

## 필터댐에 의한 강중 개재물 저감효과

조문규 · 이석근 · 정두화 · 남수희\* · 이재우\*\*

포항산업과학연구원 소재연구부문 내화재료연구팀

\*포항제철(주) 제강부 연구기술팀,

\*\*기술관리팀

(1997년 12월 5일 접수)

## Removal of Inclusions in molten Steel by Filter Dam

Mun-Kyu Cho, Seok-Keun Lee, Doo-Hoa Jeong, \*Su-Hee Nam and \*\*Jae-Woo Lee

Department of Materials Research, and Refractory Research Team, RIST

Department of Steelmaking and \*CC Technical Team

\*\*Technical Management Team

(Received December 5, 1997)

### 요 약

관통형 필터댐에 의한 강중 개재물 저감 효과를 알아보기 위하여 극저탄강과 저탄강에 대한 연주 조업 시험을 행하였다. 턴디쉬의 탕유부, strand, 그리고 mold에서 용강 시편을 채취하여 화학 성분과 함유된 개재물의 입도 분포를 조사하였다. 관통형 필터댐에 의한 강중 개재물 저감기구는 여과보다는 부상 효과에 주로 의존하였으며, 여과되는 개재물의 크기는 30~50  $\mu\text{m}$  범위였다. 일반적으로 사용되고 있는 Dam과 Weir 구조에 비해 필터댐을 적용할 경우 strand별로 주편내 개재물 함량의 차이가 저감됨을 확인하였으며, 댐 전면부 전체에 구멍이 형성된 구조보다는 하부에만 형성된 구조가 개재물 저감에 유리하였다.

### ABSTRACT

A tube-type filter dam(or baffle with holes) for ferrous melt refining is applied to the tundish operation for molten steel having low carbon and ultra-low carbon. The changes in the total oxygen content, insoluble aluminum content and the distribution of inclusion size in molten steel during tundish operation were investigated at the pouring part, strand and mold of tundish. Removal mechanism of inclusions is considered to be caused by buoyancy action of the filter dam better than filtration action and the size range of inclusions filtrated by the filter dam was for 30~50  $\mu\text{m}$ . Decrease in deviation of inclusion content in molten steel was confirmed for applying the filter dam in comparison with using conventional dam and weir. Also, the filter dam had the advantage of baffle with holes at lower part in the efficiency of inclusions removal.

**Key words :** Steelmaking, Continuous casting, Tundish, Filter Dam, Inclusion

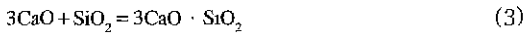
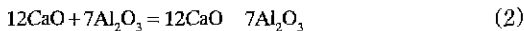
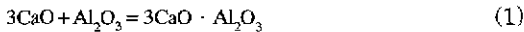
### 1. 서 론

연속 주조 공정이란 전로에서 출강된 용강을 주조 설비인 턴디쉬(tundish)에 수강하여 침지 노즐(submerged entry nozzle)을 통해 mold로 주입한 후, 연속적으로 주편을 생산하는 주조 방식이다. 턴디쉬에 수강되는 용강내에는 탈산 반응물과 내화물 침식에 의한 비금속 개재물들이 존재하게 되는데, 이중 특히  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 계 개재물의 제거는 강의 청정도 향상과 침지 노즐의 막힘 저감에 따른 조업 안정화 측면에서 중요한 과제로

대두되고 있다. 용강 중에 존재하는 개재물을 제거시키기 위하여 일반강에 범용적으로 채택하고 있는 dam & weir법은 턴디쉬내에 dam과 weir를 설치하여 용강 체류 시간을 길게하고 용강흐름을 상승류로 유도함으로써 개재물이 보다 쉽게 부상분리되도록 하는 방식이나, 본 방법으로는 주편결함을 유발하는 수십  $\mu\text{m}$  이상의 각종 개재물들이 주편에서 여전히 검출되고 있으며<sup>1)</sup> 따라서 고청정성이 요구되는 강종(drawn & ironing강, 범랑재, tire cord강 등)에는 보다 개선된 개재물 제거 방안이 요구되고 있다.

이에 선진 제철소에서는 보다 적극적인 개재물 제거 방식을 연구하게 되었고 현재 세라믹 필터댐(ceramic filter dam)과 Ar(g) 취입 댐(Ar-bubbling dam)을 이용한 개재물 제거에 관한 연구 및 실용화가 활발히 진행되고 있다. 이 중 세라믹 필터댐을 이용한 개재물 제거법은 금속 정련분야에선 비철 및 주철의 주조에서 이미 적용되어 왔으며 극 청정도를 요구하는 소재 및 소량 주조 분야에서 필수적인 요소기술로 각광 받고 있다.<sup>2)</sup> 세라믹 필터댐은 ceramic loop filter나 foam filter를 일반댐에 삽입한 형태와 일반댐의 두께 방향으로 여과 구멍이 형성된 관통형 필터댐(tube-type filter dam)이 있는데, 이중 용강의 대량 생산 조업에 적합한 세라믹 필터댐은 관통형 필터댐으로, 구조적으로는 댐의 하단부에 구멍이 형성된 형태와 댐의 전면부 전체에 구멍이 형성된 형태로 구분된다.

관통형 필터댐에 의한 강중 개재물 제거는 여과(filtration) 및 부상(buoyancy) 작용에 의한 것으로 알려져 있다.<sup>3)</sup> 여과 작용은 강중 개재물과 댐 구멍 표면간의 계면 작용에 의해 이루어지는데, 제거하고자 하는 개재물이  $Al_2O_3$ 계 산화물이므로 이들과 반응성이 우수한 CaO계(MgO-CaO, CaO) 재질이 유리하다. 강중 개재물과 용강간의 계면 에너지보다 댐 표면과 개재물간의 계면 에너지가 작으므로, 개재물들은 용강내에 존재하는 것보다는 댐 표면에 흡착되는 것이 안정하며, 이러한 계면 에너지 차이에 의해서 개재물들의 흡착이 진행된다.<sup>3)</sup> 흡착된 개재물들의 고착 기구는 댐의 재질에 따라 구분되는데,  $Al_2O_3$ 계에서는 소결(sintering) 과정을 거쳐 CaO계의 경우는 고상 반응에 의해 고착된다. CaO계 필터댐과  $Al_2O_3$  및  $SiO_2$ 계 개재물 간의 고상 반응은 다음과 같다.<sup>4)</sup>



$Al_2O_3$ 계 필터댐에서는 개재물들이 소결 과정에 의해 댐 표면에 고착되므로 조업이 진행됨에 따라 구멍의 직경이 차츰 감소한다. 이러한 직경 감소는 여과 작용이 일어나는 표면적의 감소뿐만 아니라 턴디쉬내 용강의 흐름에도 영향을 주므로 바람직 하지 않다. 반면에 CaO계의 경우 고상 반응에 의해 생성되는 화합물들이 연주 조업 온도(~1570°C)에서 액상으로 존재하므로, 용강류에 의해 탈리되거나 댐 내부로 흡수되어 댐 구멍의 직경 변화가 거의 없다.

필터댐에 의한 부상 효과는 댐에 형성된 구멍의 직경, 위치, 갯수와 턴디쉬내에 필터댐을 설치하는 방식 등에 따라 달라진다. 강중 개재물의 부상은 용강과 개재물간의 비중차에 의해 일어나는 현상으로, 상승하는 용강류에서는 용강의 상승력이 개재물에 작용하므로 부상 속도가 커지게 되며, 또한 댐에 의해 턴디쉬내에서 용강의 체류 시간이 길어지면 개재물이 부상하여 제거될 기회가 많아진다. 필터댐을 사용하여 턴디쉬내 용강의 체류 시간을 연장하거나 용강 유동을 개선함으로써 개재물의 부상을 향상시킬 수 있다.<sup>3)</sup> 본 연구에서는 필터댐의 형상 및 적용 강종에 따른 강중 개재물 제거 효과를 조업 시험 결과를 토대로 하여 비교 분석하고자 하였다.

## 2. 실험방법

조업 시험에 적용한 댐은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 일반 댐(Dam & Weir), 전면부 전체에 구멍이 형성된 필터댐(이하 F/D I으로 약기함), 그리고 하단부에만 구멍이 형성된 필터댐(이하 F/D II으로 약기함)이었다. 강종별 조업 시험에 적용한 강종의 소강, 즉 턴디쉬의 strand(이하 STR'로 약기함) 측에서의 용강 성분의 대표값을 Table 1에 나타내며, 조업 시험 내용은 Table 2와 같다. 조업에 사용한 연주기는 2 STR'형이며, Fig. 1에서 알 수 있듯이 래들 노즐(ladle nozzle)과 STR' 양측의 노즐간 거리가 서로 다르므로 각각의 STR'를 X-STR' 및 Y-STR'로 표기하였다. 조업 시험에 적용한 강종은 저탄강인 D&I 강과 극저탄강인 KS-SPP, CHSP

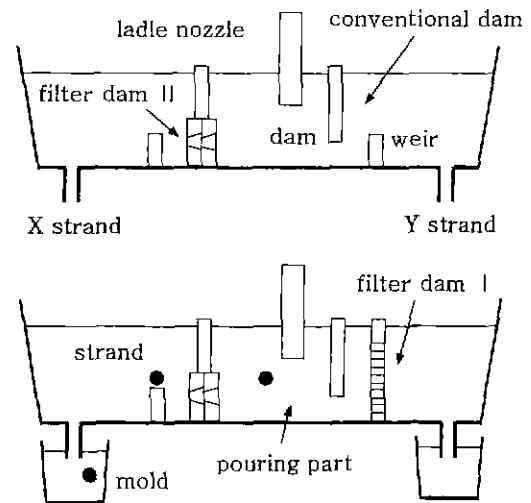


Fig. 1. Schematic diagrams of the dams and tundish used for operation test. The sampling position of molten steel is marked by closed circle.

**Table 1.** Chemical Compositions of Applied Steel

Name of steel	Chemical composition(wt%)					
	C	Mn	P	T.Al*	S.Al**	Ti
KS-SPP	0.003	0.23	0.01	0.030	0.026	0.12
CHSP35E	0.003	0.34	0.07	0.035	0.032	0.05
CHSP40E	0.008	0.65	0.09	0.032	0.029	0.04
D&I	0.057	0.33	0.01	0.053	0.049	-

\*T.Al: Total [Al]  
\*\*S.Al: Soluble [Al]

**Table 2.** Test Conditions of Tundish Operation

Kinds of steel	Applied dam	
	X-STR'	Y-STR'
KS-SPP	"	"
CHSP35E	"	"
CHSP40E	"	"
D&I	Filter dam I	Filter dam II

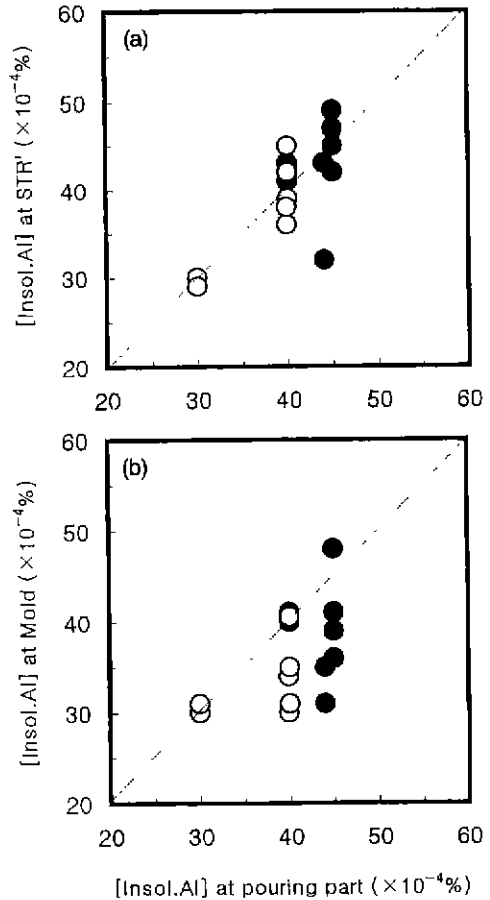
35E, 그리고 CHSP40E 이었다. D&I 강은 two piece can의 소재이며, KS-SPP 강은 범랑재, CHSP35E 및 CHSP40E는 고장력강으로 자동차의 외판재에 사용되는 강종이다. Fig. 1에 나타난 바와 같이 조업중에 탕유부(pouring part)와 STR' 및 mold의 각 위치에서 용강을 채취하였다. 용강을 채취한 시점은 래들 노즐이 개공된 직후 15분, 30분, 45분으로 고정하였다.

조업중 채취한 용강 시편의 화학 성분은 SPECTRO사제 Optical Emission Spectrometer를 이용하여 정량분석하였으며, 강중 전산소량(total [O])은 LECO사제 N2/O2 Determinator로 측정하였다. 이때 각 시편은 표면의 산화층을 제거하기 위하여 80 mesh의 SiC 연마지로 표면을 연마하였다. 강중 개재물의 입자크기 측정에는 stereo-microscope를 이용하였으며 시편 표면에 존재하는 10 μm 이상의 개재물들에 대하여 각각의 최대 길이를 측정한 후 6 μm 간격으로 입도 분포를 구하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 필터댐과 일반댐의 개재물 저감효과 비교

일반댐과 필터댐에 의한 개재물 저감 효과를 비교하기 위해 연주기의 X-STR'측에 F/D II를, Y-STR'측에 일반댐을 설치하고 조업 시험을 행하였다. Fig. 2의 (a)는 일반댐 및 F/D II에 대하여 탕유부와 STR' 측에서 채취한 용강의 [Insol.Al]을 비교한 것이며, Fig. 2의 (b)는 STR'와 mold에서 채취한 용강 시편의 [Insol.Al]을



**Fig. 2.** Comparison of insoluble aluminium concentration of molten steel at (a) pouring part and STR' and (b) pouring part and mold. Closed circles are data for conventional dam and open circles are for filter dam II.

비교하여 도시한 것이다. 강중 [Insol.Al]은 비금속 개재물인 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함량을 의미한다. Fig. 2의 (a)를 보면 대칭선을 중심으로 측정 값들이 거의 대칭적으로 분포하고 있음을 알 수 있으며, 댐 종류에 따른 차이는 거의 없다. 반면에 Fig. 2의 (b)에서는 대칭선을 중심으로 측정 값들이 X축에 치우쳐 분포하고 있는데, 이는 탕유부에 비해 mold에서 채취한 용강 시편내 개재물의 함량이 감소되었음을 의미한다. 즉, 탕유부와 STR' 사이에서의 [Insol.Al] 감소보다 STR'와 mold 사이에서의 감소가 뚜렷하며, 이러한 양상은 적용댐의 종류에 거의 무관하게 나타남을 알 수 있다. 상기 결과들은 F/D II와 일반댐을 적용한 텀디쉬에서 주된 개재물 저감 기구가 댐에 의한 부상 효과임을 의미하는 것이다. 필터댐을 적용할 경우 여과(filtration) 작용에 의한 강중 개재물 저감을

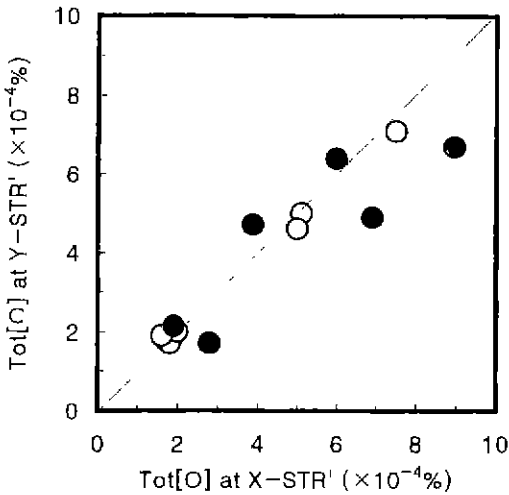


Fig. 3. Comparison of total oxygen content of casting specimens at each STR'. Closed circles are data for conventional dam and open circles are for filter dam II.

예상할수 있으나, 이러한 작용이 [Insol.Al] 감소에는 뚜렷한 영향을 미치지 못하는 것으로 판단된다. Fig. 3은 적용법에 따른 주편의 전산소량을 비교한 결과이다. 연주기의 X-STR' 및 Y-STR' 측에 F/D II나 일반법을 동일하게 설치하고 조업 시험을 행 하였다. 강중 전산소량의 대부분은 비금속 개재물로부터 기인하므로, 주편의 전산소량은 함유된 개재물의 양과 비례한다. 일반법에 비해 F/D II를 적용한 경우 측정값들이 대칭선을 중심으로 근접하여 분포하고 있으며, 이는 STR'별로 주편내 전산소량의 편차가 일반법을 적용한 경우에 비해 적음을 의미한다. 본 연구의 조업 시험에 사용한 연주기는 래들 노즐과 STR' 양측의 노즐간 거리가 서로 다르므로 STR'별로 용강의 유동 특성에 차이가 있으며, 따라서 mold 양측에서 제조되는 주편의 품질에 다소 편차가 발생한다. F/D II를 적용한 경우 STR'에 따른 주편 품질(전산소량)의 편차가 감소하는 것은 필터법을 적용함으로써 STR'별로 용강의 유동 특성에 관계되는 용강 체류 시간이나 개재를 부상 속도 등의 차이가 감소하기 때문인 것으로 판단된다.

### 3.2. 탕유부와 STR'간의 개재물 입도분포 변화

필터법에 의한 개재물 여과 작용을 분석하기 위하여 조업 시간별로 용강을 채취하여 시편내 함유 개재물의 입도를 분석하였다. Fig. 4는 탕유부와 STR'측에서 측정된 강중 개재물의 평균 입도분포를 비교하여 도시한 것이다. 적용 강종은 D&I 강이었으며 F/D II를 STR' 양측에 적용하여 조업 시험을 행 하였다. 탕유부에 비해

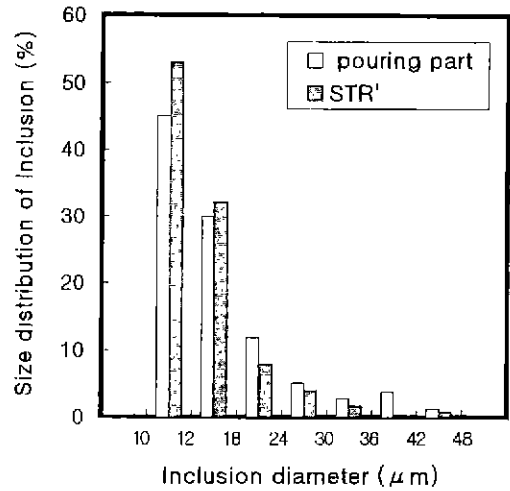


Fig. 4. Comparison of the average size distribution of inclusions within steel specimens sampled at pouring part and STR' of tundish.

STR'측에서 30~50  $\mu\text{m}$  범위의 개재물들의 함량이 감소되었음을 확인할 수 있으며, 이는 필터법의 여과 작용에 의한 것으로 판단된다. 또한, 60  $\mu\text{m}$  이상의 대형 개재물은 확인되지 않았다.

H.Goto 등<sup>11)</sup>은 주편내에 존재하는 개재물의 대부분은 0~10  $\mu\text{m}$ 의 미세 개재물들로 이들에 의해 주편의 전산소량이나 [Insol.Al]이 결정되며, 반면 30  $\mu\text{m}$  이상의 개재물들의 부피 분율은 낮은 것으로 보고한 바 있다. 따라서 필터법의 여과 작용에 의해 30~50  $\mu\text{m}$  범위의 개재물들이 용강으로부터 제거되더라도 이들이 개재물 전체에서 차지하는 부피 분율이 작으므로, 용강 시편의 [Insol.Al]이나 전산소량에는 뚜렷한 영향을 주지 못할 것으로 사료된다. 즉, Fig. 2에서 필터법 적용시 탕유부와 STR' 사이에서의 [Insol.Al] 감소가 뚜렷하게 확인되지 않는 것은 이러한 연유에서 기인하는 것이다. 하지만 30~50  $\mu\text{m}$  범위나 그 이상의 대형 개재물들은 D&I 강을 이용하여 two piece can을 제조할 경우 flange 결함<sup>12)</sup>의 발생 원인이 되므로, 이러한 결함의 발생에는 뚜렷한 영향을 줄 것이다. 즉, 필터법에 의한 개재물 여과 작용은 강중 [Insol.Al]이나 전산소량보다는 주편 결함의 발생에 영향을 줄 것으로 예상된다.

### 3.3. 필터법의 형상에 따른 개재물 저감효과 비교

필터법의 형상에 따른 강중 개재물의 저감 효과를 비교하기 위해서, Fig. 1에 나타난 필터법(F/D I, F/D II)들을 턴디쉬의 양측 STR'에 각각 설치하고 D&I 강에 대해 조업 시험을 행 하였다.

Fig. 5는 적용법에 따라 제조된 주편의 FDT(Flex

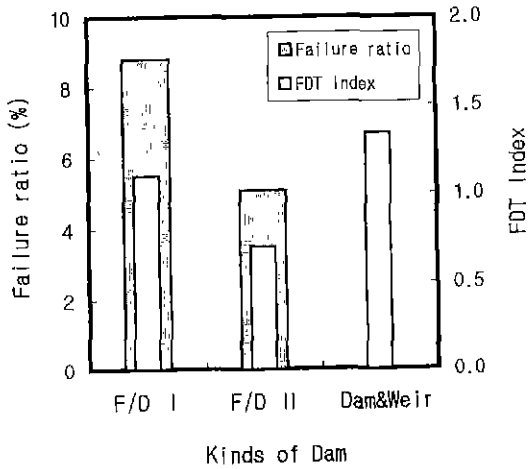


Fig. 5. The results of FDT of casting specimens.

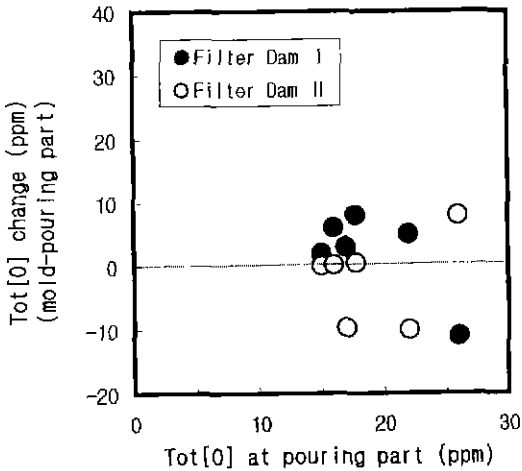


Fig. 6. The difference of total oxygen content between steel specimen at pouring part and mold with the kinds of applied filter dam as a function of total oxygen content of steel specimens at pouring part.

Draw Test) 결과이다. FDT는 D&I 강을 이용하여 two piece can을 제조시 요구되는 기계적 가공성을 평가하는 시험법으로 필터댐에 의한 개재물 저감 효과를 판단할 수 있는 기준이 된다. 댐 전면부 전체에 구멍이 형성된 F/D I에 비해 하단부에만 형성된 F/D II의 경우 FDT 지수나 flange 결함 발생에 의한 불량율에 있어서 개선된 결과를 보이고 있다. 비교를 위해 일반댐 적용시 제조된 주련의 FDT 지수를 함께 나타내었다. Fig. 6은 탕유부와 mold에서 채취한 용강의 전산소량 차이를 탕유부의 전산소량에 대해 도시한 결과이다. F/D II의 경우 탕유부에 비해 mold에서 강중 전산소량의 저감이 뚜

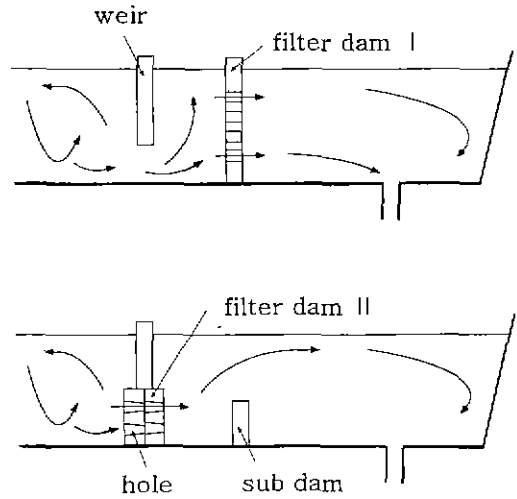


Fig. 7. Schematic diagrams of the molten steel flow with shapes of filter dam.

렷함을 알 수 있다.

Fig. 7은 필터댐의 형상에 따른 턴디쉬내 용강 흐름의 개략도<sup>1,2,7)</sup>이다. F/D I의 경우 여과 작용을 높이기 위해 댐 전면 전체에 여과 구멍을 형성하였으며, 필터댐 앞에 보조댐(weir)을 설치하였다. 반면에 F/D II는 댐의 하단부에만 구멍이 형성되어 있으며, 여과 작용의 개선을 목적으로 두 개의 댐을 붙인 구조를 취하고 있다. F/D I의 경우 구멍의 전체 표면적이 크므로 개재물의 여과 작용은 높지만, 댐을 통과한 후 용강류의 상승 작용이 거의 없다. 따라서 필터댐에 의해 여과되지 않은 강중 개재물들이 부상되지 못하고 주변대로 혼입되기 쉽다. 반면에 F/D II는 보조댐(sub dam)에 의해 용강류의 상승 작용이 이루어지므로 개재물의 부상에 유리하다. 앞 절에서 필터댐에 의한 개재물 저감기구는 여과보다는 부상 작용에 주로 의존함을 알 수 있었으며, 따라서 효과적인 개재물 저감을 위해서는 개재물의 부상 작용이 이루어지면서 여과 작용이 동반되는 댐의 형상이 바람 직하다.

3.4. 강종별 필터댐의 개재물 저감 효과 비교

강종에 따른 필터댐의 적용 효과를 비교하기 위해 D&I 강, 범랑용 강(KS-SPP), 고장력강(CHSP35E, CHSP 40E)에 대한 조업 시험을 실시하였다. 동일한 턴디쉬에서 X-STR'측에는 F/D II를, Y-STR'측에는 일반댐을 설치하였으며, 탕유부, STR', 그리고 mold에서 용강을 채취하여 분석하였다.

Fig. 8은 범랑용 강과 고장력강의 조업 시험에서 X 및 Y-STR' 측에서 채취한 용강 시편에 존재하는 개재물의

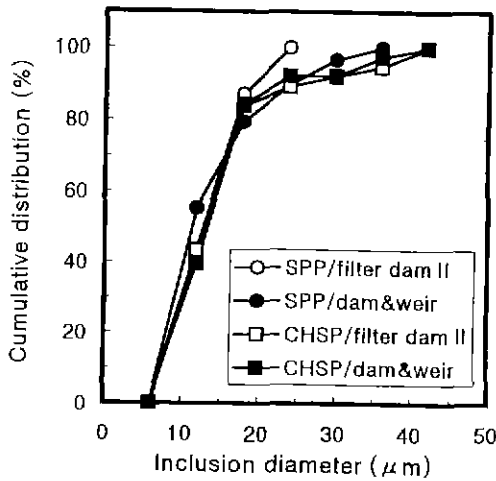


Fig. 8. Comparison of the size distribution of inclusions within steel specimens with the kinds of applied steel and dam.

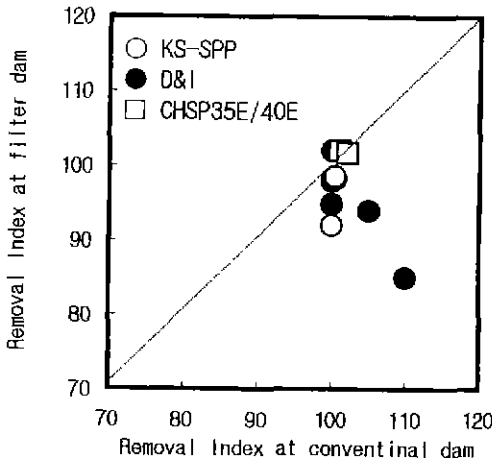


Fig. 9. Comparison of removal index between filter dam and conventional dam with the kinds of applied steel.

입도 분포를 분석한 결과이다. 범랑용 강 의 경우 필터댐에 의해 30~40 μm 범위의 개재물의 함량이 저감되었음을 알 수 있으며 이는 본 실험에서 적용한 필터댐에 의해 여과 가능한 크기 범위로 판단된다. 반면, 고장력강에서는 적용댐의 종류와 무관하게 유사한 입도 분포를 보여 주었다. Fig. 9는 STR와 mold에서 채취한 용강 시편의 [Insol.Al]의 비를 적용댐 및 강종별로 도시한 결과이다. 개재물 제거 지수는 다음 식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{Removal Index} = \left( \frac{[\text{Insol.Al}]_{\text{at mold}}}{[\text{Insol.Al}]_{\text{at STR}}} \right) \times 100 \quad (5)$$

계산값의 분포가 대칭선을 중심으로 X축으로 치우칠수록 일반댐에 비해 필터댐의 개재물 제거 효과가 크음을 의미한다. 필터댐 적용시 개재물의 제거 효과는 D&I 강, 범랑용 강, 고장력강의 순으로 감소하고 있으며, 고장력강의 경우 일반댐을 적용한 경우와 거의 동등한 수준이다.

필터댐에 의한 강중 개재물의 제거는 여과 작용에 의해 댐 표면에 개재물이 흡착되거나, 부상 작용에 의해 슬래그 층에 개재물이 부착됨으로써 이루어진다. 여기서 계면 에너지 차이에 의해 발생하는 부착력( $F_{ad}$ )의 크기는 식 (6)으로 표현될 수 있다.<sup>8)</sup>

$$F_{ad} = \gamma_{im} (1 - \cos \theta) = \gamma_{im} \left( 1 - \frac{\gamma_{iv} - \gamma_{im}}{\gamma_{mv}} \right) \quad (6)$$

식 (6)에서  $\gamma_{im}$ 는 개재물과 용강간의 계면 에너지,  $\gamma_{iv}$ 는 개재물의 표면 에너지,  $\gamma_{mv}$ 는 용강의 표면 에너지,  $\theta$ 는 접촉각이다. 식 (6)에서 알 수 있듯이 용강의 표면 에너지와 관련되는  $\gamma_{im}$ 과  $\gamma_{mv}$ 가 감소할수록  $F_{ad}$ 가 작아진다. 적용한 강종들에 존재하는 개재물의  $\gamma_{iv}$ 가 같다고 가정하면 순수한 Fe, P, Ti의  $\gamma_{mv}$ 는 각각 1872, 52, 1650(mV/m)이므로<sup>7)</sup>, 강중에 P의 함량이 증가할수록 용강의 표면 에너지와 관련되는  $\gamma_{im}$ 과  $\gamma_{mv}$ 가 감소한다. 따라서 강중 P의 함량이 다른 강종보다 약 7~9배 많은 고장력강의 경우 필터댐 표면에 대한 강중 개재물의 부착력이 작아지므로 필터댐에 의한 여과 효과가 거의 나타나지 않는 것으로 판단된다. 또한, 턴디쉬에서 강중 개재물이 부상되어 용강으로부터 제거되기 위해서는 슬래그 층으로의 부착 작용이 활발해야 한다. 그러나, 전술한 바와 같은 이유로 강중 P의 함량이 증가하게 되면 슬래그에 대한 개재물의 부착력이 감소하고 또한 용강과 개재물간의 친화력이 증가하므로, 부상 작용에 의한 개재물의 제거가 용이하지 않게 될 것이다. 따라서 강중 P 함량이 높은 고장력강의 경우 필터댐에 의한 개재물의 저감 효과가 다른 강종에 비해 낮은 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 필터댐의 형상 및 적용 강종에 따른 강중 개재물의 제거 효과를 조입 실험 결과를 바탕으로 비교 분석하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 필터댐 사용시 강중 [Insol.Al]과 전산소량의 감소는 필터댐에 의한 여과 및 부상 효과에 기인한 것이며, 이때 여과 작용보다는 부상 작용이 더 큰 역할을 하였다.
2. 필터댐의 여과작용에 의해 제거되는 강중 개재물의 양은 많지 않으나, 30~50 μm 크기의 개재물들을 효과적으로 제거함으로써 주편 결함 방지 및 가공성(drawing

& ironing) 향상에 기여하였다.

3. 두종류 형상의 필터댐을 비교한 결과, 댐의 전면부 전체에 여과 구멍이 형성된 경우보다 하단부에만 형성된 구조가 개재물 제거에 유리하였는데, 이는 후자에 의한 부상분리 효과가 크기 때문이었으며, 효과적인 개재물 제거를 위해서는 개재물의 부상 작용이 이루어 지면서 여과 작용이 동반되는 댐의 형상이 바람직하다.

4. 강종별 필터댐의 적용 효과는 D&I>SPP감>>고장력강 순이었으며, 이러한 양상은 용강 표면 에너지에 영향을 미치는 강중 P의 함량과 밀접한 관련이 있었다.

## REFERENCES

1. A.Sinha and Y.Sahai, "Mathematical Modclng of Inclusion Transport and Removal in Continuous Casting Tundishes," *ISIJ International*, **33**(5), 556~66, (1993).
2. L.K.Chiang, "Water Modelling of IPSCO's Slab Cater Tundish," *Steelmaking Conference Proceedings*, pp. 437~50 (1992).
3. K.Uemura, M.Takashi, S.Koyama and M.Nitta, "Filtration Mechanism of Nonmetallic Inclusions in Steel by Ceramic Loop Filter," *ISIJ International*, **32**(1), 150~56 (1992).
4. Nippon Steel corp., Japan Pat. 87047621 (1987).
5. H.Goto, K.Miyazawa and K.Tanaka, "Effect of Oxygen Content on Size Distribution of Oxides in Steel," *ISIJ International*, **35**(3), 286~91 (1995).
6. K.Misonoh, T.Fujii, R.Fukumoto and A.Nakajima, "Influence of Macro Non-metallic Inclusions on Flanging Cracks of Drawn and Ironed Can," *Tetsu-to-Hagane*, **68**(1), 147~54 (1982).
7. L.Xintian, Z.Yaohe, S.Baolu and J.Weiming, "Flow Behavior and Filtration of Steel Melt in Continuous Casting Tundish," *Ironmaking and Steelmaking*, **19**(3) 221~25 (1992).
8. K.Raiber, P.Hammerschmid and D.Janke, "Experimental Studies on  $Al_2O_3$  Inclusion Removal from Steel Melts Using Ceramic Filters," *ISIJ International*, **35**(4), 380~88 (1995).