이 상승하기 쉽다. 냉각장치가 없는 것, 혹은 있어도 냉각능력이 불충분한 것에는 냉각장치를 설치하거나 냉각능력을 확대시키는 것이 필요하다. 간이 설비로서 자동차의 라디에터를 가공조에 넣고, 여기에 물을 보내어 액온을 저하 시킬 수 있다.

### ⑥ 가공액 순환장치의 정기점검

방전가공기에서는 가공액을 순환시켜 사용하지만 펌프의 고장이나 필터의 막힘 등에 의하여 가공액의 공급이 정지되거나 부족하게 되면 액면이 저하하여 액온이 상승한다. 이들 모두가 화재와 직결되기 때문에 순환장치(펌프, 필터 등)의 기능유지는 중요한 것이다. 따라서 순환장치는 월 1회 이상 점검하고 필요시 청소 및 필터교환을 하여야 한다.

### ⑦ 안전장치의 정기점검

최신의 방전가공기에는 가공액이 설정치보다 낮아질 때 자동으로 정지시키는 「액면 관리」, 가공 액온이 일정치 이상으로 상승할 경우 자동으로 정지시키는 「액온관리」, 방전상태가 나빠질 때 자동으로 정지시키는 「이상가공방지」 등의 기능을 갖는 안전장치가 설치된 것이 많다. 그러나, 안전장치 중에는 정비, 점검의 불량으로 자동정지가 되지 않는 것이 있다. 안전장치도 기계이기 때문에 고장이나 작동불량 방지를 위한 정기점검이 반드시 필요하다.

#### 나. 화재확대 방지대책

가연성의 가공액을 사용하는 방전가공기에서는 “가”의 출화 방지대책을 지킨다고 하여도 100% 출화방지는 어렵다. 따라서 화재가 발생하였을 때 손해를 극소화하기 위하여 다음의 대책을 강구할 필요가 있다.

##### ① 자동소화장치의 설치

방전가공기의 구매조건(Option), 또는 소화설비업자로부터 분말소화약제나 할론소화약제를 이용한 자동소화장치가 판매되고 있으므로 방전가공기의 도입시에는 반드시 설치하도록 한다.

자동소화장치는 방전가공기 헤드 아래쪽에 열감지기와 소화약제 방출 노즐을 설치하고, 가공조에서의 화재를 감지하여 자동으로 소화하는 장치이다.

##### ② 무인운전의 금지

방전가공은 가공시간이 길기 때문에 야간, 휴일에도 작업을 하게 된다. 특히 최근의 방전가공기에는 각종 안전장치나 자동소화장치가 설치되어 있기 때문에 안심하고 무인운전을 하게 되는 경향이 있다.

그러나, 안전장치나 자동소화장치도 기계인 이상 반드시 고장이 따르게 마련이므로 과신하는 것은 금물이다. 사람의 감시하에 있을때에 화재가 발생하면

조기소화가 가능하지만 무인운전시에는 소화의 지연 또는 확대의 우려가 있다. 앞의 “화재사례”에서 보는 바와 같이 100만円 이상의 손해를 초래한 화재의 출화시간은 야간, 새벽, 휴일 등 무인운전시에 출화한 것이 많다. 또, 점심시간의 무인운전도 의외로 위험하다. 특히 오전부터 작업원이 가공을 행하고 있던 것은 사람이 있다는 이유로 안전장치를 해제한 경우도 있으나 그 상태로 휴식시간에 들어가게 되면 안전장치가 없는 무인운전이 되기 때문에 위험하게 된다. 따라서 야간, 휴일 또는 휴식시간에는 가공을 일시정지하거나 최소한 한사람의 작업원이 작업장에 남아 있어야 한다.

##### ③ 연소방지

연소방지를 위하여 가장 좋은 방법은 방전가공기를 구획된 별실에 설치하는 것이다. 그렇게 하면 방전가공기에서 출화한다 하여도 당해 기계의 손해만으로 화재를 저지할 수 있다. 이러한 대책이 곤란한 경우에도 주의를 기울이면 손해의 경감이 가능하다. 즉, 방전가공기를 실의 구석에 설치하고, 주변의 벽, 천정을 불연화하여 주위에 가연물을 두지 않도록 한다.

또한 다른 기계설비와의 사이에 불연성의 칸막이를 설치하여 피해의 국소화를 기할 수 있다. ㉞

#### 자동 에어 소화장치

##### □ 초기진압

Halon가스소화기 작동전에 강력한 Air분사

##### □ 2중진압

Air와 Halon가스로 불꽃을 2중진압

##### □ 자동전원차단

연속적으로 불꽃이 감지되어 감지횟수가 14회가 되면 자동 전원 차단

