

재해원인조사 의견서

한국 산업 안전 보건공단

이 의견서는 「산업안전보건법」 제56조에 따라 중대재해 원인조사를 실시하고 재해 원인에 대한 의견을 작성한 것으로

「산업안전보건법」 제56조의 ‘중대재해 원인을 규명하여 산업재해의 예방 대책 수립’을 통한 안전 확보에 이바지함을 목적으로 하고 있다.

그러므로 이 의견서는 산업현장의 안전·보건을 증진시킬 목적이외의 용도로 사용되어서는 아니 된다.

재해조사 의견서

1. 재해발생 사업장 개요

○ 도급업체

사업장명	(주)호성에이비오	전화번호 (FAX)	
소재지	경상북도 경주시	대표자	B
업 종	철강또는비철금속주물제조업	근로자수	14명
산재관리번호 (사업개시번호)		생산품 (사업내용)	알루미늄 합금괴 (금속 재생)

2. 재해자 인적사항 및 상해정도

연번	성명	출생년도	소 속	고용형태	상해정도	비고
1	A	1972년	(주)호성에이비오	상용	사망	-

3. 재해발생 경위

- 2023. 2. 17.(금) 14:40경
 - 경상북도 경주시 소재 (주)호성에이비오 공장 내에서
 - 피재자가 야적장에 쌓인 폐 알루미늄 원자재를 지게차로 운반하여 반사로에 장입하던 중
 - 폭발로 인해 화상을 입고 병원 치료 중 사망함.
- ※ 사망일시 : 2023. 2. 23.(목) 17:30경

4. 사고조사 내용

【본 조사 의견서는 고용노동부 포항지청과 안전보건공단에서 합동 조사한 것으로, 사업장 관계자 면담 및 현장 확인 내용을 근거로 작성함.】

가. 사업장 개요

- (주)호성에이비오(2017년 설립): 알루미늄 주조 및 가공 업체로 수입한 폐 알루미늄을 용해하여 알루미늄 합금 피를 생산함.
- (생산) '20년에 울산시에서 경주시으로 본사를 이전한 후 설비를 설치하고 '22년 4월부터 제품을 생산함.
 - ※ '22년 4월부터 11월까지의 설비의 안정성으로 인해 가동률이 50% 이하였으나 12월부터 정상 조업함.
- (조직도) 생산팀, 영업팀, 경영지원본부, 기술연구소로 구성되어 있으며 피재자는 생산팀의 주조파트에 소속임.
 - ※ 관리감독자는 경영지원본부 내 자재팀 C 이사로 지정되어 있으며 사고 발생 이후 퇴사한 상태임.



[그림 1] 조직도

나. 재해발생 장소 및 공정

(1) 사고발생 반사로 위치

○ (주)호성에이비오 본사에는 2기의 반사로가 설치되어 있으며 사고는 반사로 1호에서 발생함.

※ 반사로 2호는 설비 문제로 인해 설치 후 현재까지 미가동 상태임.



< Google Earth 위성사진 참고 >

[그림 2] 본사 내 반사로 위치

(2) 재해발생 공정

- (사고 발생 작업) 폐 알루미늄 원자재를 지게차의 버킷에 담은 후 반사로에 장입하는 중 사고 발생함.

< 가공 순서 >



순번	작업 순서	작업 설명
①	입 고	컨테이너 단위로 입고한 폐 알루미늄 원자재를 야적장에 적재함.
②	선 별	야적장에 적재된 원자재에서 철, 마그네슘 성분의 원자재를 빼내고 알루미늄 자재를 선별장에 적재함.
③	장 입	알루미늄 괴를 반사로에 넣고 가열하여 밀물을 형성하고 선별장과 야적장에 적재된 폐 알루미늄을 장입함.
④	용 해	밀대*가 부착된 지게차로 폐 알루미늄을 반사로에서 교반함. * 약 5m 크기의 긴 막대형태의 전용 도구임.
⑤	주 조	약 20ton의 용탕이 생성되면 품질*을 확인하고, 성분이 합격된 용탕은 반사로에서 출탕하여 연속주조기에서 알루미늄 괴로 생산됨. * 분석실에서 용탕의 성분을 확인함.

다. 재해발생 과정

< 작업자 구성 >

성명	직책	작업 내용
A	공장장	알루미늄 괴 생산 총괄
D	사원	생산 보조

※ 하루 12시간 근무기준으로 업무 시간은 상황에 따라 유동적으로 변경됨.

- [2023. 2. 17. 07:30경] 피재자는 (주)호성에이비오 공장으로 출근함.
- [07:30 ~ 08:10경] 피재자는 반사로 1호 내 밑물*을 형성하기 위해 반사로를 가열하고 알루미늄 괴를 장입함.
 - * 폐 알루미늄 용해를 위해 사전에 알루미늄 괴를 용해시켜 만든 금속 용융액임.
- [08:10 ~ 09:00경] 피재자는 야적장의 폐 알루미늄 적재 더미에서 비 알루미늄 자재(철, 마그네슘 등)를 분리함.
- [09:00 ~ 14:37경] 피재자는 버킷이 연결된 지게차로 폐 알루미늄을 계량 한 후 반사로에 장입하고 밀대가 부착된 지게차로 갈아타 폐 알루미늄을 반사로에서 밀어 넣고 교반함.
 - ※ 당일 사고 발생 전까지 선별장의 원자재를 1회, 야적장의 원자재를 12회 장입함.
- 야적장의 원자재를 운반할 때 비 알루미늄 자재가 보이면 분리해내고 장입 함.
- [14:38경] 피재자는 야적장의 폐 알루미늄을 지게차의 버킷에 가득 채우고 무게를 계량한 후 반사로 앞으로 이동함.
 - 반사로 앞에서 버킷을 들어 올리고 폐 알루미늄을 장입하는 중 반사로에서 폭발이 일어남.
 - 폭발로 인해 용탕이 튀어 오르고 부상을 입은 피재자는 병원으로 후송된 후 치료 중 사망함.



[그림 3] 사고 직전 피재자 작업 동선

○ 사고 당시 CCTV 영상



[14:38:32]

- 피해자가 야적장의 폐 알루미늄을 실는 모습.



[14:39:41]

- 반사로 1호 앞에 접근함.



[14:39:51]

- 폐 알루미늄 원자재를 장입함.



[14:39:52]

- 폭발 직후 용탕이 분출됨.

[그림 4] 사고 당시 CCTV 장면

라. 조사·확인 내용

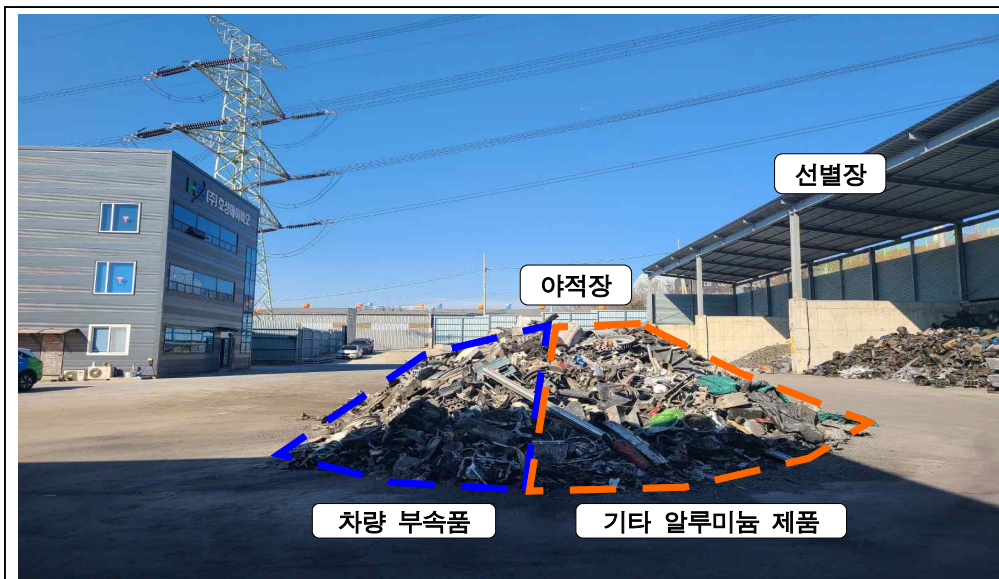
(1) 기인물 (폐 알루미늄 원자재)

- (구성) 폐 알루미늄 원자재는 차량 부속품(엔진, 미션 등)으로 이루어진 원자재와 기타* 알루미늄 원자재로 수입함.

* 주방기구, 냉·난방기 등

※ 폐 알루미늄은 컨테이너 단위로 중국으로부터 수입함.

- (적재장소) 입고한 폐 알루미늄 원자재는 야적장에 쌓아두고, 선별 과정을 거친 원자재는 분류하여 선별장에 적재함.
- 선별장에는 지붕이 설치되어 있으나, 야적장은 개방된 상태로 외부환경에 직접적으로 노출된 상태임.
- 야적장 폐 알루미늄 적재 더미에서 선별장 측면에는 기타 알루미늄 원자재, 선별장 반대측면에는 차량 부속품 원자재를 쌓아둠.



[그림 5] 야적장 원자재 적재 더미

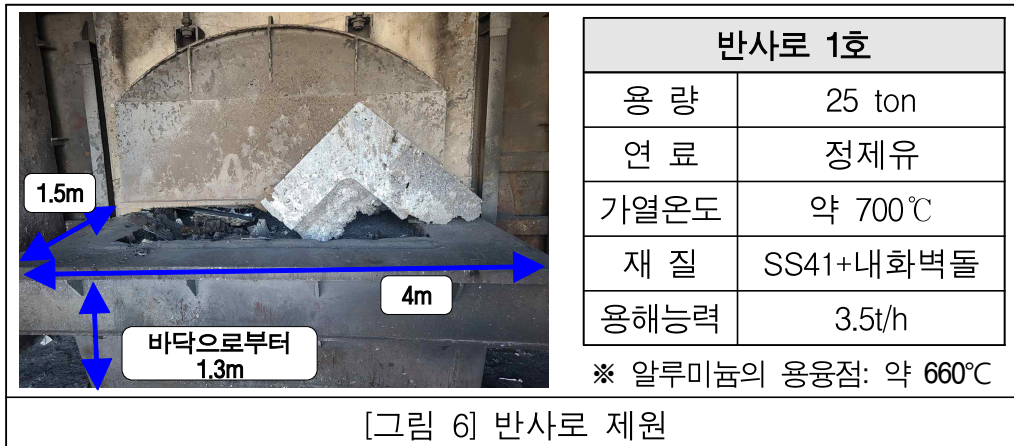
- (선별방법) 야적장의 원자재를 인력*으로 철과 마그네슘 등 비 알루미늄 제품을 빼내고 선별장으로 운반하거나, 야적장의 원자재를 반사로에 바로 장입하면서 육안으로 보이는 비 알루미늄 제품을 골라냄.

* 육안 또는 제품을 들어서 무게를 확인하는 등으로 선별함.

- 사고 당시 선별을 하지 않고 야적장의 차량 부속품을 반사로에 장입함.

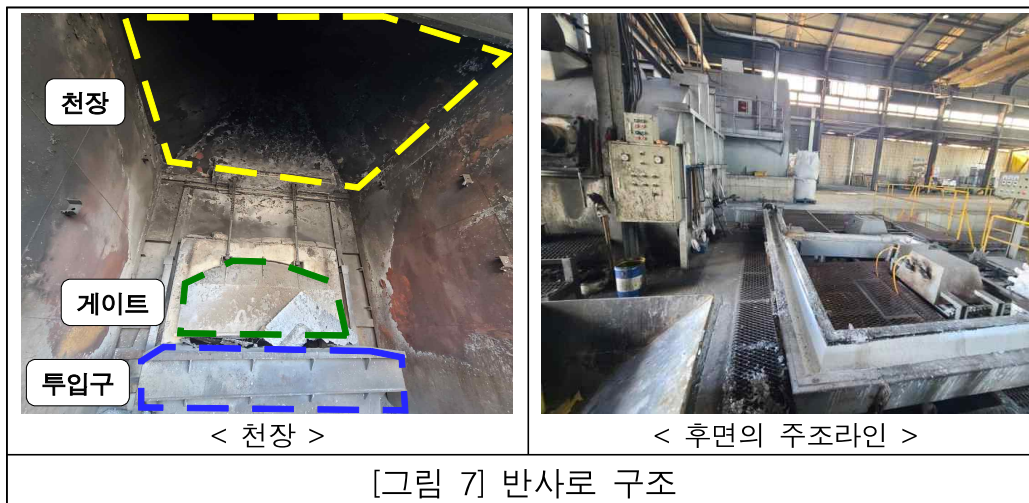
(2) 사고 당시 반사로 1호 상태

- (개요) 열 반사를 이용하여 가열하는 노(爐)로서 고온으로 가열하여 알루미늄을 용해함.



- (구조) 반사로의 원자재 투입구에는 천장이 있으며, 용탕의 주조 및 냉각라인은 반사로 외부(후단)에 있으므로, 구조적으로 반사로 내부로 물이 새어 들 수는 없는 형태임.

※ 원자재를 장입하고 1~2초 후 폭발이 발생한 것으로 미루어 보아 원자재에 의한 폭발로 추정됨.



- (용탕) 반사로 내 고체화된 용탕은 투입구에서 하부로 약 20cm (바닥으로부터 1.1m)까지 채워져 있는 상태임.
- 사고 당시 용탕은 반사로의 수조를 채우고 있으므로 장입한 원자재가 용탕 내부로 충분히 들어갈 수 있는 깊이임.



[그림 8] 투입구 내 고체화 된 용탕의 높이

(3) 폭발성 이물질 혼입 가능성

- (장입 자재) 사고 직전 피해자는 야적장의 차량 부속품 적재 더미의 폐 알루미늄 원자재를 운반하여 장입함.
- 야적장의 적재 더미는 차량 부속품과 기타 알루미늄 원자재의 경계가 명확하진 않으나, 컨테이너 단위로 입고하여 대량의 자재를 쏟아붓기에 적재더미 바깥쪽에는 차량 부속품과 기타 알루미늄 원자재가 섞여 있지 않음.



[그림 9] 야적장 적재 더미 상태
※ 사고 직후 초동 조사 시 촬영한 사진 (02.17)

○ (입고 상태) 차량 부속품 폐 알루미늄은 수입 업체로부터 차량 부속품만 선별하고 입고 받은 원자재이므로 타물질의 혼입가능성은 낮음.

※ 생산팀 팀장 E 현장 면담 시 차량 부속품 폐 알루미늄은 차량 부속품만 선별된 제품이며, 기타 폐 알루미늄 제품에는 여러 제품이 섞여 있지만 폭발성 물질이 섞여 있었던 적은 없었다고 함.

☞ (검토결과) 사고 당시 장입한 원자재에 폭발성 물질이 포함 되어 있을 가능성은 낮은 것으로 보임.

(4) 물 혼입 가능성

○ (날씨) 기상청 기록에 따르면 사고 이틀 전(15일) 0.9mm의 강수량이 기록되어 있으나, CCTV 확인결과 15일부터 16일 오전 6시까지 상당량의 눈이 내려 야적장의 원자재 등에 눈이 쌓임.

- 사고 당일(17일)에는 눈이 녹아 바닥에 물이 고여진 상태이며 야적장의 원자재에도 수분이 있는 상태임.



<사고 이틀 전(2.15) 오전 9시>

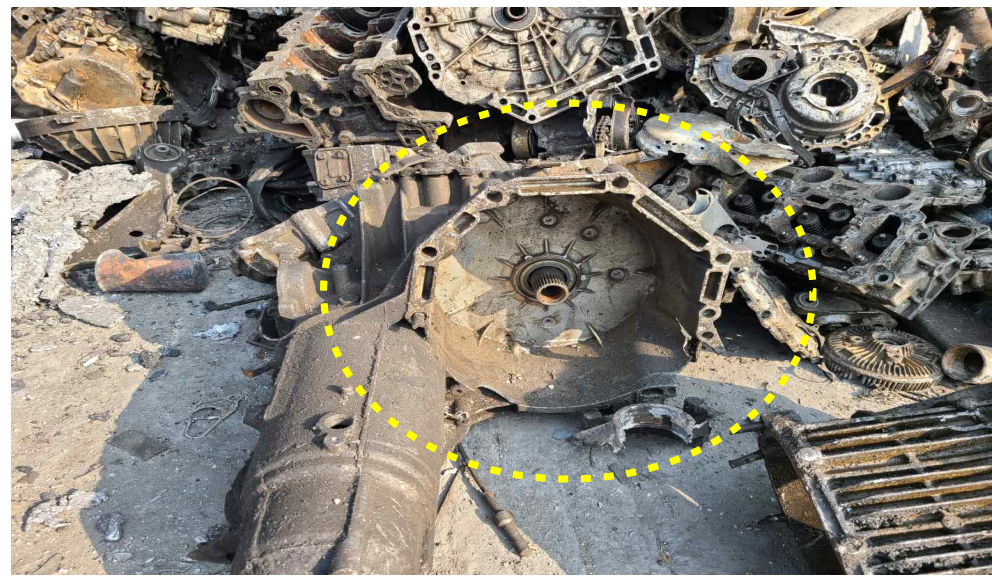


<사고 당일 (2.17) 17시경 초동조사시>

날씨단위 경주(무)/ 2023년 2월						
일요일	월요일	화요일	수요일	목요일	금요일	토요일
			1일	2일	3일	4일
			평균기온:3.7℃ 최고기온:13.2℃ 최저기온:-4.2℃ 평균운량:5.5 일강수량:-	평균기온:1.0℃ 최고기온:7.4℃ 최저기온:-3.8℃ 평균운량:7.0 일강수량:-	평균기온:1.9℃ 최고기온:10.1℃ 최저기온:-4.2℃ 평균운량:5.1 일강수량:-	평균기온:0.9℃ 최고기온:7.3℃ 최저기온:-4.4℃ 평균운량:0.4 일강수량:-
5일	6일	7일	8일	9일	10일	11일
평균기온:0.3℃ 최고기온:11.0℃ 최저기온:-8.1℃ 평균운량:0.0 일강수량:-	평균기온:3.6℃ 최고기온:15.1℃ 최저기온:-7.2℃ 평균운량:4.6 일강수량:-	평균기온:4.0℃ 최고기온:11.0℃ 최저기온:-3.9℃ 평균운량:4.4 일강수량:-	평균기온:3.3℃ 최고기온:12.0℃ 최저기온:-2.6℃ 평균운량:7.1 일강수량:0.2	평균기온:3.1℃ 최고기온:8.3℃ 최저기온:-5.4℃ 평균운량:7.1 일강수량:0.2	평균기온:4.3℃ 최고기온:9.1℃ 최저기온:-0.8℃ 평균운량:7.1 일강수량:0.2	평균기온:3.4℃ 최고기온:12.0℃ 최저기온:-2.3℃ 평균운량:4.8 일강수량:-
			강수 기록		사고 발생일	
12일	13일	14일	15일	16일	17일	18일
평균기온:4.8℃ 최고기온:11.8℃ 최저기온:-2.8℃ 평균운량:7.3 일강수량:0.4mm	평균기온:5.8℃ 최고기온:7.6℃ 최저기온:-4.1℃ 평균운량:8.1 일강수량:3.0mm	평균기온:3.8℃ 최고기온:8.5℃ 최저기온:-0.9℃ 평균운량:7.8 일강수량:-	평균기온:1.4℃ 최고기온:3.8℃ 최저기온:-0.2℃ 평균운량:8.1 일강수량:0.9mm	평균기온:3.5℃ 최고기온:9.8℃ 최저기온:-0.4℃ 평균운량:5.8 일강수량:-	평균기온:4.2℃ 최고기온:8.9℃ 최저기온:-1.6℃ 평균운량:7.4 일강수량:-	평균기온:6.4℃ 최고기온:9.3℃ 최저기온:3.4℃ 평균운량:8.0 일강수량:0.8mm
< 경주시 날씨 기록 >				출처: 기상청 날씨누리		

[그림 10] 바닥에 물이 고인 상태

- (차량 부속품 형태) 차량 부속품 폐 알루미늄은 다양한 형태가 있으며 물이 고일 수 있는 움푹한 형태의 원자재들도 있음.



[그림 11] 차량 부속품 폐 알루미늄

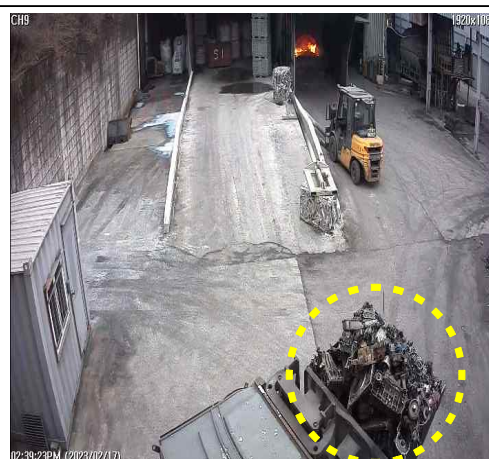
- (운반) 지게차의 버킷에는 한 번에 많은 양의 원자재를 담을 수 있으며 사고 직전 버킷에 원자재를 가득 채우고 운반함.

※ 1회 운반 시 버킷에는 약 500~800kg의 폐 알루미늄 원자재가 운반됨.

- 수분 함유 상태 등이 확인되지 않은 야적장의 원자재가 버킷에 가득 채워진 채 반사로에 장입됨.



<버킷 크기>



<폭발 직전 장입한 원자재>

[그림 12] 버킷에 담긴 원자재

○ (장입) 일반적으로 반사로에서 원자재가 서서히 가라앉도록 장입하여 원자재 표면의 소량의 수분은 반사로의 열로 인해 증발되었으나 사고 당시 버킷에 담긴 원자재는 덩어리져 장입됨.

- 물이 고인 상태의 원자재는 덩어리 채 장입되어 반사로 수조 내부로 들어 갈 수 있어 폭발 형성 조건*이 이루어짐.

* 밀폐공간에서 고온으로 물이 기화하고 압력이 급격하게 증가함.



[그림 13] 폭발 직전 장입 장면



[그림 14] 오전 작업 중 장입 직후 상태

☞ (검토결과) 수분이 포함된 원자재가 덩어리 채로 반사로에 장입되고 반사로 내부로 가라앉아 물의 순간적인 상태 변화(기화)로 인해 반사로 내 압력이 증가하여 수증기 폭발이 발생한 것으로 판단됨.

※ 장입 원자재에 수분이 포함된 경로는 ①물이 고인 움푹한 형태의 원자재 또는 ②원자재 덩어리에 함유된 수분 또는 ③야적장 바닥의 수분으로 추정함.

< 수증기 폭발 >

액체 상태의 물이 고온과 접촉하여 기체 상태로 변할 때 체적 팽창*이 발생하며, 팽창으로 발생한 내압으로 인해 용융 고열물이 폭발적으로 외부에 방산하는 현상임.

* 물이 기화될 때 부피는 1,000~2,000배 정도 팽창됨.

(5) 관리적 사항에 대한 검토

○ (위험성평가) ‘22년도 위험성 평가를 실시하고, 반사로에 금속부스러기를 넣을 때 물이 투입되어 수증기 폭발사고가 발생할 수 있는 위험에 대해 인지하고 이에 대한 위험성 감소 대책으로 주조의 관한 안전교육 및 관리감독자 배치로 명시하고 있음.

- 관리감독자 없이 피재자는 단독 작업으로 수행함.

○ (작업계획서) 차량계 하역운반기계 작업계획서 내 추락, 낙하, 전도, 협착, 붕괴 등 일반적으로 지게차를 사용하며 발생 할 수 있는 위험 요인 및 안전 대책은 있으나, 지게차로 원자재를 장입하는 방법 및 그에 대한 위험 요인 파악, 안전 대책은 없음.

○ (작업표준서) 생산 공정에 대한 전반적인 업무 절차에 대해 작성 되어 있으나, 선별부터 반사로에 원자재를 장입하고 용해할 때의 작업 방법 등 각 업무에 대한 상세 수행방법은 없으며, 근로자의 경험에 따라 업무를 수행함.

○ (지게차) 건설기계 등록이 되어 있으나 피재자의 지게차 운전 자격은 사업장에서 보유하고 있지 않은 상태임.

※ 지게차 검사 유효기간: 21.05.17 ~ 23.05.16

○ (안전보건표지) 반사로 인근에 “고온 경고” 표지 및 “안전복 착용” 표지가 부착되어 있지 않음.

○ (보호구) 피재자는 방열복 등 보호구 없이 작업 함.

5. 조사자 의견

가. 재해발생 원인

○ 장입 전 원자재 미확인

- 적재된 원자재를 반사로에 장입하는 작업을 수행하는 경우 수증기 폭발을 방지하기 위하여 물 등이 들어있는지 확인하지 않음.

○ 위험성 평가 미 준수 및 관리감독자 부재

- 위험성 평가 결과인 관리감독자 배치를 준수하지 않음.
- 관리감독자는 장입 전 물이 포함되지 않도록 원자재에 대한 선별을 지휘 하지 않음.

○ 작업 계획서 작성 미흡

- 선별 방법, 원자재를 장입하는 방법 등 각 업무에 대한 상세 수행방법을 작성하지 않음.

나. 재발방지 대책

○ 장입 전 원자재 확인

- 적재된 원자재를 반사로에 장입하는 작업을 수행하는 경우 수증기 폭발을 방지하기 위하여 물 등이 들어있는지 확인하고 장입하여야 함.
- 반사로 장입 전 별도의 건조 장소를 마련하여 원자재가 건조 된 상태에서 장입하여야 함.

○ 위험성 평가 준수 및 관리감독자 지휘

- 위험성 평가 결과인 관리감독자 배치를 준수하고, 관리감독자의 지휘에 따라 장입을 하여야함.
- 관리감독자는 장입 전 물이 포함되지 않도록 원자재에 대한 선별을 지휘하여야함.

○ 작업 계획서 작성 보완 및 준수

- 선별 방법, 원자재를 장입하는 방법 등 각 업무에 대한 상세 수행방법을 작성하고 이를 준수하여야 함.