

# 래들에 의한 재해발생 실태와 예방대책

최승주\* · 신운철\*

\*산업안전보건연구원

## The Status of Accident and Prevention Measures for Ladles

Seung Ju Choi\* · Woon Chul Shin\*

\*Occupational Safety and Health Research Institute

### Abstract

This study is aimed to improve safety of ladle in the metal products manufacturing industry. Burns may occur from spills, spatters or eruptions of hot metal from ladles during pouring or transporting. According to the statistics of occupational accidents about the ladle, many victims were exposed to or contacted with extreme temperatures. The many fatal injuries occurred as a result of unexpected discharging of molten metal due to tipping over ladles. To prevent ladles from turning over, the trunnion axis shall be located below the center of gravity of the ladle at all operating condition. For this purpose, the equation is proposed to calculate the minimum location of a trunnion axis for definite static stability when tilting.

**Keywords :** Metal Products Manufacturing Industry, Casting, Ladle, Static Stability, Safety Standards

### 1. 서론

금속재료제품제조업은 합금철제조업(22001), 철강제조업(22003), 철강 및 합금철제품제조업(22004), 철강압연업(22005), 철강 또는 비철금속주물제조업(22006), 기타금속재료제품제조업(22007)을 포함하는 업종으로 금속을 제련, 용해, 합금, 주조, 압출, 압연 등을 하여 1차 금속제품 및 주물제품을 생산하는 제조업의 기반이 되는 중요 산업이다.

그러나 2012년 제조업에서 발생한 재해자 31,666건 중 금속재료제품제조업은 1,017건으로 제조업 중 9번째로 재해가 많이 발생하였으며, 재해자수 대비 사망자수도 높은 업종이다[1]. 2012년 금속재료제품제조업에서 발생한 재해 중 업무상사고는 총 914건인데, 이를 발생형태

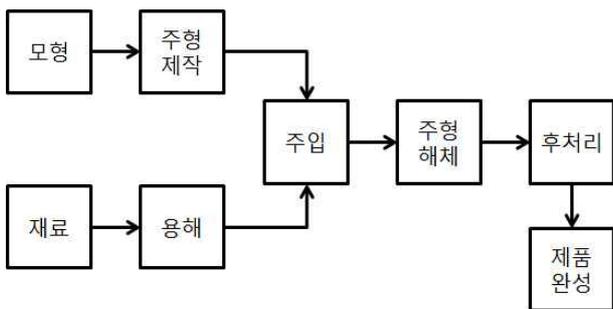
별로 분류해보면 다른 제조업에 비해 특히 '이상온도 접촉'이 많이 나타나고 있다. 금속재료제품제조업종에는 금속을 녹인 1000℃ 이상의 용융고열물을 취급하는 작업이 많다. 이러한 환경에서 '이상온도 접촉'은 재해의 강도를 매우 높게 만들 것이다. 그 예로, 국내에서는 2010년 충남 당진에서는 5m 높이의 전기로 위에서 작업 도중 실수로 발을 헛딛고 빠져 사망한 사고, 2012년 정읍의 선박엔진 부품 제조공장에서 용탕을 운반하는 래들이 뒤집어져 2명이 사망한 재해 등이 발생한 바 있으며, 중국에서도 2006년 장쑤성에서 쇳물이 넘쳐 흘러 8명이 희생되었으며, 2007년 랴오닝성에서 래들이 추락해 32명의 근로자가 30톤의 1500℃의 쇳물로 인해 사망한 재해가 발생하는 등 국내외에서 관련 중대재해가 매년 끊이지 않고 있다.

† Corresponding Author: Seung Ju Choi, Occupational Safety and Health Research Institute,  
M·P : 010-4530-4082, E-mail : boyz@kosha.or.kr

Received July 16, 2014; Revised September 17, 2014; Accepted September 19, 2014.

이에 따라 산업안전보건법 제48조(유해·위험 방지 계획서의 제출 등)로 용해로를 설치·이전하거나 그 주요 구조부분을 변경할 때에는 이 법 또는 이 법에 따른 명령에서 정하는 유해·위험 방지 사항에 관한 계획서를 작성하여 고용노동부령으로 정하는 바에 따라 고용노동부장관에게 제출하도록 하고 있으며, 산업안전보건기준에 관한 규칙 제2편 제2장 제3절에 용융고열물 등에 의한 위험예방을 위한 기준을 명시하고 있다. 또한 산업안전보건법 제27조(기술상의 지침 및 작업환경의 표준)를 근거로 “제1차 금속산업 안전작업지침”, 등의 고용노동부 고시가 공표되어 있다.

금속재료품제조업 중 소규모사업장에서 많이 이루어지고 있는 주조 작업의 일반적인 공정은 [Figure 1]과 같다. 모형은 주조될 제품의 원형으로 주물의 형상을 결정하는 공동(Cavity)을 준비하는데 사용되며, 만들어진 모형을 이용하여 주물사 등으로 주형을 제작한다. 한편 주강, 주철 등 재료를 목적의 재질이 될 수 있도록 성분을 조성하여 용해로(Furnace) 속에서 연료, 전력 등으로 적당한 온도로 열을 가해 용해작업을 해서 만들어진 용탕을 제작된 주형에 주입시켜 응고 시킨 후 주형을 해체한다. 주물의 불필요한 부분을 제거하고 열처리, 보수 등의 후처리 작업을 하면 제품이 완성되게 된다.



[Figure 1] Casting Process

용해로에서 주형에 주입시키기 위해 이동시키기 위한 기계로 래들(Ladle)이 사용되는데, 용융고열물이 작업자와 근접해서 위치하고, 용탕의 유동성으로 인한 사고의 위험성이 매우 높다.

본 연구의 목적은 금속재료품제조업에서 래들의 안전한 사용을 위해 기존에 발생한 재해를 분석하고 관련 국내외기준 조사 등을 통해 관련 재해예방을 위한 대책 마련에 기여하고자 한다.

## 2. 연구방법

다양한 래들이 있으나, 크레인 등을 이용하여 이동하고 기어를 통해 인력 또는 동력으로 기울여 주입하는 경사형 래들을 주 대상으로 삼았다. 손잡이로 사람이 직접 들고 옮기는 소형 래들이나 대차를 이용하는 대형 래들보다 상대적으로 위험해 중대재해 발생 가능성이 많으며 중소기업의 사업장에서 광범위하게 쓰이기 때문이다.

이를 위해 산업재해보상보험법 적용사업장에서 발생한 산업재해 중 사망 또는 4일 이상의 요양을 요하는 재해자와 고용노동부에 보고된 재해에 대해 산업재해조사표 또는 근로복지공단에 제출한 최초요양신청서를 토대로 2001년부터 2012년까지 래들과 관련한 일반재해 및 중대재해를 분석하였다.

## 3. 연구결과

### 3.1 래들 관련 일반재해분석

2001년부터 2012년까지 래들과 직접적으로 관련하여 발생한 재해자는 297명으로 각각 부상자 281명, 사망자 16명 이었다.

<Table 1> Classification of occupational accidents by size of company

규모	재해자수(명)	
	부상자	사망자
5 명 미만	33	
5 ~ 9	17	
10 ~ 15	31	4
16 ~ 29	48	3
30 ~ 49	35	2
50 ~ 99	31	2
100 ~ 199	10	2
200 ~ 299	19	1
300 ~ 499	12	
500 ~ 999	6	
1,000 ~ 1,999	12	1
2,000 and above	27	1
Total	297	

<Table 1>과 같이 50인 미만의 소규모 사업장에서 발생한 재해가 173명으로 전체 재해의 58% 이상을 차지하고 있음을 알 수 있다. 또한 지역별로는 주물공단이 있는 경남(부산), 경인지역에서 재해가 많이 발생하였다.

<Table 2> Classification of occupational accidents by region

지역	재해자수(명)	
	부상자	사망자
경남/부산/울산	113	6
경기/인천	69	3
경북/대구	37	3
충남/충북/대전	39	
전북/전남/광주	15	3
강원	8	1
Total	297	

발생형태별로는 <Table 3>과 같이 ‘이상온도·물체접촉’이 127명으로 가장 많았으며, 다음으로 끼임, 부딪힘 등에서 많이 발생하였다. 용융고열물을 취급하는 작업 특성 상 고열에 의한 화상이 많이 발생함을 알 수 있으며, 화재나 폭발 등의 재해도 종종 발생하였다. 특히 사망재해의 경우 대부분의 재해가 ‘이상온도·물체접촉’ 및 ‘화재’로 인하여 발생한 것으로 나타났다.

<Table 3> Classification of occupational accidents by type

발생형태	재해자수(명)	
	부상자	사망자
깔림	1	
끼임	32	
넘어짐	23	1
떨어짐	21	1
맞음	21	1
무너짐		1
부딪힘	26	
불균형 및 무리한동작	2	
사업장내 교통사고		1
이상온도·물체접촉	122	5
절단·베임·찢림	2	
폭발·과열	7	1
화재	16	5
화학물질누출·접촉	4	
기타	4	
총합계	297	

래들 작업공정은 크게 래들을 건조시키고 용해로 앞에 안착시키는 준비작업, 용해로에서 래들로 용탕을 주입하거나 스크랩 등을 투입하는 주입작업, 용탕을 주입한 래들을 주형으로 이동하는 작업, 래들에 있는 슬래그를 제거하거나, 샘플 채취, 온도 측정 등을 하는 점검작업, 래들에서 주형으로 용탕을 주입하는 작업, 잔탕을 처리하거나 냉각시키는 후속작업, 래들의 유지보수 등으로 나눌 수 있는데, 래들의 작업공정에 따라 재해를 분류한 결과를 <Table 4>에 나타내었다.

<Table 4> Classification of occupational accidents by task processes

작업 공정	재해자수(명)	
	부상자	사망자
준비 작업	28	2
래들 주입	42	
래들 이동	58	3
슬래그 제거 및 점검	20	3
주형 주입	58	2
후속 작업	13	1
유지 보수	49	4
기타	13	1
총합계	297	

래들을 이동하는 작업과 주형에 용탕을 주입하는 작업에서 가장 많은 재해가 발생하였으며 비 생산작업인 유지보수에서도 상당수의 재해가 발생하였으나 축조작업 중 떨어짐이나 넘어짐에 의한 재해로 나타났다.

### 3.2 래들 관련 중대재해분석

앞 절에서 언급한 바와 같이 2001년부터 2012년까지 래들과 관련한 사망자는 16명으로, 14건의 중대재해에서 발생하였다. 각 중대재해에 대한 간략한 재해내용은 <Table 5>와 같다. 용탕의 누출로 인한 사망재해를 살펴보면 4건이 래들이 뒤집어져 발생한 재해였는데 재해가 발생한 주요 원인은 축과 기어를 고정하는 부품 고장, 핸들을 놓침 등으로 인해 갑작스럽게 래들이 뒤집혀 졌기 때문이었다. 이는 래들이 정적 안정성을 갖추지 못한 상태에서 부품 손상이 발생하거나 인력 등의 지지력이 사라졌을 때 진북되었음을 알 수 있다. 2012년 발생한 중대재해의 경우 래들에 설계용량 45 ton 보다 더 많은 47ton의 용탕을 담고 슬래그 제거를 위해 래들을 기울였는데, 이때 무게중심의 위치가 축심보다 앞 쪽에 위치하게 되어 모멘트가 기울이는 방향으로 발생하였고, 그 모멘트를 지지해줘야 하는 축 연결 장치에서 슬립이 발생하면서 래들이 뒤집혔다.

### 3.3 국내의 안전기준 검토

래들과 관련하여 국내에 안전기준은 많지 않다. 산업안전보건기준에 관한 규칙 제2편 제2장 제3절에서 용융고열물에 대한 위험예방을 위한 안전조치를 규정하고 있으나 대부분의 내용이 수증기 폭발 방지에 대한 것이며, 화상 등의 방지를 위해 보호구 착용에 대해서만 나와 있다. 래들에 대한 직접 명시된 기준은 고용노동부고시 “제1차 급속산업 안전작업지침”으로 고정장치의 설치, 스토퍼의 사용방법, 용탕의 배분 정도 등만을 규정하고 있다[2].

<Table 5> Summary of fatal accidents

재해연도	재해내용	재해개요(추정)
2001	사망 1명	래들 보수 중 바닥에 떨어진 고규산 연화를 헛디더 래들 밑으로(2m) 미끄러짐
2005	사망 1명	래들을 권상하던 중 워기어박스에서 키가 빠져 래들이 한쪽으로 쏠리면서 용탕이 쏟아짐
2005	사망 1명	터렛 설비를 점검 중 노즐 오작동으로 인해 용강이 쏟아짐
2005	사망 2명 부상 4명	스토퍼에 용탕을 붓는 중 래들이 너무 급하게 넘어와 용탕이 엮어지면서 옷에 불이 붙음
2006	사망 1명	래들 보강을 위한 용접 작업을 하다 몸에 불이 붙음
2006	사망 1명 부상 1명	래들을 텀팅기에 안착 시 래들이 미끄러지면서 용탕이 비산
2006	사망 1명	보수작업을 위해 래들을 싣고 지게차가 이동하던 중 부딪힘
2007	사망 1명	불꽃비산 방지판이 넘어지면서 이동하던 재해자가 중량물에 깔림
2007	사망 1명	래들의 용탕에서 갑자기 폭발이 일어나 쇳물이 비산됨
2007	사망 1명	용탕 일부가 비산되자 작업자가 핸들을 놓으면서 래들이 기울어져 용탕이 쏟아짐
2008	사망 1명 부상 1명	응고된 노즐을 망치로 충격을 가하다 노즐 파손과 함께 용탕이 비산됨
2009	사망 1명	래들을 옮기기 위해 래들 행거와 크레인과 결속 작업 중 고정핀 탈락으로 인한 행거가 피재자 방향으로 넘어지면서 피재자가 충격으로 바닥으로 추락
2012	사망 1명	수리를 위해 스토퍼를 해체하는 순간 행거가 넘어짐
2012	사망 2명	래들을 수동으로 기울이다가 파워록에서 슬립으로 인해 래들이 뒤집혀 용탕이 쏟아짐

유럽, 특히 영국의 BS EN 1247:2004는 래들, 주탕기 등 주조기계에 대해 위험요인을 열거하고 각 상황에 따라 설계 및 사용 등에서 위험을 감소시킬 수 있는 안전대책들을 명시하고 있다. 래들과 관련한 주요내용은 다음과 같다[3].

- 위험요인 : 화재(화상)
- 1) 상황: 동력 또는 수동 경동장치에서 예기치 않은 기울어짐으로 인한 용탕 또는 슬래그의 누출
  - 대책: 수동으로 경동할 경우, 잠금장치가 있어야 하거나 모든 운전 상태에서 발생하는 힘에 적합한 자체잠금 기어(self-locking gear)가 설치되어 제작되어야 함. 동력으로 경동할 경우, 래들과 수집용기 등을 전체적으로 볼 수 있는 작업자가 가동유지(Hold-to-run) 조종 장치로만 경동이 동작해야함.
- 2) 상황: 무게중심이 트러니온 축 보다 위에 있음
  - 대책: 제조자는 모든 작동 조건에서 무게중심이 트러니온 축의 아래에 있도록 해야 함. 제조자는 사용자에게 이런 조건을 유지하고 최대작업용량 등의 정보를 알려야함.
- 3) 상황: 수동으로 경동하는 래들에서 자체잠금 기어의 기능 손실
  - 대책: 윤활유가 래들 기어의 자체잠금을 막지 않아야 함. 매 사용 전 기어 기능을 확인할 것을 사용 정보에 포함시켜야 함.
- 4) 상황: 기계적 안전장치 없는 래들 기어의 워휠
  - 대책: 안전장치는 기계적 수단으로 고정되어야 함.

- 5) 상황: 기어 부품의 파손
    - 대책: 래들 기어는 계산되고 예측되는 모든 동적하중을 견딜 수 있도록 설계되어야함.
    - 위험요인 : 충격(화상)
  - 1) 상황 : 행거나 래들의 예기치 않은 뒤집어짐
    - 대책: 이동 및 주입 중 래들의 회전을 막아주는 장치가 설치되어 있어야 함.
- 미국은 ASTM E2349로 금속주조작업에 대한 래들을 포함한 포괄적인 안전요구사항에 대한 표준지침을 마련하고 있으며, 연방규정으로는 래들과 직접적으로 관련한 지침은 없으나 매사추세츠와 펜실베이니아 주 규정에 래들의 점검주기, 워기어 사용에 대한 조항이 있다. 세부 내용은 다음과 같다[4]~[7].
- 2,000 lb(약 0.9 ton)이상의 모든 주입용 래들은 경동하기 위한 워 기어 장치를 설치해야 함. 그렇게 설치되지 않은 래들은 이 요구조건을 만족하기 위해 변경해야 함. 모든 크레인과 트롤리 주입 래들은 전복을 방지하기 위한 기어 장치 및 클립이 설치되어 있지 않다면 무게중심이 지주 아래에 있어야 함.
- 또한 철강기술협회(Association for Iron and Steel Technology;AIST)에서 발간한 Technical Report No. 9 "Specification for Design and Use of Ladles"는 재질부터 설계, 검사, 사용에 이르기까지 래들과 관련한 포괄적인 내용을 제공하고 있는데, 특히 래들의 전복을 막기 위하여 식(1)과 같이 무게중심에 대한 트러니온 축의 최소 위치를 구체적인 수식으로 설계방법을 제시하고 있다.

$$j = 3.236(10)^{-6} \left[ \frac{q}{W} \right] [D_{wr(\min)}] [D_{wr(\max)}]^3 (1)$$

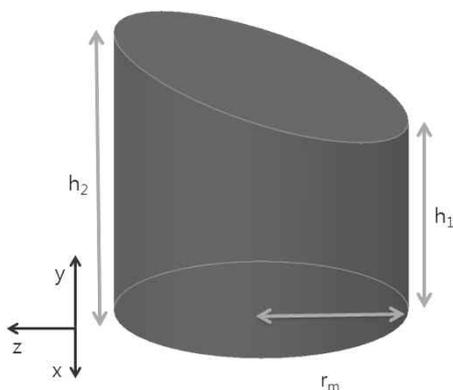
여기에서  $j$ 는 트리니온 축과 경동되지 않은 모든 위치에서 정적 및 동적 안정성을 고려할만한 경동되지 않은 래들의 무게 중심 간의 최소 거리(ft)이다.  $q$ 는 용탕의 밀도(kips/cu ft)이며,  $W$ 는 용탕, 라이닝, 래들 자체 그리고 덮개가 있다면 덮개 등을 포함하여 가득 찬 래들의 전체 무게(kips)이다. 그리고  $D_{wr(\min)}$ ,  $D_{wr(\max)}$ 은 윗면에서의 낮은 라이닝의 내경인데, 타원형의 경우 각각, 최소와 최대 직경(in)이다.

이 외에도 인도 IPSS, 국제노동기구(ILO) 등에서 래들과 관련한 안전작업지침 등을 규정하고 있다[8][9]. 국내의 안전기준에 비해 외국의 안전기준에는 경동을 시키는 트리니온 축의 위치가 용탕을 담은 래들의 무게중심보다 위에 있을 것을 명확히 규정하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 고정 장치뿐만이 아니고 워 기어 등을 이용해서 예기치 않은 뒤집어짐을 예방하도록 하고 있음을 알 수 있다.

### 3.4 래들의 정적안정성 해석

래들은 옆면이 약간 경사져 있는 컵의 모양을 하고 있어 용탕도 그런 형태를 가지게 되지만 용탕의 무게 중심의 이동을 수식적으로 해석하기 위하여 용탕의 형상을 단순하게 원통으로 고려하였다. 그러나 래들의 경동에 따라 자유표면이 달라지므로 <Figure 2>와 같이 잘려진 실린더로 표현할 수 있다. 이때 용탕의 부피는 식(2)로 계산할 수 있다[10].

$$V = \frac{1}{2} \pi r_m^2 (h_1 + h_2) \quad (2)$$



[Figure 2] The model of a molten metal

이 때, 밑면 원의 중심에 대한 무게 중심의 위치는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \bar{x} &= 0 \\ \bar{y} &= \frac{5h_1^2 + 6h_1h_2 + 5h_2^2}{16(h_1 + h_2)} \\ \bar{z} &= \frac{r_m(h_2 - h_1)}{4(h_1 + h_2)} \end{aligned} \quad (3)$$

잘려진 윗면의 기울어진 각도를  $\theta$ 라고 한다면,  $h_1$ 은 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$h_1 = h_2 - 2r_m \tan \theta \quad (4)$$

실제로는 래들이 트리니온 축을 중심으로 회전하게 되므로 이를 반영하면 <Figure 2>의 모델은 용탕이  $x$  축을 중심으로  $\theta$ 만큼 회전한 것으로 고려할 수 있다. 따라서 다음과 같은 회전 변환 공식을 이용하여 좌표계를 변환시켜야 한다.

$$\begin{pmatrix} y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y \\ z \end{pmatrix} \quad (5)$$

래들 축심의 높이를  $L$ 이라 하고, 이 축심에 따라 회전 변환된 용탕의  $z'$  방향 무게중심을 정리하여  $L$ 에 대해서 방정식을 풀면, 다음의 식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} L &= \frac{4h_2^2 \sin \theta + 5r_m^2 \sin \theta \tan^2 \theta}{8h_2 \sin \theta - 8r_m \sin \theta \tan \theta} \\ &+ \frac{2r_m^2 \cos \theta \tan \theta - 8h_2 r_m \sin \theta \tan \theta}{8h_2 \sin \theta - 8r_m \sin \theta \tan \theta} \end{aligned} \quad (6)$$

래들이 기울기 시작할 때, 즉  $\theta$ 가 매우 작다면,  $\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta$ ,  $\cos \theta \approx 1$  이므로,

$$L \approx \frac{4h_2^2 - 8h_2 r_m \theta + 5r_m^2 \theta^2 + 2r_m^2}{8h_2 - 8r_m \theta} \approx \frac{4h_2^2 + 2r_m^2}{8h_2} \quad (7)$$

식 (7)에서  $h_2$ 는 [Figure 1]과 같이 기울어진 쪽의 용탕의 높이인데, 앞의 가정대로  $\theta$ 가 매우 작다면  $h_2$ 는 초기 용탕의 높이와 같아지므로 초기 용탕의 높이를  $l_m$ 이라고 하면 식 (7)을 용탕의 반지름과 높이로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$L = \frac{2l_m^2 + r_m^2}{4l_m} \quad (8)$$

여기에서  $L$ 은 용탕의 밑면으로부터 트리니온 축심까지의 최소거리,  $l_m$ 은 용탕의 초기 높이,  $r_m$ 은 용탕의 반지름이다.

위의 식 (8)로부터 계산된  $L$ 의 값보다 래들의 축심이 더 높기 위치한다면, 래들의 기울어진 정도와 관계없이 용탕의 무게중심은 항상 기울이는 방향의 반대쪽에 위치한다. 이에 따라 래들의 회전방향과 반대방향으로 모멘트가 발생하게 되므로 래들의 정적안정성을 확보할 수 있을 것이다.

#### 4. 결 론

래들은 금속제품 제조업에서 주조 등의 공정에서 용탕을 운반하고 주형에 주입하기 위한 용도로 사용되는 주요 설비이다. 1000°C가 넘는 용융고열물을 가지고 작업하기 때문에 사용상 주의가 필요하지만 재해가 종종 발생하고 있다. 따라서 본 연구에서는 래들에서 발생한 재해에 대한 분석을 통해 안전한 사용을 위한 방안을 제시하고자 하였다.

2001년부터 2012년까지 래들에서 발생한 297명의 재해가 발생하였으며, 중대재해는 총 14건으로 용탕에 의한 화상 또는 화재가 가장 많았다. 그 중 4건이 작업 중 용탕이 중심을 잃고 전복되어 발생된 재해로 고장 등으로 인해 지지력이 없어지자 사고가 발생하였다. 이로 미루어 볼 때, 초기 설계부터 안전성의 확보가 미비함을 알 수 있다.

국내의 래들 관련 기준은 고용노동부 고시에 불의에 뒤집어지지 않도록 고정장치를 설치하고 용탕을 적정 수준 만큼만 채우도록 하고 있다. 국외에는 유럽 EN 규격과 미국의 각 주의 규정 등이 있는데, 이를 살펴보면 축심의 위치를 무게중심보다 높게 하고 워기어 등을 사용하도록 하고 있으며 미국 철강기술협회의 기술 보고서의 경우 구체적인 계산식으로 축심의 최소한의 높이를 권장하고 있다.

래들은 사용 중에 슬래그의 제거 및 주탕 등의 이유로 기울여야 한다. 이때 정적안정성이 부족할 경우, 안전장치의 미비나, 고장이 일어났을 경우 뒤집힘이 발생할 수 있다. 따라서 경동 각도에 관계없이 항상 정적안정성을 확보할 필요가 있는데, 이를 위해 래들 축심의 높이를 계산할 수 있는 수식을 제안하였다. 이 수식은 용탕의 무게중심을 가지고 유도한 것으로 용탕의 높이, 직경 등을 이용하는 것으로 미국의 철강기술협회의 수

식에 비해 간단하고 쉽게 적용할 수 있을 것이다.

선진국의 경우 래들 외에 공정 전체에 대해 세부적인 지침이 많이 준비되어 있으나 우리나라는 아직 관련 지침이 미흡한 편이다. 사업장에서도 이러한 지침에 대한 요구가 높은 실정이므로 이에 대해 사업장에서 안전하게 작업을 할 수 있도록 다양한 지침의 개발이 필요할 것이다.

#### 5. References

- [1] 한국산업안전보건공단. 2013. “2012 산업재해현황분석”. pp. 27-28.
- [2] 고용노동부 고시 제2012-87호. 제1차 금속산업 안전작업지침(개정 2012.9.25)
- [3] BS EN 1247:2004. Foundry machinery-Safety requirements for ladles, pouring equipment, centrifugal casting machines, continuous and semi continuous casting machines. London:British Standard Institute.
- [4] ASTM E2349-09. Standard Practice for Safety Requirements in Metal Casting Operations: Sand Preparation, Molding, and Core Making; Melting and Pouring; and Cleaning and Finishing. Pennsylvania:ASTM International
- [5] Code of Massachusetts Regulations. 454 CMR 7.00 Working Conditions in Iron and Steel Foundries and Employment of Women in Core Rooms, Section 7.06 Plant Safety.
- [6] Commonwealth of Pennsylvania. Department of Labor and Industry. Title 34, PA Code, Chapter 47, Subchapter E. Foundries.
- [7] Association for Iron and Steel Technology. Technical Report No. 9 Specification For Design and Use of Ladles, 1991
- [8] Inter Plant Standardization in Steel Industry. n.p. October 10, 2013. <<http://www.sail.co.in/ipss>>
- [9] International Labour Organization. Code of practice on safety and health in the iron and steel industry, Geneva, 2005
- [10] Harris, JW., Stocker H. Handbook of Mathematics and Computational Science. New York:Springer-Velag;1998.p.103-105.

## 저 자 소 개

### 최 승 주



현재 한국산업안전보건공단 산업  
안전보건연구원 안전연구실 재직  
중.

관심분야 : 기계 안전 및 법규  
개선 등

주소 : 울산광역시 중구 중가로 400, 한국산업안전보건  
공단 산업안전보건연구원

### 신 운 철



현재 한국산업안전보건공단 산업  
안전보건연구원 안전연구실장으  
로 재직 중.

관심분야 : 안전 정책 및 제도  
개선, 인간공학적 응용연구 등

주소 : 울산광역시 중구 중가로 400, 한국산업안전보건  
공단 산업안전보건연구원