

그라인딩 작업 중 발생하는 불티의 화재 예방에 관한 연구

A Study on the Risk of Fire Caused by Sparks during Grinding Operation

김성은¹, 이근출², 박경진^{3*}

Seong-En Kim¹, Geun-Chul Lee², Kyong-Jin Park^{3*}

〈Abstract〉

In this study, We investigated a fire case and performed an experiment to prevent fire from sparks that is generated during grinding operation. Before conduct the test, confirmed that the generating mechanism of fire-flakes in working grinder and the fire experiment was conducted using commonly tools, flammable materials in industrial field. in result, It could be measured scattering distance, temperature, ignition possibility by type of combustible materials. Based on the results of this study, We are expected to be used as basic data for fire prevention in grinding Industry.

Keywords : Grinding Operation, Risk of Sparks, Sparks Fly, Sparks Temperature, Ignition Possibility

1 주저자, 거제소방서 화재조사관,
E-mail: yap1234@korea.kr

2 공동저자, 동아대학교 기업재난관리학과
E-mail: gencl@hanmail.net

3* 교신저자, 인제대학교 재난관리학과 이학박사
E-mail: pkj1407@naver.com

1 Fire investigator, Geoje Fire Station

2 Department of Corporate Disaster Management, Dong-A University

3* Dept. of Disaster & Management, Inje University

1. 서론

최근 그라인드 작업장의 화재가 빈번히 발생하고 있다. 국가화재 정보시스템(NFDS)에 의하면 그라인드 작업장의 화재 건수는 2020년 112건, 2021년 128건, 2022년 157건으로 해마다 증가하는 것으로 나타났다[1].

화재조사 보고서의 원인 분석 결과 그라인딩 작업중(Grinding Operation) 생성된 불티가 비산하여 가연성 물질로 착화, 화재로 이어지는 경우가 대부분이었다. 해마다 증가하는 그라인드 작업장의 화재 사고에도 불구하고 예방을 위한 연구는 미미한 실적이었다[2].

이에 본 연구에서는 그라인딩 작업 시 발생하는 불티의 비산거리, 온도, 가연물의 종류별 착화 가능성을 실험하였다. 연구의 실험 결과는 산업현장에서의 그라인딩 작업 중 화재 예방을 위한 기초 자료로 활용될 것이다.

2. 화재사례 분석

2.1 화재사례

국가화재정보시스템에서 분석한 최근 5년 동안의 그라인딩 작업 중 발생한 화재 사고는 547건으로 나타났다. 장소별로는 공장 등 작업장에서 발생한 화재 124건으로 가장 높은 비율을 차지하였으며 단독주택 73건, 야외 70건으로 나타났다. 화재로 인한 인명피해는 사망 2명, 부상 62명으로 나타났다. 다음은 전국에서 그라인딩 작업 중 발생한 주요 화재사례이다(Table 1).

Table 1. (a) Fire case 1

Date	Monday, April 4, 2018, 2:15PM
Location	Paju City, Gyeonggi-do
Ignition material	Rags
Overview	Fire caused by a spattering of sparks while cutting with a grinder to clear rebar.
Property loss	Two factories and adjacent facilities, etc. (23,900,000 thousand won)

Table 1. (b) Fire case 2

Date	Tuesday, March 14, 2023, 1:03PM
Location	Tongyeong City, Gyeongsangnam-do
Ignition material	Paper A4
Overview	A spark fire while working on grinding to repair floating platform.
Property loss	Burned-out 3 vessels and floating platform. (Estimated 100,000 thousand won)

2.2 불티의 생성 Mechanism

그라인더 본체에서 만들어진 운동에너지는 연마 디스크로 전달되어 대상물(Object)과 연마 디스크의 마찰(Friction)에 의한 열에너지로 변환된다. 대상물 표면은 마찰과 열에 의해 미세 입자(Particles)로 박리 되고 생성된 고에너지의 미세 입자는 공기 중의 산소와 결합하여 산화반응(Oxidation)에 의한 불티(Sparks)가 생성된다[3]. 그라인더의 종류와 작동 방식, 대상물 종류, 작업 조건 등에 따라 불티 온도 및 발생량의 차이는 있으나 일반적으로 불티의 크기는 1~5mm, 비산 거리는 2~3m이다[4](Fig. 1).

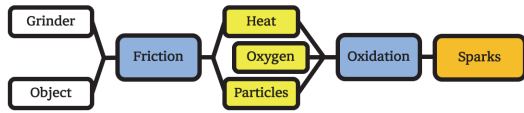


Fig. 1 Mechanism of the production of sparks

3. 화재실험

3.1 실험 장비 및 재료

본 연구에서는 그라인딩 작업 중 생성되는 불티에 의한 착화 가능성을 분석하기 위하여 화재조사 보고서에 의한 실제 화재 사례를 참고하여 수행하였다. 실험 장소는 현장에서 그라인더 절단 및 연마 공정을 수행하고 있는 거제시 *** 주식회사에서 진행하였다.

실험 중 불티의 비산에 의한 실화 방지를 위하여 방염포(PVC coated Fiberglass)를 사용 가연성, 인화성 물질들의 착화 방지에 유념하였다. 실험은 그라인더 작업과 불티 발생에 관한 안전 수칙인 KOSHA(한국산업안전보건공단) Guide F-1-2020[5], Guide M-189-2015[6]를 준수하여 수행하였다.

실험에 사용된 그라인더는 산업체에서 일반적으로 널리 사용되고 있는 BOSCH 4인치 GWS7-100으로 선정하였으며 연마 디스크는 KELCO사의 4인치를 사용하였다. 그라인딩 작업 중 발생하는 불티는 아연도금 파이프(가로 15mm, 세로 15mm)

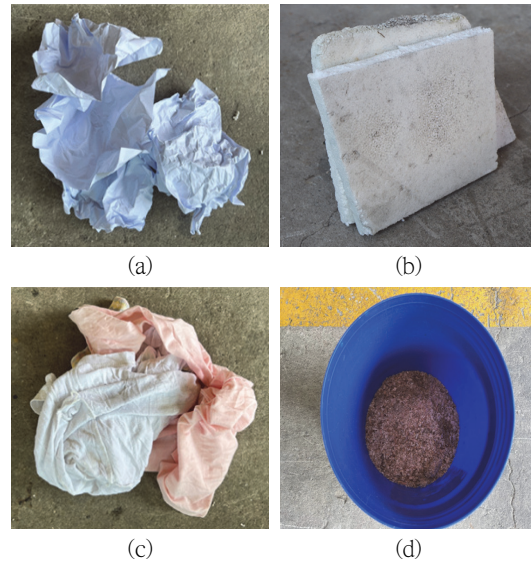


Fig. 2 (a) Paper A4 (b) Styrofoam (c) Rags (d) Plane crumbs

의 연마를 통하여 생성하였으며 비산하는 불티의 착화에 의한 발화 가능성의 확인을 위한 착화 실험 재료는 화재사례의 최초 착화물인 냇마 및 A4 용지 외에 스티로폼, 대팻밥을 추가하였다(Fig. 2). 실험은 밀폐된 공간에서 수행하였으며 온도 15.9°C, 습도 54.6%, 풍속 0.4m/s 조건에서 수행하였다.

3.2 불티의 비산 거리 및 온도 측정

그라인딩 작업 중 발생하는 불티의 비산에 의한 발화 가능성 실험의 수행을 위한 예비 실험으

Table 2. Experimental equipment

Type	Name	Standard
Hand grinder (4-inch)	GWS7-100 (BOSCH)	Disc diameter(mm): 100 Power consumption(W): 720 Rev count(RPM): 11,000 Weight(kg): 1.8
Disc	4-inch Off-set disc (KELCO)	Diameter(mm): 100 Thickness(mm): 3 Minor diameter(mm): 16



Fig. 3 Preliminary experiment

Table 3. Experiment results 1

Attempts(N)	Maximum distance(m)
N1	1.23
N2	1.16
N3	0.83
N4	0.92
N5	1.04
Average	1.036

Table 4. Experiment results 2

Distance(m)	Attempts(N)	Temperature(°C)
0.5	N1	96.2
	N2	101.7
	N3	99.2
	N4	98.2
	N5	97.5
Average		98.56
1	N1	74.1
	N2	103.2
	N3	99.8
	N4	80.1
	N5	78.4
Average		87.12
1.5	N1	62.3
	N2	65.6
	N3	68.8
	N4	64.2
	N5	63.2
Average		64.82

로 불티의 비산 거리 및 온도를 측정하였다. 불티의 발생을 위하여 4인치 연마 디스크를 장착한 그라인더를 사용 아연도금 각파이프를 5분간 총 5회에 연마 작업을 수행하였다. 그라인딩 작업은 파이프의 90°의 각진 부분을 연마하였으며 연마 디스크와 아연도금 각파이프는 수평인 상태를 유지하였다(Fig. 3).

(Table 3)은 레이저 거리측정기(Disto-D110)로 측정한 아연도금 각파이프를 연마하였을 때 생성되는 불티의 최대 비산 거리를 나타낸 것이다. 불티의 최대 비산 거리는 1.23m로 측정되었으며 최소 비산 거리는 0.83m, 평균 비산 거리는 1.036m이다.

(Table 4)는 열화상카메라(Testo 890 Pro)로 측정한 지점별 온도를 나타내었다. 불티의 온도는 거리와 반비례하여 작업 반경에 가까울수록 온도가 높게 측정되었다. 그러나 Attempts(N2, N3)의 경우 1m 지점에서의 온도는 예외적으로 0.5m 지점에서의 온도보다 높게 측정됐다. 이는 생성된 불티가 비산중 특정 지점에서 밀집되어 일어나는 예외적인 현상으로 추정된다. 이러한 현상이 시사하는 것은 불티의 비산 각도, 발생량, 작업시간에 따라 불티의 불규칙한 군집에 의한 열의 축적으로 거리와 무관하게 불티의 온도가 높을 수 있으며 그라인더 작업자의 수행 압력, 작업 대상물의 성상 등이 영향을 미칠 것으로 판단된다.

3.3 가연물의 발화 가능성 실험

그라인딩 불티의 비산에 의한 발화 가능성을 확인하기 위하여 아연도금 각파이프를 10분간 연마하였다. 실험 재료인 스티로폼, 냅마, 대팻밥, A4 용지는 아연도금 각파이프와 수평으로 1m 전방에 위치하였으며 그라인딩 후 30분 동안 발화 가능성을 관찰하였다(Fig. 4).

실험 결과 A4 용지의 경우 불티와 접촉 1분

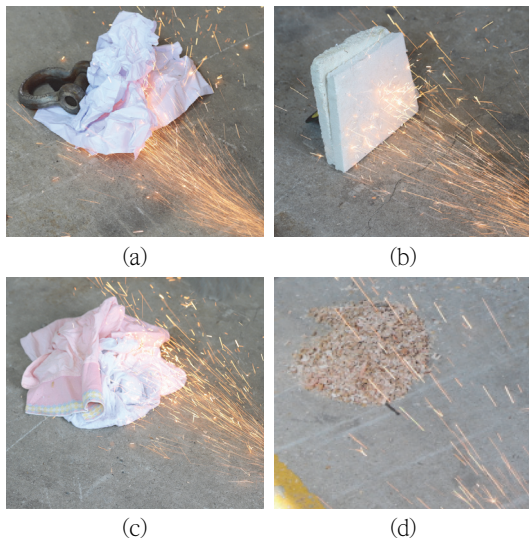


Fig. 4 (a) Paper A4 (b) Styrofoam (c) Rags (d) Plane crumbs

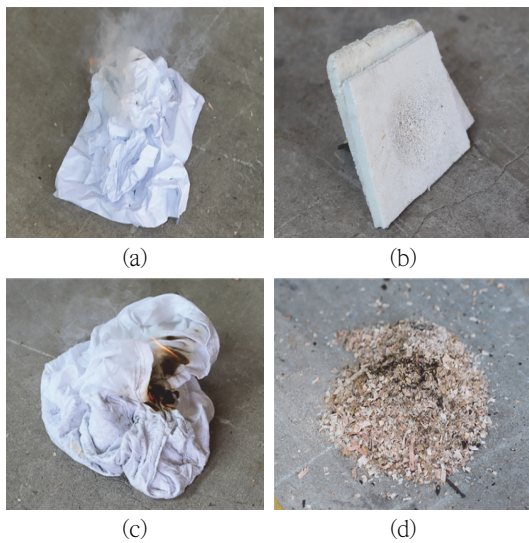


Fig. 5 (a) Paper A4 (b) Styrofoam (c) Rags (d) Plane crumbs

10초 후 무염 연소하였으며 4분 11초 후 착화하였다. 스티로폼의 경우 불티의 접염 후 부착지점이 미세하게 액체로 상변화 되는 것을 관찰하였으나 연소 흔적은 발견되지 않았다. 냅마의 경우 불

Table 5. Experiment results 3

Type	Flameless combustion	Ignition	Ignition Time
Styrofoam	X	X	-
Rags	O	O	00:16:34
Plane crumbs	X	X	-
Paper A4	O	O	00:04:11

티의 접촉 7분 44초 후 무염 연소하였으며 16분 34초 후 착화하였다. 대팻밥의 경우 불티의 부착에 의한 미세한 탄화흔은 관찰되었으나 연소에는 이르지 않았다(Fig. 5)(Table 5).

4. 고찰

본 연구에서 수행한 그라인딩 작업 중 발생하는 불티의 비산에 의한 발화 가능성 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째 밀폐된 공간에서 연마 디스크를 장착한 4인치 그라인더로 불티를 비산시켰을 때 최대 비산거리 1.23m, 최소 비산거리 0.83m, 평균 비산거리는 1.036m로 관찰되었다.

둘째 열화상카메라로 측정된 비산한 불티의 거리별 평균 온도는 0.5m 지점 98.56°C, 1m 지점 87.12°C, 1.5m 지점 64.82°C로 측정되었다. 비산한 불티의 온도는 거리와 반비례하여 비산거리가 짧을수록 불티의 온도가 높다는 것을 확인하였다. 예외적으로 비산한 불티의 불규칙한 군집에 의한 열의 축적으로 거리와 무관하게 불티의 온도가 높게 측정된 것으로 판단되었다.

셋째 1m 거리에서 스티로폼, 냅마, 대팻밥, A4 용지 방향으로 10분간 불티를 비산한 경우 냅마 16분 34초, A4 용지 4분 11초, 경과 후 착화하였다. 그러나 스티로폼과 대팻밥의 경우 착화에는 이르지 못하였으나 미세한 상의 변화 및 탄화흔을

관찰할 수 있었다.

본 연구에서 수행한 화재실험을 통해 그라인딩 작업 중 발생하는 불티의 비산에 의한 가연물의 착화 가능성에 대한 결과를 확인할 수 있었다. 그러나 다음과 같은 실험적 한계는 후속 연구자의 연구 수행으로 보완되기를 바란다.

첫째 실험 통제의 미흡이다. 기온, 습도 등의 가변적 기상 요인에 의해 통제된 실험 환경이 조성되지 않아 불티의 발생과 비산량이 일정하지 않아 거리 및 온도 측정에 어려움이 있었다.

둘째 불티의 발생량이다. 불티는 개체별로 크기가 다양하고 온도가 상이하다. 그리고 가연물에 부착된 불티가 넓은 범위로 분산될 경우보다 좁은 범위에 밀집될 경우 발화 가능성이 매우 높다. 이러한 측면에서 불티 발생량과 범위를 정량화하여 개체수와 온도의 상관성을 확인할 수 있다면 불티의 비산에 의한 화재 위험성에 관한 심층적 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

5. 결론

산업안전보건기준에 관한 규칙 241조 2는 “용접·용단 작업을 하도록 하는 경우 화재의 위험을 감시하고 화재 발생 시 사업장 내 근로자의 대피를 유도하는 업무만을 담당하는 화재감시자를 지정하여 용접·용단 작업 장소에 배치하여야 한다.”고 규정하고 있다. 이는 용접 불티의 비산으로 인한 화재 예방을 위한 조치이다. 그러나 그라인딩 작업에 관한 동법 87조는 “연삭기(研削機) 작업 중 물리적 위험에 관한 내용”만 규정하고 있을뿐 불티의 비산으로 인한 화재의 예방 조치는 명문화되어 있지 않다.

불티가 발생하는 과정의 차이는 있으나 용접·용단 및 그라인딩 작업 모두 비산한 불티가 주변 가연물에 부착되어 화재로 전이된다는 점은 동일하다.

이러한 실정을 인지하여 그라인딩 불티에 관한 학술적 연구가 여러 방면에서 발현되고 예방 조치를 법적으로 보장하고자 하는 움직임이 필요하다. 적절한 안전 가이드라인이 규정되어 공장과 같은 작업장에서부터 개인 작업 공간에 이르기까지 그라인더를 사용하는 모든 장소에서 작업 중 발생하는 불티의 비산으로 인한 화재의 발생이 저감되기를 기대한다.

참고문헌

- [1] Korea National Fire Agency, “National Fire Data System”. [Online] Available from: <http://www.nfds.go.kr/>, [Accessed: 12th July 2023].
- [2] Research Information Sharing Service. [Online] Available from: <http://www.riss.kr/>, [Accessed: 11th July 2023].
- [3] He Pan, Yang Zhang. “Study on the Mechanism of Sparks Generated Mechanical Friction.” *Journal of Engineering*, Vol. 2022, No. 1, pp. 3-4, 2022.
- [4] Korea National Fire Agency, “화재감식자료-그라인더 불티에 의한 출화와 감식요령”. 3. 9, 2010.
- [5] Korea Occupational Safety & Health Agency, “화재감식자료-그라인더 불티에 의한 출화와 감식요령”. 3. 9, 2010.
- [6] Korea National Fire Agency, “용접 용단 작업 시 화재예방에 관한 기술지침”. 12. 15, 2020.
- [7] Korea National Fire Agency, “휴대용 연삭기 안전작업에 관한 기술지침”. 12. 07, 2015.

(접수: 2023.08.02. 수정: 2023.08.29. 게재확정: 2023.09.08.)