

여는 글

뿌리산업은 제조업의 근간을 이루는 핵심 산업임에도 불구하고 다양한 생산기반 기술을 습득하는데 많은 시간과 노력을 필요로 하고 있으나, 산업분야에 대한 세부적인 기술을 연마하고, 이해하기 위한 기술서적은 쉽게 찾아볼 수 없는 것이 현실입니다.

따라서 뿌리산업분야 인력육성 및 인프라를 지원하고 있는 뿌리산업 인적자원개발위원회는 본 개론서를 발간하여 해당분야 산업과 기술을 이해하는데 도움을 드리고자 하였으며, 아울러 평생경력개발경로를 통해 한 분야에서 기술인으로 성장하는데 일조하기 위해 국가직무능력표준(NCS)과 연계하여 지침서로서 활용토록 하였습니다.

앞으로 본 개론서가 특성화고, 일반 대학 전공 학생은 물론, 뿌리산업계에 종사하기 위한 취업예정자와 기업체 소속 근로자, 뿌리산업 관련 훈련 교원 등 모든 분들로부터 환영받기를 기대합니다.

아울러, 본 개론서가 나오기까지 지원을 아끼지 않으신 고용노동부, 한국산업인력공단에 감사의 말씀을 드리며 금형, 금속가공, 표면처리, 용접산업의 발전과 더불어 미래에도 핵심산업으로 도약하는데 작은 도움이 되기를 기대합니다.

2019. 12.

뿌리산업 인적자원개발위원회 위원장 임 영 택
(금형·금속가공·표면처리·용접)

목 차

제1장 주조란 무엇인가?	1
1. 주조의 정의	1
2. 주조의 특징	2
3. 주조의 역사	2
4. 주조의 원리	3
5. 주물의 제조과정	4
제2장 주조의 종류	6
1. 사형주조법	6
2. 저압주조법	13
3. 고압주조법	15
4. 셀몰드법	17
5. 다이캐스팅주조법	35
6. 인베스트먼트주조법	52
제3장 주조방안설계	76
1. 탕구 방안	76
2. 압탕 방안	95
3. 주조설계	105
4. 각종 주물의 주조 방안	124
제4장 주조에 사용 되는 재료	128
1. 철 지금재료	128
2. 비철 지금재료	133
3. 기타 재료	136
4. 연료	143
5. 내화물	149

제5장 금속의 용해와 주입	159
1. 용해로의 종류와 도가니로 용해	159
2. 큐폴라 용해	162
3. 전기로 용해	166
4. 진공로 용해	169
 제6장 주물 결함의 종류	 172
1. 주물결함과 방지대책	172
2. 주물검사	179
 제7장 주물의 후처리	 184
1. 주형의 해체	184
2. 탕구계 및 압탕의 제거	186
3. 주물 표면의 청정	187
4. 마무리 및 보수	191
5. 주물의 열처리	194
 제8장 안전 관리	 196
1. 재해방지의 기본사항	197
2. 작업별 안전관리	198

표 목차

[표 2-1]	원형의 분류	7
[표 2-2]	현형의 종류와 특징	8
[표 2-3]	형상에 따른 분할면의 표시	11
[표 2-4]	가공 여유	11
[표 2-5]	저압 주조법의 특징	15
[표 2-6]	고압 응고 주조법	16
[표 2-7]	각 위치의 기계적 성질 (41-8% Si, 주입 온도 780°C, 금형 온도 200°C)	17
[표 2-8]	치수의 정밀도 비교(50mm 정도의 길이)	18
[표 2-9]	레진 코티드 샌드(resin coated sand)의 비교	21
[표 2-10]	다이캐스팅 최소 살두께	45
[표 2-11]	재질상의 결함 원인과 대책	51
[표 2-12]	인베스트먼트 주조품의 용도 예	52
[표 2-13]	콜로이드 실리카 점결제	66
[표 2-14]	에틸 실리케이트 점결제	67
[표 2-15]	슬러리 배합 조성	69
[표 2-16]	백업용 슬러리의 조성	70
[표 2-17]	각 재질별 주입 온도	74
[표 2-18]	인베스트먼트 주조품의 각종 검사법	75
[표 3-1]	주물의 종류와 탕구비	88
[표 3-2]	탕구계의 치수와 모양(주철)	89
[표 3-3]	각종 주물의 주입온도	92
[표 3-4]	주철, 주강의 주입시간	93
[표 3-5]	압탕의 유효 비율	103
[표 3-6]	압탕 지름의 결정 방법	103
[표 3-7]	압탕의 유효 범위	105
[표 3-8]	구리합금주물의 주입온도	126
[표 4-1]	선설의 크기	130
[표 4-2]	강설의 품질 및 형상에 의한 분류	130
[표 4-3]	Fe-Si의 종류와 화학조성 및 크기	131
[표 4-4]	Fe-Mn의 종류와 화학조성	132
[표 4-5]	Fe-Cr의 종류와 화학조성	132
[표 4-6]	전기동의 화학성분표	133
[표 4-7]	알루미늄 지금의 성분표	133

[표 4-8] 주석지금의 성분표	133
[표 4-9] 아연지금의 성분표	134
[표 4-10] 납지금의 성분표	134
[표 4-11] 마그네슘지금 성분	134
[표 4-12] 인동지금의 성분표	135
[표 4-13] 주물용 청동지금의 성분표	135
[표 4-14] 인청동지금의 성분표	135
[표 4-15] 황동지금의 성분표	136
[표 4-16] 활자합금지금의 성분표	136
[표 4-17] 전극흑연설의 분석 값	137
[표 4-18] 가탄제별 황 함유량의 변화	137
[표 4-19] 각종 가탄제의 가탄속도	138
[표 4-20] 접종제의 종류와 그 성분	138
[표 4-21] 접종제의 원소가 흑연화에 미치는 영향	140
[표 4-22] 대표적 코크스의 성분 조성	141
[표 4-23] 납석벽돌의 화학조성 보기	141
[표 4-24] 마그네시아 벽돌의 조성 범위	141
[표 4-25] 석회석의 분석 보기	142
[표 4-26] 형석의 성분 범위	143
[표 4-27] 석회석, 백운석 및 마그네사이트의 비교	143
[표 4-28] 각종 연료의 발열량	144
[표 4-29] 표준입도	146
[표 4-30] 형상에 의한 내화물의 분류	149
[표 4-31] 조성에 의한 내화물의 분류	150
[표 4-32] 제게르추의 화학조성과 연화온도	151
[표 5-1] 가열원에 따른 가열 방식의 종류	159
[표 5-2] 주조용 용해로	160
[표 5-3] 노의 설치에 따른 도가니로의 분류	161
[표 5-4] 전기로의 종류	166
[표 6-1] 주물의 모양, 종류에 따른 수축공 발생	173
[표 6-2] 탄소함유량과 수축공 발생량	173
[표 6-3] 표면거칠기	180
[표 6-4] 주방품의 변형치수 허용차	180
[표 6-5] 합형의 허용차	180
[표 6-6] 주방품의 길이치수의 공차	181
[표 6-7] 주물두께의 허용공차	181
[표 6-8] 각종 비파괴 시험법의 특징	183

그림 목차

[그림 1-1]	성덕대왕신종	1
[그림 1-2]	금속활자	2
[그림 1-3]	용융 구리를 이용하여 창 만드는 방법	3
[그림 1-4]	주물의 제작공정도	4
[그림 1-5]	주물의 제조공정	5
[그림 2-1]	사형을 이용한 CO ₂ 주형	6
[그림 2-2]	주물과 조형	6
[그림 2-3]	회전형	8
[그림 2-4]	금기형	9
[그림 2-5]	골격형	9
[그림 2-6]	부분형	9
[그림 2-7]	정반형 목형	10
[그림 2-8]	변형 여유와 덧붙임	12
[그림 2-9]	라운딩	12
[그림 2-10]	스톱 밸브의 코어 박스	13
[그림 2-11]	제작된 스톱 밸브의 코어	13
[그림 2-12]	원형에 따른 코어 박스와 코어 프린트	13
[그림 2-13(a)]	저압 주조기와 구조	14
[그림 2-13(b)]	저압 주조 제품	14
[그림 2-14]	플런저 가압 응고법	16
[그림 2-15]	압입 용탕 단조법	16
[그림 2-16]	코티드 샌드 제조 설비	21
[그림 2-17]	심프슨 믹서 멀러기	22
[그림 2-18]	평균 입도 지수와 통기도 관계	23
[그림 2-19]	불순물과 셀 강도의 영향	23
[그림 2-20]	셀몰드 조형법의 각종 형식	25
[그림 2-21]	주형용 금형과 가스 발생의 관계	32
[그림 2-22(a)]	열가압실식 다이캐스팅기 구조	36
[그림 2-22(b)]	냉가압실식 다이캐스팅기 구조	36
[그림 2-23]	부스터램식 형조임 장치	37
[그림 2-24]	보조 실린더식 형조임 장치	37
[그림 2-25]	중압 실린더식 형조임 장치	37
[그림 2-26]	형삽입 방법	39
[그림 2-27]	금형 분할면	39

[그림 2-28]	금형의 각부 명칭	40
[그림 2-29]	탕도 주입구 각부의 명칭	40
[그림 2-30]	랜드와 피이드의 영향	40
[그림 2-31]	탕구의 평면 형상	40
[그림 2-32]	탕도의 형상과 유속 관계	41
[그림 2-33]	주입구의 종류	41
[그림 2-34]	탕도의 형상	42
[그림 2-35]	탕도의 방향성	42
[그림 2-36]	오버 플로우 크기와 위치	43
[그림 2-37]	아연 합금의 오버 플로우 주입구	43
[그림 2-38]	효과적인 가스 배출구	43
[그림 2-39]	다이캐스트와 사형 주물의 치수 허용차의 비교	44
[그림 2-40]	각종 주물 표면의 거칠기	44
[그림 2-41]	보온로	46
[그림 2-42]	Mg합금의 열가압식실 다이캐스트기	46
[그림 2-43]	역경사와 언더컷	55
[그림 2-44]	공극부와 외곽 거리	55
[그림 2-45]	경사 핀	55
[그림 2-46]	형합 및 분리시의 금형	55
[그림 2-47]	금형의 외곽면	56
[그림 2-48]	메탈 코어 사용 예	56
[그림 2-49]	코어 프린트 무	56
[그림 2-50]	코어 프린트 유	56
[그림 2-51]	리드 설치	56
[그림 2-52]	라운딩	57
[그림 2-53]	세라믹 혼입 불량 원인	57
[그림 2-54]	분할면의 홈	57
[그림 2-55]	축출 핀 및 안전 핀	58
[그림 2-56]	왁스의 응고 형식	59
[그림 2-57]	사출 시와 사출 후의 메탈 코어	62
[그림 2-58]	세라믹 코어 사용 예	62
[그림 2-59]	슬러리 배합 용기	68
[그림 2-60]	각종 내화물의 온도 상승에 따른 팽창률	72
[그림 3-1]	탕구계의 명칭	76
[그림 3-2]	주입컵	77
[그림 3-3]	각종의 탕구	78
[그림 3-4]	탕도	79
[그림 3-5]	탕도의 단면	79

[그림 3-6] 각종 주입구	80
[그림 3-7] 주입구의 단면	80
[그림 3-8] 주입구의 종류	81
[그림 3-9] 탕구계의 설치 보기	81
[그림 3-10] 상주식 탕구	82
[그림 3-11] 샤워형 탕구	82
[그림 3-12] 분할선 탕구	82
[그림 3-13] 하주식 탕구	82
[그림 3-14] 측면압탕을 통한 하주식 탕구	83
[그림 3-15] 다단식 탕구	83
[그림 3-16] 주형의 반전조작	84
[그림 3-17] 경사식 주입	84
[그림 3-18] 주입컵의 설계 보기	86
[그림 3-19] 탕류 설계	86
[그림 3-20] 탕구계의 만곡부에서의 용탕의 흐름	87
[그림 3-21] 용탕의 유속에 미치는 유선형 탕구계 효과	87
[그림 3-22] 탕구계의 갑작스런 확대 또는 축소로 인한 난류의 발생	87
[그림 3-23] 용탕의 난류에 미치는 탕구 설예의 영향	87
[그림 3-24] 탕구비	90
[그림 3-25] 압력 주입탕구계	90
[그림 3-26] 비압력 주입탕구계	90
[그림 3-27] 완전한 유선형 탕구계	91
[그림 3-28] 유효탕구의 높이	93
[그림 3-29] 압탕의 종류	96
[그림 3-30] 압탕의 설치 방법	96
[그림 3-31] 주물 연결부에서 열점의 형성을 방지하기 위해 사용된 외부 냉금의 사용	97
[그림 3-32] 냉금의 종류	98
[그림 3-33] 내부 냉금의 사용보기	98
[그림 3-34(a)] 채플릿의 종류	99
[그림 3-34(b)] 채플릿의 사용 보기	99
[그림 3-35] 압탕을 이용한 방향성 응고	100
[그림 3-36] 압탕, 철 메탈, 단열재에 의한 수축 방지	100
[그림 3-37] 압탕주물의 부피비와 형성 인자	101
[그림 3-38] 금속 덧살로 건전한 주물을 만드는 예	102
[그림 3-39] 측면 압탕	102
[그림 3-40] 상부 압탕	102
[그림 3-41] 주강 두께와 압탕, 급탕	103
[그림 3-42] 비철 주물의 압탕	104

[그림 3-43]	내접원에 의한 열점 위치결정	106
[그림 3-44]	T단면에서의 열점 제거방법	106
[그림 3-45]	방향성 응고를 하기 위한 주형의 설계	107
[그림 3-46]	방향성 응고를 촉진시키기 위해 관상주물에 덧살을 준 체질개선법	107
[그림 3-47]	걸치기 주입컵 면적	109
[그림 3-48]	걸치기 주입컵의 종류	110
[그림 3-49]	걸치기 주입컵 설계	110
[그림 3-50]	걸치기 주입컵의 구조와 치수	111
[그림 3-51]	동불주물에 사용되는 탕구양식의 종류	112
[그림 3-52]	휠주물의 탕구양식	112
[그림 3-53]	커플링주물의 탕구양식	113
[그림 3-54]	원통형 주물의 탕구양식	114
[그림 3-55]	링형주물의 탕구양식	115
[그림 3-56]	판주물의 탕구양식	115
[그림 3-57]	관 주물의 탕구양식	116
[그림 3-58]	주조방안 순서의 한 예	117
[그림 3-59]	응고시의 열이동과 유동	118
[그림 3-60]	금속 및 Al_2O_3 , MgO 의 열전도율	118
[그림 3-61]	반무한 고체의 표면온도를 순간적으로 T_1 로 변화시켰을 때의 온도분포	119
[그림 3-62]	V belt pulley 주탕시의 주철용탕의 유동	121
[그림 3-63]	다이캐스팅에 있어서의 용탕의 유동	122
[그림 3-64]	사형의 주탕시에 발생하는 결함	122
[그림 3-65]	직접차분법에 의한 중력주조시의 유동 시뮬레이션	123
[그림 3-66]	주강의 주조방안 예	125
[그림 3-67]	구리합금의 주조방안 예	127
[그림 3-68]	스크린 사용법	127
[그림 3-69]	압탕과 칠 메탈	127
[그림 4-1]	가탄제 첨가방법과 가탄과의 관계	138
[그림 4-2]	각종 탈황제의 첨가량과 탈황률	139
[그림 4-3]	제게르추의 크기	152
[그림 5-1]	용해로	161
[그림 5-2]	용선로(cupola)	162
[그림 5-3]	큐폴라의 구조 및 명칭	163
[그림 5-4]	야적장에서의 장입 재료	165
[그림 5-5]	아크로의 종류	168
[그림 5-6]	진공 용해로	170
[그림 6-1]	주물의 수축공	172
[그림 6-2]	콜트쇼트를 수반한 가스구멍	174

[그림 6-3]	개재물 혼입	174
[그림 6-4]	주물의 표면 결함	175
[그림 6-5]	주물표면에 모래가 소착된 예	176
[그림 6-6]	핫 스폿이 생기기 쉬운 곳	176
[그림 6-7]	냉각중 수축균열	177
[그림 6-8]	주탕불량	177
[그림 6-9]	주물의 지느러미	178
[그림 6-10]	수축에 의한 치수불량	178
[그림 6-11]	자분탐상시험법의 원리	182
[그림 7-1]	편치 아웃 머신	184
[그림 7-2]	셰이크 아웃 머신	185
[그림 7-3]	녹아웃 머신	185
[그림 7-4]	진동에 의한 탕구 제거	186
[그림 7-5]	탕구의 절단	187
[그림 7-6]	행어식 숏블라스트	188
[그림 7-7]	샌드브라스트	189
[그림 7-8]	텀블러 브라스트	189
[그림 7-9]	진동 청정 기구	190
[그림 7-10]	충전재에 의한 보수	192
[그림 7-11]	주철 주물의 메탈라이징	192
[그림 7-12]	회주철의 응력 제거 풀림에 의한 잔류 응력의 제거	195



제1장 주조란 무엇인가?

1. 주조의 정의

용해된 금속, 즉 용융금속을 만들고자 하는 모양의 주형(mould) 속에 주입·응고시켜 제품을 만드는 과정을 주조라 하며, 주조작업 후 얻어진 제품을 주물(casting) 또는 주조품이라 한다.

용융금속을 주형 속에 주입하여 단순한 덩어리로 만든 것을 잉곳(ingot)이라 하고, 주물은 이 잉곳과 구별된다. 주물은 응고하여 냉각되었을 때 단순한 금속 덩어리가 아닌 이미 목적하는 모양에 가까운 형상이다. 따라서 주물을 만들 때는 조형, 배합, 용해, 주입, 후처리 등의 각 부분의 요소가 완전히 일치되어야 한다. 즉, 충분한 금속의 유동성, 응고할 때의 수축, 기계적 성질, 주형으로서의 내구성 등을 고려해야 한다.

오늘날 우리가 사용하고 있는 금속은 거의 주물로 만들어서 사용할 수 있다. 다만 금속을 녹이는데 높은 열과 유동성이 양호하지 못한 금속은 주물을 만들기가 매우 곤란하다.

구리 및 구리 합금은 옛날부터 주물로 만들어 사용하여 왔는데, 이들 금속이 아름답고 녹이 슬지 않는 성질을 가졌기 때문이다. 아연, 납, 안티몬 등 백색금속은 아름다운 주물 표면을 가져 일용품이나 정밀기계 부품으로 사용되고 알루미늄, 마그네슘 등은 가볍고 강도를 필요로 하는 합금용 제품에, 또 철강류 역시 주물의 대부분을 차지하고 있다. 이와 같이 주물은 일용품 외에 자동차 엔진, 철도차량 부품, 선박용 부품, 주철관, 항공기 부품, 농기계 부품 등 전 산업에 사용되며 그 중요성은 매우 크다.



[그림 1-1] 성덕대왕신종

2. 주조의 특징 - 용융금속을 이용한 가공법

주조용 금속 재료를 가열, 용해한 용탕을 주형 속에 주입하고 응고시켜 소정의 형태로 만드는 과정을 주조라 하며, 이렇게 얻어진 제품을 주물이라 한다. 주물은 주괴(ingot)와 달리 2차 가공을 하지 않고 사용하는 것으로서 주형에 주입하여 응고시켰을 때 만들고자 하는 형상과 매우 비슷한 것이다.

이러한 주물을 만들 때 사용되는 원재료와 조업 조건은 주물의 품질에 크게 영향을 미친다. 이러한 주조기술의 특징은 다음과 같다.

- 1) 원하는 형태의 모든 것을 만들 수 있다.
- 2) 작은 것부터 큰 제품까지 모양과 무게에 관계없이 만들 수 있다.
- 3) 모든 합금의 주조가 가능하므로 이용할 수 있는 금속이나 합금의 폭이 넓다.
- 4) 다량생산을 할 수 있어 융통성이 크다.
- 5) 다른 가공기술에 비해 작업이 쉽다.

이와 같이 좋은 주물을 만들기 위해서는 금속의 용융점이 낮고, 유동성이 좋으며, 응고 시에는 수축이 적을 것 등의 조건을 갖추어야 한다.

3. 주조의 역사 - 주조는 5000년 이상의 역사를 가진 성형법

주물은 5000년 이상의 역사를 가진 성형법으로 미술품, 생활용품 등에 사용되었다. 인류 초기에는 구리합금이 사용되었는데, 이는 인류가 불을 이용할 수 있었기 때문에 처음에는 금속을 제련하는 야금공정에 불이 이용되었고 용융상태의 금속도 얻을 수가 있었다.

우리나라는 불교의 전래와 더불어 주조기술이 발전하였으며, 주물이 들어온 정확한 장소, 시간은 알려져 있지 않으나 삼한시대에 이미 제철을 하였고 이를 사용해서 철 화폐를 만들어 사용하였다. 2300년 전에 훌륭한 청동 제품을 제조하였고, 1200년 전에는 성덕대왕 신종과 같은 수톤(ton)에 이르는 대형주물이 우리 선조들의 손에 의하여 만들어졌으며, 고려시대에는 금속활자를 주조하여 현존 세계 최고(最古)의 금속활자본인 직지심경을 편찬하였다.



[그림 1-2] 금속활자

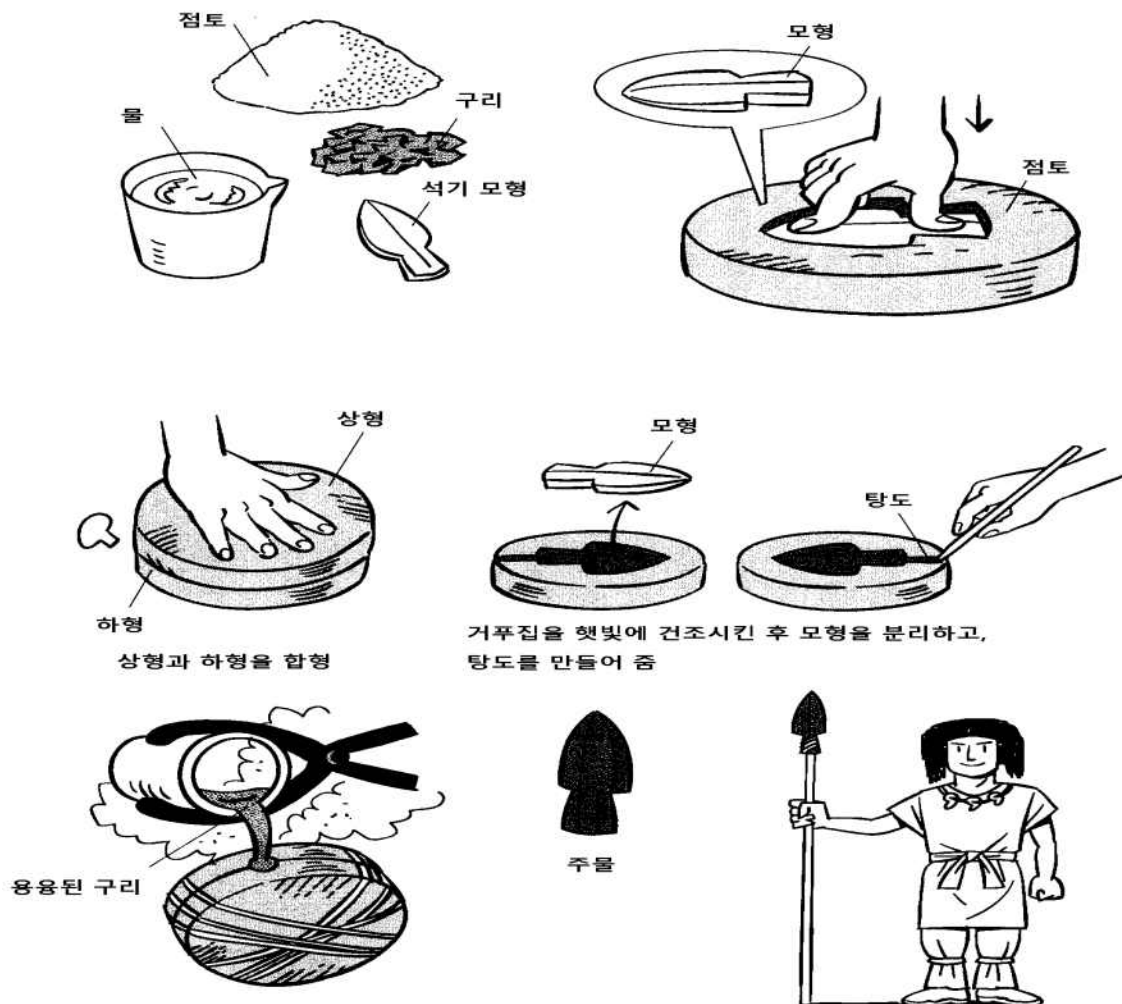
4. 주조의 원리 - 주물품의 제작원리

주물이 어떻게 만들어지는지에 대해 알아보기 위해 청동기 시대로 돌아가 창을 만드는 방법을 예를 들어 생각해보자.

먼저 창을 만들기 위해서 원형 또는 모형이 필요한데, 돌이나 나무 등을 이용하여 창 모양의 모형을 만든다. 다음으로 점토, 물, 구리 등을 준비하여 주형의 하형을 만들고 그림과 같이 창 모양의 모형을 만들어진 점토의 중앙에 놓고 눌러준다.

동일한 방법으로 상형을 만들어 주고, 용탕을 주입할 수 있도록 탕도를 만들어 주고, 건조시킨 후에 상형과 하형을 합형하고 용융된 구리를 만들어진 주형에 부어 준다.

마지막으로 주형 속의 용융된 금속이 완전히 굳으면 주형(거푸집)을 부수고 주물을 꺼내어주면 구리로 만들어진 창 주물품을 완성하게 된다.

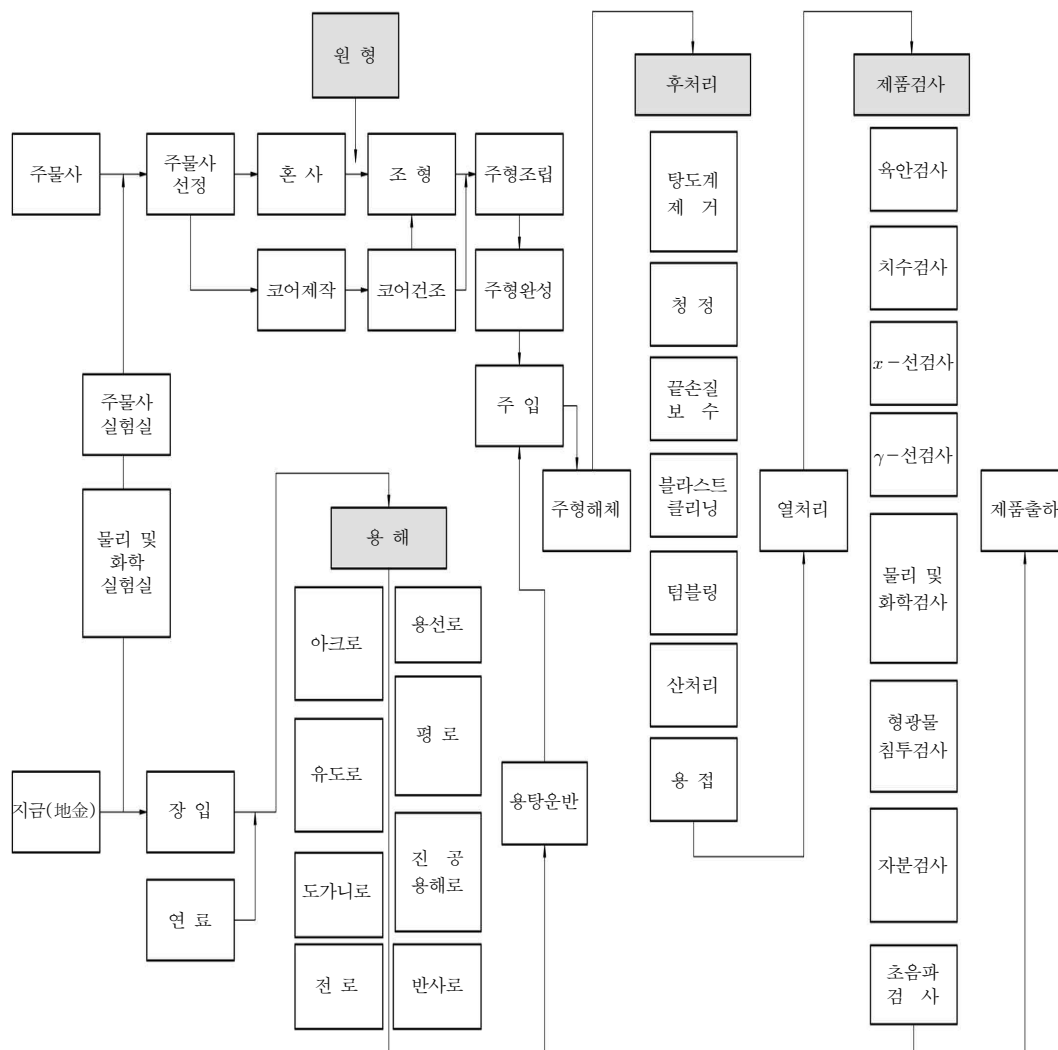


[그림 1-3] 용융 구리를 이용하여 창 만드는 방법

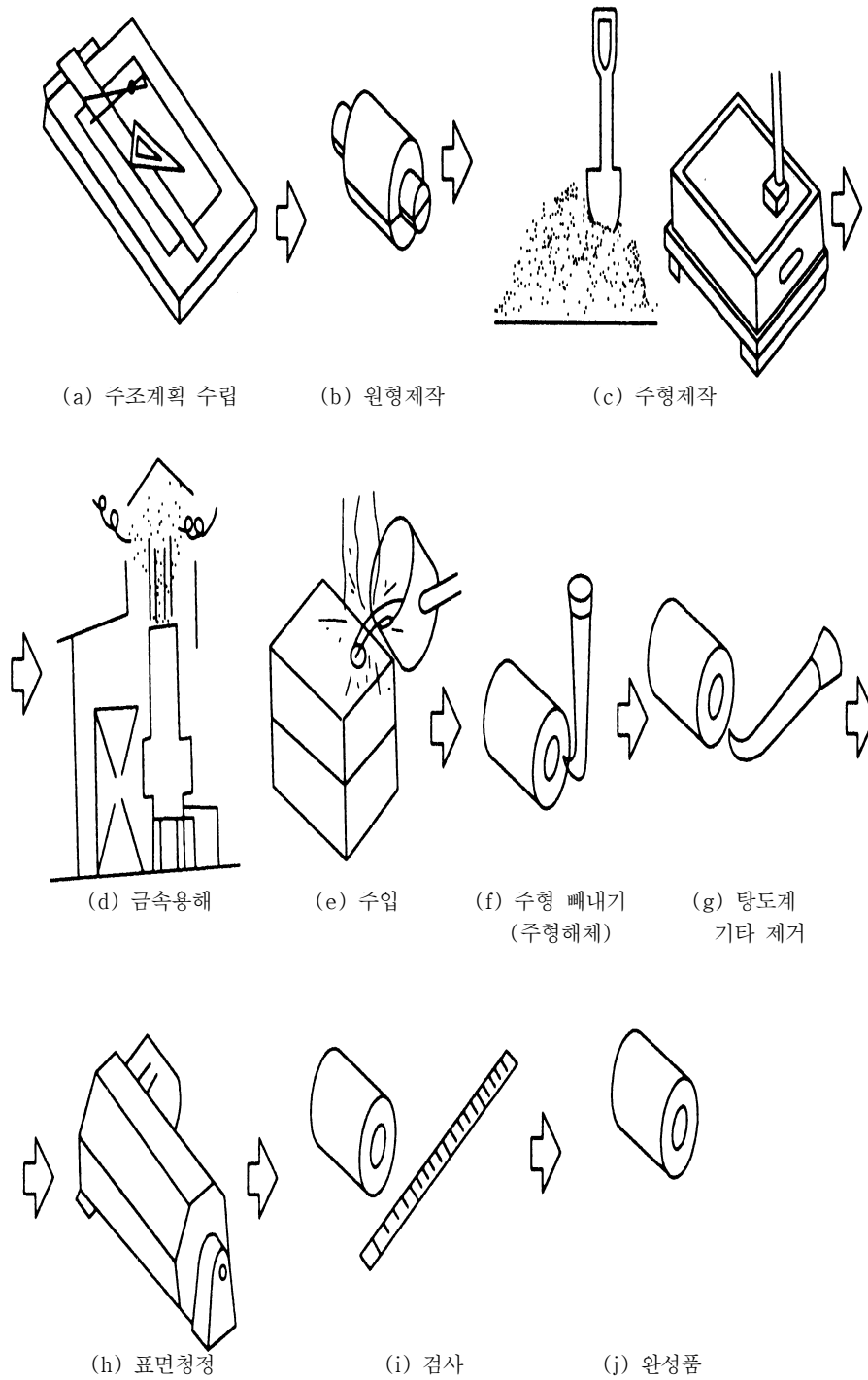
5. 주물의 제조과정

주물의 제조과정은 [그림 1-4]와 같이 매우 복잡하여 많은 인자들이 필요하다. 주조공정에 따라서는 기술자가 협력하여 종합적인 연구와 검토를 해야 하며, 이 중에서 한 공정의 작업이 불완전하면 건전한 주물을 만들 수 없게 된다.

어떤 제품을 생산하고자 할 경우는 제품의 재질뿐만 아니라 열처리 후의 성질 변화가 검토되어야 하고, 생산속도가 빠르고 정확하며 제조원가가 싼 주조방법은 무엇인가 고려되어야 한다. 즉 재질, 형상 치수 정밀도 표면거칠기 및 제조원가에 있어 수요자의 요구를 만족시키는 주조방안을 결정해야 한다. 작업공정별 내용은 [그림 1-5]와 같다.



[그림 1-4] 주물의 제작공정도



[그림 1-5] 주물의 제조과정¹⁾

1) NCS 분류번호 : 주조 공정 설계 (1601030103_16v4)

제2장 주조의 종류

1. 사형주조법²⁾

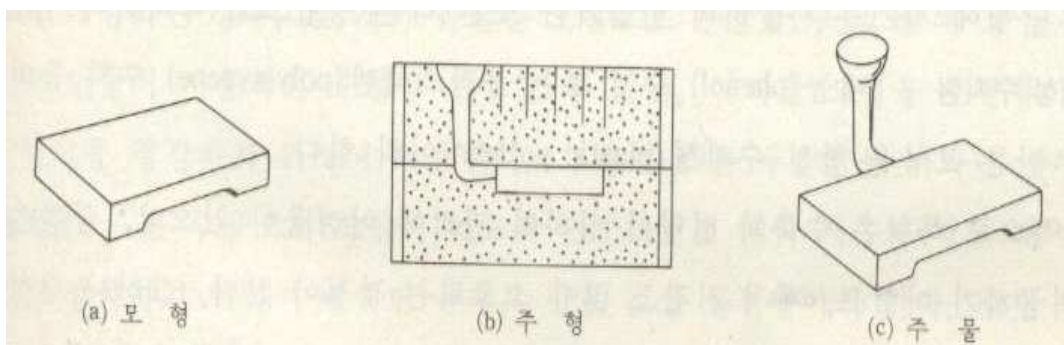


[그림 2-1] 사형을 이용한 CO₂ 주형

가. 원형의 종류와 재료

1) 원형의 정의

[그림 2-2]는 주물과 원형의 관계를 나타낸 것으로, (a)는 원형, (b)는 주형으로, 주형이 파괴되거나 변형되지 않도록 알맞은 주형 상자를 사용한 것이다. (c)는 용탕을 주입하고 응고시킨 후 주형으로부터 꺼낸 상태의 주물이며, 탕구, 탕도 또는 압탕 등을 잘라 내면 필요한 주조품인 주물이 된다.

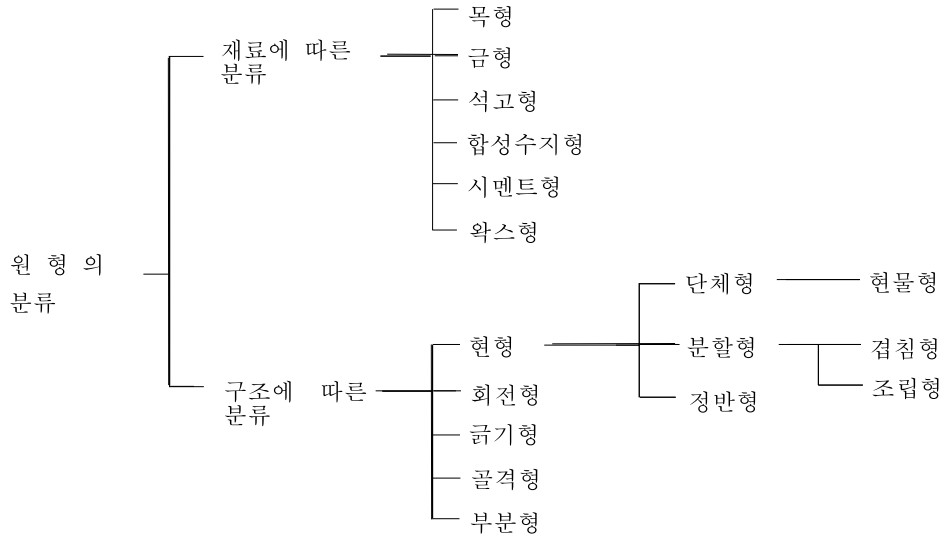


[그림 2-2] 주물과 조형

2) NCS 분류번호 : 일반 주형 조형 작업(1601030115_16v4)

원형은 주물의 기본이 되므로 건전한 주물을 제작하려면, 주조방안에 적합한 정확하고 쉽게 조형할 수 있는 원형을 만들어야 한다. [표 2-1]은 원형을 재료와 구조에 따라 분류하였다.

[표 2-1] 원형의 분류



2) 재료에 따른 분류³⁾

원형은 주조할 주물의 크기, 형상, 정밀도, 수량 및 조형 재료 등에 따라 여러 가지 사용되나 가장 많이 쓰이는 것은 목재이다. 목재로 만든 원형을 목형이라 하는데, 가공이 용이하며 제작비용이 적게 드는 장점이 있다. 원형 제작용 목재는 수분 함유량이 8~10%가 넘지 않도록 건조한다.

주철, 구리합금, 알루미늄합금 등의 금속을 사용하여 만든 원형을 금속원형, 즉 금형이라 하며 제작비가 비싸나 내구성과 정밀도가 높으며 다량 생산용으로 많이 이용된다.

이외에 현물을 원형으로 사용하는 현물형, 석고 원형, 합성수지 원형, 폴몰드 원형 등이 있다. 폴몰드 원형은 발포성 수지를 재료로 하여 만든 원형으로 이것을 주형 속에 넣고 그대로 용탕을 주입하면 발포성 수지가 연소, 소실되어 생긴 공간으로 용탕이 들어가 주물이 된다.




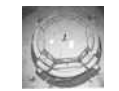
3) 구조에 따른 분류

(가) 현형

일반적으로 많이 사용하고 있는 모형으로, 주물과 거의 동일한 모양의 원형을 현형이라 한다. 조형 방법, 겉모양 및 구조에 따라서 단체형, 분할형, 조립형 등으로 나누어진다. [표 2-2]는 현형의 종류를 구분하여 나타내었다.

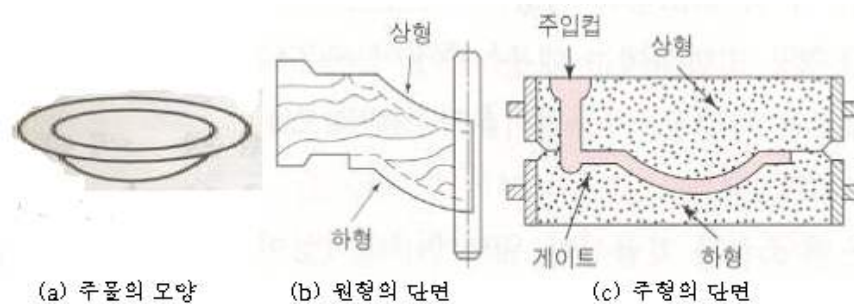
3) NCS 분류번호 : 일반 주형 조형 작업(1601030115_16v4)

[표 2-2] 현형의 종류와 특징

종 류	특 징	형상
단체형	원형의 모양 주물과 같은 형태로 분할되지 않고 한 덩어리로 된 것	
분할형	주형의 조형을 쉽게 하기 위하여 원형을 2개로 나누고 이를 다우얼(Dowel) 등으로 맞추게 한 것. 분할면은 될 수 있는 한 평면으로 되게 함.	
겹침형	분할면이 2개 이상으로 나누어진 원형	
조립형	복잡한 모양이나 대형인 원형을 여러 부분으로 분할하여 수직 또는 수평 다우얼로 맞춘 것	

(나) 회전형

주물의 반지름 단면과 같은 형상으로 된 회전판을 일정한 중심축 주위에 회전시켜 주형을 만드는 것으로, 간편하고 원형의 값은 저렴 하다. 그러나 조형 시간이 길고 숙련된 조형 기술이 있어야 하므로 선택에 유의하여야 한다. [그림 2-3] (a)는 회전형으로 제작된 주물의 모양을 나타내었고, [그림 2-3] (b)는 회전형 원형이며, [그림 2-3] (c)는 회전형 원형으로 조형된 주형의 단면을 나타내고 있으며 비교적 지름이 크고 제작 수량이 적은 벨트 풀리, 기어 및 종 등을 주조할 때 이용된다.



[그림 2-3] 회전형

(다) 굽기형

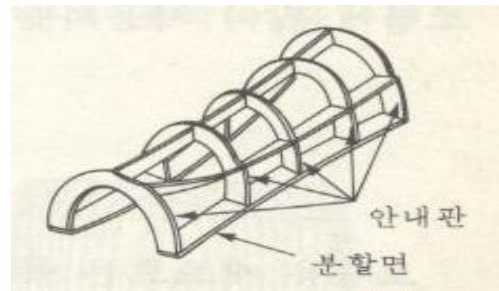
굽기형은 지름의 변화가 없는 균일한 단면을 가지며, 비교적 가늘고 긴 직관이나 곡관을 조형할 때 사용되는 모형이다. [그림 2-4]는 굽기형 원형의 굽기판과 안내판 등을 나타내고 있으며 현형에 비하여 원형 값은 저렴하지만 조형비가 비싸다.

(라) 골격형

큰 주물로서 모양이 비교적 단순하면서 제작 개수가 적을 때 재료와 가공비를 절약하기 위하여 뼈대만 목재로 만든 것을 골격형이라 한다. 주형 제작 시에 골격 사이를 모래로 메워 현형과 같이 보완하여 조형한다. [그림 2-5]는 골격형을 나타낸 것이다.



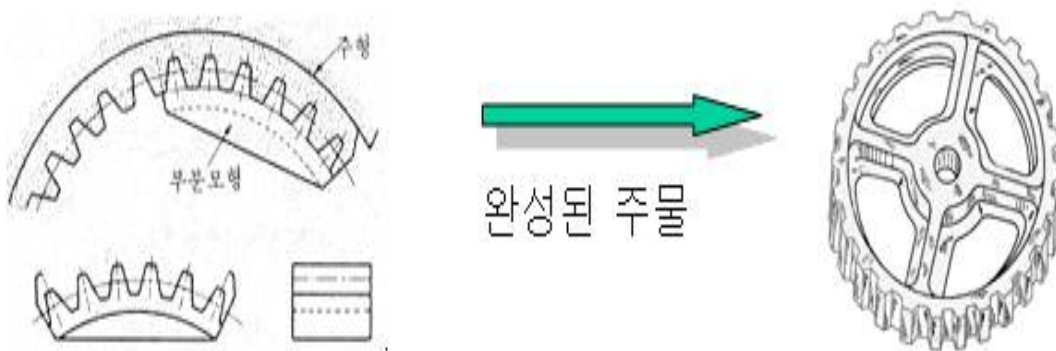
[그림 2-4] 골격형



[그림 2-5] 골격형

(마) 부분형

같은 모양의 부분이 연속되어 전체를 이루고 있을 때 그 일부분에 해당하는 원형이며, 부분형으로 주형 제작을 완성할 수 있을 때 사용한다. [그림 2-6]은 기어를 부분형으로 만들 예를 나타낸 것이다.



[그림 2-6] 부분형

(바) 정반형

정반형은 원형을 정반에 붙인 것으로, 원형을 정반의 한쪽 면에만 붙인 패턴 플레이트(pattern plate)와 상, 하 대칭으로 붙인 매치 플레이트(match plate)가 있다. 여기에는 탕구계와 압탕을 함께 설치한다. [그림 2-7]는 정반형 목형이다.



[그림 2-7] 정반형 목형

나. 원형 제작의 기초⁴⁾

1) 상형, 하형 및 분할형의 결정

상형, 하형 및 분할면의 결정은 좋은 주물을 만드는 데 가장 중요한 요소로, 상형, 하형을 결정할 때는

(가) 형을 씌울 때 코어가 안정할 것

(나) 코어의 가스가 잘 배출될 것

(다) 중요하거나 복잡한 주물의 면은 원칙적으로 하형에 놓이게 할 것

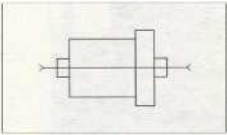
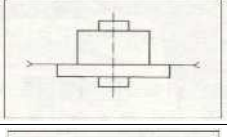
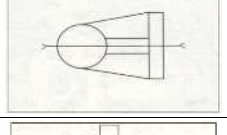
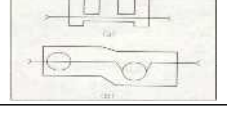
등을 고려해야 한다. 또한 분할면의 결정은 주형이 제작하기 쉬운 것, 원형이 잘 빠질 것, 형 씌우기가 용이하게 할 것 등이다.

2) 분할형의 결정 기준

분할면의 결정 기준은 주형 제작 시 작업의 능률을 결정하는 중요한 요소로 원형의 형상에 따라 표 [2-3]과 같이 결정한다.

4) NCS 분류번호 : 원형 제작(1601030114_16v4)

[표 2-3] 형상에 따른 분할면의 표시

구 분	특 징	분할면의 표시
원형이 쉽게 빠지는 경우	리브에 원형 기울기가 있을 경우나 원형 기울기가 없어도 주형에서 목형이 쉽게 빠질 수 있는 경우	
원형 기울기가 없는 경우	리브에 원형 기울기가 없거나 주형에서 쉽게 목형을 빼낼 수 없는 경우	
상형과 하형의 형상이 비슷한 경우	둥근 모서리를 가진 형상과 상·하의 형상이 비슷한 경우	
복잡한 형상의 경우	복잡한 형상과 돌출부(boss)가 있거나 혹은 구멍이 중심과 일치하지 않을 경우	

3) 수축 여유

금속은 응고시 상온으로 냉각되면서 액상 수축과 고상 수축을 일으킨다. 재질별 수축률은 보통 주철과 일부 얇은 주강은 8/1000, 수축이 큰 주철 및 일부 얇은 주강 9/1000, 황동 및 알루미늄 10/1000, 알루미늄합금, 청동, 주강(두께 5~7mm) 12/1000, 고력 황동, 주강 14/1000, 주강(두께 10 이하) 16/1000, 대형 주강 20/1000, 두꺼운 대형 주강 25/1000이다. 액상 수축은 응고 시 압탕에서 보충할 수 있으나 고상 수축은 압탕에서 보충할 수 없기 때문에 수축률만큼 긴 자를 이용하여 원형을 크게 만들어 수축을 보정하여야 한다. 이를 수축 여유라 하며, 이때 사용하는 자를 주물자라 한다.

4) 가공 여유

주조 후 기계 절삭가공하는 부분은 마무리에 필요한 여유만큼 크게 할 필요가 있다. 이를 가공 여유라 하며 주입하는 금속의 재질, 크기, 상형과 하형의 방향, 기계가공 조건에 따라 다르다. [표 2-4]에 주물의 가공 여유를 나타냈다.

[표 2-4] 가공 여유

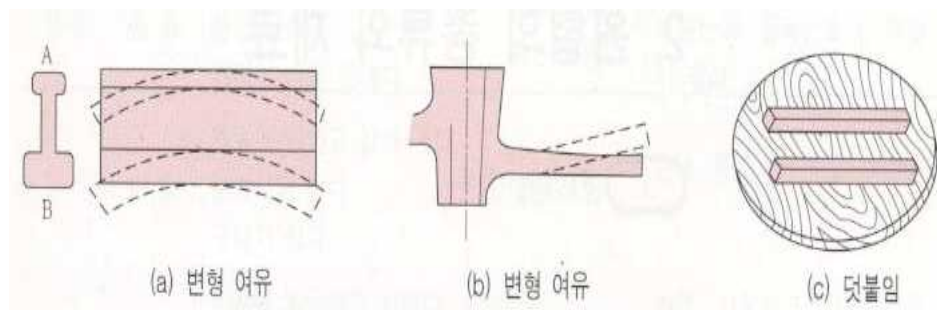
크기 재질	150 이하	300 이하	600 이하	1000 이하
주철	1.5	2	2	2
주강	4	5	7	10
구리 합금	2	3	4	5
알루미늄 합금	2	3	4	5

5) 원형 기울기

주형에서 수직인 면을 가진 원형을 빼낼 때 그 면이 클수록, 길이가 길수록 작업이 곤란하여 주형이 파손되기 쉬우므로 원형을 빼내는 방향에 기울기를 주는데, 이를 원형 기울기 또는 빼기 기울기라 하며 보통 $1/4 \sim 1^\circ$ 정도이다.

6) 변형 여유와 덧붙임

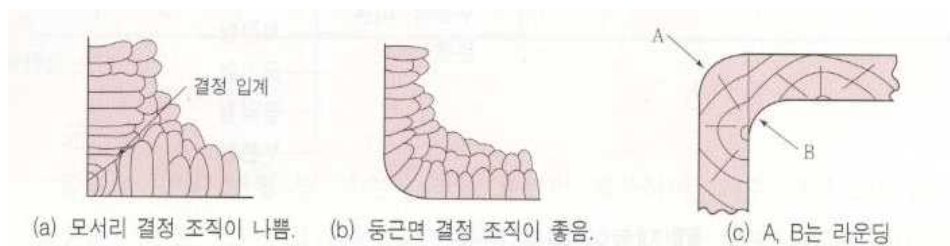
주물은 냉각 과정에서 형상과 냉각 속도의 차에 따라 인장 응력이 생겨 휨이 발생한다. 이를 미리 예측하여 [그림 2-8] (a), (b)와 같이 그 반대 방향으로 변형시켜 만들어 주는 것을 변형 여유라고 한다. 덧붙임은 얇은 제품에 휨 방지용 보강대를 [그림 2-8] (c)와 같이 붙여 준다.



[그림 2-8] 변형 여유와 덧붙임

7) 라운딩

라운딩은 주물의 모서리 부분을 둥글게 만들어 주는 것이며, [그림 2-9] (a)는 모서리 면이 있는 경우인데, 이를 [그림 2-9] (c)처럼 모서리를 둥글게 처리한다. [그림 2-9] (c)의 경우는 원형을 주형에서 빼낼 때 주형의 파손을 방지하여 건전한 주물을 얻게 하며, 응고 시 결함을 막아 준다.



[그림 2-9] 라운딩

8) 코어와 코어 프린트

코어는 주조 상태에서 속이 비어 있는 부분이나 오목한 부분을 만들기 위하여 사용하는 것이며, 코어를 제작할 때 사용하는 틀을 코어형틀 또는 코어 박스라 한다. 주형을 만들기 위해서는 코어를 지지하고 고정해야 하는데 이 역할을 하는 것이 코

어 프린트이다. 코어 프린트는 코어에 붙어 있는 돌출 부분으로, 코어를 주형 속의 정해진 위치에 고정하는 역할을 한다.

[그림 2-10]은 스톱 밸브의 코어 박스를 나타내며 [그림 2-11]은 분할형으로 제작된 스톱 밸브코어의 상, 하형을 나타낸 것이다.

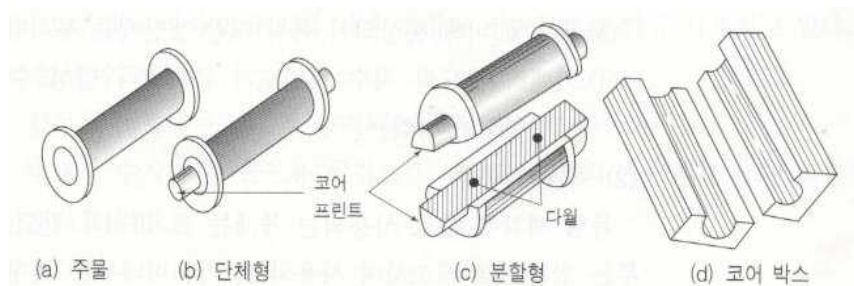


[그림 2-11] 제작된 스톱 밸브의 코어



[그림 2-10] 스톱 밸브의 코어 박스

[그림 2-12] (a)는 주물의 형태이고, [그림 2-12] (b)와 [그림 2-12] (c)는 단체형과 분할형의 원형에서 코어 프린트를 표시하고 있으며, [그림 2-12] (d)는 코어 박스를 나타내었다.



[그림 2-12] 원형에 따른 코어 박스와 코어 프린트

2. 저압주조법⁵⁾

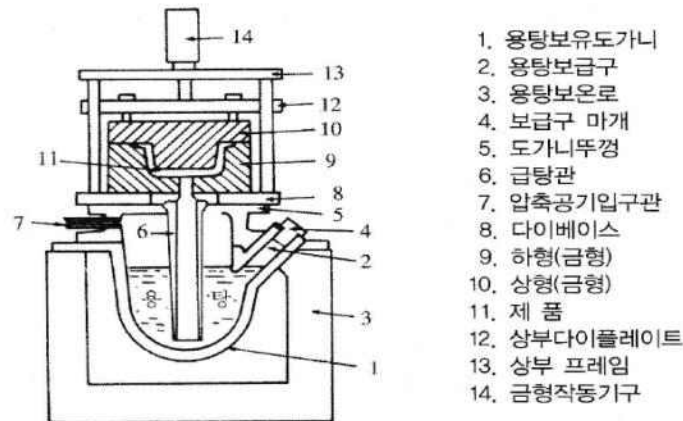
가. 저압 주조법 개요

1) 저압 주조법의 정의

저압 주조법은 밀폐된 용기 내의 용탕면에 비교적 작은 압력의 기체를 가압하여 용탕 내에 들어가 있는 급탕관(stock)을 통하여 중력과 반대 방향으로 용탕을 밀어 올려 급탕관 위쪽에 설치된 금형에 주입하는 주조법이다.

5) NCS 분류번호 : 저압 주조(1601030805_18v1)

저압 주조법은 공기 또는 불활성가스를 $0.2 \sim 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ 정도의 압력으로 압입시켜 도가니 안에 장치된 급탕관을 통하여 [그림 2-13(a)]의 장치 등에 소정 시간 가압한다. 그런 다음 압력을 제거하면 주형 내의 용탕은 응고되지만 탕구 이하의 용탕은 급탕관을 역류하여 아래쪽에 있는 도가니로 떨어진다. 보온로, 도가니, 급탕관, 주형 및 주형 개폐 장치 등으로 구성되어 있는 것을 볼 수 있다.



[그림 2-13(a)] 저압 주조기와 구조

가압 과정은 크게 3단계로 나눈다.

제1단계는 가압 개시로부터 탕구 직하까지 급탕관 속을 용탕이 상승하는 과정이다. 제2단계는 용탕이 탕구를 통하여 금형 공간 안으로 주입되는 과정이다. 그리고 제3단계는 주입 완료 후의 응고 과정으로 압탕 효과에 관계되는 가압이다.

주입 압력이 낮으므로 셀몰드나 알루미늄 합금의 저압 주조에서는 주형 재료로 금형을 사용하지만, 사형주조도 CO_2 형과 같이 강한 사형이면 사용이 가능하다. 자동차 용 휠, 실린더 헤드, 크랭크실, 기어 박스 등의 제조에 이용된다. [그림 2-13(b)]는 저압 주조법으로 생산된 자동차 휠이다.



[그림 2-13(b)] 저압 주조 제품

2) 저압 주조법의 특징

저압 주조법은 사용하는 주형에 있어 금형 주조법과 비슷하나 용탕 주입이 중력과 반대 방향으로 주입하는 것과 주입 속도를 제어한다는 점이 다르다. 저압 주조법의 장점과 단점은 [표 2-5]과 같다.

[표 2-5] 저압 주조법의 특징

장점	① 압탕, 탕구 등이 필요 없으므로 회수율이 90% 이상으로 매우 높고, 주조 후 끝손질이 줄어든다. ② 지향성 응고가 쉽게 이루어지므로 기공이나 수축공이 적은 건전한 주물을 얻을 수 있다. ③ 도가니가 밀폐되어 있으므로 용탕의 산화가 적고, 주입 시 산화물의 혼입이 적어 깨끗한 주물을 얻을 수 있다. ④ 용탕의 주입 속도를 자유롭게 조절할 수 있다. ⑤ 비교적 복잡하거나 살두께가 얇은 주물의 주조가 가능하다. ⑥ 대형 주물의 주조가 가능하고, 설비비가 비교적 적게 든다.
단점	① 생산성이 그다지 좋지 않으며, 다이캐스팅법의 20 ~ 38% 정도이다. ② 주조할 수 있는 금속의 종류가 제한되어 있다. ③ 전반적으로 엄격한 관리가 필요하다. ④ 제품의 중간에 목이 있는 경우에는 용탕을 밑에서 밀어 올리기가 어렵다.

알루미늄 합금의 경우 적당한 주입 온도는 650~750℃이며 형상, 살두께 및 합금에 따라 적당한 온도를 구한다. 조형 온도는 300~400℃ 이고 금형 하부 쪽이 열원에 가까우므로 금형의 온도 분포는 탕구 부근이 50~100℃ 정도 높으며, 지향성 응고를 위해 적합한 온도 기울기를 나타낸다. 금형을 폐쇄한 후 가압을 시작하면 도가니 내 압력의 상승과 함께 용탕은 급탕관 내를 조용히 상승하고 주형 내를 충전한다. 소정 시간 가압을 유지하였다가 압력을 제거하며 주형 내에서부터 탕구까지 용탕은 응고하지만 탕구부 이하 급탕관 내의 용탕은 다시 도가니에 거꾸로 돌아간다. 금형은 얼마 동안 그대로 유지하여 냉각을 기다렸다가 금형을 개방하여 주물 제품을 꺼낸다.

3. 고압주조법⁶⁾

가. 고압 주조법의 원리

1) 고압주조법의 정의

고압 주조법은 고압 응고 주조법(squeeze casting)을 말하며, 주형 내에 주입된 금속에 용융 또는 반용융 상태에서부터 응고가 완료될 때까지 기계적인 고압력을 가하면서

6) NCS 분류번호 : 용탕 단조(1601030810_18v1)

제품을 성형하는 방법이다. 이 방법은 용탕을 직접 가압, 성형하므로 용탕 단조법이라고도 하며, 단조와 조합된 주조법이란 뜻에서 단조 주조법이라고도 한다.

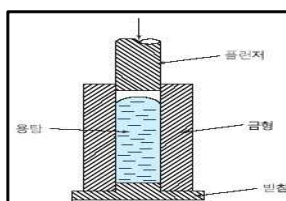
외력을 주조에 이용하는 방법은 일반적으로 가압 또는 압력 주조라 부르고 있으나, 중력 이외의 외력을 가함으로써 용융 또는 반응용 금속을 주형 내에 주입한다든가 또는 주형 내에서 응고시켜 소요 형상의 주물을 만드는 주조법으로 구분한다면, 가압 주조법과 가압 응고법으로 대별된다.

[표 2-6] 고압 응고 주조법

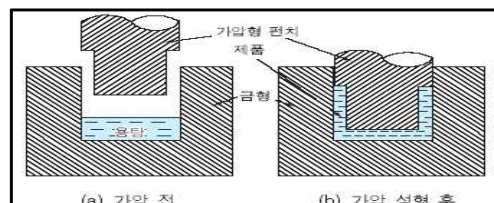
고압 응고법	주형 내에 주탕된 금속이 완전히 녹아 있는 상태, 또는 반응용(액상+고상 공존) 상태에 있을 때 압력(press)에 의한 기계적 고압력을 가하여 제품을 형성하고 응고가 완료할 때까지 가압을 유지하는 것이 고압 응고법의 기본적 원리이다.
가압 응고법	가압 응고법은 보다 적극적으로, 보다 강력하게 외적인 압력을 이용하여 응고 과정을 조절한다. 기계적 방법이기 때문에 생산기술로 성립되기 쉽고 다른 곳에서 예를 볼 수 없는 특색 있는 주조기술로서 최근 급속하게 관심을 모으고 있다.

2) 고압 응고 주조법의 종류

고압 응고 주조법의 종류에는 [그림 2-14]과 [그림 2-15]와 같이 용탕을 이동하지 않고, 가압 압축하는 플런저 가압 응고법과 성형 펀치의 압입에 의해 용탕의 이동이 이루어져 성형되는 압입 용탕 단조법이 있다. 전자는 잉곳(ingot) 또는 비교적 모양이 단순하고 두꺼운 주물의 제조에 적합하고 후자는 얇은 제품의 주조에 적당하다.



[그림 2-14] 플런저 가압 응고법



[그림 2-15] 압입 용탕 단조법

나. 고압 응고 주조의 특징

1) 고압 응고 주조법 특징

고압 응고 주조법은 금형 내의 용탕에 프레스로 높은 압력을 가함으로써 수축 및 기공 등의 구조 결함이 없는 미세한 조직을 얻을 수 있다. 기계적 특성 및 치수 정밀도가 우수한 고품질의 제품을 얻을 수 있는 주조기술이다.

기계적 성질에 미치는 가압 효과는 기공의 제거와 공정 조직 등의 미세화가 주원인으로 꼽힌다. 따라서 Al-Si 계와 같이 비교적 큰 공정이 무질서하게 존재하는 합금계, 또는 Al-Mg 계, Cu-Sn 계와 같이 응고 온도 범위가 커 보통의 주조법에서는 미세 기공을 배제할 수 없는 합금계에는 특히 유효하여 기계적 성질, 특히 연신율이

현저하게 증가한다. 또 가압에 의하여 주물의 표면과 내부 성질의 차이가 없게 된다.

Al-Si 계 41-8% Si합금에서의 중심과 변두리 등의 강도를 중력 주조와 고압 주조로 [표 2-7]에 각 위치의 기계적 성질을 나타내었다. 현재 고압 응고 주조법에 의해 생산되고 있는 합금은 Al합금, Cu합금 이외에 주철, 주강, 스테인리스강 등이 있다.

[표 2-7] 각 위치의 기계적 성질 (41-8% Si, 주입 온도 780°C, 금형 온도 200°C)

구 분	가압 2,000kgf/cm ²		가압 0 (중력 주조)	
	강도(kgf/mm ²)	연신율(%)	강도(kgf/mm ²)	연신율(%)
변 부	17.0	12.5	14.1	7.0
간 부	17.3	12.0	12.9	5.0
심 부	17.2	12.0	10.2	2.5

2) 고압 응고 주조법의 장점

- (가) 수축공, 미세기공 등의 주조 결함이 없다.
- (나) 잔류 가스에 의한 악영향을 배제한다.
- (다) 조직의 미세화, 균질화 및 고밀도화를 이룰 수 있다.
- (라) 주물 표면이 곱고 윤곽이 뚜렷하다.
- (마) 회수율의 개선을 할 수 있다.

4. 셸몰드법⁷⁾

셸몰드법(Shell mould process)은 1944년 독일의 요하네스 크로닝(J. Croning)에 의해 발명된 주형제조 방법으로, 건조 규사와 100~200 메시(mesh) 정도의 수지 점결제(일반적으로 노블락계의 페놀 수지)를 배합한 합성사를 200~300°C로 가열, 경화시켜 얇은 조개껍질상의 주형을 만드는 방법을 말한다. 이 방법을 발명자의 이름을 붙여 크로닝 프로세스(Croning process), 또는 C 프로세스라고 부른다.

가. 셸몰드법의 특성

셸몰드법은 일반 사형법(砂型法)과 비교하여 다음과 같은 특성이 있다.

□ 장점

- 1) 균질, 균등의 주물이 양산된다.
- 2) 치수 정밀도가 높고 제품 표면이 우수하기 때문에 기계가공이 절감된다.

7) NCS 분류번호 : 셸몰드 주조(1601030803_18v1)

- 3) 조형 작업에 숙련공을 필요로 하지 않는다.
- 4) 주형은 강도가 높고 중량이 가볍기 때문에 취급이 편리하다.
- 5) 주형을 입체적으로 저장 할 수 있으며, 장기간 보존할 수 있다.
- 6) 통기성이 좋기 때문에 주물의 큰 결점인 가스로 인한 주물 불량률이 적다.
- 7) 기계화로 대량생산이 용이하다.
- 8) 셀몰드형에서는 수분이 없기 때문에 끓거나 모래집, 흙집 등이 적은 양질의 주물을 만들 수 있다.

□ 단점

- 1) 대형 주물에는 사용이 어렵다.
- 2) 원가면으로 볼 때 소량생산에는 부적합하다.

셀몰드법은 치수의 정밀도가 로스트왁스법이나 경합금의 다이캐스팅 다음으로 좋으며 경합금, 주철, 주강이나 어떠한 금속에서도 사용할 수 있어 많이 이용된다. 셀몰드법의 치수 정밀도를 다른 주조법과 비교하면 [표 2-8]과 같다.

[표 2-8] 치수의 정밀도 비교(50mm 정도의 길이)

조형법	사형법	CO ₂ 법	다이캐스팅법	로스트왁스법	셀형법
정밀도(허용차)	±0.1~±1.5	±0.2~±1.2	±0.05~±0.2	±0.05~±0.2	±0.1~±0.5

나. 셀사의 분류

셀몰드법은 모래에 수지 점결제를 코팅하여 사용하며, 페놀수지계의 셀사는 분말수지계와 수지 코팅사계로 분류할 수 있다.

1) 분말수지계(powder resin sand)

규사와 분말 레진을 혼련기에 넣어 균일하게 혼합하는 방법으로 다음과 같은 장점과 단점이 있다.

□ 장점

- (가) 규사와 분말 레진을 균일하게 배합할 수 있는 혼련기만 있으면 간단하게 셀사를 얻을 수 있다.
- (나) 주탕시에 레진이 완충제 역할을 하므로 형이 파손되는 일이 적다.

□ 단점

- (가) 코팅되어 있지 않으므로 블로잉(blowing) 방식의 주형에서는 레진의 편석이 발생

하기 쉽고, 균일한 주형을 얻기가 어렵다.

(나) 코팅되어 있지 않으므로 레진의 첨가량을 많지 않으면, 강한 주형을 얻기 어렵다.

(다) 먼지가 많이 난다.

배합 예

a : 규사, b : 액상 수지(분말 페놀 레진) 4%, c : 등유 0.1%

a + c $\xrightarrow{27\sim30\text{초 혼련}}$ b $\xrightarrow{2\text{분 } 30\text{초 혼련}}$ 모래 배출

다. 수지 코팅사(resin coated sand)

수지 코팅사의 제조방법을 크게 분류하면 세 가지 방법이 있다. 냉간 혼련법, 반열간 혼련법, 열간 혼련법이다.

1) 냉간 혼련법(cold mulling process)

냉간 혼련법은 상온의 모래에 분말 레진과 메탄올을 가하여 배합하는 방법과, 액상 레진을 경화제인 헥사 메틸렌 테트라 아민(hexa methylene tetra amin 이하 ‘헥사’라 줄임)을 가하여 도장하는 방법, 또는 분말 레진과 액상 레진을 병용하여 사용하기도 한다. 다른 방법과 비교한 냉간 혼련법 특징은 다음과 같다.

(가) 모래 가열장치나 이에 부수되는 장치가 필요 없으므로 설비비가 적게 들고 간단한 혼련기만 있으면 된다.

(나) 상온의 모래를 사용하므로 혼련 중 레진의 반응이 적고, 열간법(hot mulling) 등에 비해서 주탕 시 주형의 완충 효과가 있으며 주형이 깨지거나 변형됨이 적다.

(다) 혼련에 부하(負荷)가 많이 걸리고 한번 혼련되는 모래의 혼합량도 적어 혼련 기간이 길어지는 단점이 있다.

(라) 분말 레진과 용제를 사용하므로 혼련기 내부가 오염되고 또 용제가 완전히 휘발되지 않으므로 코팅사의 덩어리짐(blocking)이 일어나기 쉽다.

배합 예

a : 규사, b : 메탄올(레진에 대하여 40%), c : 분말 레진(규사의 3.5%), d : 분산제(규사의 0.1%)

a + b $\xrightarrow{20\text{초}}$ c $\xrightarrow{60\text{초}}$ $\xrightarrow[120\text{초}]{\text{냉각}}$ d $\xrightarrow{30\text{초}}$ 모래 배출

2) 반열간 혼련법(semi-hot mulling process)

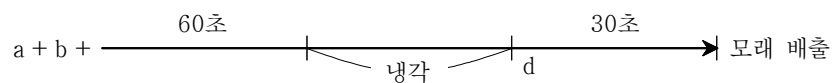
규사를 미리 80~110℃ 정도로 예열한 상태에 액상 레진을 혼련하는 방법으로, 열에 의해 액상 레진의 정도를 저하시켜 습윤성(wetting)을 향상시켜 피복성을 좋게

한다. 또 용제의 휘발을 촉진하여 미휘발 용제를 없애는 방법이며, 특징은 다음과 같다.

- (가) 셀사의 덩어리짐이 비교적 적다.
- (나) 냉간법과 비교하여 피복도 균일하게 되고 레진 단위량의 강도가 높다.
- (다) 용제를 가열된 규사에 사용하기 때문에 인화 및 폭발의 위험이 크다.

배합 예

a : 규사, b : 액상 레진(규사의 3%), c : 헥사(레진의 15%), d : 분산제(규사의 0.1%),
b,c는 미리 혼합해 둔다.



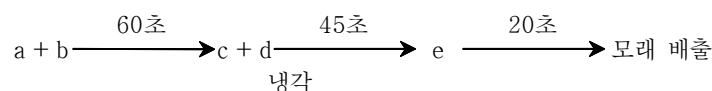
3) 열간 혼련법(hot mulling process)

규사를 미리 130~160℃ 정도 예열해 두고, 고형수지(노브락)에 습윤제를 가하여 10분정도 교반한 다음 수지가 용해되어 80~90℃ 까지 냉각되었을 때 헥사 수용액을 가하여 냉각, 분산시켜 혼련하는 방법이며, 특징은 다음과 같다.

- (가) 유기 용제를 사용하지 않기 때문에 여러 가지 위험이나 사고가 적고 피복량이 적어도 된다.
- (나) 피복이 완전하게 이루어지기 쉽고 단위 레진당 강도도 높으며 균일한 주형이 된다.
- (다) 혼련시 부하가 적고 혼련 시간이 향상되며 대량생산 방식에 적합하다.
- (라) 모래 가열장치와 혼련중의 냉각장치를 필요로 하기 때문에 설비 비용이 많이 든다.
- (마) 이 방법으로 얻어진 코티드 샌드(coated sand)는 경화 속도가 너무 빠르므로 덤프(dump)식 주형의 조형에서는 비교적 얇은 셀을 얻기 어려우며 완충 효과가 적기 때문에 주탕 시 셀이 깨지는 현상이 일어나기 쉽다.

배합 예

a : 규사, b : 편상(flake) 액상 레진(규사의 3%), c : 헥사(레진의 15%),
d : 물(규사의 1.5%), e : 분산제(규사의 0.1%), c,d는 미리 용해하여 둔다.



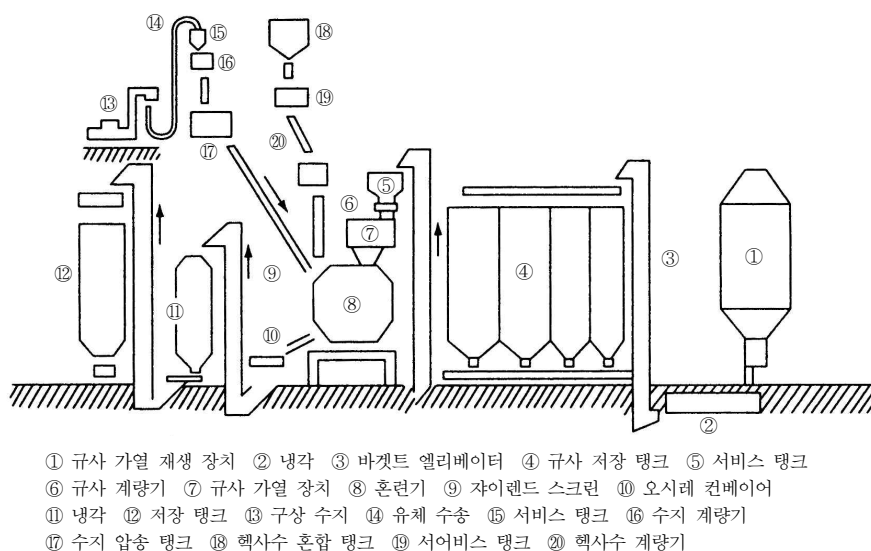
아래 [표 2-9]는 분말 수지계와 수지 코팅계간의 비교표이다.

[표 2-9] 레진 코티드 샌드(resin coated sand)의 비교

구 분	powder resin sand	resin coated sand		
		냉간혼련법	반열간혼련법	열간혼련법
배 합	분말노보락+헥사아민 +습윤제	분말노보락+헥사아민+ 용제+액상수지	액상수지+헥사아민	구상수지+헥사아민+액 상수지
혼련온도	상 온	상 온	80~110℃	120~160℃
특 징	<ul style="list-style-type: none"> • 혼련이 용이 • 수지 배합량이 많이 든다. • 충전성이 나쁘다. • 금형의 오염이 크다. • 흡습성이 크다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 수지가 균일하게 피복 된다. • 배합량이 적다. • 유동성이 크고, 복잡한 성형도 된다. • 소성 시간이 단축된다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 혼련기의 청소가 곤란하다. • 혼련 에너지가 크다. • 덩어리짐이 발생하기 쉽다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 발열간 혼련법보다 혼련 에너지가 적다. • 설비비가 높지만 단가는 싸다.

라. 레진 코티드 샌드의 제조 설비

열간 혼련법(hot mulling process)에 의한 코티드 샌드 제조 장치는 [그림 2-16]과 같다.



[그림 2-16] 코티드 샌드 제조 설비

1) 모래 가열장치

규사 가열장치는 회전 가열기와 중형 가열기로 구분할 수 있다. 주로 회전 가열기가 많이 사용되고 있기 때문에 이에 대해서만 설명한다.

회전 가열기는 규사를 원통 중에 넣어 회전하면서 가열하는 장치이다. 가열 방법에 따라 원통 중의 연소 가스를 통해 직접 재료를 가열한 것과, 원통의 외부를 가열

해 간접으로 가열하는 방법으로 나뉜다. 레진 코티드 샌드 제조용으로서 직접 연소가스를 접촉시키는 직접가열 방식이 많이 사용되고 있다.

2) 혼련기(mixer)

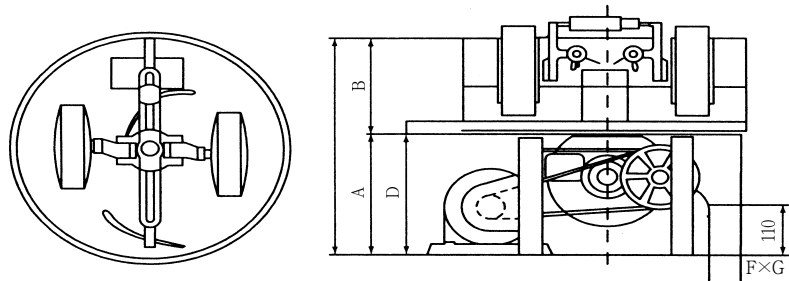
레진 코티드 샌드 제조에 있어 혼련기가 차지하는 비중은 대단히 크다. 사용하는 혼련기에 따라 레진 코티드 샌드의 품질과 가격이 크게 변한다. 따라서 혼련기의 선택에는 생산량, 요구 품질 등 그 중요 요소를 충분히 고려해야 한다.

3) 스피드 믹서 멀러(speed mixer muller)

스피드 멀러의 내부에는 자유로이 회전하는 2개의 볼이 있고 크로스 헤드 자체가 회전한다. 크로스 헤드 회전 볼의 자유 회전, 그리고 스피드 멀러 저부에 있는 스크레파의 움직임에 따라 규사에 수지를 피복시킨다.

4) 심프슨 믹서 멀러(simpson mixer muller)

심프슨 믹서 멀러는 수지와 규사를 멀러 롤과 프로펠러로 혼련한다. 한쪽 멀러 롤은 로크-암과 주축에 의해 결합되고 핀을 지점으로 레진 샌드 위를 회전한다. 또한 안쪽 프로펠러와 바깥쪽 프로펠러는 바닥 위를 회전하면서 구석구석 레진 샌드를 피복시켜 준다. [그림 2-17]은 심프슨 믹서 멀러기를 나타낸 것이다.



[그림 2-17] 심프슨 믹서 멀러기

라. 셸몰드 주조 재료 선택

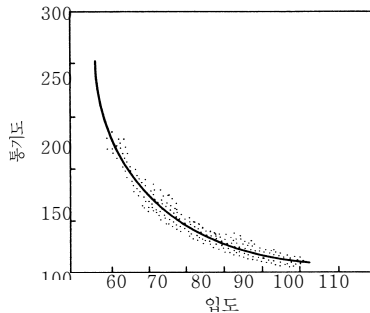
1) 셸몰드용 주물사

셸몰드는 규사가 95% 내외를 점유하고 있으므로 셸몰드의 여러 성질은 규사에 의해 크게 좌우된다. 규사가 셸몰드용으로 사용될 수 있는 조건들은 다음과 같다.

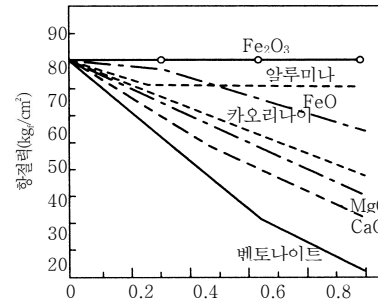
- (가) 석영분(SiO_2)의 순도는 96% 이상이면 양호하다. 순도가 높으면 규사는 표면도 깨끗하고 셸 강도가 높게 되지만 열팽창에 큰 단점이 있다.
- (나) 상온 강도면에서 입형(粒形)은 둥근 것이 좋다.
- (다) 입도 분포는 평균 입도지수로서 80~120AFS가 적당하며 미분은 될 수 있는 한 적은 것이 좋다.([그림 2-18] 참조)
- (라) 점토분은 0.4% 이하가 적당하며 셸 강도에 가장 나쁜 영향을 주는 것은 카올 리

나이트(kaolinite), 벤토나이트(bentonite) 등의 점토 광물로 이들의 제거에 최대의 노력을 해야 한다.([그림 2-19] 참조)

(마) 규사에 포함된 습기, 수분은 유해하며 점결제인 수지의 효능을 노화시키기 때문에 적어도 주위의 상대습도와 평형을 유지할 때까지 건조해야 한다.



[그림 2-18] 평균 입도 지수와 투기도 관계



[그림 2-19] 불순물과 셀 강도의 영향

마. 셀몰드용 기타 재료

1) 습윤제

분말상의 열경화성수지가 혼합사의 사용 중에 모래 입자에서 떨어지지 않게 하기 위한 것이 습윤제이며 등유(석유), 푸루푸랄(furfural), 글리세린, 베이클라이트바니스 등이 사용된다. 이것은 모래 입자에 대한 수지의 피복을 좋게 하며 혼합사의 가공성을 향상시킨다.

2) 이형제

셀몰드 조형방식이 고도로 기계화됨에 따라 셀을 모래형으로부터 쉽게 빼내기 위한 이형제의 역할이 대단히 중요하게 되었다.

이형제의 제1조건은 아주 얇은 피막을 만들고 양호한 이형 효과를 가질 것, 제2조건으로는 열에 안정하고 내구성이 있으며 원형, 주형 재료, 셀 등에 나쁜 영향을 주지 않아야 한다. 일반적인 셀몰드의 이형제로서는 실리콘유(silicon oil)를 비롯한 유기 규소 화합물이며, 탄화수소 용액 등이 사용된다.

3) 도형제

셀몰드의 표면에는 이형제인 실리콘유가 부착되어 있기 때문에 수용액의 균일한 도포가 곤란하다. 따라서 수용성을 이용하기 위해서는 계면활성제를 첨가하면 효과가 있다. 즉 알콜, 메탄올과 같은 용제에 도형제를 현탁시켜 사용해야 한다.

주형 표면을 경화시킬 목적으로 약간의 페놀수지를 첨가하는 경우도 있으나 이 수지가 열경화성인 경우에는 도형제를 칠한 후에 재가열이 필요하다.

4) 접착제

반쪽으로 된 몰드를 맞추기 위해서는 뜨거운 반쪽형끼리 1~1.5분간 접촉시켜 결합, 경화되는 접착제가 필요하다. 이 접착제로는 1~1.5%의 염화암모늄을 가한 요소포름알데히드 수지의 접착제, 규석분이나 점토를 첨가한 규산소다계 접착제, 텍스트린을 함유하는 규산소다 접착제가 적당하다.

바. 셀몰드 및 셀코어 제조법

1) 레진 샌드와 셀의 성질

레진 샌드(resin sand)는 주형 및 주물의 품질을 좌우하는 일련의 성질을 가지며, 이 성질이란 파괴 강도, 굴곡 강도, 피복성, 통기성, 가스 발생 등이다.

레진 샌드의 융합 속도, 그리고 경화 온도와 경화 속도는 셀 제작에 사용되는 설비의 처리 능력에 대하여 큰 영향을 미친다. 이때의 융합 혼합사의 낮은 점도는 주물금형의 반 회전시 셀의 파손을 가져오며 한편 지나치게 높은 금형의 경우 높은 부분에 대한 부착성과 셀의 낮은 경도는 경화 종료 시 금형에서 셀이 잘 빠지지 않는 원인이 된다.

레진 샌드의 자동제조 조건에서는 1일 작업에 3회 이상의 강도 검사와 1일 1회의 통기성과 가스 발생의 검사와 함께 피복도의 검사가 권장된다.

레진 샌드의 파괴강도와 굽힘강도는 표준 시편으로 하며, 셀의 경도는 일반적으로 강구식 경도계로 측정한다.

셀몰드의 일부는 용탕 분출 속도와 횡단 면적에 비례한 동압을 받으며 그 외 부분에는 용탕의 정압을 받는다. 강도 시험용 시편은 셀 금형과 셀 코어의 제작 공정과 같은 공정기준을 두고 하는 것이 바람직하다.

2) 셀몰드의 조형법

셀몰드 조형법은 덤프법, 모래 낙하법, 블로잉법(blowing process), 압상법 등이 있다.([그림 2-20] 참조) 블로잉법은 상부로부터 금형 내에 블로잉하는 취상법(top blower)과 하부로부터 금형 내에 블로잉하는 취하법(under blower) 및 측면으로부터 블로잉하는 수평 블로잉법으로 나눈다.

덤프 조형법은 주로 주형의 조형에 사용되며, 블로잉 조형법은 주로 코어 조형에 사용되는데 특히 스택몰드법으로 사용하는 조형에 널리 사용된다.

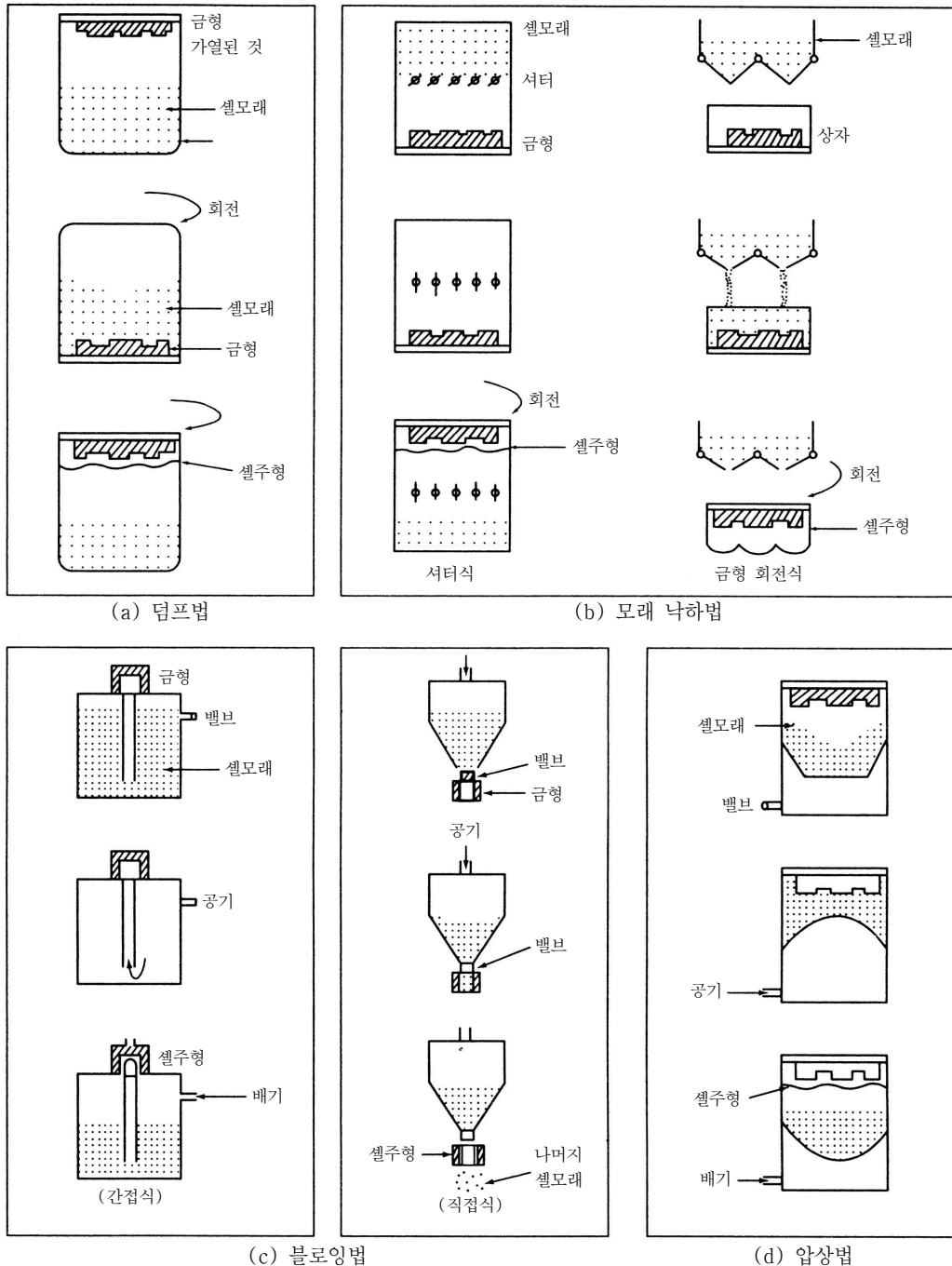
3) 덤프 방식 조형 작업

덤프 방식은 모래의 자유 낙하를 이용한 방식이다. 그 과정은, 레진과 모래를 혼합한 혼합사 또는 레진 코티드 샌드를 덤프 박스 상자 속에 넣은 다음 그 위에 가열한 금형을 놓는다.

모래를 한번 회전하면 덤프 박스 속의 모래가 금형 위에 떨어지고 이것을 그대로

두면, 혼합사는 금형으로부터 열을 받아 점차 경화하게 된다. 덤프 박스를 원상태로 되돌리면 금형 위에는 경화되어 약간 점착성을 지닌 층을 제외한 잔여 모래는 모두 덤프 박스 속에 되돌아온다.

금형 및 그 위의 층을 그대로 두고 250℃ 정도로 재가열하여 그 층 속에 함유되는 레진을 완전히 경화한 후 형을 분리하면 셀 주형이 된다. 이러한 방법을 덤프 조형법이라 한다.



[그림 2-20] 셀몰드 조형법의 각종 형식

4) 조형 준비

금형을 조형기에 부착하여 금형상의 흠 및 부착품 여부를 면밀히 검토해야 한다. 그 다음 실리콘유를 금형의 표면에 발라 윤활한다. 덤프 박스는 간단한 구조지만 모래의 흐름과 낙하관에 의해 조형되므로 조형상 다음과 같은 점에 유의해야 한다. 모래의 낙하 높이는 적어도 25cm 정도로 하고 모래가 수직으로 금형위에 낙하되게 해야 하며 흐름의 유동을 고려하여 금형의 배치를 생각해야 한다. 그러나 회전하는 덤프 박스를 사용하여 모래를 수직으로 낙하하기란 매우 곤란하다. 따라서 덤프 박스의 중간에 서터나 슬라이드판을 설치해야 하며, 설치 높이는 금형면보다 약 25cm, 가능하면 금형 최고 부분보다 25cm 정도 높게 하는 것이 가장 효과적이다.

5) 금형 예열

금형은 250~300℃로 예열해야 한다. 처음에는 냉각된 금형을 가열하므로 시간이 오래 걸리지만 두 번째부터는 1사이클(cycle)의 냉각열만 보강해주면 된다. 냉각 또는 과열되지 않도록 금형의 크기를 열원의 크기에 맞게 표준 가열조건을 설정할 필요가 있다. 예열에서 주의할 점은 첫째 금형 온도를 일정하게 유지하고, 둘째 균일하게 금형이 가열되도록 해야 한다.

6) 블로잉 조형법

블로잉 조형법은 조형 속도가 빠르고 주형의 치수 정도가 높으므로 코어뿐만 아니라 스택몰드법(stack mould), 리브가 달린 주형 조형에 사용된다.

조형에는 레진 코티드 샌드가 사용된다. 블로잉 조형법은 금형 내에 블로잉 노즐에서 순간적으로 레진 코티드 샌드를 블로잉하여 성형하므로 기계의 설비에도 특히 유의해야 한다.

블로잉 조형법은 블로잉 방향을 기준으로 상부 블로잉식과 하부 블로잉식, 수평 블로잉 방식으로 나눌 수 있다.

7) 상부 블로잉식

취하 조형 방식에 있어서 블로잉 조건을 일정하게 하기 위해서는 탱크내의 모래량을 항상 일정하게 해야 한다. 블로잉을 계속 반복하면서 그 동안 사용되는 모래를 보충하지 않으면 1초간에 들어오게 되는 공기량과 모래량은 모두 변하게 된다. 탱크내의 모래량이 많으면 배출 공기량이 적고 그에 비해서 배출 모래량은 많아진다. 따라서 블로잉 조건이 일정하지 못하면 블로잉 작업이 불안정하게 되는 것이다.

블로잉 조형에서 얻어지는 셀몰드의 강도는 블로잉압을 높힘으로써 급격히 높아진다. 또 시료의 강도는 블로잉 홀에 가까운 부분이 높고, 블로잉 홀에서 멀어질수록 강도는 저하한다. 즉 충전효과는 블로잉 홀에 가까운 부분이 좋고, 멀어질수록 나빠지는 것을 알 수 있다. 블로잉 조형 후 다시 장시간 가압 상태를 유지시켜도 강도에는 거의 영향이 없다.

블로잉 조형법에 있어서 블로잉 노즐의 지름과 그 수는 조형해야 할 주형의 형상, 설치한 구조에 따라 달라지는데 이미 설치된 기계를 사용할 때는 그에 따른 노즐의 지름을 사용한다.

8) 하부 블로잉식(under blowing process)

취상 조형방식은 가운데가 비어있는 셀 코어를 만들기 위해서 고안된 전형적인 셀 몰드 조형법에 속한다. 구조가 극히 단순하지만 노즐을 다수 설치하여 상당히 큰 주형을 만들 수 있다.

이 방법에서 블로잉되는 모래량이 적으면 블로잉 시에 채널링(channelling)을 일으켜 모래를 완전히 채울 수 없다. 이것을 방지하기 위해서는 파이프 선단에 플랜지(plange)를 설치하는 것이 좋다. 상부 블로잉 조형에 비해 공기의 소비량이 적다.

일반적으로 하부 블로잉에 있어서 양질의 셀 주형을 만들기 위해서는 기구의 확실성 및 정밀도에 많은 영향을 받는데, 그 영향을 주는 요소는 다음과 같다.

(가) 압출관의 평행 정도

(나) 이형 시의 금형과의 평행 정도

(다) 가열에 따른 기계의 변형 유무

(라) 금형 접속부의 압력 여부

(마) 온도 조절의 양호 여부

(바) 금형 교환의 용이성

(사) 일반적 기계의 정밀도

셀 주형으로 만들어지는 주물의 치수는 직접적으로 금형의 정밀도에 의존하지만 이는 기계 자체의 정밀도에서도 크게 영향을 받았다는 의미다.

9) 콘터어드 셀몰드법

이 방법은 1986년 잭 스톡(Jack stocks)가 발명한 것으로 X-프로세스(X-process)라고도 한다. 가열한 금형과 뒷댐쇠의 중간 틈새에 레진 코티드 샌드를 블로잉하고 소성 후 셀몰드가 부착한 배면 금형을 금형에서 이형한다.

뒷댐쇠로서 보강된 셀몰드를 사용하는 방법을 콘터어드 셀몰드법 즉, 배면 금형법이라 하며 다음과 같은 장·단점을 가지고 있다.

□ 장점

(가) 필요 면적을 셀몰드로 하므로 재료비를 절약할 수 있다.

(나) 배면이 금형으로 보강되어 있으므로 필요 이상으로 셀몰드의 강도를 높일 필요가 없으며 레진 첨가량의 절약이 가능하다.

(다) 배면이 금형으로 보강되어 있으므로 주탕 시 용탕의 온도 또는 압력에 의해서 주형이 변형되지 않고 치수 정도가 높은 주물을 만들 수 있다.

(라) 배면이 금형이므로 운송, 반송 등의 자동화가 용이하다.

□ 단점

- (가) 배면 금형을 필요로 하므로 양산품(量產品)에 적용하지 못할뿐더러 설비비가 많이 들고 설계변동에 대응하기 힘들다.
- (나) 블로잉 조형기 반송과 관련한 설비는 견고하고 중량에 견딜 수 있는 구조여야 한다.
- (다) 배면이 금형이므로 금형의 두께, 온도, 셀몰드의 두께가 주물의 경도(硬度)에 영향을 미치므로 관리를 잘 해야 한다.
- (라) 주탕, 조형의 시간 관리를 완전하게 할 필요가 있다.
- (마) 가스 발생의 문제가 있다.

10) 스택몰드법

스택몰드법은 소형물로 많은 양의 생산이 필요할 때 주로 사용된다. 가장 많이 적용하는 경우는 소형 자석강의 주조이다. 요철이 심한 것은 적당치 않으나 편평한 형상에는 한 면 스택몰드법을, 또 분리면이 약간 복잡한 것에는 양면이 주형으로 된 양면형이 사용된다. 보통 20~30단 정도를 수직으로 합친 수직 주입법이 사용되는데, 탕도용의 측면 셀 주형은 따로 만들고 주형을 수직으로 나열한 수평 주입법도 사용된다.

수직 주입법은 주입을 위해 공간을 차지하는 일이 흔치 않으므로 많이 만들어 비축할 수 있고 용탕의 배분을 조절하는데도 편리하다.

주형의 합친 단수가 많으면 1회 용탕 작업으로 다량을 처리할 수 있어서 편리하나 용탕압이 주형에 크게 가해지므로 주형에 용탕의 침투가 심해진다. 따라서 합금의 종류에 따라, 주입 온도의 높고 낮음을 고려하여 가장 적당한 용탕압을 부여할 수 있는 높이로 해야 한다.

이 방법에서 최대 결점은 주탕 중 주형의 갈라짐이다. 주형이 갈라지면 그 주형군의 전부는 불량품이 된다. 주형이 갈라지지 않게 혹은 주형이 갈라져도 손해를 최소로 방지할 수 있는 공법으로 제작하여야 한다.

일반적인 셀몰드 구조에는 다음과 같은 공정순서를 갖는다.

- (가) 금형을 청소하고 이형제를 바른다.
- (나) 기계를 가동, 제어·조작하여 주형을 성형시킨다.
- (다) 주형에 중자를 넣는다.
- (라) 형을 조립하고 공기압으로 청소한다.
- (마) 주입장으로 운반하여 용탕을 주입한다.
- (바) 주입된 제품을 냉각시키고 덧살을 제거한다.

11) 셀 코어 제조법

셀 코어는 철합금 및 비철합금의 셀몰드 주조, 금형 주조, 생형 주조에 사용된다. 이런 종류의 코어는 일반 모래 코어, 석고 코어, CO₂형 코어를 합하여 한 개의 주형에 사용하기도 한다. 생형에 사용하는 코어는 사형과 같은 입도의 모래로 제작한다. 생형으로 특수한 성질을 갖는 주물을 제작할 경우는 지르콘 샌드의 셀 코어를 사용한다. 이 때 지르콘 샌드는 사용 후 회수 및 재생이 불가능하다.

셀 코어는 셀몰드 주조, 석고형 주조, 금형 주조 등의 광범위한 용도를 갖는다. 셀 코어는 안정된 치수, 좋은 표면을 요구하는 복잡한 형상의 주물제작이 가능하고 가공작업을 줄이거나 가공하지 않고 사용할 수도 있어 주물의 다듬질 작업을 절약하여 능률적이고 경제적이다. 또한 셀 코어 제작공정을 간단히 기계화나 자동화할 수 있어 높은 생산성을 발휘한다. 현재 코어 제작은 구조적 특징에 따라 여러 종류의 제작방법이 있으며 코어 제작 형상의 복잡도에 따라 덤프식, 수직 낙하식, 블로잉식, 원심력식 등으로 분류된다.

(가) 셀 코어의 제조기술

셀 코어를 만들 때에는 먼지나 연소물질이 없도록 금형을 깨끗이 청소하고 200~250℃의 노에 10~20분 간 가열한 후 작업한다. 코어 뽑기를 쉽게 하기 위해서는 정기적으로 성형면에 이형제를 분무시켜 3~4분 간 250~300℃에서 가열한 후 레진 샌드를 충전하여 작업한다.

레진 샌드는 코어 금형의 가열 온도와 셀의 필요 두께에 따라 15~20초 간 코어 금형 내에 유지한다. 소정의 시간을 유지하면 코어 금형의 내면에 일정한 두께의 셀이 형성된다. 여기서 미소결된 모래를 코어 금형에서 제거하고 셀이 형성된 코어를 만들기 위하여 40~45초 간 가열하면 강도가 상승하여 좋은 제품을 금형으로부터 뽑을 수 있게 된다.

(나) 코어 프린트의 간격

코어의 충분한 지지와 팽창 등을 고려하여 코어 프린트의 간격을 설계한다. 용융 금속에 둘러싸이는 코어는 가장 작은 열 발산면을 가지므로 이러한 조건에서는 코어가 주형의 코어프린트 부분보다 빨리 팽창하게 된다. 코어 프린트의 간격이 충분하지 못할 때에는 주형에 균열이 발생하게 되고 주물에 용탕 누설이 일어나게 된다. 이러한 이유 때문에 코어의 팽창 작용을 약화시키기 위하여 충분한 간격을 줄 필요가 있다.

셀 코어를 생형에 사용할 때에는 주형의 가축성이 코어의 팽창을 충분히 보상하므로 코어 프린트의 팽창대는 불필요하다. 같은 이유로 용점이 낮은 금속의 예를 들면 알루미늄이나 마그네슘 합금을 셀몰드에 주입할 때도 팽창대는 필요 없게 된다. 코어 작용부의 길이와 코어 프린트 길이의 비는 셀 주형에서는 6 : 1 정도로 하고, 생형 주형에 사용할 때에는 3 : 1 정도로 하면 적당하다.

12) 셀몰드 금형

(가) 셀몰드 금형의 재료 선택

금형은 300~400℃의 온도에서 반복 가열에 견딜 수 있는 낮은 열팽창 계수를 갖는 종류의 재료로 제작한다. 금형의 마모는 0.1~0.2mm 이하로 한다. 금형의 부착물 제작 재료의 선택은 마모도와 기계가공비에 따라 좌우된다.

(나) 알루미늄 합금

알루미늄 합금은 기계화를 수반하는 적은 양의 주물 생산시(2000개), 혹은 시험용 금형을 제작할 때 사용된다. 또 탕도계와 탕구계를 이 합금으로 사용한다. 알루미늄 합금은 비교적 연하기 때문에 주철제와 강제의 금형에 비해 수명이 짧다. 또 다른 금형에 비해 이형성이 좋지 않으며, 금형과 코어 금형의 청소는 표면이 상하지 않도록 주의해야 한다. 알루미늄 합금제 금형은 취급방법을 잘 지키면 5000개의 셀몰드를 만들 수 있다.

(다) 청동과 황동

청동과 황동의 합금은 가격이 비싸기 때문에 많이 사용되지 않는다. 황동은 극히 중요한 정밀금형에만 사용된다. 아주 얇은 형의 셀몰드와 주형 뽑기가 어려운 것 등 복잡한 주형에서는 가장 적합한 재료다. 청동이나 황동은 주철이나 강보다 높은 내식성을 갖는다는 장점이 있다. 청동, 황동 금형으로는 12만~15만개의 셀을 성형할 수 있다.

(라) 주철

주철제 금형 및 금형 부착물은 17만 5천~18만개의 양산제작을 위한 셀몰드형에 좋은 제품 윤곽을 부여한다. 그러나 주철제 금형은 녹이 잘 슬기 때문에 보존하기 전에 예비 가열하고 왁스를 얇게 발라주어야 한다. 또한 금형 및 코어 금형의 성형면이 높거나 다듬질할 필요가 있는 경우에는 크롬 도금을 하거나 정밀 연마하여 셀 주형 및 코어의 부착 시 틈새가 없도록 금형을 제작하고 아울러 열적, 기계적 내력을 높여 준다.

참고로 C 3.1%, Si 1.9%, Mn 0.8%, S 0.01% 및 P 0.01%를 함유하는 주철금형을 제작할 경우에 가장 양호한 성질을 얻을 수 있다. 820℃에서 한 시간 풀림을 하여 사용하면 다른 주철에 비하여 높은 내마모성을 가져 고급의 다듬질 가공이 가능하다. 금형의 손상을 방지하기 위해서는 기계가공을 하기 전에 인공 시효(500~550℃까지 가열하여 4~6시간 유지하여 60℃/h 속도로 냉각)를 실시한다.

주철제 금형은 셀의 이형성이 양호한 장점을 가지고 있다. 셀몰드 주물의 대량생산 시에 적당한 금형 재료로서는 퍼얼라이트 주철(이중 용해법으로 정련함)이 가장 좋은데, 이는 금형 표면의 경도가 높고 비교적 적은 선팽창 계수를 가지고 있기 때문이다.

(마) 강(鋼)

금형 결합부, 코어 금형 및 금형 상자 등은 탄소강 및 저합금강으로 제작한다. 이 경우 저탄소강으로서는 침탄처리가 가능하다. 보통 C 0.1~0.4%, Mn 0.35~0.8%를 함유한 탄소강으로 제작한다. 이 종류의 강은 가공성과 용접성이 극히 우수하다. 강재의 금형은 작은 물건이나 중형 주물의 대량생산에 특히 유리하며 셀몰드에 양호한 표면을 부여하고 셀의 이형성을 향상시킨다. 사용 중 금형의 변형을 방지하기 위하여 주강 부품을 사용할 때에는 풀림하여 내부응력을 감소시켜 사용한다.

13) 셀몰드 주조품의 불량과 대책

(가) 셀 주조품의 불량

양호한 주물과 불량품의 구별에 있어서 사용되는 것과 사용될 수 없는 결함의 구별은 주물의 용도, 주물의 성질 및 그 기술규정에 의해 결정된다. 주물 결함은 셀몰드 주조기술, 검토 완료된 기술의 도입, 최적의 재료, 장치 및 금형 부착물의 사용, 그리고 공정 등의 기술적 요인에 의해서 좌우된다.

셀몰드 주물은 부적당한 용해, 정련 조건과 주물 조건 및 금형의 가공, 제작 상태 등에 관련된 일반적인 결함 외에 다음과 같은 특이한 결함을 일으키는 경우가 있다. 예를 들면 블로우 홀, 이물질 혼입, 탕회 불량, 불어남, 크랙, 수축공, 탕정, 소착 등이 있다.

건조하고 강하게 응고한 셀몰드 성형의 주물에는 보통 생형 주물에서 나타나는 끓음, 모래집, 흙집 등이 나타나지 않는다. 셀몰드에는 수분이 없기 때문에 좋은 주물을 만들 수 있다.

셀몰드는 주물이 응고할 때 양호한 가축성을 발휘하기 때문에 주형과 코어가 신속하게 붕괴하여 주물의 열간균열 발생을 막는다. 그 외에도 주입이 낮은 온도에서 공정이 이루어지기 때문에 수축성 주물 결함 발생률이 현저히 저하된다.

사. 블로우 홀(blow hole)

블로우 홀은 주철과 강 및 비철금속의 셀몰드 주물에 가장 잘 나타나는 결함이다. 이 결함은 일반적으로 원형의 형태로 보여지고 단체 또는 집합된 그룹의 상태로서 나타나는데 마지막 주입 작업에 많이 발생되며, 발생 원인은 다음과 같다.

- 1) 주입 시 난류(亂流)가 일어날 수 있는 탕도계의 불합리한 구조와 배치
- 2) 레이들의 주입구가 지나치게 높을 때 또는 탕구의 단면이 지나치게 클 때 생기는 용탕의 와류에 의하여 공기가 휩쓸려 들어감
- 3) 셀몰드와 코어의 통기성을 나쁘게 하는 백업(back up)재의 채움
- 4) 통기성이 나쁜 미립사에 의한 셀의 두꺼움
- 5) 용해용 원료의 저품질이나 부적당한 용해조건에 의한 용탕내의 높은 가스 함유량
- 6) 지나치게 낮은 용탕 온도

7) 가스가 배출이 안 될 정도의 급격한 주입

8) 코어에서 가스 배출을 가능하게 하는 부적당한 주물 구조(다수의 수평면) 주물의 블로우 홀은 형의 강한 가스압에 의해서 발생한다. 용탕과 주형 또는 코어의 접촉은 레진의 연소에 의하여 현저하게 가스압을 높인다. 그 크기는 시간이 경과함에 따라 크게 변화한다.

가스에 있어서 2개의 최대 약점이 확인되었을 때 제1의 최대압력은 주형과 코어의 전표면에 용탕이 다 찬 직후에 나타나고, 제2의 최대압력은 약간 시간이 경과한 후에 나타난다.([그림 2-20] 참조)

주물의 블로우 홀의 방지책은 다음과 같다.

- (가) 레진 샌드의 가스 발생률을 낮춰 형과 코어로부터 가스 발생을 감소시킨다.
- (나) 최적의 용탕압과 용탕 온도를 설정하여 양호한 주입 조건을 만든다.
- (다) 탕도계의 구조와 배치를 바꾼다.

9) 슬래그의 혼입과 모래집

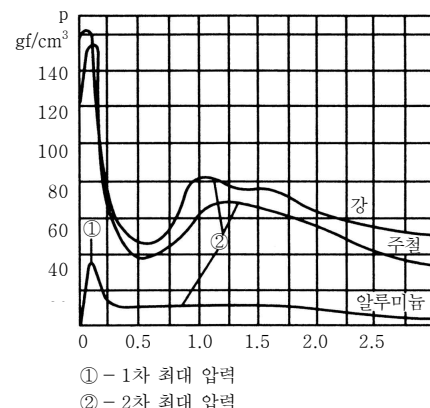
슬래그(slag)의 혼입과 모래집의 발생은 탕도계 내에 불순물을 걸러주는 시설의 미비, 주입전 용탕 내의 불충분한 교반과 레이들 내 슬래그를 제거하지 않았을 때 발생한다. 또 부적당한 주입 온도, 형벽에서 모래의 떨어짐과 같은 경우에도 발생한다. 사락(모래의 떨어짐)은 강도가 낮은 레진 샌드로 셀 주형이나 코어를 제작 했을 때 잘 일어난다. 강도가 낮은 레진 샌드로 제작된 셀형은 합형하기 전에 압축공기로 불어내어 떨어진 모래를 날려 보내는 것이 좋다.

모래집의 다른 원인으로는 셀몰드의 접착이나 보존 시 주입구로부터 분말이나 모래가 들어가는 것도 생각할 수 있다. 슬래그의 혼입을 방지하기 위해서는 용탕을 주입하기 전에 레이들 용탕면에서 슬래그를 제거하도록 해야 한다.

레이들은 깨끗하게 유지하며 레이들 입구는 더욱 청결해야 한다. 철을 주입할 경우에는 이러한 종류의 결함을 제거하기 위하여 덤퍼(dumper)식 레이들을 사용하며, 강이나 비철 금속을 주입할 경우에는 바렐형의 레이들을 사용한다. 탕도계의 올바른 설계도 슬래그의 혼입을 방지하는 방법으로서 고려할 수 있다. 테이퍼를 붙인 주탕구, 스크린, 스트레이너의 설치는 슬래그의 혼입 발생률을 크게 저하시킨다.

10) 탕회 불량

셀몰드 주조에서는 지금까지 설명한 불량 원인 이외에 용탕의 충전에 미치는 셀몰드의 물리적, 화학적 성질(레진 샌드의 배합으로 결정)의 영향으로도 탕회 불량(misrun)이 생긴다. 이 때 레진 함유량의 증가에 따라서



[그림 2-20] 주형용 금형과 가스 발생의 관계

가스 발생량이 크게 증대하며 주형 용적의 용탕 충전성에 영향을 미친다. 그러나 레진 함유량이 증가하면 두꺼운 가스 개재층이 형성되어 용탕 형의 벽으로부터 분리시켜 그의 마찰 계수를 감소시킨다.

아. 탕경

탕경(cold shut)의 결함은 주입시 주물의 위치와 관련하여 주물의 수평면이나 수직면에 나타나며, 전자의 경우에는 주로 횡방향으로 나타난다.

주물의 수직벽의 탕경은 주입시 용탕의 흐름 방향에 관련하여 여러 가지 종류의 형상과 치수를 가지며, 탕경은 보통 둥근 형태의 모서리를 갖는다. 탕경의 발생 원인은 다음과 같다.

- 1) 주조기술 규정과 주물구조의 불일치
- 2) 용탕의 낮은 유동성
- 3) 낮은 주입 온도
- 4) 용탕의 유동을 방해하는 주입시에 발생한 형 내 가스 압력
- 5) 주형의 완만한 충전

이러한 모든 원인은 형의 각부에서 용탕의 빠른 냉각과 응고를 불러온다. 탕도계에 서 기인하는 탕경을 방지하기 위하여 다음과 같은 조치를 취해야 한다.

- 6) 복잡한 주물을 제작할 때에는 수개의 탕구, 주입구를 포함하여 주물 각부의 용탕을 유도하고, 용탕을 균일하고 빠르게 주입하며, 주형의 온도 상승을 될 수 있는 한 억제한다.
- 7) 주입구의 부착 방향을 한 방향으로 하여 용탕의 충돌 시 와류 발생을 방지한다.
- 8) 얇은면 또는 리브(핀)를 갖는 주물의 제작에 있어서는 얇은면에 근접해서 또는 리브에 탕구 주입구를 부착한다.
- 9) 얇은 주물을 주입할 경우에는 소정의 온도를 유지시키는 것뿐 아니라 용탕의 가열온도를 일정하게 하여야 한다. 이 때에는 주물의 벽이 얇고 복잡할수록 높게 가열하여 준다.

자. 표면 거칠음

표면 거칠음은 외부 결함의 종류로, 주물 표면의 거칠음을 말한다. 표면 거칠음은 셀몰드 또는 셀 코어의 국부 결함(들어간 것, 갈라진 것)의 결과로 발생한다. 이러한 종류의 결함은 주물의 수치를 불량하게 하고 제품의 외관을 손상시킨다.

주물의 표면 거칠음을 없애기 위해 금형의 마무리 작업과 주형의 제작(이형제의 부착)에서 엄격한 검사규정을 선정하며, 합형 전에 압축공기로 주형과 코어를 청소하고 검사한다.

차. 균열

주물의 균열(crack)은 그 발생 특성상 열간 균열과 냉간 균열로 나눈다. 균열은 육안 검사, X선 및 γ 선 투과법, 자기 탐지법, 초음파 탐상법 그리고 수압 검사 등으로 발견할 수 있다.

셀 주형 및 셀 코어는 초기의 파괴강도나 굽힘강도가 높지만 보통 사형의 가축성보다 양호한 가축성을 가진다. 따라서 셀몰드 주물의 균열은 매우 드물며, 이러한 결함이 발생하였을 때에는 다음과 같은 원인이 있기 때문이다.

- 1) 셀 주형과 코어의 강도 상승에 의한 가축성의 저하
- 2) 응고점 근처에서 높은 취성을 가진 합금의 채용

이 때문에 용탕의 불균일한 수축의 결과로 균열이 생긴다. 셀몰드 주물의 균열을 방지하는 하나의 방법은 가축성의 증대에 있다.

카. 수축

수축(shrinkage)의 발생 원인은 부정확한 주물구조(응고과정에서의 불충분한 용탕의 보급, 탕도계 요소의 부정확한 배치, 극단으로 높은 주입온도)에서 기인된다.

셀몰드에서는 주물의 성형 기간 중 용탕의 열은 양호하게 단열되기 때문에 용탕의 보급이 일반 생형의 모래보다도 효과적이다. 압탕이나 냉금을 함께 쓴 정상적인 탕회는 수축을 없애는 기본적인 수단이다. 보급이 불충분하면 주물 두께의 수축이 발생한다. 압탕의 역할은 수축에 대한 용탕 보급뿐 아니라 주물로부터의 가스나 비금속 개재물을 제거시키는 역할도 한다. 최후에 응고하는 주물의 두꺼운 부분에 압탕을 배치하면 양호한 압탕 효과를 얻을 수 있다. 셀몰드 구조의 경우에는 수직 합형면을 가진 형만이 개방 압탕을 설치할 수 있다. 분할면의 셀몰드에서는 맹압탕을 불이도록 한다.

타. 소착

셀몰드 주물의 소착 발생률은 용탕에 의한 주형벽의 침투 정도에 따라서 좌우된다. 소착은 강주물에 많이 나타나며, 주철 주물이나 구리 주물에서는 비교적 적고 알루미늄 합금 주물에서는 보다 발생률이 낮다. 강주물 주입시 산화철에 레진 샌드의 규사는 강의 용점보다도 낮은 용점의 융합물을 형성한다는 것으로 설명된다. 이들의 규산염은 주입온도에서 액상상태로 이동하여 용융금속에 의해 셀몰드 벽에 침투한다. 레진 샌드는 열전도성이 낮기 때문에 셀몰드의 가열층 깊이는 비교적 적게 되며, 주물의 두께가 보이는 주형 가열부의 용탕이나 주형의 기공률에 의해 좌우된다.

주형의 가열층에는 다음과 같은 형상이 일어난다.

- 1) 침투에 의한 셀몰드의 성형면에서 모래 입자간의 기공에 대한 용탕의 침입

- 2) 용탕의 열작용에 의한 주형 표면층의 모래 입자의 용해
- 3) 용탕내 산화물에 의한 주형의 표면층 입자의 슬래그 화

소착의 발생에는 레진 샌드의 배합만이 아니라 규사의 입도도 영향을 미친다. 이때에는 입자가 클수록 소착의 발생률이 높아진다. 때문에 용융금속은 응고 전에 비교적 거칠고 큰 입자 사이의 기공을 통해서 형의 중앙에 침입한다. 형의 기공에 용탕이 침입한 결과에 의해서 기계적 소착이 형성된다.

5. 다이캐스팅주조법⁸⁾

가. 다이캐스팅의 특성

다이캐스팅법은 정밀한 금형에 용융합금을 압입하여 표면이 아주 우수한 주물을 얻는 방법이며, 일반적으로 다이캐스트기(die-cast machine)를 사용하여 짧은 시간에 대량생산하는 주조방식이다.

다이캐스트기는 유압 구동을 주로 이용한 기계로서 유압 구동 중 가스를 이용하여 펌프사출 대응으로 사용하기도 하고, 수 백, 수 천 톤의 강력한 형 조임력을 높은 사이클로 반복 작업압입 관계에서는 수 백도에 달하는 고온 금속 용탕을 사용하기 때문에 상당히 안전한 기계를 사용해야만 한다. 다이캐스트법의 특징은 다음과 같다.

- 1) 충전 시간이 매우 짧다. (0.02~0.7초 정도)
- 2) 고속으로 충전한다.(탕구 분사 속도 2~100m/sec정도)
- 3) 고압을 주물에 건다.(70~2000kgf/cm² 정도)
- 4) 정밀한 금형을 사용하고 냉각 속도가 빠르다.
- 5) 생산 속도가 빠르다.

한편 다이캐스트법으로 주조한 주물도 다이캐스트 또는 다이캐스트 제품, 다이캐스트 주물 등으로 불리며, 다이캐스트 주물은 다음과 같은 특징이 있다.

- 1) 주물 표면이 평활, 미려하여 일반적으로 표면조도는 12S 이하가 된다.
- 2) 금형에 의해 압입된 용탕이 급랭하므로 그 결정 입도가 작고 강도가 높은 주물이 만들어 진다.
- 3) 고압으로 압입하므로 살두께가 얇은 주물을 제조할 수 있고 재료비가 경감되어서 생산비가 저하한다.
- 4) 정밀도가 높으므로 가공공수를 절감할 수가 있다. 동일 형상의 사형주물에서 다이캐스트로 바꿈으로써 중량으로 40%, 절삭가공 시간이 65%, 절감한 예가 있다.
- 5) 코어를 사용해서 복잡한 형상의 주물을 주조할 수 있으나 주형이 강재이므로 언더컷이 있는 주물의 주조는 곤란하다.

8) NCS 분류번호 : 다이캐스팅 주조(1601030801_18v1)

나. 다이캐스팅 주조기

1) 주조기의 분류

(가) 가압실 방식에 의한 분류

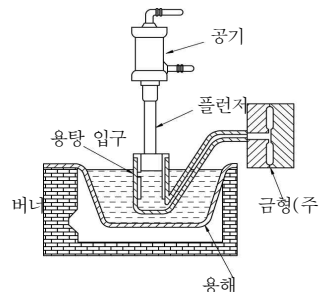
(1) 열가압실식

열가압실식(hot chamber) 다이캐스팅기는 용탕을 형 내에 압입하기 위해 가압실이 노 내에 있어 붙여진 명칭이다.([그림 2-21] 참조) 1시간당의 주조 회전수를 높일 수가 있으며 이 기계는 비교적 용점이 낮은 아연 합금, 주석 합금, 납 합금의 다이캐스트에 사용되고 있다.

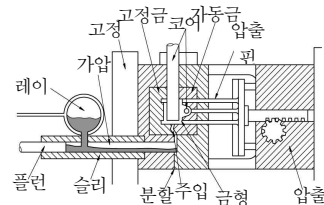
(2) 냉가압실식

냉가압실식(cold chamber) 다이캐스팅기는 가압실이 용탕 안에 없고 가열되어 있지 않다 하여 붙은 명칭이다.([그림 2-22] 참조)

용탕은 소형 레이들로서 수동으로 가압실에 주입, 주조되기 때문에 용탕의 보급은 신속하게 행하여져야 하며, 자동 급탕장치 개발에 따라 용탕을 자동적으로 주입되는 것도 있다. 이 기계는 알루미늄 합금, 마그네슘 합금, 구리 합금의 다이캐스트에 많이 사용되고 있다.



[그림 2-22(a)] 열가압실식
다이캐스트기 구조

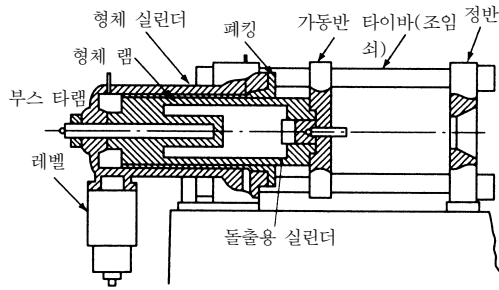


[그림 2-22(b)] 냉가압실식
다이캐스트기 구조

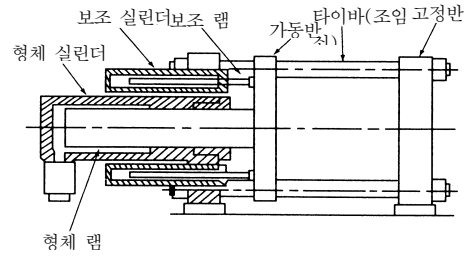
2) 다이캐스트기의 형조임 장치

다이캐스트기의 크기는 형조임 능력을 톤(ton) 수로 표시하고 있다. 냉가압실식의 형조임력은 압입력의 10~20배 정도이며, 열가압식은 20~40배 정도가 보통이다. 다이캐스트기의 성능에는 형조임력과 압입력 뿐만 아니라 압입 방식과 압입 속도도 중요하다.

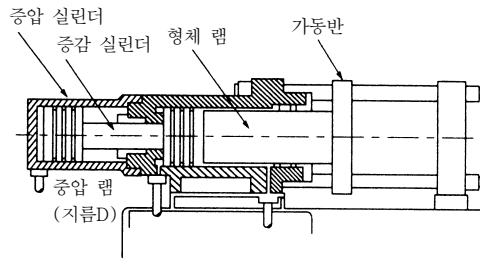
다이캐스트기의 형조임 장치를 구조상 크게 분류하면 직압식, 토글식 기타의 형조임 장치로 나눌 수 있다. 직압식 형조임 장치는 형조임용 유압 또는 수압 실린더 내의 형조임 램에 가동반을 직결하고 형조임 램에 작용하는 유압 또는 수압에 의하여 직접 금형을 조이는 것을 직접식 형조임 장치라 한다.([그림 2-23, 24, 25 참조])



[그림 2-23] 부스터램식 형조임 장치



[그림 2-24] 보조 실린더식 형조임 장치



[그림 2-25] 중압 실린더식 형조임 장치

형조임 압력의 계산은 형조임 램의 지름을 $D(\text{cm})$, 유압 또는 수압을 $P(\text{kgf/cm}^2)$, 형조임력을 $F(\text{kgf})$ 로 하면, 형조임력(F) = $\frac{\pi}{4} \times (\text{램의 지름})^2 \times (\text{유압 또는 수압})$

예를 들면 램의 지름 30cm, 유압이 150kgf/cm^2 일 때,
형조임력 = $0.785 \times 30 \times 30 \times 150 = 105975\text{kgf}$ 로 약 106톤이 된다.

다. 다이캐스팅 금형 설계

1) 개요

다이캐스트는 재료, 다이캐스트기 및 금형의 3요소로 이루어진다. 특히 금형은 다이캐스트 주조의 모체로서 금형의 품질 및 기능은 제품의 품질 및 다이캐스트의 생산성을 결정하는 가장 중요한 요소다.

2) 금형용 재료의 선택

주조작업 중 금형에 작용하는 기계적인 충격, 열충격 및 기타의 작업 조건에서 오는 금형의 손상을 방지하고, 경제적인 조업을 위해 금형 재료는 다음과 같은 조건을 만족하여야 한다.

(가) 균질성과 건전성

고압에 의한 고온의 용융금속의 반복적인 주조작업에 의해 금형의 표면에 존재하는 미세한 결함은 쉽게 확장되어 금형을 손상시키게 된다. 따라서 금형은 이러한 결점이 없는 건전하고 균일한 재질을 사용하여야 한다. 즉 미세한 균열, 편석된 불순물, 비금속 개재물 또는 주조시의 편석이나 기공 등은 금형에 치명적인 영향을 미치므로 금형용 재료는 최상품의 공구강을 사용하여야 한다.

(나) 기계가공성

금형의 기계가공에는 시간과 경비가 많이 소요되므로 이를 줄이기 위해 금형용 재료는 완전히 풀림된 강을 선택하여 기계가공을 한 후 열처리 한다. 금형의 공극부가 크거나 복잡한 경우에는 열처리 후에 금형이 변형될 수 있으므로 주의하여야 한다. 이 때문에 아연 합금용 금형의 경우에는 열경화된 재료를 사용하거나 시효 경화강을 사용하는 경우도 있다.

(다) 열충격에 대한 저항성

금형 손상의 가장 큰 원인은 열충격에 의한 망상 균열의 생성이다. 이 형상은 금형 표면이 용융금속과 접하면서 용융금속의 온도와 거의 비슷하게 되는데 이때 걸리는 시간은 불과 1/1000초 이하이므로 금형의 표면과 금형 내부의 심한 온도 구배가 생기게 되고, 이에 따라 미세한 균열들이 생기게 된다. 그러나 이러한 망상 균열의 생성은 인장강도, 충격강도, 연성, 열팽창률, 열전도도 등을 개선함으로써 지연시킬 수 있다.

(라) 변형에 대한 저항성

금형의 경도가 충분히 높지 못하면 금형의 표면에 용탕 비산물에 의한 피닝(peening)이 생겨 금형의 수명을 단축시키게 된다. 또한 지나치게 높은 경도에서 인성이 낮으면 벽개 균열을 일으키게 되므로 적절한 기계적 성질이 필요하다.

(마) 용융금속에 의한 침식 및 부식에 대한 저항성

다이캐스팅에서는 용융금속이 고속, 고압으로 금형에 주입되므로 금형의 표면이 마모될 뿐 아니라 용융금속의 화학작용에 의해서도 부식된다. 따라서 금형용 재료는 이러한 침식과 부식에 대한 충분한 저항성을 가져야 한다.

(바) 열전도도

다이캐스팅의 생산 속도는 금형의 열전도도에 의해 크게 영향을 받는다. 특히 열전도도에 따라 용탕 주입 후 응고까지의 시간이 결정되며 금형의 냉각시간도 결정된다. 따라서 금형의 열전도도는 가능한 한 커야 한다.

(사) 열팽창률

금형의 열팽창이 크면 제품의 치수가 부정확해지고, 앞서 말한 열충격에 의한 망상의 균열이 생성될 우려가 있으므로 열팽창률은 작을수록 좋다.

마. 금형의 설계

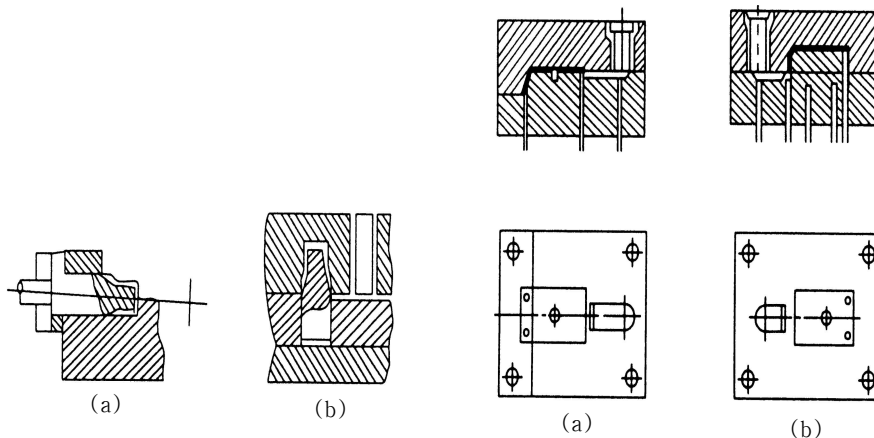
금형의 설계를 순서에 따라서 설명하면 주물의 형상, 크기, 기타의 규격과 품질 등으로부터 생산량, 생산기간 특히 금형제작 기간, 주조방법 검토, 사용할 주조기형 조립방법, 금형 분할면, 금형당 제품수량 및 금형의 종류를 결정한다. 그 다음 주입구, 러너, 게이트, 오버 플로우, 가스 배출구 등의 배치를 결정한 후 입자 및 코어의 크기, 압출핀 및 가이드 핀의 위치와 크기 등을 개략적으로 결정한다. 이들 금형의 세부 항목이 결정되면, 다이 블록(die block)의 치수, 입자, 코어의 크기, 가이드 핀의

치수 등이 정해지게 된다. 그 다음에 세부 설계가 행해지고, 다소 치수가 변하는 수도 있으나, 코어 뽑기 장치, 냉각수 관, 압출장치, 인서트(insert)의 지지 방법 등의 설계가 이루어진다.

1) 형삽입 방법과 금형 분할면의 설계

[그림 2-26]과 같이 횡방향 삽입을 하면 그림 (a)에 표시한 것처럼 가동 코어를 가진 금형이 되며, 종방향 삽입을 하면 (b)와 같이 금형의 구조는 간단하게 된다. 그러나 주물의 품질, 원료에 대한 제품 비율 및 생산성 등에 따라서 형삽입 방법이 다르기 때문에 주의해야 한다.

이와 동시에 형삽입 방법은 대부분의 금형 분할면을 결정하게 된다. 금형 분할면이란 고정 다이와 가동 다이의 경계로 일반적으로 형삽입 위치에 있어 투영 면적이 가장 큰 곳으로 하는 것이 보통이다. 이는 금형의 구조가 가장 간단하다는 점과 게이트, 가스 배출구 등을 설치하기 쉽다는 장점이 있기 때문이다. 그러나 탕 흐름 플러시(flush) 발생 등을 고려하여 최대 투영 면적일지라도 그 분할면을 [그림 2-27]에 표시한 것처럼 다른 위치에 잡을 수도 있다.



[그림 2-26] 형삽입 방법

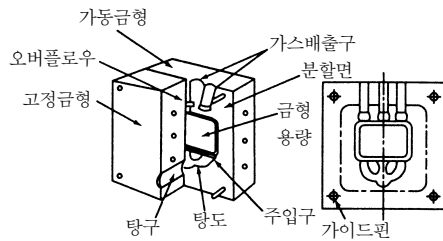
[그림 2-27] 금형 분할면

금형 분할면은 단순한 평면으로 하는 것이 바람직하다. 일반적으로 주물의 형상을 다소 변경하더라도 단순한 평면으로 하는 것을 주물 설계라고 한다.

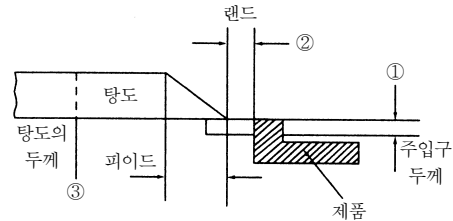
2) 주입구, 런너 주입구, 오버 플로우 및 가스 배출구의 위치

(가) 명칭

랜드와 피이드로 탕구에서 공극부에 유입하는 탕흐름의 상태를 결정하는 중요한 부분이기 때문에 그림에 모형적으로 그 특징을 표시하였다. ([그림 2-28~29] 참조)

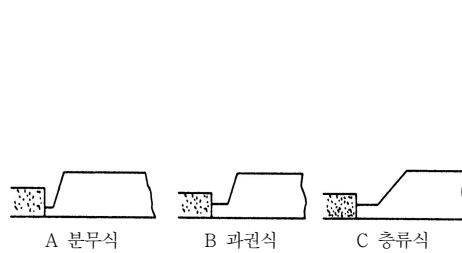


[그림 2-28] 금형의 각부 명칭

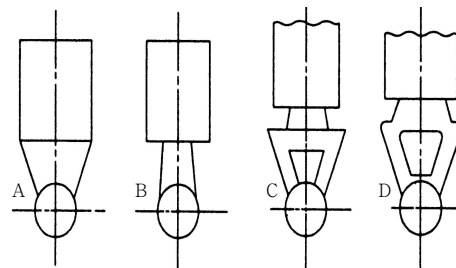


[그림 2-29] 탕도 주입구 각부의 명칭

[그림 2-30]은 랜드와 피이드의 형상에 따른 용탕의 흐름을 나타내었다.



[그림 2-30] 랜드와 피이드의 영향



[그림 2-31] 탕구의 평면 형상

(나) 탕구의 형상

(1) 평면 형상

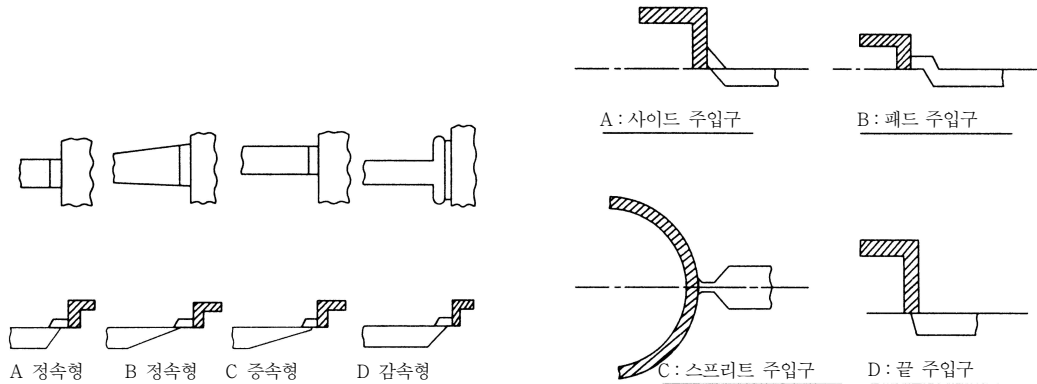
제품의 형상에 따라서 여러 가지 복잡한 형상을 가지며, 예를 들면 [그림 2-31]의 A에 표시한 바와 같이 끝부분이 넓게 되는 것을 부채형 주입구라고 한다. B는 A의 반대이며, C, D는 A와 B의 조합형으로 어느 쪽이라고 말할 수 없으나 미국에서는 공극부의 결합부의 끝이 가는 것을 강조하여 델타(delta. Δ) 주입구라고 부르고 있다.

(2) 입체 형상

주입구와 탕도의 단면적 변화 상태에 따라서 유속이 변하기 때문에 단면적이 점차 증가하는 것을 감속형 주입구, 단면적이 점차 감소하는 것을 증속형 주입구, 단면적이 일정한 것을 정속형 주입구라고 부르고 있다.([그림 2-32] 참조) 일반적으로 볼 때 아연 합금의 경우는 정속 또는 감속형, 알루미늄 합금, 마그네슘 합금 및 구리 합금의 경우는 증속형을 쓰고 있다.

(3) 주입구의 종류

주입구는 [그림 2-33]와 같이 4종류로 대별된다. B로 표시한 탕도와 피이드를 주입구 랜드와 동일하게 고정형으로 한 모양을 많이 쓰고 있으며 트리밍(trimming)작업에 적합하다.



[그림 2-32] 탕도의 형상과 유속 관계

[그림 2-33] 주입구의 종류

A, C 및 D는 완전 충진을 위하여 용탕 흐름의 방향을 제품의 형상에 맞춘 것이지만 A와 C는 트리밍(trimming)작업 후에 벨트 샌드 등의 다듬질 작업이 필요하다. D는 손으로 자르게 만든 주입구로 손작업 후에 형 분할면을 기계가공하는 제품에 적당하다.

(4) 주입구의 위치

주입구의 위치는 후가공과 관련하여 신중히 결정해야 한다. 특히 아연 합금의 도금 제품은 도금 유효면에 주입구 자국의 다듬질이나 핀 홀의 문제가 가끔 일어나고 있다. 주입구를 두껍게 하면 프레스 작업에서 뜯기는 현상이 생기기 때문에 제거 방법을 사전에 결정하여 두께의 한계를 정하는 것이 중요하다.

(5) 탕도의 면적

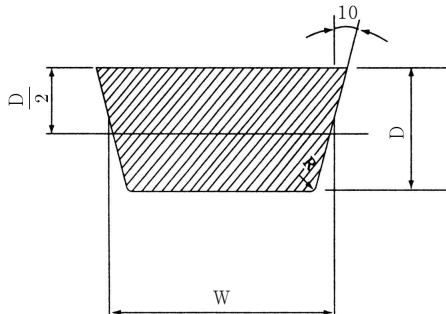
제품이 크게 되면 탕도(runner) 면적을 쓸모없이 크게하는 경향이 많다. 그 결과 회수재가 많아 채용해 손실이 크게 되므로 주입구 부분을 가열시키고 큐링 시간(curing time)을 연장하게 되어 생산성을 저해한다. [그림 2-34]은 알루미늄, 아연 합금에서 볼 수 있는 탕도의 형상을 나타낸 것으로 주입구 면적의 1.25~1.6배면 충분하다.

탕도의 단면 형상은 정방형상에서 평평한 장방형으로 됨에 따라 용탕과 접촉하는 탕도의 표면적이 크게 되기 때문에 용탕의 열손실이 많아져 탕온은 저하한다.일반 적으로 알루미늄 합금의 탕도의 깊이 [그림 2-34]의 D와 폭의 W의 비는 1:4 이상, 마그네슘 합금은 2:5(1:2.5)이상으로 말하고 있으나 아연 합금은 특별히 규정되어 있지 않다.

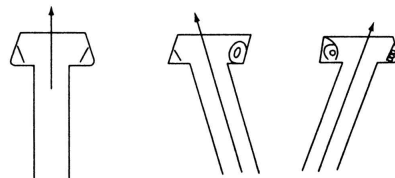
(6) 탕도의 방향성

공극부에 대한 탕도의 배치는 공극부내의 용탕 흐름 및 충전 방향을 결정하는 중요한 요소다. 탕도 내의 용탕은 상당히 고속이기 때문에 관성이 크고, 피드 부분에

서 방향이 급변해도 용탕의 방향성은 변하지 않는다. [그림 2-35]은 이 관계를 나타낸 것이다.



[그림 2-34] 탕도의 형상



[그림 2-35] 탕도의 방향성

바. 오버 플로우(over flow)

1) 오버 플로우(over flow)

오버 플로우(over flow)는 공극부의 모서리나 용탕의 유입이 어려운 부분에 용탕을 끌어들이며, 산화물이나 기타의 불순물을 포착하고 기공의 역할도 한다.

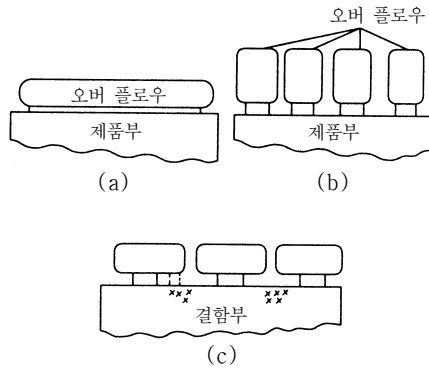
2) 크기와 위치

[그림 2-36]의 A에 표시한 것 같은 소수의 커다란 오버 플로우를 설치한 것보다 B에 표시한 것처럼 다수의 적은 오버 플로우를 설치하는 편이 좋다. 특히 박판의 제품일 때에는 공극부를 통해 오버 플로우 근처에 도달한 용탕은 냉각되어 유동성이 급격히 떨어지기 때문에 후속 고온 용탕에 밀려 남게 되며, 흐름이 불안정하게 된다. 한번 오버 플로우에 들어간 용탕이 주입구에서 역류하여 후속 용탕의 충전을 방해하는 경우도 있다.

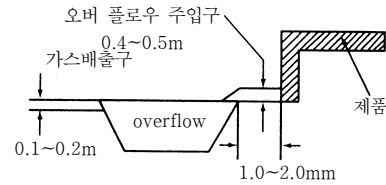
B와 같이 적은 오버 플로우에서는 입구가 한정되어 있기 때문에 칠 메탈(chill metal)이 후속 용탕에 백업(back up)되어 오버 플로우의 속에 유입될 수 있다. 또 여기를 넘어서도 오버 플로우 용적이 적기 때문에 전체적인 용탕 흐름상태는 별로 영향을 받지 않는다. 적은 오버 플로우라도 C처럼 가로로 길게 배치하면 중간에 결함이 나타나는 경우 오버 플로우를 추가 하더라도 필요한 개소에 설치하지 않고 A와 유사한 것으로 끝나버린다. 따라서 추가의 여유분을 충분히 고려하여 결정해야 한다.

3) 오버 플로우 게이트(overflow gate)

오버 플로우 주입구의 총면적은 일반적으로 주입구 면적의 60~75%가 필요한 것으로 알려져 있다. 주입구의 길이와 두께는 알루미늄 합금에서는 표준이라고 볼 수 없으나 아연 합금에서는 [그림 2-37]과 같다.



[그림 2-36] 오버 플로우 크기와 위치

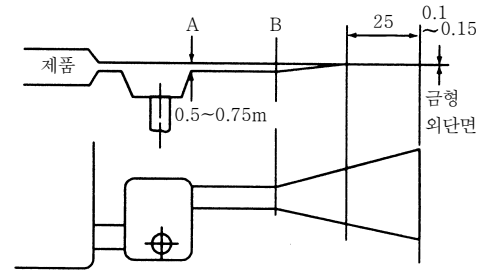


[그림 2-37] 아연 합금의 오버 플로우 주입구

4) 가스 배출구(air vent)

가스 배출구는 주입구 이상으로 중요한 것이기 때문에 종래의 주입구를 “주”로 하고 가스 배출구(air vent)를 “중”으로 생각하는 것은 좋지 않다.

- (가) 위치 : 공극부에 유일한 최초의 메탈에 의해 용이하게 폐쇄하지 않도록 설치 하여야 한다.
- (나) 단면적 : 주입구 면적의 50% 이상이 필요하다.
- (다) 효과적인 방법 : 가스 배출구의 두께를 크게 하면 그 효과는 개선될지 모르나 분류 (분사된 탕)를 금형 내에서 누르면 공극



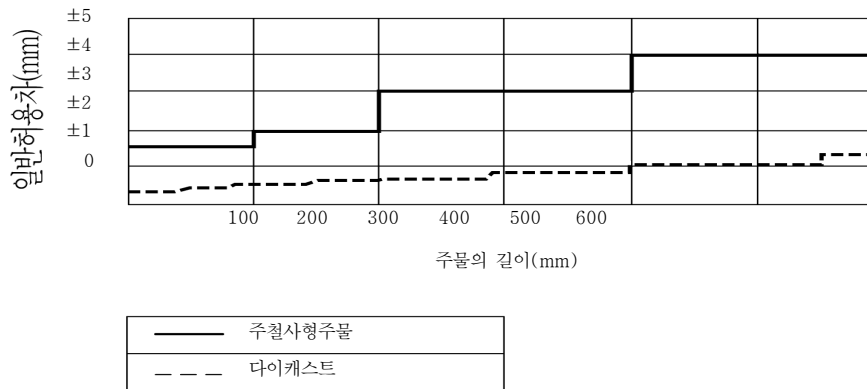
[그림 2-38] 효과적인 가스 배출구

부의 완전충전과 안전작업을 저해하기 때문에 충분한 대책을 고려해야 한다.([그림 2-38] 참조) 금형 외측면에서 25mm까지를 0.1~0.15mm로 하고, 다음에 가스 배출구의 단면적을 점차 증대하여 용탕을 감속하고 플러시의 비산을 방지한다. 그림에 표시한 것처럼 A~B간을 일정한 두께로 하는 방법과 테이퍼 모양으로 잇는 방법이 있다.

사. 다이캐스트 주물의 특징

1) 치수 정밀도

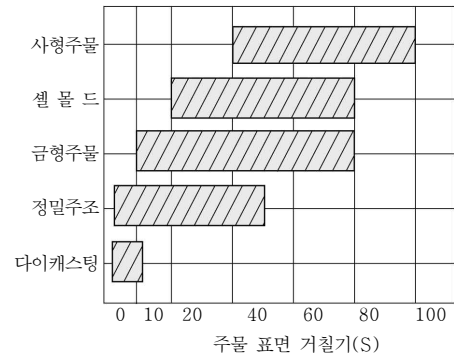
다른 주물에 비하여 치수 정밀도가 높고 또한 주물 표면이 평활하기 때문에 그 정밀도에 대한 평가가 아주 좋아 광범위한 분야에서 다이캐스트 주물이 이용되고 있다. [그림 2-39]는 주조가공에 대한 일반 치수차와 다이캐스트에 대한 일반 치수차를 나타낸 것이다.



[그림 2-39] 다이캐스트와 사형 주물의 치수 허용차의 비교

2) 주물 표면

다이캐스트 주물 표면은 평활하고 깨끗해야 한다. 일반적으로 표면조도는 12S 이하로 할 수 있다. 다른 주물과 비교해 보면 [그림 2-40]과 같다. 그러나 일부에는 탕흐름의 모양, 탕주름, 탕경계선 등이 남게 되어 완전히 균일한 주물 표면을 얻기 어려운 것도 많다. 대형 주물에서는 17S, 25S 정도가 발생하기도 한다. 또 다수의 주물을 주조하면 금형에 귀갑상의 헤어 크랙이 생겨, 주물 표면이 나빠진다. 알루미늄 합금에서는 이 헤어 크랙이 일반적으로 수 천 쇼트 정도에서 발생하며, 아연 합금에서는 수 만 쇼트에서 발생하는 것이 보통이다. 금형의 헤어 크랙에 의한 열균열의 흠 발생을 적게 하기 위해서는 형다듬질을 충분히 할 필요가 있다. 또한 주조시의 조건, 강재의 종류, 주조하는 합금의 종류 등에 따라서 그 발생 정도가 다르다. 아연 합금 다이캐스트에서는 도금성이 주물 표면과 관계가 있어서, 균일하고 특징있는 주물 표면이 바람직하다.



[그림 2-40] 각종 주물 표면의 거칠기

3) 살두께

다이캐스트법에서는 살두께가 얇고, 예각인 주물을 얻을 수 있다. 따라서 주물의 중량이 경감되고, 사형주물에 비해 가격이 낮게 된다. 사형, 금형주물에서는 2~4mm의 살두께가 얇다고 생각되나 다이캐스트에서는 보통이며, 5mm 이상의 살두께는 드물다.

알루미늄 합금에서 7mm 이상, 아연 합금 등의 저융점 합금에서 10mm 이상의 살두께는 좋지 않다. 강도를 필요로 하는 경우에는 리브(rib)를 쓰며, 살두께를 두껍게 하지 않도록 할 필요가 있다. 일반적으로 살두께가 너무 얇아도 용탕 흐름이 나빠지기 때문에 <표 2-10>의 최소한의 살두께 보다는 두껍게 하여야 한다.

[표 2-10] 다이캐스팅 최소 살두께

다이캐스트주물의 표면적(cm ²)	Sn, Pb, Zn (mm)	Al, Mg (mm)	Cu (mm)
25 이하	0.6~1.0	0.8~1.2	1.5~2.0
25~100	1.0~1.5	1.2~1.8	2.0~2.5
100~500	1.5~2.0	1.8~2.5	2.5~3.0
500 이상	2.0~2.5	2.5~3.0	3.0~4.0

아. 다이캐스트용 합금

1) 아연 합금

(가) 아연 합금의 다이캐스팅

고순도 아연을 기본으로 한 다이캐스트용 아연 합금은 용융점이 낮고 (386.1℃ : ZDC1, 386.6℃ : ZDC2), 주조 온도(390~420℃)에서 철을 침식하지도 않는다. 열가압실식 다이캐스트기로 주조가 가능하며, 생산성이 높고, 주물 표면이 아름답다. 또 치수 형상을 고정밀도로 할 수 있고, 기계적 성질도 뛰어날 뿐 아니라 내식성이 좋은 도금을 할 수 있다. 이러한 뛰어난 특성 때문에 알루미늄 합금과 더불어 다이캐스트 합금으로 널리 이용되고 있다.

아연 합금은 다른 다이캐스트 합금에 비해 가장 얇은 두께로 정밀한 주조가 가능하다. 또 4% Al-Zn 합금은 알루미늄과 아연의 공정점이 가까이에 있기 때문에 용탕 흐름이 양호하고 용탕의 산화도 적으며, 고온에 있어서 연신율이 크고, 강도가 낮아 주조 변형이 적다.

(나) 다이캐스팅용 아연 합금의 규격과 물리적, 기계적 성질

합금 성분으로서 알루미늄과 구리가 주성분이며, 필요 성분으로서 소량의 마그네슘을 첨가한다. 기타 납, 카드뮴, 주석 등의 불순물은 미량이라도 입간 부식의 원인이 되기 때문에 엄중한 관리가 필요하다.

2) 알루미늄 합금

(가) 주조성, 생산성으로 볼 때 Al-Si계, Al-Si-Cu계의 합금이 주로 이용된다.

(나) 내식성 측면에서는 Al-Mg가 이용된다.

(다) 다이캐스트 생산성에 필요한 알루미늄 합금의 조건은 다음과 같다.

- (1) 용융점이 낮을 것 : 용탕 온도가 높으면 금형의 충전성은 향상되나 금형의 마모가 빠르다. 따라서 금형 온도와 차가 작아지며 냉각율도 작아진다.
- (2) 용탕 흐름이 좋을 것 : 공극부에 충전 능력이 클수록 좋으며, 복잡하거나 얇고 큰 제품에 특히 중요하다.
- (3) 수축 구멍이 적을 것(제품의 기밀성) : 응고 수축이 적고 압탕의 효과가 좋아야 한

다. 마그네슘은 수축을 크게 하고 철, 티타늄, 니켈, 규소는 이를 적게 한다.

- (4) 고온 균열이 적을 것 : 다이캐스트는 급냉된 금형에 고착하기 때문에 열간 취성이 있으면 다이캐스트하기가 어렵다. 고온에서 취성이 적고, 고온에서 연신율이 큰 합금으로 고체 수축이 적을 것, 즉 열팽창 계수가 적을 것 등이 필요하다. 또 불순물 등의 영향이 크다.
- (5) 금형에 고착하지 않을 것 : 주입구로부터 분사된 용탕은 고속이므로 용탕의 온도가 상승하여 금형에 고착하기 쉬운 성질이 있다. 이를 방지하기는 어려우나, 줄이기 위해서 철성분을 소량 사용한다.
- (6) 주조 비틀림이 적을 것 : 주조 비틀림이 많으면 강도에 영향을 주고, 변형을 일으켜 바람직하지 않다. 열팽창 계수, 고온에서의 항복점, 연신율 등에 영향을 많이 준다.
- (7) 수축률이 적을 것.

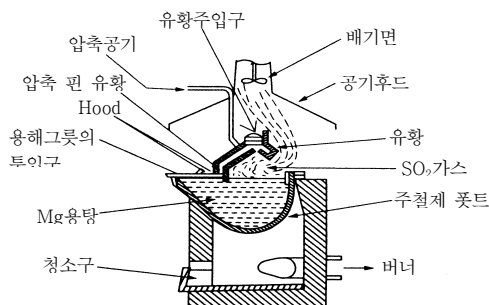
3) 마그네슘 합금

(가) 합금의 종류와 화학 성분 및 다이캐스팅

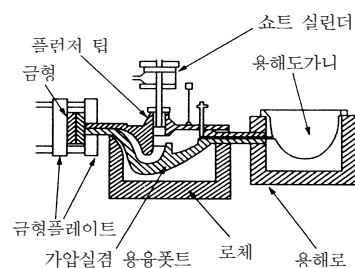
마그네슘 합금 다이캐스트에 대해 KS에서는 규정하고 있지 않으나 미국의 ASTM규격에는 AZ91A, 불순물이 다소 많은 AZ91B가 있다. AZ91A는 다우메탈이라고도 부른다. 마그네슘 합금은 용탕의 흐름이 양호하고, 얇은 주물도 주조 되지만, 비중이 작기 때문에 열용량이 적고, 고온 취성이 있어 균열이 발생하기 쉬워 다이캐스트성이 나쁘다. 또한 응고 수축과 열팽창 계수가 크며, 금형 온도가 너무 높아도 보스나 리브 등에 표면수축이 발생하기 쉬워 주조상 기술을 요한다.

이 합금은 용융상태에서 산화하기 쉽고, 공기와 접촉하면 연소한다. 따라서 용해할 때에는 산화 방지제로 덮고, 주조할 때는 [그림 2-41]과 같이 후드(hood)를 보온로 위에 덮고 후드 내의 용기에 Mg합금을 넣어 SO₂가스를 발생시켜 이 가스로 용탕 표면을 씌워 산화를 방지한다. 또 후드에서 메탈 슬리브에 SO₂가스를 보내며, 후드구멍으로 합금을 뽑아 메탈 슬리브에 넣어 냉가압실식 다이캐스트기로 주조한다.

[그림 2-42]과 같이 SO₂가스로 용탕 표면을 덮은 열가압실식 다이캐스트기로 주조하기도 한다.]



[그림 2-41] 보온로



[그림 2-42] Mg합금의 열가압식 다이캐스트기

마그네슘 다이캐스트는 전 다이캐스트 중에서 가장 가볍고 기계가공도 용이하다. 마그네슘 합금 다이캐스트는 알칼리 용액에는 침식되지 않지만, 산에는 침식되어 방청처리를 하여야 한다.

(나) 마그네슘 합금의 성질과 특성

마그네슘 합금은 열전도율과 전기전도율이 구리나 알루미늄 합금보다 낮고 기계적 성질도 뒤떨어지나, 특히 압축 강도가 높으며, 에너지 흡수성이 좋다. 절삭성이 대단히 좋아서 알루미늄보다 고절삭이 가능하다. 만약 산화물이 섞이면 직접 공기 등에 접촉되어 산화가 일어나므로 주의해야 한다.

4) 구리 합금

다이캐스팅용 구리 합금은 3종의 합금이 있으나 6:4 황동이 널리 쓰이고 있으며 그 기계적 성질은 좋은 편이다. 구리 합금은 용탕 흐름이 좋으나 핀 홀이 발생하기 쉽고, 고온 취성이 있어 균열이 생기기 쉽기 때문에 너무 복잡한 형상의 주조는 곤란하다. 그러나 주조방안, 주조기술에 따라서, 이 난점을 극복할 수 있다. 보온 중에 아연이 타서 성분이 변화할 수 있기 때문에 합금 성분, 불순물 등에 주의해야 한다. 또 금형의 수명이 짧기 때문에 그 재질은 텅스텐강을 쓰는 것이 좋다.

5) 다이캐스트 작업법

(가) 냉가압실식 다이캐스트 작업법

다이캐스트는 용탕에 압력을 가하여, 금형의 주입구에서 고속으로 극히 짧은 시간에 분출시켜 용탕이 응고하기 전에 금형의 구석구석까지 충전시켜 주물 표면이 곱고, 치수 정밀도가 높고 얇은 두께로 복잡한 고강도의 제품을 만드는 방법이다.

이 공정을 크게 나누면, 냉가압실식 다이캐스트법과 열가압실식 다이캐스트법으로 분류된다. 전자는 알루미늄 합금, 마그네슘 합금, 구리 합금 등의 용융점이 높은 합금 다이캐스트이고, 후자는 아연, 납, 주석, 합금 등 용융점이 낮은 합금 다이캐스트에 쓰여진다.

주조작업이 적당하지 않으면 탕흐름 불량이나, 탕주름 혹은 핀 홀이 생겨 불량 발생의 원인이 되기 때문에 주입 온도, 용탕과 금형의 열평형, 압입압력, 압입 속도 등이 주조 작업상 중요한 조건이다. 다이캐스트 작업의 순서는 금형 청소 → 이형제 도포 → 형단기 → 주탕 → 압입 → 큐링 → 형열기 → 압출 → 제품 취출이 1사이클(cycle)로 되어 있고, 코어 플러를 사용하는 인발 코어가 있는 경우에는 형단기, 형열기 전 후에 코어 넣기와 빼기가 더해진다.

다이캐스트기의 기종 선정은 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (1) 다이캐스트하는 제품의 투영 면적에 필요한 압입 압력을 걸어 형이 떨어지지 않을 만큼 충분한 형조임력이 있는가?
- (2) 제품의 중량에 대하여 충분한 용탕을 주입할 수 있는 쇼트 슬리브의 직경이 얻어지는가?

- (3) 형열기 스트로크가 제품의 두께, 제품의 압출에 대하여 충분한가?
- (4) 금형의 크기가 타이 바(tie bar)간격, 다이 취부 플레이트에 대하여 충분한가?
- (5) 제품의 형상에 대하여 충분한 압입 능력, 사출 속도가 얻어지는가?
- (6) 사출 위치 및 형조임력의 중심과, 제품부의 레이아웃은 적절한가?
- (7) 기타, 사출 및 압출 등에 대하여 상세하게 계산하여 조사한 다음, 충분한 여유를 가지는 조건에서 다이캐스트를 결정하는 것이 필요하다.

(나) 열가압실식 다이캐스트 작업법

열가압실식 다이캐스트기에는 보온로, 용해 포트, 가압실(gooseneck) 사출장치가 하나로 구성되어 있기 때문에 냉가압실식처럼 쇼트마다 주탕할 필요가 없고, 쇼트 후 자동적으로 가압실에 유입하여 다음 쇼트 준비를 완료한다.

가압실에 유입된 용탕의 온도는 용해 포트의 온도와 같기 때문에 주입 온도는 용탕 온도를 관리하는 것처럼 아주 정확하게 유지할 수가 있으며, 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

- (1) 산화물을 포함하지 않은 청정한 용탕
- (2) 주입 온도차가 적은 것
- (3) 용탕을 흡입하는 작업이 없다(시간 단축)
- (4) 사출 압력이 낮다

6) 다이캐스트 제품의 불량과 그 대책

(가) 내부 결함의 원인과 그 대책

(1) 기포

기포는 깊이나 크기에 따라 여러 가지가 있으나, 외관상에는 거의 나타나지 않으며, 살두께가 두꺼운 부분에 생기기 쉽다. 기포는 살두께에 대한 용탕의 공급 부족이나 가스가 원인이기 때문에 대책으로는 주입 온도를 내리고, 압입 압력의 증가와 주입구의 변경(두께 및 위치), 가스 구멍의 변경, 부분적인 냉각의 증가, 설계의 변경 등을 생각할 수 있다. 또한 가스가 찬 기포에 대해서는 주입구와 가스 구멍의 변경, 주입온도의 변경, 이형제의 도포량, 도포방법을 개선하면 좋다.

(2) 충전 부족

주입구부가 빨리 응고하기 때문에 공급부의 부분에 충분히 용탕이 흘러가지 못하는 것이 원인이며, 대책으로서는 주입구와 탕도의 용량을 크게 하고 또 용탕 흐름의 방향을 검토하여 주입구 위치를 변경한다. 또한 주입구부에서의 충전 거리가 길 때, 충전 속도가 늦을 때에도 충전 부족을 일으킨다.

(나) 표면 결함의 원인과 그 대책

(1) 탕주름

금형 온도가 낮을 때나 용탕 온도가 낮을 때, 충전 시간이 길 때, 또는 이형제 도

포량이 많을 때 등에 생긴다. 이것은 표면이 극히 얇은 부분에 가늘게 이어지는 주름같은 현상을 말한다. 발생 원인은 압입 시작시에 유입한 용탕이 금형면에 냉각되어 응고하지만, 충전 완료시에 후속 용탕의 열량으로 인해 재용해되지 않기 때문에 일어나는 것으로 알려져 있다. 탕주름의 깊이는 극히 얇기 때문에, 기계적인 강도상에는 문제가 없으나 도금이나 도장품의 경우에는 버프(buff) 공수를 늘리게 하고, 부풀음의 원인이 되기 때문에 가능한 한 탕주름이 없는 제품을 만들어야 하며, 그 대책으로서는 다음과 같다.

- ① 탕주름이 있는 장소의 형온을 200℃ 전후로 되도록 한다.(오버 플로우를 붙이거나 크게 하고 전열이나 가스로 가열한다)
- ② 용탕 온도를 높게 한다.(425℃ 이하)
- ③ 충전 시간을 짧게 하기 위해 플런저 속도를 빨리한다.
- ④ 이형제의 종류를 변경하고 도포량을 줄인다.(이형제가 많은 경우에는 형온을 내리는 수도 있다)
- ⑤ 주입구의 변경 등이다.

이상의 대책을 조합하여 적용할 필요가 있다. 특히 1mm이하의 얇은 제품은, 제품의 크기는 적어도 큰 능력이 있는 다이캐스트기로 플런저 경도를 크게 하는 편이 좋은 경우도 있다(충진 시간이 짧아지게 된다).

(2) 탕경(cold shut)

용탕 온도, 금형 온도가 낮은 경우 압입 압력, 압입 속도가 부족한 경우에 일어나는 현상으로 용탕이 금형내를 흐르는 사이에 열량을 상실한다. 또 선단부에 산화막을 형성하여 최후의 합류점에서 녹아 합쳐지지 않고 응고하여, 깊게 연결된 주름이 되어 주물 내부까지 침입하고 때로는 구멍이 나는 수도 있다. 대책으로서는 압입 속도를 빠르게 하고, 압입 압력을 올리며, 금형 온도, 용탕 온도를 올리는 것 등이다. 이로써 개선되지 않는 경우 주입구 단면적을 늘린다. 분류의 합류점 부근에 오버 플로우를 설치 또는 주입구 위치를 변경하고 이에 따른 위치에 오버 플로우를 설치하는 등의 대책도 적용한다.

(3) 소착(burning)

금형의 국부적인 과열에 따라 금형과 용탕이 용착하기 때문에 일어나는 현상으로 가는 코어나 나사의 아래 구멍쪽의 가는 코어 핀 등에 생기기 쉽다. 또 주입구의 뒤쪽의 부분이나 용탕이 최후에 충전되는 장소의 형면에 합금의 가루가 서서히 쌓이는 수가 있으나, 이 현상은 주입구의 변경, 압입 압력과 사출속도의 증대, 충전 시간 단축을 적용함으로써 개선할 수 있다.

또한 공극부 내의 형면에 가스가 머무르는 곳에 이형제의 가스가 퇴적하거나, 조그맣게 움푹 패이기도 하며, 적은 부풀음을 생기게 하지만, 이것은 주입구의 유입 방향, 오버 플로우, 가스 구멍의 개선으로 해소될 수 있다. 그 외에도 금형에 연질화나 침유를 실시하는 것도 한 방법이다.

(4) 표면 거칠

금형의 열균열(heat crack), 금형 공극부면에서의 용탕 부착 등 공극부의 표면조도가 그대로 제품의 표면에 나타나는 현상이다. 대책으로는 부착물의 제거와 형연마 등이 있으나 열균열은 금형을 대체하는 방법 외에는 없다.

(5) 변색

부적당한 이형제를 사용함에 따라, 이형제의 함유물이 주물의 표면을 변색시키는 현상으로 이형제를 적당한 것으로 변경하는 방법 외에는 없다.

(6) 움푹 패임

금형 표면의 국부적 과열이 원인이며, 과열된 부분의 응고가 늦어져 체적이 감소하기 때문에 표면이 움푹 패이게 되어 나타나는 현상으로 살두께가 국부적으로 두꺼운 곳에 많이 발생한다. 대책으로서는 금형 온도를 관리하여, 과열 부분에 쇼트 냉각을 하든지 설계를 검토하고 특히 살두께부는 단면 두께가 완만하게 변화하도록 변경한다. 또한 주입구의 형상, 위치 등을 변경한다.

(7) 균열

빠기 구배의 부족, 불균일한 수축, 예리한 각, 부적당한 압출 장치 등이 원인이며 일반적으로 제품의 어느 일정한 부분에 나타난다. 대책으로서는 설계를 검토하고 기능상 지장이 없는 라운드를 크게 준다. 리브를 붙이고, 빠기 구배를 크게 하고, 압출 위치의 변경 또는 증설 등을 한다.

(8) 수축공

제품의 코어 부분에 발생하는데, 금형 각부가 과열되기 때문이다. 적당한 라운드를 붙이거나 과열부의 냉각법을 연구한다.

(9) 주입구부의 기포

주입구부, 오버 플로우 주입구부에 적은 기포가 발생하는 수가 있다. 이것도 게이트 랜드부와 과열에 의해 생기기 때문에 과열하지 않도록 형상을 변경하거나 수정한다.

(10) 재질상의 결함 원인과의 대책

재질상의 결함에는 하드 스폿(hard spot), 재질 불량, 산화물의 혼입 등의 결함이 있다. 하드 스폿은 사형주물 등에는 거의 발생하지 않고, 주로 다이캐스트에 발생하는 특징이 있다. 하드 스폿에는 비금속성부터 금속성까지 있고, 또 급냉에 따른 조직적인 것 등 그 종류가 많기 때문에 방지책을 충분히 검토하여야 한다.

재질불량은 주성분이 규격 범위를 벗어난 재료, 불순물이 규정값보다 많은 재료에서 발생한다. 또 부주의한 용해 작업에 따른 용해, 보온시의 불순물을 증가시켰을 때도 발생하며 서로 다른 이종 재료로 주조하는 경우에도 발생한다. 일반적으로 성분이 극단적으로 벗어난 경우 이외에는 제품이 그대로 불량품이 되는 경우는 흔치 않다. 그러나 규격이 엄밀한 제품 또는 기계적 및 화학적 성질이 특히 요구되는 경우에는 불량품에 속한다.

알루미늄은 공기 등에 접촉되어 곧 산화하고, 산화피막을 형성하여 주조와 더불어

제품 내에 넣으면 강도를 저하시키게 되며 주물표면에 있어서도 탕경 등의 원인이 된다. 산화막이 제품 내에 존재하면 그 단면이 피막상으로 되어 하드 스폿이 나타난다. 주조시에 용탕 메탈 슬리브의 흐름 등은 엄격히 주의할 필요가 있다. 이들 재질상의 원인과 대책은 [표 2-11]과 같다.

[표 2-11] 재질상의 결함 원인과 대책

재 질	원 인	대 책
비금속성 하드스팟	용탕표면의 산화물 혼입	1. 용탕 표면의 산화물을 반드시 제거한다 2. 주조시 용탕 표면의 불순물은 주입시키지 않는다 3. 용해과정의 산화물은 제거해 둔다 4. 철 도가니의 표면은 청정하게 하고 라이닝을 해 둔다 5. Si과 반응하지 않는 라이닝재를 사용한다
	용탕과 연돌과의 반응물 혼입	1. 내화벽돌, 몰탈 가루 등 알루미늄과 반응하기 어려운 것을 이용한다. (예를 들면 고알루미나질 연돌) 2. 노체의 연돌은 정기적으로 치환한다
	비금속 개재물 혼입	1. 적당한 탈산제 선택과 탈산처리를 충분히 행한다 2. 규소 원료 등을 사용한다 3. 진정시간을 충분히 한다
	용탕과 라이닝재와의 반응물 혼입	1. Si과 반응하지 않는 라이닝재를 이용한다
	이물질	1. 회전재에 이물, 다른 재료가 들어가지 않도록 관리한다 2. 회전재에 기름, 흙, 먼지 등이 붙지 않도록 한다 3. 도가니, 용해 용구의 산화물, 철, 녹 등을 제거한다 4. 용해로 주조기 주위의 청결을 유지한다
금속성 하드스팟	미용해된 규소의 혼입	1. Al-Si계 합금의 용해처리시 규소의 세분은 사용하지 않는다 2. 합금 성분 조성시 규소를 바로 용탕에 넣지 말고 필히 모 합금에 넣는다 3. 용제에 고온으로 장시간 유지하여, 규소를 충분히 녹여 퍼 지게 한다
	초정 규소의 결정이 발달한 것의 혼입	1. 주조 온도의 차가 적게하고, 꼭 완전 용융상태로 되도록 한다 2. 냉금장입 때 빌렛의 용탕이 응고되지 않도록 한다 3. 규소 초정이 발달하기 쉬운 성분을 아주 적게 한다
	금속간 화합물 결정이 발달한 것의 혼입	1. 용탕 온도가 고온, 저온으로 되지 않도록 온도차를 적게 한다 2. 합금 성분, 불순물의 양에 주의하고 불순물이 증가하지 않도록 한다 3. 금속 화합물이 발생한 재료는 고온으로 올려 용해하고 불 순물이 적도록 소량씩 사용한다

6. 인베스트먼트주조법⁹⁾

가. 인베스트먼트 주조법의 개요

인베스트먼트 주조법(lost wax process) 주형은 주조하고자 하는 제품과 같은 형상의 왁스 모형 틀레에 내화물의 피복층을 형성시킨 뒤 왁스 모형을 용출(溶出)함으로써 만들어진 것이다.

인베스트먼트 주조법의 역사는 오래되며 중국이나 이집트에서는 약 2000년 전부터 공예품이나 동상 등에 사용하여 왔다. 산업적으로 사용할 수 있게 된 때는 서양에서는 1940년경부터, 일본에서는 1950년경부터다.

인베스트먼트 주조법은 각종 정밀주조법 중에서 가장 복잡한 주조품을 가장 높은 수준으로 만들 수 있는 방법이다. 그 특징으로는 다음과 같다.

- (가) 주형이 일체형이며, 형상적인 제한이 없고 복잡한 제품이나 중공(中空)부분을 지닌 제품 등을 높은 치수 정도로 만들 수 있다.
- (나) 주형의 내화성이 풍부하며 거의 모든 재질을 주조할 수 있고 주물표면도 아주 곱다.
- (다) 주형은 가스 발생 물질을 함유하지 않고 진공용해 주조에 적합하다.
- (라) 기계가공비를 절감한 양산품의 대량생산도 가능하다. 특히 형상이 복잡하거나 재질이 강해 기계가공에 많은 공수를 필요로 하거나 기계가공이 불가능한 제품 등을 만들 때 적용한다. 혹은 1개의 복잡한 부품을 만들기 위해 여러개의 적은 부품을 조립하거나 용접해서 제작한 제품을 일체의 주조품으로 만들 때 등에 인베스트먼트 주조법은 효과적이다. [표 2-12]는 인베스트먼트 주조품의 용도 예를 나타낸 것이다.

[표 2-12] 인베스트먼트 주조품의 용도 예

기 종		부 품 명	중요한 사용재료
항공기 관계	제트엔진 부품	노즐, 로터, 하우징	Ni, Co, 초내열합금, 스테인리스, Ti합금 등
	기체 부품	날개기구, 조정장치 등의 프레임 조인트	스테인리스(303, 316), Mg합금, 스테인리스(410, 17-4pH), Al합금(356) 등
	계기류 부품	각종 계기의 프레임, 샤프트, 기타	스테인리스(303, 316), Mg합금(AZ91), Cu합금(Be-Cu) 등
내연기관 부품		예열실분구, 과급기 임펠러 등	내열스테인리스(310), N-155 등
사무기기, 컴퓨터 부품		레버, 핑거, 래치트, 기어프레임, 기타	Al합금(356), 공구강, 보통강, 스테인리스, Cu합금 등

9) NCS 분류번호 : 인베스트먼트 주조(1601030802_18v1)

기 종	부 품 명	중요한 사용재료
전기, 통신기기, 모터 부품	각종 프레임, 도파관, 스위치, 기어, 자석, 캠, 스프로키트	Cu합금(고전도 Cu, Be-Cu), Al합금(356), 스테인리스, 인버어, 자석강 등
식품기계, 제지기계, 화학기기 부품	캠, 호울더, 어태치먼트, 디스크 플레이트, 임펠러, 밸브	각종 스테인리스(17-4pH등), Ti합금, Cu합금(황동)등
섬유기계 부품	캠, 레버, 래치트, 가이드 홀더	보통강, 저합금강, 스테인리스 등
총화기, 병기 부품	방아쇠, 가늠쇠, 톱스냅	저합금강, 스테인리스(17-4pH 등), Al, Mg, Cu합금 등
펌프, 콤프레서 부품	임펠러, 노즐, 조인트케이스, 기어케이스	Al합금, 스테인리스(17-4pH등), Cu합금(황동) 등
기 타	공작기계 부품, 자동차 부품, 광학기기 부품, 스팀터빈 부품, 공업용 미싱 부품, 의료기기 부품, 농기구 부품, 원자기기 부품 등	

1) 인베스트먼트 주형법의 종류

인베스트먼트 주조법(investment casting process)을 크게 분류하면 솔리드 몰드 주형법(solid mold process)과 세라믹 셸몰드 주형법(ceramic shell mold process)으로 나뉜다.

솔리드 주형법과 세라믹 셸 주형법의 차이는 [그림 6-29]에서 보는 바와 같이 단지 주형을 형성시키는 방법만 다를 뿐 왁스 모형(wax pattern)을 제거하여 조립하는 방법이나, 형성된 주형 내부의 왁스를 녹여 내고 그 공간에 용탕을 주입하는 것은 마찬가지이다. 이렇게 왁스를 녹여 낸다고 하여 인베스트먼트 주조법을 일명 로스트 왁스법(lost wax process)이라고도 한다.

세라믹 셸 주형법이 솔리드 주형법보다 유리한 점을 열거하면 다음과 같다.

- (가) 내화물의 사용량이 현저하게 줄어 주조 원가가 낮다.
- (나) 주형이 가벼워지므로 취급이 용이하고 솔리드 주형법보다는 큰 제품을 주조 할 수 있다.
- (다) 주형이 얇아 솔리드 주형법보다 주입 후 열 방출이 신속하고 균일하며 이 때문에 어떤 합금에서는 기계적 성질이 향상된다.
- (라) 주조결함의 발생이 적다.
- (마) 치수의 정밀도가 높다.
- (바) 주형의 피복작업이 단순반복 작업으로 이루어지므로 주형작업 공정을 자동화할 수 있다.

2) 제조 공정

(가) 주모형

주모형(master pattern)은 왁스 모형 성형용의 형을 만드는데 필요한 것이며, 주모형

의 형상이나 치수는 제조과정 중에 생기는 주형이나 금속의 팽창, 수축을 고려하여 정해진다. 주모형의 재질로서는 가공하기 쉬운 알루미늄 합금, 구리 합금, 탄소강 등이 사용된다.

(나) 금형

금형(die)에는 주모형을 사용하되 저융점 합금, 석고, 수지 등으로 주모형의 형상과 치수를 복제해서 만들어지는 것과 직접 기계가공에 의해서 만들어지는 것이 있다. 전자는 시제품이나 생산량이 적은 것에, 후자는 생산량이 많은 것에 사용된다. 일반적으로 알루미늄 합금이나 강을 사용한 기계가공의 금형이 가장 널리 사용되고 있다.

3) 금형

(가) 금형재료 및 제작 방법

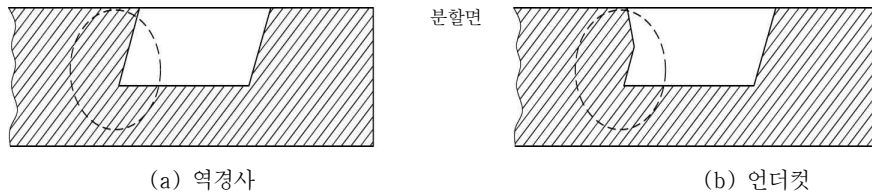
- (1) 알루미늄 합금 2024-T6, 6064-T6, 7075-T6 등을 기계가공하여 금형을 제작한다.
- (2) 알루미늄 합금 6061-T6나 7075-T6을 기계가공한 후 아노다이징(anodizing)처리하여 사용한다.
- (3) 코어나 인서트(insert)와 같은 활동 부위는 탄소강을 사용한다.
- (4) 탄소강을 바로 기계가공하여 금형을 제작한다.
- (5) 저융점 합금이나 베릴륨/구리 합금을 주조하여 금형을 제작한다.
- (6) 치수보다 형상을 중요시하는 공예품이나 이와 유사한 제품의 경우 실리콘 고무를 주조하여 사출형을 제작한다.

이상과 같은 인베스트먼트 주조용 금형제작 방법에는 여러 가지가 있으나 일정 하고 정확한 치수를 지닌 제품을 연속적이고 장기적으로 생산하려면 알루미늄 합금(특히 7075-T6)을 기계가공하여 금형을 제작하는 것이 가장 좋다.

(나) 금형의 품질

제품의 형상 및 치수의 공차는 거의 금형의 품질에 좌우되므로 최소한 다음에 기술하는 사항을 지켜야 한다.

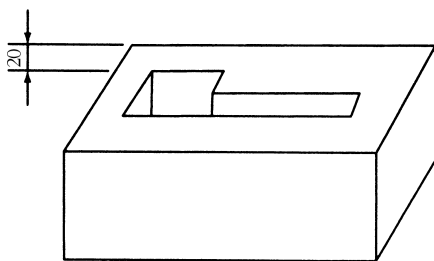
- (1) 금형의 형상 및 치수의 공차는 도면 공차의 10% 이내로 제작되어야 한다.
- (2) 최종 다듬질은 왁스 모형이 빠져 나오는 방향으로 해야 한다. 즉, 분할면에 대하여 수직이어야 한다.
- (3) 경사면이 아닌 다른 부분의 표면 거칠기는 63Rms 이하로 손질되어야 한다.
- (4) [그림 2-43]에 나타나 있는 역경사나 언더컷은 허용되지 않는다.
- (5) 금형은 왁스 모형이 빠져 나올 때 변형을 일으키지 않고 쉽게 빠져 나올 수 있도록 제작되어야 한다.



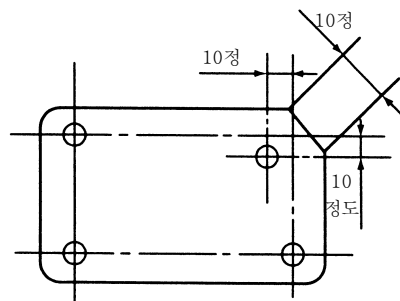
[그림 2-43] 역경사와 언더컷

(다) 금형의 설계 및 기계가공 작업 표준

- (1) 분할선은 제품의 형상, 공차, 생산성과 금형가공의 난이도 등을 충분히 고려한 다음 결정하여야 한다.
- (2) 금형의 크기(상형 또는 하형)는 최소 70mm×100mm, 두께 50mm 이상 되는 것이 좋다.
- (3) 공극부(제품 형상을 금형 내부에 파놓은 공간)와 금형 외곽까지의 거리는 최소 20mm 이상 되어야 한다.([그림 2-44] 참조)
- (4) 4개의 조립용 경사 핀 중 한 개를 10mm정도 벗어나게 위치시키고 그 부분의 모서리를 약 10mm 가공해 줌으로써 상·하형이 잘못 조립되는 것을 방지할 수 있다.([그림 2-45] 참조)

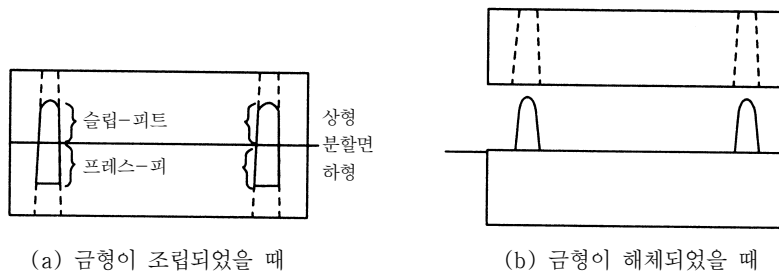


[그림 2-44] 공극부와 외곽 거리



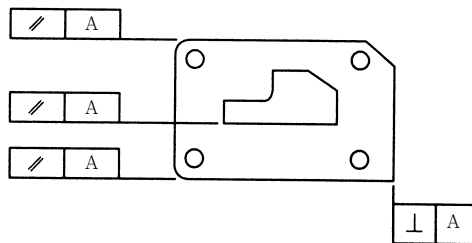
[그림 2-45] 경사 핀

- (5) 하형에는 경사 핀을 프레스-피트(press-fit)로 고정시키고, 상형에는 슬립-피트(slip-fit)로 고정시켜야 한다.([그림 2-46] 참조)

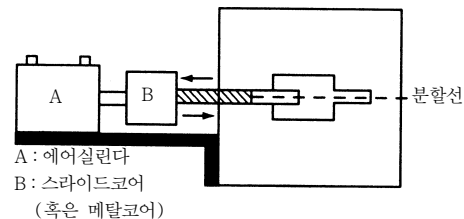


[그림 2-46] 형합 및 분리시의 금형

- (6) 금형의 외곽면은 가공 및 검사기준면으로 이용될 수 있도록 공극부의 어느 한면과 수직 혹은 평행이 되도록 해야 한다.([그림 2-47] 참조)
- (7) 모든 메탈코어는 금형을 해체하기 전에 먼저 빠져나오는 것이 좋다. 단, 금형 구조상 부득이한 경우는 제외한다.([그림 2-48] 참조)

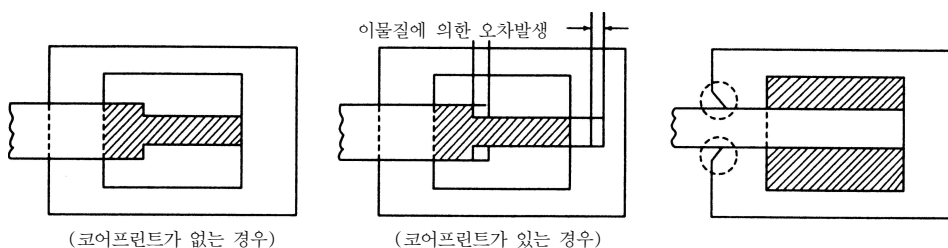


[그림 2-47] 금형의 외곽면



[그림 2-48] 메탈 코어 사용 예

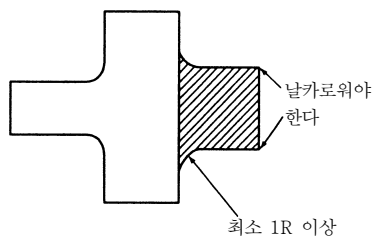
- (8) 메탈코어는 특별한 경우를 제외하고는 코어 프린트를 만들지 않는 것이 좋다. ([그림 2-49 참조] 코어 프린트 부분에 왁스 등의 이물질이 들어가 치수 변화를 일으키기 때문이다.([그림 2-50] 참조)
- (9) 분실의 우려가 없도록 메탈코어는 가능한 한 금형에 부착시켜 놓는 것이 좋다.
- (10) 메탈코어나 인서트는 틀린 방향으로 조립했을 때에 조립이 되지 않도록 설계되어야 하며 또한, 여러 개의 메탈코어가 조립될 경우 위치가 서로 바뀌었을 때에도 조립이 되지 않도록 설계되어야 한다.
- (11) 메탈코어나 인서트가 쉽게 조립될 수 있도록 금형 부위에 리드(lead)를 설치해 주는 것이 좋다.([그림 2-51] 참조)



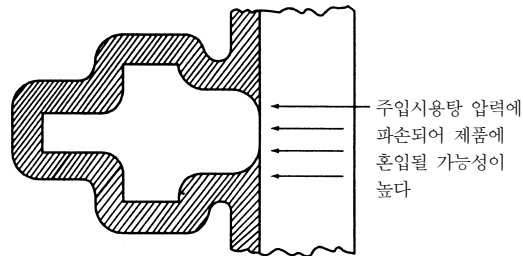
[그림 2-49] 코어 프린트 무 [그림 2-50] 코어 프린트 유 [그림 2-51] 리드 설치

- (12) 메탈코어 고정 핀을 여러 개 사용해야 할 경우에는 동일 크기로 하여 어느 부분이나 공통으로 사용할 수 있도록 설계하는 것이 편리하다.
- (13) 캠 로크(cam lock)는 경화된 알루미늄 합금이나 강으로 제작되어야 하며 사출할 동안 메탈코어가 움직이지 않도록 충분한 크기로 설계되어야 한다.
- (14) 에어실린더를 이용한 슬라이드 코어는 슬라이드 면과 재질을 달리하는 것이 장시간 작동으로 인해 마모되는 것을 방지할 수 있다. 또는 같은 재질일지라도 서로 경도를 달리함으로써 같은 효과를 얻을 수 있다.
- (15) 주입구의 바깥 부분, 즉 탕도와 연결되는 부위의 모서리는 날카로워야 하며, 제품

부위와 연결되는 부위는 최소 1R 이상 주어야 한다([그림 2-52] 참조). 탕도와 연결되는 주입구의 모서리 부분에 라운드(round)가 있으면 왁스 모형 조립 후 연결 부위에 언더컷이 생겨 용탕 주입시 세라믹 혼입 불량 원인이 된다. ([그림 2-53] 참조)

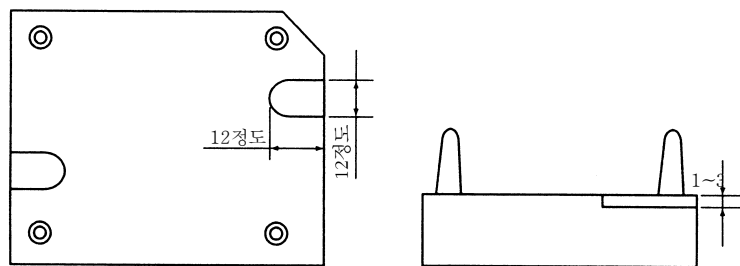


[그림 2-52] 라운딩



[그림 2-53] 세라믹 혼입 불량 원인

- (16) 왁스 주입구는 반드시 분할면에 있어야 하며 제품의 크기, 사출기의 조건에 따라 보통 직경 6~10mm 정도로 한다. 왁스 주입구는 게이트 부위로 연결시켜야 한다. 그러나 불가피하게 제품 부위에 직접 사출을 하여야 할 경우에는 기능상으로 중요한 부위가 아니고 손질이 용이한 부위에 연결시켜야 한다.
- (17) 왁스 사출구의 주위로 지름 50mm 정도(사출기의 노즐과 접촉되는 부위)는 면이 평탄하고 깨끗하여야 하며 분할면의 금형 외곽 모서리는 라운드가 없이 날카로워야만 사출시 왁스가 새어 나오지 않는다.
- (18) 금형은 스크류 드라이버(screw driver)로 쉽게 상·하형이 해체될 수 있도록 하형의 분할면에 [그림 2-54]과 같이 홈을 내어 주어야 한다.



[그림 2-54] 분할면의 홈

- (19) 취급상 안전을 위하여 금형의 외곽 모서리를 날카롭게 해서는 안 된다.(단, 분할면의 외곽 모서리는 날카로워야 한다)
- (20) 제품 추출 핀을 사용할 때에는 금형을 보호하기 위하여 안전핀을 2개 이상 설치하여야 한다.([그림 2-55] 참조) 이 때 사용되는 모든 핀은 반드시 강으로 만들어져야 하며 어떠한 경우에도 알루미늄 핀을 사용해서는 안 된다.
- (21) 금형제작이 완료되면 금형 외곽의 일정한 부위에 금형 고유 번호, 제작 연월일, 제작자 표시를 해두어야 한다.

(라) 금형의 관리 및 보관

(1) 작업 전 금형 관리

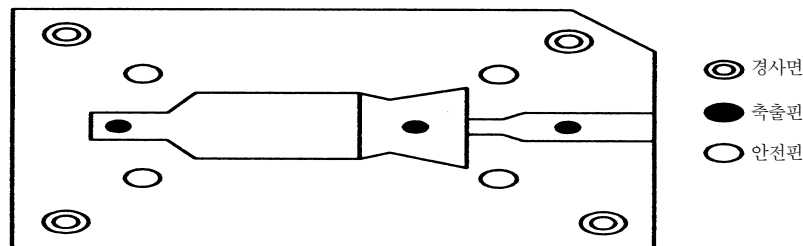
금형과 메탈코어는 작업 전에 미리 손으로 조립하여 상·하형이 잘 들어맞는지, 코어가 잘 움직이는지 등을 확인하여야 한다. 잘 맞지 않거나 잘 움직이지 않을 때에는 무리한 힘을 가하지 말고 금형이나 코어를 해체한 후 원인을 분석하여 수정하여야 한다.

(2) 작업 중 금형 관리

작업 중 공극부 내부에 왁스 조각이 끼어 잘 빠져 나오지 않을 경우에는 무리한 방법으로 제거시키려고 하지 말고 공극부를 보호하여야 한다. 또한 금형의 분할면을 수시로 닦아 내어 왁스나 이물질이 없도록 해야 한다. 분할면 상에 왁스 조각이나 이물질이 있으면 금형의 합형 상태를 나쁘게 하여 제품의 치수를 변화시키며, 금형이 변형되는 원인이 되기도 한다.

(3) 작업 종료 후 금형을 보관할 때에는 다음과 같이 하여야 한다.

- ① 금형을 솔벤트로 깨끗이 닦은 후 공극부 내부에 이형재를 분무시켜 준다.
- ② 코어나 인서트를 손으로 조립한 후 금형의 상·하형을 조립하여 보관한다.
- ③ 재사용시 발견이 용이하도록 금형 보관실 내에 작업 고유번호별로 보관해 두어야 한다.
- ④ 대부분의 금형은 가공이 용이하고, 내식성이 강한 알루미늄 합금으로 되어야 한다. 그러나 잘못 취급하면 상하기 쉬우므로 조심스럽게 취급하여야 한다. 강으로 되어 있는 코어나 핀 부분은 방청처리한 후 그리스로 피막을 씌워 녹을 최대한 방지하여야 한다.



[그림 2-55] 축출 핀 및 안전 핀

(마) 모형의 사출 및 조립

(1) 모형의 구비 조건

모형 재료의 구비 조건은 다음과 같다.

- ① 유동성이 좋을 것
- ② 표면이 매끈하고 평활할 것
- ③ 응고시 수축이 적고 연화 용융온도까지의 팽창률이 적을 것

- ④ 응고 시간이 짧을 것
- ⑤ 작업 및 보관 시에 변형이 적을 것
- ⑥ 상온에서 강할 것
- ⑦ 비결정질일 것
- ⑧ 소성 후 회분을 이루는 불순물의 함유량이 적을 것
- ⑨ 값이 싼 것

일반적으로 인베스트먼트 주조용 모형 재료는 왁스 단일종을 많이 사용하나, 때로는 왁스-플라스틱 혼합물 혹은 플라스틱 단일종으로 사용될 때도 있다.

(2) 왁스의 종류

왁스의 종류는 응고형식과 필러(filler) 유무에 의한 분류, 사용요도에 의한 분류가 있다.

□ 왁스의 응고형식에 의한 분류

모형 제작에 사용되는 왁스를 응고 범위 내에서 온도변화에 따른 점도로서 분류해보면 [그림 2-56]에서 보는 바와 같이 대체적으로 다음 세 가지로 나눌 수 있다.

① A 응고 형식

넓은 응고온도 범위를 가지고 있으므로 다음과 같은 특징이 있다.

- 온도 변화에 따라 유동성이 급격히 변하지 않으므로 사출온도의 관리가 용이하다.
- 반고체 상태에서 사출되어야 한다.
- 두꺼운 부분에 면수축이 발생하기 쉽다.

② B 응고 형식

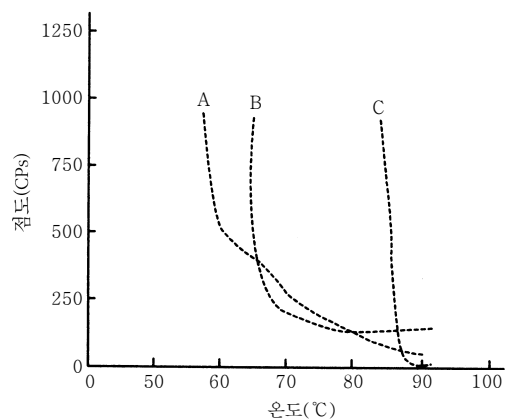
용융점이 비교적 낮고 좁은 응고 범위를 가진 왁스로서 다음과 같은 특징이 있다.

- 온도 변화에 따라 유동성이 급격히 변하므로 사출온도의 관리가 힘들다.
- 반고체 상태에서 사출되어야 한다.
- 변형, 두꺼운 부분의 면수축이 비교적 적게 발생한다.

③ C 응고 형식

용융점이 높고 좁고 응고 범위를 가지고 있으므로 다음과 같은 특징이 있다.

- B 응고 형식과 마찬가지로, 온도변화에 따라 유동성이 급격히 변하므로 사출온도의 관리가 힘들다.
- 액체 상태에서 사출되어야 한다.
- 얇고, 균일한 두께를 지닌 제품에 적합하다.



[그림 2-56] 왁스의 응고 형식

□ 필러(filler) 유무에 의한 분류

① 언필드 왁스(unfilled wax)

- 필러 성분이 첨가되어 있지 않는 일반적인 왁스로서 왁스의 재생률이 높다.
- 일반적으로 체적 수축률이 높아 두꺼운 부위에 면수축 발생 확률이 높다.
- 반고체 상태에서 사출된다. 그러나 왁스 제조업체별로 다소 성질이 다르며 반고체 또는 액체 상태로 할 경우도 있다.

② 필드 왁스(filled wax)

- 유기물이 첨가되어 있으므로 체적 수축률이 적고, 상온에서 강도가 높고 변형이 적으므로 정밀 치수를 요하는 제품제작에 많이 사용된다.
- 응고시간이 빠르다. 따라서 생산성도 높다.
- 왁스 재생이 힘든 것이 결점이다.

□ 사용 용도에 의한 분류

① 모형용 왁스(pattern wax)

제품이 될 왁스 모형제작에 사용되는 왁스를 말한다.

② 탕도용 왁스(extruded wax shape 또는 stick wax)

요구하는 굵기와 길이대로 공급받을 수도 있고 편상(flake)으로 공급받아 제조 업체에서 요구하는 형상으로 제작하여 사용할 경우도 있다. 이 탕도용 왁스는 탈 왁스시 모형용 왁스보다 먼저 녹아 나와야 하므로 왁스보다 연화 온도가 5~10℃ 낮아야 한다.

③ 수선용 왁스(patch wax)

왁스 모형에 생긴 면수축이나 흠집, 기포 등을 보수할 때 사용하는 왁스를 말한다.

④ 접착용 왁스(glue wax 또는 stick wax)

모형 왁스와 탕도, 탕도와 주입 컵 등 왁스를 서로 접착시킬 목적으로 사용되는 왁스로서 접착력이 매우 강하다.

(3) 왁스 모형의 사출 온도 결정

일반적으로 모형 왁스의 사출온도와 용융점, 연화점 등을 왁스 공급처에 알려 준다. 그러나 이 사출온도는 사출기의 사출형식, 사출압력 등에 따라 달라질 수 있으므로 사출온도의 결정은 실제로 작업하는 현장에서 보유하고 있는 사출기의 조건에 따라 시험을 거쳐 결정하는 것이 가장 좋다. 예를 들면, 용융점이 72℃인 필드 왁스를 사출압력 10kgf/cm²인 노즐 하향식 사출기에서는 65℃의 반액체 상태에서 사출을 해야 하나 사출압력 40kgf/cm²인 노즐 수평식 사출기에서는 40℃의 반고체 상태에서 사출할 수 있다. 그러나 사출온도를 결정할 때 주의할 점은 가능한 한 낮은 온도 범위에서 사출하는 것이 왁스의 체적 수축이 적어 보다 정밀한 치수를 얻을 수 있다.

(4) 왁스 모형의 제작

① 모형 왁스의 용해

- 왁스 용해용 탱크 내부를 깨끗이 청소한 후 왁스를 넣는다.
- 탱크 내부의 온도를 왁스의 용융점에 맞춘 후 용해를 시작한다.
- 탱크 내부의 교반 날개를 회전시킨다. 이때 분당 회전수는 12~18이 적당하다.
- 왁스가 완전히 용해되어 용융점까지 도달했을 때 40메시의 체로 혼입되어 있는 찌꺼기를 걸러 낸다.
- 일단 걸러진 왁스는 왁스 사출온도로 조정되어 있는 왁스 탱크로 옮긴다.
- 이 탱크의 내부에서도 역시 교반 날개를 계속 회전시켜 주어야 한다.
- 왁스의 온도가 사출온도로 균일하게 되었을 때 사출기로 옮겨 사용해야 한다.

② 사출기 작동법

사출기는 각 제작회사별로 그 종류가 다양하다. 노즐의 위치와 운동방법에 따라 분류해 보면 상향식, 하향식, 수평식 등이 있고 압력의 공급방법에 따라 분류하면 유압식, 공압식, 공기압식, 펌프식 등이 있으며, 사출압력 범위는 매우 넓다. 그러므로 다음에 기술하는 사출기의 작동법은 어느 사출기에나 적용되는 공통 사항이다.

- 금형을 사출기에 안치한 다음 사출기의 노즐 구멍과 금형의 왁스 주입구를 정확히 맞추어야 한다.
- 작업 시간 전에 금형이 잘 열리고 닫히는지, 코어가 정확히 들어가는지 상·하 형이 완전히 합형되는지, 공극부 부분에 굽힌 자국이나 오물이 없는지 확인하여야 한다.
- 이형제를 얇고 균일하게 분무시킨다.
- 왁스를 사출한다. 이때 사출온도, 압력, 유지 시간 등을 점검한다.

③ 작업중 왁스 모형 검사

금형에서 사출 후 왁스 모형을 빼내었을 때 작업자는 다음 사항을 항상 검사하여 다량의 불량률 사전에 예방하여야 한다.

- 왁스 내부에 공기가 혼입되어 모형이 부풀어 오른 것
- 연속적으로 모서리 부위가 파손되어 나오거나 왁스 모형이 완전히 성형되어 나오지 않은 것
- 금형에서 빠져 나올 때 변형이 생긴 것 등

④ 왁스 모형의 보수

왁스 모형이 트리(tree)로 조립되기 전에 먼저 손질 과정에서 다음과 같은 결함은 보수되어야 한다.

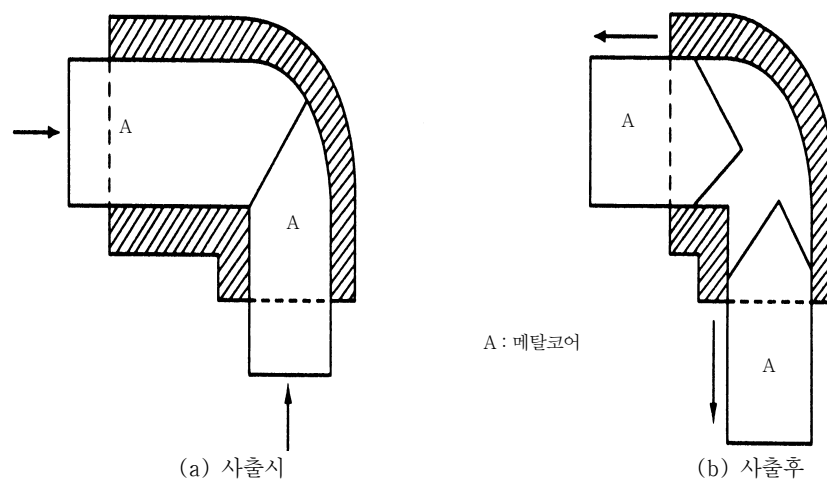
- 분할선의 높이가 너무 높거나 플러시가 있는 것은 칼로 조심스럽게 긁어내어야 한다.
- 면수축이 있는 부위에는 수선용 왁스를 바른 후 제품 높이와 같도록 조심스럽게 긁어내어야 한다.

- 기포나 흠집 역시 수선용 왁스로 보수한다.
- 표면 주름은 형겅에 트리클로로 에틸렌(trichloroethylene)을 묻혀 닦으면 제거된다.

⑤ 코어 이용법

□ 메탈코어

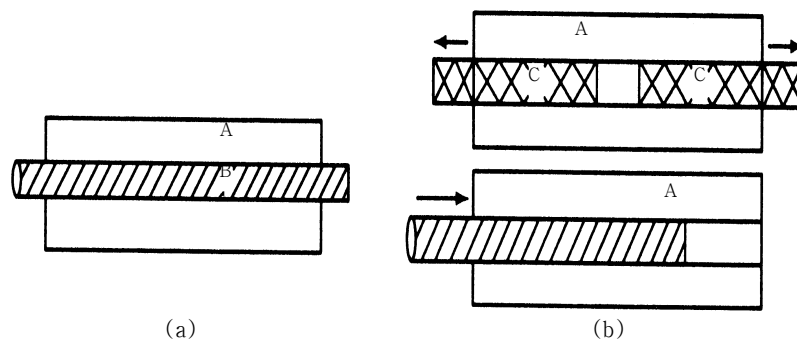
[그림 2-57]와 같이 금속재로 만들어진 비소모성 코어로서, 일직선 또는 회전운동으로 내부공간을 만들 수 있다. 이 방법이 내부공간을 만드는 방법 중 가장 경제적이므로 가능한 한 이 방법이 적용될 수 있도록 설계하는 것이 바람직하다.



[그림 2-57] 사출 시와 사출 후의 메탈 코어

□ 세라믹 코어

금속 코어로서 내부 공간을 만들 수 없는 형상이거나, 금속 코어로 공간을 만들 수 있으나 내화물이 피복될 수 있는 충분한 공간이 없을 때 적용하는 방법이다. 이미 세라믹으로 성형되어 있는 코어를 금형에 넣고 그 주위를 왁스로 사출하는 방법(그림 2-58 (a) 참조)과 금속 코어를 이용하여 먼저 내부 공간을 만든 후 세라믹 코어를 손으로 밀어 넣은 방법(그림 2-58 (b) 참조)의 두 가지가 있다.



[그림 2-58] 세라믹 코어 사용 예

(5) 왁스 모형 결함의 종류와 발생 원인

① 면 수축

평행부의 가운데 부분이 움푹 들어가는 현상으로서 특히 단면 두께가 두꺼운 곳에서 많이 발생하는데 일명 디시 또는 싱크라고 하며 그 발생원인은 다음과 같다.

- 사출압력이 낮을 때
- 사출 후 가압 유지시간이 불충분할 때
- 사출온도가 너무 높을 때
- 사출속도가 너무 느릴 때
- 왁스 주입구의 위치 선정이 잘못 되었거나 주입구 크기가 너무 작을 때
- 체적 수축률이 큰 왁스를 사용했을 때

② 표면 주름

왁스 모형 표면에 주름이 발생하는 원인은 다음과 같다.

- 와류가 발생하기 쉬운 위치에 왁스 주입구를 설치했을 때
- 왁스 주입구가 너무 작거나 주입 속도가 너무 느릴 때
- 왁스 주입 온도가 너무 낮을 때
- 왁스 사출압력이 너무 낮을 때
- 왁스 주입 온도는 높으나 금형온도가 상대적으로 너무 낮을 때
- 이형제를 과도하게 분무했을 때

③ 기포

왁스 모형 표면 또는 직하에 발생하는 기포의 발생원인은 다음과 같다.

- 왁스 주입구의 위치가 잘못되어 사출되는 왁스가 금형 내벽에 부딪히면서 비산할 때
- 사출 속도가 너무 빨라 공극부 내에 있던 공기가 빠져 나가지 못했을 때
- 왁스 내에 기포나 수분이 이미 함유되어 있는 것을 사용했을 때

④ 왁스 성형 불량(non-fill)

왁스 모형이 완전히 성형되지 않으면 다음과 같은 원인 때문이다.

- 왁스 온도가 너무 낮을 때
- 사출압력이 너무 낮을 때
- 금형온도가 너무 낮을 때
- 왁스 주입구 위치가 잘못되었을 때
- 주입구가 너무 작을 때
- 공극부 내의 공기가 빠져 나가지 못했을 때
- 이형제를 과도하게 분무했을 때
- 한 금형 내에 여러 개의 공극부가 있을 경우에 그 주입구조의 배분이 잘못 되었을 때

⑤ 플래시

왁스 모형의 분할선에 얇은 왁스 날개가 달려 있는 경우는 다음과 같다.

- 금형제작이 잘못되었거나 변형되었을 경우, 금형의 상하형이 완전히 밀착되지 않은 상태에서 왁스 모형을 사출했을 때
- 사출기에 금형이 정확히 안치되지 않았을 때
- 금형의 분할면에 이물질이 끼어 상하형이 완전 밀착되지 않은 상태에서 왁스 모형을 사출했을 때
- 사출압력보다 상하형의 합형압력이 상대적으로 낮을 때

⑥ 칩(chip)

금형에서 왁스 모형이 빠져 나올 때 모형의 일부분이 떨어져 나간 상태를 말하며 그 원인은 다음과 같다.

- 금형에 언더컷 역경사가 있을 때
- 모형 축출 핀의 배치가 불합리할 때
- 공극부 내에 이 물질이나 왁스 조각이 끼어있는데도 이를 제거하지 않고 계속 사출했을 때
- 사출후 금형에 빠져나올 때까지는 이상이 없었으나 그 후 취급 부주의에 의하여 왁스 모형끼리 서로 충돌하여 발생하는 경우도 많다.

(6) 왁스 모형의 검사

사출된 모든 왁스 모형은 조립에 앞서 다음과 같은 기준에 의거하여 검사되고 보수되어야 한다.

① 합격, 불합격 판정 기준

- 1) 균열은 허용되지 않는다.
- 2) 피트(pit)나 기포와 같은 결함 중 직경이 0.2mm 이하, 깊이가 0.1mm 이하인 경우에는 불량으로 간주하지 않는다.
- 3) 결함의 크기가 두께의 25% 이하이며 깊이가 직경의 50% 이하인 결함은 불량으로 간주하지 않는다.
- 4) 여러 개의 결함이 집합되어 있을 때 각 결함간의 간격은 그 결함 중 가장 큰 결함의 직경보다 작을 때 그 결함의 집합체는 한 개의 큰 결함으로 간주한다.
- 5) 면수축의 허용 범위는 도면 치수에 의거 합격, 불합격 판정을 한다.
- 6) 일반적으로 기계가공 부위의 왁스 모형 결함의 허용되므로 보수하지 않는다. 단, 그 결함 깊이가 기계가공 여유보다 깊을 경우에는 예외이다.

② 보수 부위의 확인

위에서 말한 기준에 의거, 결함 부위가 보수되었는지 확인하여야 하며 일단 보수가 된 부위라 할지라도 정확히 보수되었는지 재확인하여야 한다. 또한 보수작업을 하는 동안 또 다른 부위를 손상시키지 않았는지 확인하고 조립 준비를 하여야 한다.

(7) 왁스 모형의 조립

① 왁스 틀(wax frame) 제작

왁스 모형의 크기 및 형상에 따라 한 개에서 수 백 개까지 모형이 부착될 수 있도록 만들어진 것을 왁스 틀이라 한다. 이 왁스 틀의 모양과 크기는 인베스트먼트 주조업체마다 공정 특성에 따라 다양하다. 그러나 여러 개의 형을 한 곳에 조립하여 동시에 주조하므로써 1회 주입으로 많은 양의 주조품을 얻어내는 목적은 같다.

② 왁스 모형의 조립

1) 모형 조립 순서

- 왁스 모형의 주입구 부분에 전기인두를 접촉시켜 가열시킨다.
- 왁스 모형을 접착시키고자 하는 위치의 스틱에 전기인두를 접촉시켜 가열시킨다.
- 위 ①과 ②의 동작을 동시에 실시하여 전기인두를 슬라이딩시키면서 빼내어 왁스 모형을 정확한 위치에 접착시킨다.
- 접착 부위에 생긴 틈이나 기포를 전기인두로 왁스를 녹여 메워주거나 용융 왁스를 붓으로 찍어발라서 메운다.
- 위 ①에서 ④까지의 동작을 반복 실시하여 요구하는 숫자대로 왁스 모형을 왁스 틀에 부착시킨다.
- 탈 왁스가 잘 되지 않는 형상은 탈 왁스 보조 통로를 붙인다.

2) 왁스 모형 조립시 주의 사항

- 왁스 모형 중 전기인두가 접촉되는 주입구 하단 부위 이외는 전기인두가 닿아서 안 된다.
 - 왁스 모형은 일정한 간격을 유지하여 일직선으로 조립되어야 한다.
 - 이미 조립되어 있는 왁스 모형의 제품 부위에 왁스 방울이 떨어져서는 안 된다.
 - 제품의 구조상 어느 방향으로든 탈 왁스가 잘 되지 않는 부위에 주입구가 부착되어 있을 경우에는 탈 왁스 보조 통로를 붙여 주거나 가능한 탈 왁스가 잘 되는 방향으로 조립하는 것이 좋다.
 - 주입 후 제품 절단이 용이하도록 왁스 모형을 조립하여야 한다.
- 이상과 같이 왁스 틀에 모형이 조립되어 완성된 것을 왁스 트리(wax tree) 혹은 클러스터(cluster)라고 부른다.

3) 왁스 트리의 검사

- 이 왁스 트리는 내화물 피복에 앞서 다음 사항을 검사하여야 한다.
- 스틱과 스틱의 접착 부위가 견고하게 잘 붙었는지 확인한다.
- 왁스 모형과 스틱이 잘 접착되었는지 확인한다. 특히 주입구와 스틱 사이에 좁은 틈이 없는지 확인한다.
- 손질할 때에 긁어낸 왁스 가루가 모형 표면에 붙어있는지 확인한다.
- 손상된 모형이 붙어있지 않은지 확인한다. 손상된 모형은 제거시키거나 완전히

보수하여야 한다.

- 모형이 일정하게 잘 배열되었는지 확인한다. 정규 배열에서 이탈된 모형은 용탕 주입 후 절단할 때 제품이 손상될 우려가 있다.

이렇게 검사된 트리는 작업번호, 재질번호, 작업자번호 등을 표시한 후 깨끗한 곳에 보관하여 다음 공정의 이동에 대기한다.

바. 주형 제작

1) 주형 제작에 쓰이는 재료

(가) 점결제 (binder)

인베스트먼트 구조에 사용되는 점결제는 다음과 같은 조건을 구비하여야 한다.

- (1) 점결제는 왁스를 용해시키거나, 서로 반응하지 않고 서로 잘 접착되어야 한다.
- (2) 점결제는 상온에서 또는 주형의 소성 온도, 용탕 주입 온도에서도 내화물 입자를 서로 단단히 결합시켜 줄 수 있는 능력을 지니고 있어야 한다.
- (3) 점결제는 내화물과 반응하여 저융점의 공정 물질을 생성시켜서는 안 된다.
- (4) 점결제는 주입 금속과 반응을 일으켜서는 안 된다.

이상과 같은 조건에 가장 잘 부합되어 많이 사용되는 점결제는 콜로이드 실리카 점결제(colloidal silica binder)와 가수분해된 에틸실리케이트 점결제(prehydrolyzed ethylsilicate binder)이다. ([표 2-13, 2-14] 참조)

[표 2-13] 콜로이드 실리카 점결제

규 격	성분 및 성질
무수규산(SiO_2)	30~31%
입자크기	8~20 μ
표면적	200~370 mm^2/g
비중(20℃)	1.2
점도(25℃)	3~5 CPS
Na_2O	0.6% 이하
PH	9.5~10.5
수분	70%
색깔	투명 유백색 액체
빙점	0℃
안정성	반영구적
냄새	없음

[표 2-14] 에틸 실리케이트 점결제

규 격	성분 및 성질
무수규산(SiO_2)	17~21%
비중	0.91~0.92
점도	5 CPS
색깔	무색투명 액체
빙점	-22°C
발화점	약 240°C
산화유량	약 0.05%
산함유량	20°C에서, 밀폐된
안정성	용기내에 있을 경우 약 6개월

2) 콜로이드 실리카 점결제의 장점 및 단점

□ 장점

- 가수분해하지 않고 바로 사용할 수 있다.
- 건조 후 내화물 결합 강도가 에틸실리케이트 점결제보다 우수하다.
- 보존기간이 반영구적이다.

□ 단점

- 주성분이 물이므로 건조하는데 시간이 많이 걸린다. 특히 마지막 피복작업을 하고 건조시키는데 상당한 시간이 소요된다.
- 이로 인하여 생산성이 낮다.

3) 에틸실리케이트 점결제의 장점 및 단점

□ 장점

- 암모니아가스로 경화시키면 빠른 시간 내에 경화된다. 그러므로 마지막 피복을 하고 경화시키는데 불과 몇 시간 걸리지 않는다.
- 이로 인하여 생산성이 높다.

□ 단점

- 콜로이드 실리카 점결제보다 값이 비싸다.
- 아무리 잘 밀폐해 놓아도 6개월 이상이 지나면 변질의 우려가 있다.
- 알콜이 혼합되어 있으므로 화재의 위험성이 높다. 그러므로 항상 취급 및 관리에 유의하여야 한다.

이상과 같은 장단점을 고려하여 1~2차 피복작업은 비록 건조시간은 많이 걸리지만 콜로이드 점결제를 사용하고, 3차부터 최종 피복작업(7~10차)까지는 에틸실리케이트 점결제를 많이 사용한다.

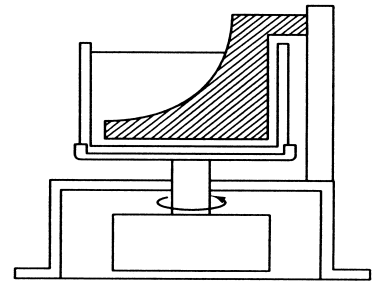
]

(나) 내화물

(1) 슬러리 배합용 내화물

① 지르콘 분말(zircon flour)

팽창 수축이 적고 또한 열팽창계수가 적으며 잘 처리된 지르콘은 해리 온도가 1760℃까지 되므로 직접 용탕이 닿는 1~2차 침지용 슬러리 배합용으로 많이 사용된다.



[그림 2-59] 슬러리 배합

② 불투명 석영유리 분말(fused silica flour)

고순도의 무수 규산을 용융시켜 단일 산화물로 만든 유리로서 열팽창 계수는 가장 낮다. 그러나 어떤 불순물과 반응하여 결정화되면 크리스트바라이트가 되어 변태를 수반한 이상 팽창을 일으켜 주형 균열, 치수 변화 등을 일으키거나, 어떤 합금에 있어서는 용탕 표면에서의 화학 반응 또는 결정을 조대화시키는 경우가 있다. 그러나 표면 굴곡이 많은 제품이나 구멍이 많은 제품일 경우에 주조 후 염욕 처리가 잘 되므로 1~2차용 슬러리 배합시 지르콘 분말과 반반씩 섞어서 사용할 때도 있다.

③ 고알루미나 샌드 및 분말

CaO, MgO, Fe₂O₃가 많으면 알칼리도가 높아져 에틸 실리케이트 점결제와 배합시 슬러리의 조기 겔(gel)화의 원인이 되어 슬러리의 사용 수명이 짧아지며 내화도도 떨어진다. 주로 에틸 실리케이트 점결제와 배합하여 백업(back up : 보통 2차 이후 최종 피복까지의 작업)용 슬러리 제작에 많이 사용된다.

일반적으로 200메시의 분말과 60~80메시의 입자를 일정비로 섞어 주형강도를 상승시켜 주며 또한 통기성도 향상시켜 준다.

(2) 피복용 내화물

① 지르콘 샌드(zircon sand) : ZrO₂ + SiO₂ 성분이 98.5% 이상이며 비중은 4.2~4.5 입자의 크기는 60~80메시 정도이다.

② 고알루미나 샌드(high alumina sand) : 고알루미나 분말과 같으나 제품형상에 따라 60~80메시, 25~40메시 등의 입자로 주로 백업용 주형 피복제로 사용한다.

2) 1차, 2차 피복 작업

① 슬러리 배합 용기

슬러리의 주성분은 액상 점결제와 고체 내화물이다. 그러나 이 내화물은 비중이 크므로 배합후 슬러리를 장시간 정체시켜 놓으면 가라앉아 침지하게 된다. 그러므로 이러한 내화물 침지현상을 방지하고, 배합성분이 균일하게 배합되도록 하기 위하여 슬러리는 항상 교반시켜 주어야 한다. 슬러리 교반방법에는 용기를 정지시켜 놓고 외부에서 프로펠러를 슬러리 내에 삽입시켜 회전하는 방법과 [그림 2-69]에서 보는 바와 같이 용기 내에 삼각판을 가로질러 놓고 용기를 회전시키는 방법이 있다. 이렇게 용기를 회전시켜 슬러리를 배합하면 배합이 균일하고 외부 공기의 혼입이 적다. 그러나 다량의 슬러리를 배합해야 할 경우는 프로펠러법을 많이 사용한다. 그리

고 이때 사용되는 배합 용기는 스테인리스강이나 폴리에틸렌 용기를 사용하여야 한다.

② 슬러리 배합법

슬러리 배합 조성은 제품의 크기, 형상 등에 따라 점도를 달리하는 경우가 있으나 일반적으로 콜로이드 실리카 점결제로 1~2차 피복용 슬러리를 배합할 때는 [표 2-15]의 조성으로 배합한다.

[표 2-15] 슬러리 배합 조성

콜로이드 실리카	19.8%
지르콘 분말(200~300메시)	80%
계면 활성제	0.05%
소포제	0.15%

③ 슬러리의 배합 순서와 방법은 다음과 같다.

- 배합 용기와 측정기구를 깨끗이 청소한다.
- 배합된 모든 재료를 소요량만큼 미리 측정해 둔다. 이때 소포제와 계면 활성제는 메스실린더로 정량해 두는 것이 정확하다.
- 점결제를 2/3정도 용기에 붓는다. 이때부터 회전시켜 주어야 한다.
- 지르콘 분말 전량을 붓는다. 이때 주의할 점은 한꺼번에 모두 쏟아 부으면 덩어리가 많이 생기므로 천천히 조금씩 부어야 한다.
- 나머지 점결제 1/3 정도를 용기에 부은 후 1시간동안 배합시킨다.
- 계면활성제와 소포제를 넣는다.
- 점결제와 내화물이 완전히 배합되고 배합시 혼입된 기포가 완전히 제거되려면 최소 8시간이 소요되므로 배합 후 8시간 이후부터 작업을 시작하여야 한다.
- 8시간 후 점도를 측정했을 때 25~40초(No.4 Cup Zahn)가 일반적으로 많이 사용하는 점도이다.

④ 1차 슬러리 피복 작업

- 왁스 트리를 약 30℃로 하여 천천히 슬러리 속으로 밀어 넣는다.
- 왁스 트리를 빼내어 잉여 슬러리를 흘러내리게 한다.
- 이때 슬러리가 균일하게 피복되지 않아 왁스 표면이 보이거나, 공기 주머니가 생겨 슬러리가 피복되지 않을 때에는 반복 작업을 실시한다.

⑤ 1차 샌드 피복

1차 슬러리 피복을 하여 왁스 트리 표면에 피복된 슬러리가 마르기 전에 내화물 샌드를 입혀야 한다. 이렇게 샌드를 입히는 작업을 스테코(stucco)라 하는데 스테코를 하는 방법은 두 가지가 있다. 첫째는 바닥에 40~50메시의 체가 부착된 용기를 공중에 달아놓고 그 속에 60~80메시의 내화물 샌드를 넣은 후 용기에 진동을 주면 이 내화물 샌드가 비가 오듯 떨어지는데, 이 속에 왁스 트리를 놓고 내화물 샌드를 피복시키는 레인 스테코(rain stucco)법이 있다. 둘째로는 샌드가 담겨 있는 용기바닥으로 공기를 불어넣어 모래를 공중으로 띄워 놓은 상태에서 왁스

트리를 집어넣어 샌드를 피복시키는 플루다이즈드 베드(fluidized bed)법이 있다.

일반적으로 1차 피복은 좁은 홈이나 구멍 부위까지 피복이 끝난 주형을 실내 온도 21~25℃, 상대 습도 60~80%되는 건조실에서 최소 4시간 이상 건조 후 2차 피복 작업에 들어간다.

⑥ 2차 피복 작업

1차 피복된 셸(shell)이 완전히 건조된 후 똑같은 방법으로 2차 피복을 한다. 2차 피복 후 최소 10시간 이상 건조한 후 3차 피복 작업을 하여야 한다.

3) 백업 피복 작업

(가) 슬러리 배합법

백업용 슬러리 역시 작업조건에 따라 다소 차이는 있으나 일반적으로 백업용 슬러리의 조성은 [표 2-16]과 같다.

배합 순서 및 방법은 전술한 방법과 동일하나, 배합 완료 후 백업용 슬러리 배합 시 혼입된 기포를 완전히 제거시킬 필요가 없으므로 배합 30분 후면 작업을 시작해도 된다. 단, 작업 전에 점도를 검사하여 15~20초(Ford 4-B) 범위 내에 있는 것이 좋다.

[표 2-16] 백업용 슬러리의 조성

에틸 실리케이트 점결제	28%
고알루미나분말 (200~300메시)	50%
고알루미나샌드 (60~80메시)	21.8%
계면 활성제	0.17%
소포제	0.03%

(나) 백업 샌드 피복 및 경화작업

백업 피복 후 주형을 경화시키는 방법에는 공기의 강제 송풍에 의한 경화법과 에틸 실리케이트를 암모니아가스로 겔화시키는 방법이 있는데, 이 암모니아가스로 겔화시키는 방법에도 밀폐 용기 내에 주형을 놓고 암모니아가스를 집어넣는 방법과 2~3%의 암모니아가스 농도를 유지시킨 터널을 컨베이어로 통과시키는 방법이 있다. 이들 방법중 능률적이고 생산성이 높은 방법은 암모니아 터널 통과법이다. 다음 설명하는 피복작업은 이 방법을 기준으로 한 것이다.

- (1) 먼저 2차까지 피복된 셸이 완전히 건조되었는지, 셸에 균열이 가지 않았는지, 왁스 모형이 떨어져 나가지 않았는지 확인한다.
- (2) 주형을 조용히 흔들어 표면에 허술하게 붙어 있는 샌드가 떨어지게 한다.
- (3) 주형을 슬러리에 조심스럽게 담근다.
- (4) 주형을 끄집어내어 잉여 슬러리를 흘러내리게 한 후 플루다이즈드 베드에서 즉각 스테코한다.

- (5) 이렇게 스티코된 주형을 컨베이어에 걸어 암모니아 터널로 통과시킨다.
- (6) 주형이 요구하는 두께가 형성될 때까지 이 같은 작업을 반복한다.
- (7) 피복이 완전히 끝난 주형은 마지막으로 슬러리에 디핑(dipping)만 하고, 샌드를 입히지 않는다. 이 작업을 실러 디핑(sealer dipping)이라고 한다.
- (8) 완전히 피복이 끝난 주형은 최소 12시간 이상 공기 강제 송풍실 내에서 건조시킨 후 탈 왁스시킨다.

4) 탈 왁스 작업

탈 왁스 방법에는 가열된 액체 속에 주형을 침지시켜 왁스를 녹여 내는 법, 트리클로로 에틸렌을 가열시켜 발생하는 증기로 왁스를 녹여 내는 법, 오토클레이브(autoclave) 내에서 수증기로 녹여 내는 법, 마이크로 웨이브(micro wave)로 녹여 내는 법 등이 있으나 중요한 기본원칙은 왁스가 팽창되기 전에 또는 팽창되지 않도록 하여 왁스를 녹여 내어야만 주형에 균열이 발생하지 않는다. 그러므로 가장 빠른 시간 내에 압력을 가해 왁스의 팽창을 저지시켜 주면서 수증기의 열로 왁스를 녹여 내는 오토클레이브 탈 왁스법이 가장 많이 사용되고 있다. 탈 왁스시 오토클레이브 내에 걸리는 압력은 7~8kgf/cm²이며 탈 왁스 시간은 왁스의 종류에 따라 다소 차이가 있으나 평균 20~30분이면 충분하다.

(가) 주형 균열 발생원인

탈 왁스 전, 후의 주형에 발생하는 균열은 다음과 같다.

- (1) 주형 피복작업장의 온도 및 습도의 변화가 심할 때
- (2) 피복한 내화물층이 건조되지 않은 상태에서 다음 피복작업을 계속 했을 때
- (3) 건조가 충분히 되지 않은 주형을 탈 왁스 하였을 때
- (4) 탈 왁스시 고압 가마 내의 압력이 낮아 왁스 팽창을 저지시키지 못했을 때
- (5) 노후화된 점결제를 사용하여 피복했을 때 점결력이 낮아 주형의 강도가 떨어지므로 탈 왁스 후 주형에 균열이 발생한다.

(나) 불량률의 종류와 원인

(1) 버클링(buckling)

피복한 내화물층의 건조 또는 경화되지 않은 상태에서 다음 피복을 계속한 후 탈 왁스 하였을 때, 일부 피복층이 분리될 경우가 있다. 이러한 상태에서 주형을 소성하고 용탕을 주입하여 분리된 주형층이 용탕쪽으로 밀려들어가거나 바깥쪽으로 밀려나온 상태를 말한다. 특히 이 현상은 표면적이 적은 넓은 평판 부위에 많이 나타난다.

(2) 벌징(burging)

주형 피복시 좁은 홈이나 작은 구멍을 피복할 때 주의하지 않으면 홈이나 구멍의 중간 부위까지 내화물이 균일하게 피복되지 않고, 홈이나 구멍 입구가 먼저 막혀 버

리는 경우가 있다. 이러한 현상을 브릿지(bridge)라 한다. 브릿지가 생긴 이후는 구멍이나 흠 내부가 계속 피복이 될 수 없으므로 중간 부위의 내화물층은 매우 얇다. 이러한 상태에서 탈 왁스 후 용탕을 주입하면 주입되는 온도와 압력에 의하여 구멍 내부의 얇은 부위가 밀려나오게 된다. 구멍이나 흠의 중간 부위에 혹처럼 튀어나와 있는 것을 벌징이라 한다.

(3) 제품 표면의 거칠음과 금속 침투 현상

1차 피복용 슬러리의 점도가 너무 낮을 때, 1차 스테코용 샌드의 입자 굵기가 너무 굵을 때, 너무 오래된 슬러리로 1차 피복을 했을 때에 나타난다.

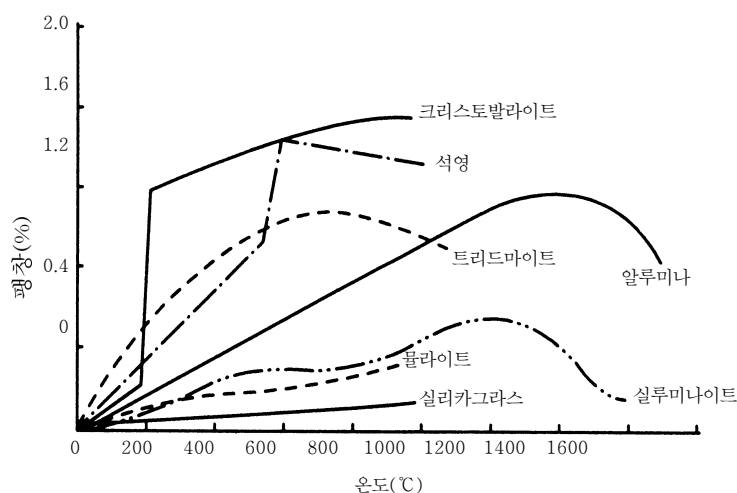
5) 주형의 소성

주형의 소성을 하는 목적은

- ① 탈 왁스 후 주형 내부에 남아 있는 잔류 왁스를 완전히 태워 없애기 위하여
- ② 주형을 소결시켜 강도를 높여주기 위하여
- ③ 주형을 예열시켜 주기 위하여 보통 800~1100℃까지 주형을 가열시켜 준다. 솔리드 몰드 주형은 두께가 두꺼워 열전도 속도가 늦기 때문에 천천히 온도를 상승시키지 않으면 주형에 균열이 발생한다. 세라믹 셀 주형은 바로 800~1100℃로 가열된 소성로에 장입하여도 균열이 발생하지 않으나 주형이 크고, 형상이 복잡한 주형은 균열의 우려가 있으므로 서서히 가열해 주어야 한다.

소성 시간은 언필드 왁스보다 필드 왁스를 사용한 주형이 길다. 일반적으로 필러성분을 완전히 태워 없애는 데는 800~1100℃에서 2시간 이상이 걸린다.

[그림 2-70]은 각 내화물의 온도상승에 따라 팽창률을 나타낸 것이다. 내화물별로 팽창률이 큰 온도 범위에서는 서서히 가열하여야 균열이 발생하지 않으며, 팽창률이 완만한 범위에서는 온도를 급상승시켜도 균열이 발생하지 않는다.



[그림 2-60] 각종 내화물의 온도 상승에 따른 팽창률

(가) 소성로에 장입시 주의 사항

소성로에 장입시 주형 내에 불순물이 혼입되지 않기 위해서는 다음 사항에 주의하여야 한다.

- (1) 주형 운반기구는 항상 깨끗이 관리하여야 한다.
- (2) 주형은 항상 주입 컵이 아래로 향하게 하여 취급해야만 불순물 혼입을 방지할 수 있다.
- (3) 소성로에 장입시 주형간의 간격을 최소 50mm 이상 유지하여 서로 충돌로 인한 주형 균열이나 파손을 방지하여야 한다.

(나) 단열재 피복

주입시 탕회 불량이나 내부 수축공 발생 우려가 있는 부위에 세라믹 파이버 브랭킷(ceramic fiber blanket)과 같은 단열재를 씌워 불량을 방지시키는 방법도 많이 사용된다.

- (1) 두께가 얇아 탕회 불량의 우려가 있어 그 부위의 셀 외부에 단열재를 씌운 경우에는 주입 후 단열재를 즉각 제거해야 한다.
- (2) 내부 수축공을 방지하기 위하여 탕도, 주입구 혹은 압탕에 씌운 단열재는 제품이 완전히 응고할 때까지 씌워 두어야 한다.

(다) 주형 균열

소성 완료 후 주입 직전에 주형의 결함이 발견되었을 때에는 다음과 같이 조치해야만 주형 균열을 방지할 수 있다.

- (1) 제품 부위의 일부가 떨어져 나간 것과 같은 결함은 그 부위를 즉각 내화 모르타르로 보수 후 소성로에 신속하게 재장입해야만 온도의 급강하에 의한 주형 균열을 방지할 수 있다.
- (2) 주형을 냉각시켜야 할 경우에도 소성로에서 서냉시켜야 온도 급강하에 의한 주형 균열을 방지할 수 있다.

6) 용해 및 주입

주로 니켈계 내열 합금(인코넬계 합금)은 고온 강도를 유지시켜 주는 원소인 알루미늄, 티타늄 등이 대기중의 산소, 질소 등과 결합하는 것을 방지하기 위하여 진공중에서 용해 및 주입을 한다. 그러나 일반 탄소강, 저합금강, 스테인리스강, 코발트계 내열 합금, 일부 니켈계 내열 합금(스텔라이트계) 등은 일반적으로 대기 또는 아르곤 가스 보호 분위기에서 주로 고주파 유도로에서 용해, 주입한다.

(가) 주입 온도

[표 2-17]은 주형 소성온도 950~1050℃에서의 각 재질별 주입 온도를 나타낸 것이다. 주입 온도는 제품의 두께, 형상, 주형 소성온도에 따라 달라질 수 있으며, 주형 소성온도를 조정하는 것보다 주입 온도를 조정하는 것이 좋다.

[표 2-17] 각 재질별 주입 온도

재 질	주 입 온 도
탄소 및 저합금강	1590~1640℃(1680℃를 초과하지 말 것)
크롬계 스테인리스강	1580~1630℃(/)
니켈-크롬계 스테인리스강	1570~1620℃(/)
니켈합금	가능한 한 1560℃를 초과하지 않는 것이 좋다.
코발트 합금(스텔라이트계)	1620~1670℃
코발트 합금(기타)	스텔라이트-9 1450~1600℃

(나) 용해(고주파로)

(1) 탈산제 첨가 방법 및 시기

- ① 노내에 첨가할 탈산제 양을 정량해 둔다.
- ② 용해가 시작되면 소량을 주기적으로 첨가하다가 완전히 용해가 되어 주입 온도에 도달하면 남은 양을 전부 노내에 첨가한다.
- ③ 레이들에 첨가할 탈산제 전량을 주입 레이들 바닥에 놓고 출탕시킨다. 이때 발생하는 와류에 의하여 탈산제가 균일하게 확산되어 탈산 효과가 크다.

(2) 용해 작업 순서

- ① 재료 장입 전에 먼저 라이닝의 상태 즉, 균열 여부, 마모 상태, 흠집 여부, 건조 상태 등을 점검하여야 한다.
- ② 노내에는 이물질이 없어야 하며 노벽에 슬래그가 과도하게 붙어 있어서는 안된다.
- ③ 재료를 장입하여 용해를 시작한다.
- ④ 전술한 탈산 방법에 의하여 탈산시키면서 용해를 계속한다.
- ⑤ 슬래그를 완전히 제거한 후 용탕 온도를 측정하고 화학분석용 시편을 채취하여 분석 한다.
- ⑥ 분석 결과에 따라 원소를 추가로 첨가하여야 할 때 그 정량 범위는 100kg 용해당 $\pm 0.1g$ 오차내로 측정하여 첨가한다.
- ⑦ 분석 결과가 합금 규격내에 들면 용탕을 출탕 온도까지 상승시킨다.
- ⑧ 슬래그를 완전히 제거한 후 용탕 온도를 측정한다.
- ⑨ 주입 레이들에 탈산제를 넣고 출탕시킨다.

(다) 주입

- (1) 출탕 전에 주입 레이들은 1200℃ 이상으로 예열되어 있어야 한다.
- (2) 출탕시 주입 레이들 용량의 3/4만큼 용탕을 받는 것이 주입하기 편리하다.
- (3) 레이들을 주입 컵에 최대한 가까이 하여 빠르게, 그러나 조용히 주입하여야 한다. 이때 주의할 점은 주입 도중에 멈추거나, 용탕이 밖으로 튀어나가지 않도록 한다.

7) 후처리

주입이 완료된 주형은 완전히 응고된 후 후처리해야 한다. 주형은 녹아웃 머신(knockout machine)으로 셀을 제거한 뒤 절단기로 제품의 주입구를 절단한다. 절단된 제품은 표면에 잔류해 있는 내화물이나 표면 스케일을 60~90메시의 샌드나 쇼트(shot)로 블라스팅(blasting)하여 완전히 제거시킨다. 이때 블라스팅이 잘 되지 않는 홈 속이나 구멍 속의 내화물, 세라믹 코어 등은 600~620℃의 염욕에서 녹여 낸다. 주조품은 다음 공정을 거쳐 완성된다.

(가) 주입구 연마 작업(gate grinding)

주입구는 주로 연마석이나 샌드 벨트(sand belt)에서 그라인딩하여 제거하는데, 잔류 주입구의 높이를 결정해 두어야 한다. 일반적으로 기계가공이 있는 부위에 주입구가 붙어 있을 경우에는 0.2~0.5mm의 잔류 주입구를 남겨도 되나 기계가공이 없는 부위의 주입구는 완전히 제거시켜야 한다. 이 때 주의할 점은 반드시 도면을 참조하여 허용 공차를 벗어나지 않도록 해야 한다.

(나) 교정

인베스트먼트 주조품은 대체로 복잡하고 까다로운 형상이 많으며, 특히 가늘고 긴 형상의 경우에는 왁스 모형의 사출, 조립 또는 용탕 주입 후 응고과정에서 변형이 생기는 경우가 많다. 변형된 주조품은 재질, 제품형상 등에 따라 열간 또는 냉간 교정을 한다.

대량생산품의 경우 주조품을 치구에 안치시킨 후 프레스로 교정하고 소량생산품의 경우에는 망치로 교정할 경우도 있다. 주의할 점은 균열이 발생하지 않도록 해야 한다. 그 외에 제품 사양에 따라 열처리, 가공 등의 후공정을 거쳐 검사 부서로 인계하여 각종 검사를 실시하여야 한다.

(다) 각종 검사법

[표 2-18]은 인베스트먼트 주조품의 일반적인 검사항목을 나타낸 것이다.

[표 2-18] 인베스트먼트 주조품의 각종 검사법

구 분	내 용
화학적 성질	화학 성분 시험 등
기계적 성질	인장, 경도, 굴곡, 충격시험 등
열처리 및 현미경 조직 시험	주방 상태, 풀림 상태, 노멀라이징 상태, 담금질·뜨임 상태, 금속 조직의 종류 및 입자 크기 등
치수 검사 및 표면 육안 검사	도면 치수 검사 및 허용 공차, 잔류 게이트 높이, 표면거칠기, 표면 육안 검사 등
비파괴 시험	형광 침투 탐상 시험, 자분탐상 시험, 초음파 탐상 시험, 방사선 투과 시험 등
기타 검사	게이지에 의한 주요 치수 검사 등

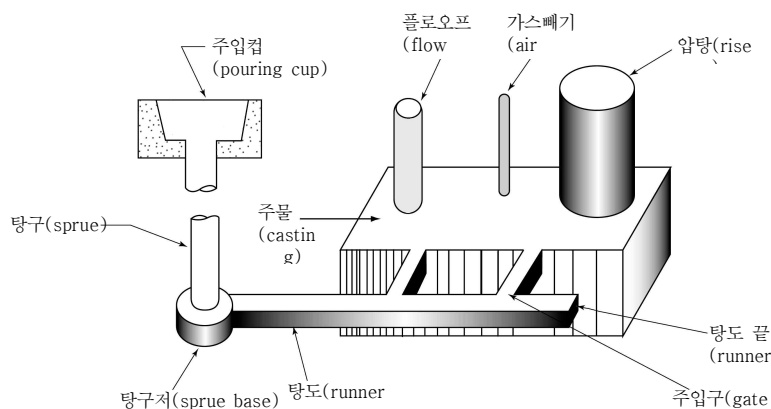
제 3 장 주조방안설계

1. 탕구 방안¹⁰⁾

가. 탕구계(gating system)

탕구계(gating system)란 주형 중의 빈 자리에 용탕을 충전시키는데 필요한 통로를 말한다. 즉, 탕구계는 탕구(sprue, downgate), 탕도(runner, crossgate), 주입구(gate, ingate) 등을 포함한 총칭이라 할 수 있다.

[그림 3-1]은 탕구계를 표시한 예이며 이들은 환봉 또는 각봉 및 흠손 등과 같은 간단한 수공구를 사용하여 직접 주형을 만들 때도 있으나 경우에 따라서는 정반위에 모형을 부착시켜 사용하는 경우도 있으며, 탕구계의 기능은 다음과 같다.



[그림 3-1] 탕구계의 명칭

- ① 주형의 공간에 용탕을 주입시킨다.
- ② 주형의 침식과 가스의 혼입을 방지하기 위하여 가급적 난류를 일으키지 않고 주형 내에 인도할 것.
- ③ 주물의 응고에 가급적 최적의 온도구배를 이룰 것.
- ④ 용탕이 탕구계를 통하여 유입될 때 적당한 제재작용(skimming action)을 유도할 것.

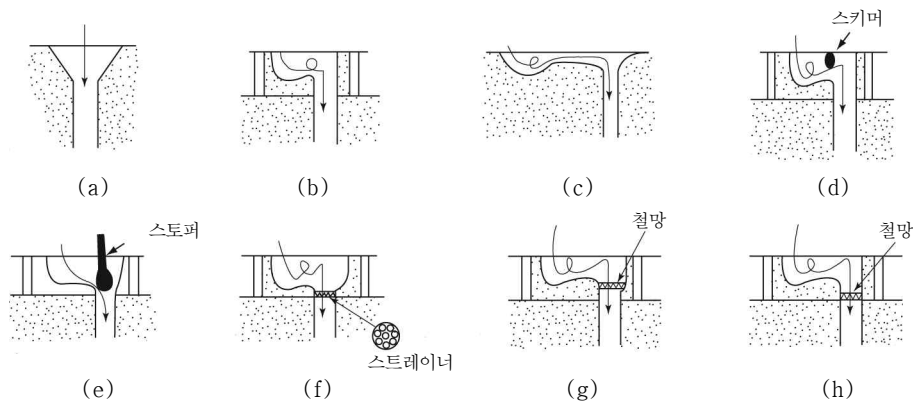
탕구계가 이러한 기능을 발휘하려면 주입속도, 주입구의 크기와, 수 및 위치, 탕도와 탕구의 크기와 형식, 레이드 및 주입컵과 같은 주입설비 형상, 용탕의 온도(유동성) 등이 최적의 조건을 가져야 한다.

10) NCS 분류번호 : 주조 공정 설계(1601030103_16v4)

1) 주입컵(pouring cup)

주형 외부로부터 용탕을 주입한 곳을 주입컵(pouring cup)이라 하고 탕구에 바로 용탕이 주입되지 않고 탕구 위에서 일단 고이게 한 다음 슬래그나 이물질을 제거할 수 있게 한 것을 탕류(pouring basin)라 한다. 탕류는 일반적으로 주형과는 별도로 만들어 탕구부분에 올려놓는 것이 보통이므로 이 부분을 런너박스(runner box)라고도 한다.

주입컵은 용탕이 탕구에 잘 들어간다고 좋은 것이라고 할 수 없다. 주물의 재질을 중요시 하지 않을 때는 [그림 3-2](a)와 같이 탕구의 윗부분을 원추형으로 넓혀도 좋지만 불순물이나 슬래그가 없는 깨끗한 용탕을 조용히 주입하려면 (b)~(h)와 같은 주입컵을 붙여야 한다. (b)와 (c)는 작은 주형에 쓰이는 것이고 (d)는 불순물을 제거하기 위한 것이다. (e)는 주입컵에 어느 정도 용탕을 고이게 한 다음 정지봉(stoper)을 제거하여 깨끗한 용탕만 들어가게 하는 것이며 (f), (g), (h)는 탕구의 입구에 스트레이너(strainer)를 붙인 것이다. 스트레이너는 철강에는 규사로 만든 코어를 사용하고 구리합금이나 경합금에는 (g)와 같이 강으로 만든 망을 쓴다. 주입컵을 사용하면 불순물이나 슬래그는 잘 제거되나 용탕이 들어가는 힘이 약해지므로 용탕의 흐름성이 좋은 용탕을 주입해야 한다.



[그림 3-2] 주입컵

2) 탕구(sprue)

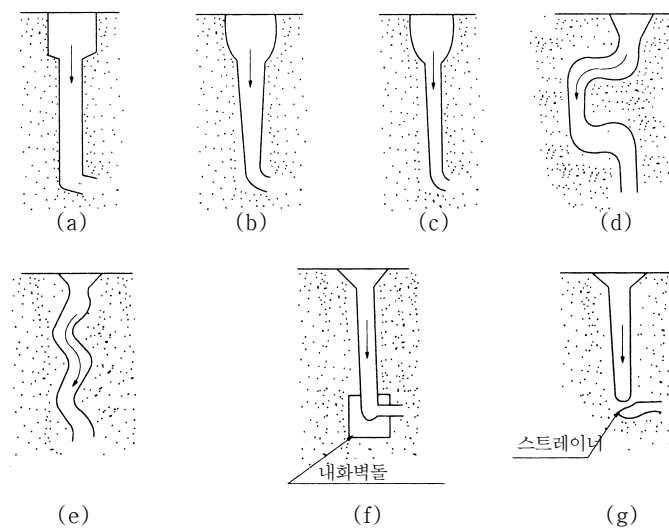
탕구는 주형 중의 빈 자리에 용탕을 충만시키는데 필요한 통로를 말하며 일반적으로 주입컵에서 밑으로 수직하게 되어 있다. 용탕이 주형으로 들어가는 첫 통로로서 단면은 원형이고 윗부분이 조금 넓은 원뿔 모양이다.

탕구의 지름과 높이는 주입할 금속의 무게 및 유동성과 주물의 모양 및 사용목적에 따라 결정된다. 또 주입방식에 따라 탕도를 통하여 주형에 주입하는 일반적인 주물을 만들 때 이용되는 것과 탕도 없이 주형에 직접 주입되는 것이 있다. 탕구는 주형 안에 있는 용탕에 정압을 가하는 역할도 한다.

탕구 바닥(sprue base)은 탕구의 가장 아래쪽에 만든 반원형의 오목부로서 탕구로부터 주입되는 용탕이 처음 닿는 곳인데 탕구의 높이에 따라 큰 충격을 받는 곳이

다. 이 부분은 조형방법에 따라 용탕 속에 섞인 슬래그나 불순물을 분리하는 역할도 하기 때문에 매우 중요하다.

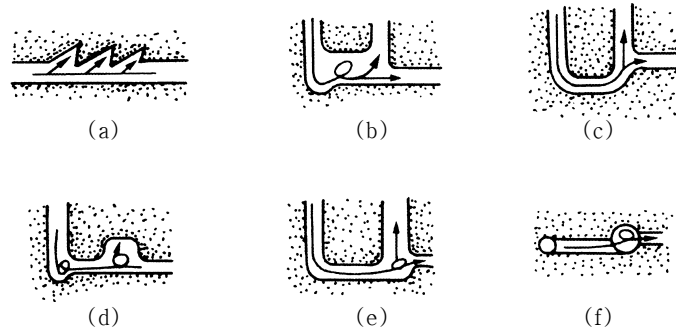
탕구는 [그림 3-3] (a)와 같이 각이 지면 안 되며 (b)와 같이 라운딩(rounding)을 붙이든가 (c)와 같이 깔때기 모양으로 전체를 원추형으로 한다. 너무 강하게 용탕이 들어가서 곤란할 때는 (d) 또는 (e)와 같이 탕구 중간에 굽게 된다. 탕구바닥은 주형이 파손되기 쉬우므로 (f)와 같이 특별히 만든 강한 내화벽돌이나 건조형 형재로 만들기도 한다. 또 (g)와 같이 탕구 바닥에 스트레이너를 설치하면 주입컵에서 불순물이나 슬래그를 제거하는 계획을 세우지 않아도 된다.



[그림 3-3] 각종의 탕구

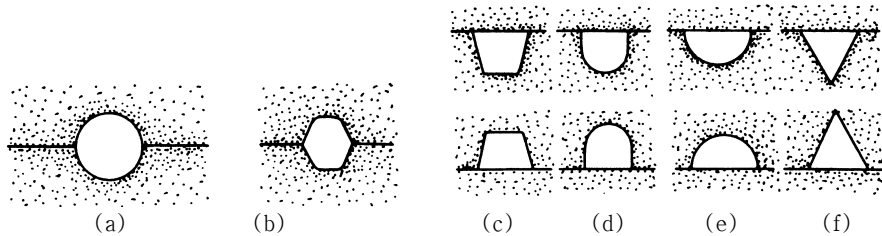
3) 탕도(runner)

용탕이 탕구로부터 주형에 주입되는 입구(주입구)까지 용탕을 보내는 수평부분을 탕도(runner)라 한다. 탕도는 주입되는 용탕 속에 섞인 불순물이나 슬래그를 최종적으로 걸러주어 깨끗한 용탕이 주입구를 통하여 조용하고 빠르게 주형 안에 충만되도록 하는 역할을 한다. 탕도는 끝부분(先端)을 탕도 끝이라 하며 주입시 주형에 처음 유입된 용탕은 온도가 낮고 불순물이 많이 함유되어 있어 이러한 불순물을 포집하기 위하여 설치한다. 또한 주입컵, 탕구바닥에서도 제거되지 않은 불순물을 제거시키면서 용탕이 조용하고 빠르게 주형에 주입되도록 하기 위해서는 [그림 3-4]와 같이 탕도를 만든다. (a)는 3각형의 부분에서 불순물을 제거할 수 있게 한 것이고 (b)는 불순물이 떠오르도록 탕구를 2중으로 한 것이고 (c)는 U자 모양의 탕도 도중에서 주입구로 행한 탕도를 유도한 것이며 (d)와 (e)는 상기 방법들을 응용한 것으로, 위에서 보면 (f)와 같이 용탕이 회오리 현상을 일으키면서 주입되므로 불순물이 중앙에 오며 압탕 등으로 떠오른다.



[그림 3-4] 탕도

이들 탕도의 단면은 [그림 3-5](a)와 같은 원형이 가장 좋으나 원형을 만들기 어려우므로 육각형(d)과 사다리꼴(c)이 많이 쓰인다. 또 U자 모양(d), 반원형(e), 삼각형(f)도 이용된다.



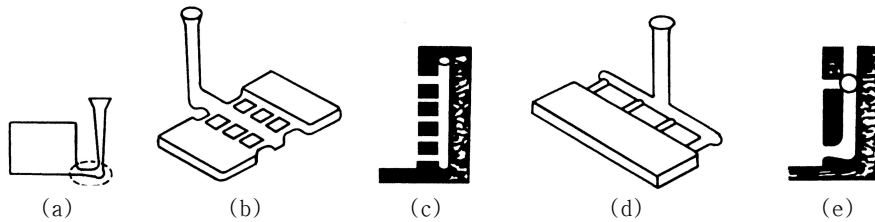
[그림 3-5] 탕도의 단면

4) 주입구(gate)

탕도에서 용탕이 주형에 들어가는 곳을 주입구(gate)라 한다. 주입구는 주입할 때 용탕이 주형에 부딪혀 역류현상이 일어나지 않고 주형 안에 들어있는 공기와 가스가 잘 빠져나가게 하여 주형의 구석구석까지 잘 채워지도록 한다. 따라서 주입구의 크기, 위치, 방향 및 개수 등을 알맞게 계획하고 또 주입 후 주물 각부의 냉각을 고르게 하여 균열이나 수축 등 결함이 생기지 않도록 해야 한다.

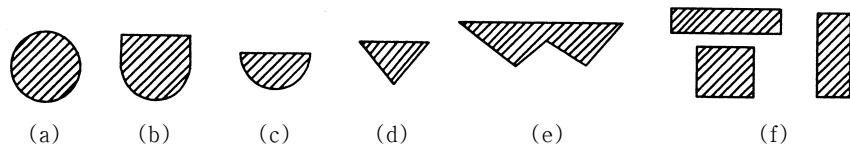
일반적으로 주입구의 위치는 가공부나 두꺼운 부분을 피하고 가장 아래쪽의 얇은 부분에 두는 것이 보통이며 안전하다. 또 한 곳에만 세우면 흘러들어가는 용탕의 압력이 너무 커져 주형이 파괴되거나 주입구 부근이 과열되므로 2개 이상을 설치할 때도 있다.

주입구가 탕도에서 주형의 한 곳에 주입되는 [그림 3-6] (a)와 같은 경우, 탕도와 주입구는 구별되지 않으나 대부분은 (b)~(e)와 같이 탕도의 도중에 많은 가지를 낸 모양이 일반적이다. (b)와 (c)는 탕구와 L모양으로 배치된 가지 모양의 주입구이고 (d)는 T자가 거꾸로 된 형태다. 어떤 경우라도 (e)와 같이 탕구의 바로 밑과 탕도 끝에는 주입구를 설치해서는 안 된다. 또 용탕을 주입할 때 탕도 끝 부분에 가까운 주입구와 탕구에 가까운 주입구는 같은 정도의 용탕이 주형에 들어갈 수 있도록 각 부분의 크기를 정해야 한다.



[그림 3-6] 각종 주입구

주입구의 단면은 [그림 3-7]과 같이 원형, U자형, 반원형, 4각형, 3각형, W형 등 여러 가지가 있으며 주입구 쪽을 향하여 가늘게 하는 경우가 많은데, 이것은 주입이 끝난 주물을 주형에서 꺼내어 탕구계를 떼어내기 쉽게 하기 위해서함이다. 만일 주물제품에 손상이 생길 염려가 있을 때에는 주입구가 붙은 주물품 외에 떼어낼 자리를 만들어 떼어내면 된다. 주입구는 설치하는 위치에 따라서 다음과 같이 나누어서 생각할 수 있다.



[그림 3-7] 주입구의 단면

(가) 직접 주입구(direct gate, top gate)

주형의 제품이 되는 부분에 직접 주입구를 만든 것으로써, 주입컵에서 직접 주입되므로 도중에서 냉각되는 일이 없고 주입 후 아래쪽에서 위쪽으로 점차 응고하게 되므로 이상적이다. 하지만 용탕이 낙하할 때 압력에 의하여 주형이 파손되기 쉽고 슬래그 등이 떠오르는 것을 방해하는 수가 있어 보통 사용하지 않으나 [그림 3-8] (b)와 같은 원형의 주물에는 주입된 용탕이 각 방향에서 냉각될 수 있도록 하지 않으면 온도가 불균일하게 냉각되고 주물제품에 응력이 많이 생기게 되므로 가운데 부분에서 직접 주입구를 세워야 한다.

(나) 샤워 주입구(shower gate)

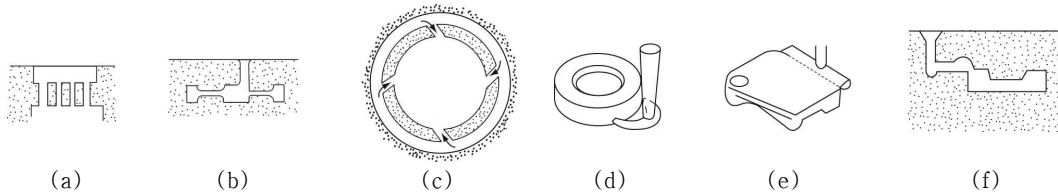
직접 주입구를 응용한 것에 [그림 3-8] (a)와 같은 샤워 주입구가 있다. 직접 주입구에서는 불순물을 제거하기 곤란하므로 주입컵을 크게 하고 주입구의 부분을 가늘게 하여 그 수를 많게 한 것이다. 이것은 직접 주입구에서 주형이 파손될 염려가 있을 때 이를 방지하는 방법으로 효과적이다.

(다) 휠 주입구(wheel gate)

입구가 옆으로 비스듬히 되어 있는 휠 주입구는 원형주물이나 원형에 가까운 형상의 주물에 용탕을 주입할 때 사용된다. 코어 또는 주형표면에 용탕이 충돌되어 파손 및 과열되지 않고 주형의 접선방향으로 된 주입구로써 [그림 3-8] (c)와 같이 전체의 원둘레에서 많은 주입구를 설치하기도 한다. 또 큰 주물에서는 탕도를 2개로 하며 간단한 것으로 [그림 3-8] (d)와 같은 말굽형 주입구(horseshoe gate)도 있다.

(라) 나이프 주입구(knife gate)

지느러미(fin)와 같이 얇고 폭이 넓은 탕도에 붙인 주입구를 나이프 주입구라 하며 [그림 3-8] (e)와 같다. 이것은 제품이 얇을 때 많이 사용된다.



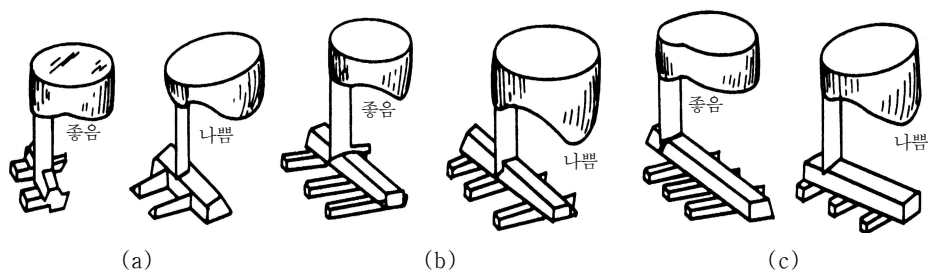
[그림 3-8] 주입구의 종류

(마) 랩 주입구(lap gate)

[그림 3-8]의 (f)와 같이 탕도를 깊게 하여 제품에 직접 얹히게 배치하여 압탕 작용과 겸한 것을 랩 주입구라 한다. 여러 가지 주입구 중 선택할 때 주의할 점을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 탕도까지 깨끗하게 된 용탕을 빨리 주입할 수 있을 것
- (2) 용탕을 주형의 구석구석까지 잘 흐르게 할 수 있을 것
- (3) 주형에 들어간 용탕은 길게 흘러가지 않게 할 것
- (4) 주형이 파손되지 않게 할 것

이상의 조건을 충족시키기 위해서는 주입컵, 탕구, 주입구 등을 [그림 3-9]와 같이 설치하는 것이 좋다.



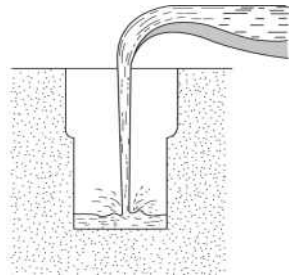
[그림 3-9] 탕구계의 설치 보기

나. 탕구의 종류

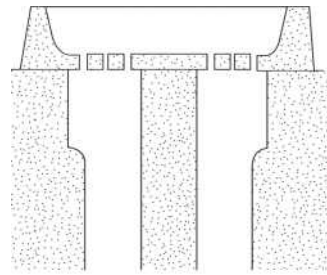
1) 상주식 탕구

상주식 탕구(top gate)는 간단한 소형주물로서 침식성에 견디는 주형에 사용하는데 ([그림 3-10] 참조), 용탕이 주형공간으로 들어갈 때 생기는 난류가 부딪히는 부분은 침식하기 쉽고, 동시에 공기를 유입시켜 주물자체 내에서 금속이 산화하는 경향이 있다. 그러나 주철에서는 주형이 침식에 잘 견디도록 만들면 비교적 건전한 주물을 얻게 된다. 그 한 예로서 샤워형 탕구(shower gate)는 [그림 3-11]과 같은 주입구에서

는 유입 속도를 조절하고 슬래그를 탕구 위로 부상시켜 슬래그의 유입을 저지시킨다. 그러나 이 방식에서도 난류는 발생한다.



[그림 3-10] 상주식 탕구

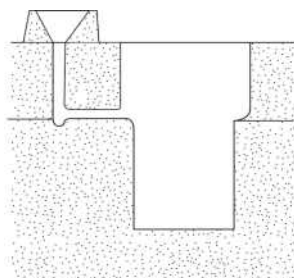


[그림 3-11] 샤워형 탕구

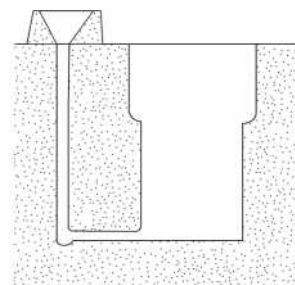
2) 분할선 탕구(parting line gate)

보통 주형의 분리선상에 주입구를 만드는 것이 가장 용이하다. 분리선이 주물의 밑 부분에 없는 한 용탕은 항상 주형의 빈자리에 폭포와 같이 낙하하여 난류를 일으킨다. 이 방식은 상주법과 하주법의 중간이라 생각할 수 있으나 용탕의 흐름에 유리한 것이라기보다 오히려 주입구를 만들기 쉽다는 점에서 채택되고 있다.

주형의 빈자리에 용탕이 급류와 같이 유입되어 주형이나 코어에 부딪히는 것보다는 오히려 비교적 느린 속도로 주형벽을 따라 낙하하도록 탕구를 설계하면 폭포와 같이 낙하하는 용탕에 의해서 생기는 난류를 감소시킬 수 있다. 유입속도를 저하시키기 위해서는 탕구보다 탕도, 주입구를 크게 하면 되는데 이러한 것을 비가압식탕구라 한다.(그림 3-12 참조)



[그림 3-12] 분할선 탕구



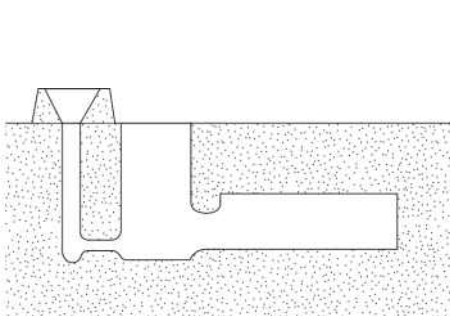
[그림 3-13] 하주식 탕구

3) 하주식 탕구(bottom gate)

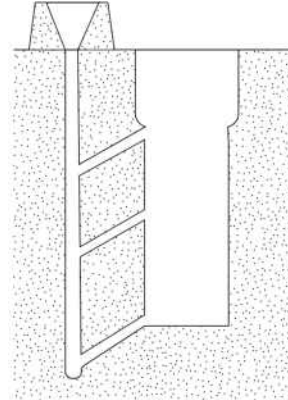
하주식 주입구는 주형 내에서 침식 및 난류를 최소로 줄일 수 있으나 상부에 압탕을 붙이면 온도구배가 나쁘게 된다. 이러한 주형의 하부는 주형 밑바닥으로부터 채워 올라가는 용탕에 의하여 가열되므로 이 부분의 응고가 늦어지게 된다.([그림 참조 3-13 참조])

따라서 주입구 입구에 강렬한 열점(hot spot)이 생기게 되므로 주의해야 한다. 그렇지 않을 때에는 이 부분에 수축공이 발생하는데 이것을 피하기 위해서 주입구의 단면적을 적게 하여 여러 개의 주입구를 붙이는 것이 좋다. 하주식 방법은 [그림

3-14]와 같은 측면 압탕과 함께 사용하면 매우 양호한 온도구배를 얻을 수 있다. 고온의 용탕이 압탕부에 공급되면 주입구는 이 압탕부에서 용탕을 받게 되므로 주입구의 열점은 압탕쪽으로 이동하게 되어 전체로는 양호한 온도구배가 된다.



[그림 3-14] 측면압탕을 통한 하주식 탕구



[그림 3-15] 다단식 탕구

4) 다단식 탕구(step gate)

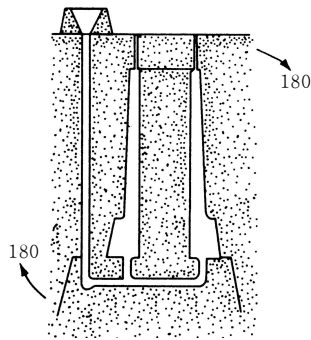
이 방식은 상주식과 하주식을 절충한 것으로, 주입구를 상단에 붙이면 이 양자의 장점을 구비시킬 수 있다. [그림 3-15]에 표시한 바와 같이 몇 단으로 설치한 주입구 중에서 최초에는 최하단의 주입구를 통하여 주형속으로 용탕이 주입되어 충만하게 된다. 이 높이가 다음번의 주입구 높이에 이르면 이곳의 주입구를 통하여 유입된다. 이와 같이 용탕이 주형을 채움에 따라 점차적으로 높은 주입구를 지나서 유입할 수 있다. 따라서 최고 온도의 용탕을 갖게 된다.

또한 최고 온도의 용탕은 압탕쪽으로 가지고 갈 수도 있다. 그러나 실제작업에 있어서는 이상적인 작용을 기대하기는 곤란하며, 탕구를 통하여 낙하하는 관성에 의해서 높은 위치에 있는 주입구를 그대로 지나 거의 대부분의 용탕은 가장 아래쪽의 주입구를 통하여 주입하게 된다. 이를 방지하는 방법은 주입구를 주물에 대해 일정 각도로 경사시켜 주는 것이다. 또한 하부 주입구로도 저항이 증가하게 되는 경우도 있다.

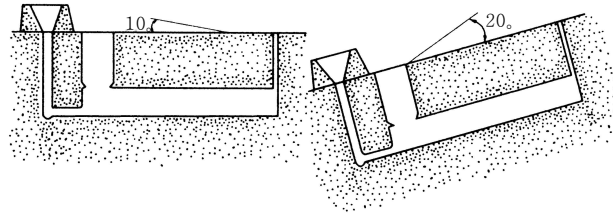
5) 주형의 반전 조작(경사식 주입법)

상주식 주입구를 용탕 주입 후에 반전시켜 상부 압탕형으로 하는 경우가 있다. 이 경우 용탕 주입시에 상주식에 의한 난류와 침식을 방지할 수 있고, 조용히 주입할 수 있다. 다음에 주형을 일정 각도만큼 회전시키면 고온의 용탕은 상부로 올라가고 응고는 상부의 압탕을 향하여 진행되고 반대로 고온의 용탕이 압탕으로부터 하부로 공급하게 된다.

[그림 3-16]은 주형의 반전조작을 나타낸 것이며, [그림 3-17]은 경사식을 나타낸 것이다. 또 용탕 주입의 진행 정도에 따라 반전하는 방법도 있다.



[그림 3-16] 주형의 반전조작



[그림 3-17] 경사식 주입

다. 탕구계 내의 용탕의 흐름

주형내를 흐르는 용탕은 주형 벽으로부터 냉각되기 때문에 응고를 수반한다. 그러므로 용탕의 흐름을 보통 액체의 경우와 동일하게 생각할 수는 없으나 현실적으로 액체의 흐름과 같은 것이라고 생각하면 된다. 그리고 용탕과 보통 유체와의 차이 및 온도의 영향 등을 고려해야 한다.

1) 유체의 흐름

유체에는 층류와 난류가 있다. 유속이 작을 경우에는 어떠한 유체라도 층류(유선형 흐름)가 된다. 층류는 어느 부분에서도 흐름 방향이 일정하며 직각방향의 속도성분은 0이다. 그러나 유속이 커지면 난류로 되고, 유체의 각 부분에서 흐름의 방향과 직각 방향에 속도성분이 존재한다.

이와 같이 층류에서 유속이 점점 커져 일부 난류가 발생하는 속도를 하부임계속도라 하며, 유속이 더욱 커져서 완전히 난류로 되는 속도를 상부임계속도라 한다.

만일 교란이 전혀 일어나지 않는 상태로 유체가 흐른다면, 상부임계속도까지는 층류로만 흐를 것이다. 따라서 상부임계속도는 일정한 값이지만 하부임계속도는 흐름의 조건에 따라 변한다. 실제로 액체의 흐름에서 난류가 발생되지 않도록 주의하기란 매우 어려우므로, 하부임계속도는 매우 중요한 값이라고 하겠다.

2) 레이놀즈 수

유체의 흐름에는 점성과 관성에 의한 힘이 존재한다. 점성에 의한 힘은 층류를 촉진하고 관성에 의한 힘은 난류를 일으키는 방향으로 작용한다. 따라서 흐르고 있는 두 종류의 유체에서 관성력과 점성력의 비가 동일하다면, 두 유체의 성질은 동일하다고 생각할 수 있다. 이 관성력과 점성력의 비를 레이놀즈 수(reynold's number)라 하며 이 값은

$$NR = \frac{\rho V d}{u}$$

- N_R : 레이놀즈 수(상수)
- ρ : 유체의 밀도(kg/cm^3)
- V : 유속(cm/sec)
- d : 통로의 지름(cm)
- u : 점성계수($\text{cm} \cdot \text{sec}/\text{g}$)

로 표시되며, 단위가 없다. 어떠한 유체라도 하부임계속도에서의 NR 값은 약 2000이며, 상부임계속도에서의 NR은 3000~4000이다. 액체의 레이놀즈 수가 약 2000 이하의 속도로 흐를 때에는 진정한 유선층 흐름이 얻어진다. 레이놀즈 수가 2000 이상일 때 흐름도 각별한 주의를 한다면 레이놀즈 수 4000에서도 유선형 흐름을 얻을 수 있다.

3) 탕구계 내의 흐름

만일 용탕의 흐름에서 응고를 수반하지 않고 또 정상류에의 레이놀즈 수도 같다고 가정하면, 유체의 흐름과 동일하다고 볼 수 있다.

라. 탕구계의 설계

1) 탕구계 설계에 있어서의 중요인자

탕구계의 설계가 적절하지 못할 경우에 생길 수 있는 문제점을 요약하면 다음과 같다.

- (가) 주물사, 슬래그, 험잡물 이외의 불순물
- (나) 주물의 거친 표면
- (다) 혼입되어 갇힌 가스
- (라) 과도하게 산화된 가스
- (마) 국부적 수축소(pipe shrinkage, macro shrinkage)
- (바) 내부에 분포하는 기공률(porosity)
- (사) 두 흐름이 만나는 곳에서 용탕의 불완전 접합
- (아) 미리 응고되어 남아 있는 금속입자
- (자) 주형이 덜 채워짐(misruns)
- (차) 사형 또는 코어에 대한 용탕의 침식작용

이런 문제점들을 참작하여 월리스(Wallace)와 에반스(Evans)는 탕구계를 설계함에 있어서 다음과 같은 기준을 세웠다.

- (가) 용탕의 요동 없이 주입온도를 너무 높이지 말고 신속히 주입할 것
- (나) 난류도를 줄여 주형 내에서의 험잡물 형성을 막거나 줄일 것
- (다) 탕구계를 적절히 설계해서 슬래그나 부유물을 막고 주형의 침식을 줄일 것
- (라) 주형으로부터 용탕으로의 가스 혼입을 막을 것
- (마) 주형과 코어의 침식을 막을 것
- (바) 적당한 온도구배로 방향성 응고를 이루게 하고 응고 후 주물의 변형을 막을 것
- (사) 최대의 주물 회수율을 얻도록 하며 가공비를 줄여줄 것
- (아) 주입을 쉽게 하기 위하여 레이들이나 크레인 장치를 이용할 것

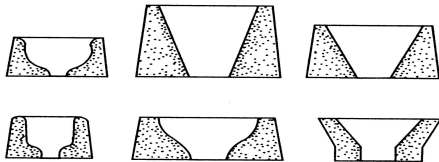
2) 주입컵과 탕류

주입컵과 탕류의 역할은 다음과 같다.

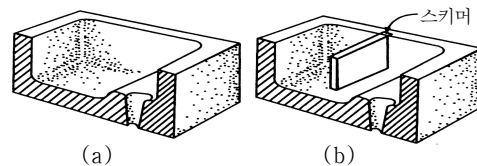
- (가) 레이들을 조작할 때 필요한 유입속도를 유지하게 해준다.
- (나) 탕구 입구에 있어서 난류와 와류의 발생을 감소시켜준다.
- (다) 용탕이 탕도에 들어가기 전에 헝잡물이나 슬래그를 분리해서 부상시키는 목적으로 사용된다.

[그림 3-18]은 대표적인 주입컵의 몇 가지 예다. 이것들은 코어사나 금형으로 제작될 수 있다. 또는 사형의 상형에 분리된 상태로 또는 함께 조형할 수 있다.

탕구에 직접 주입되지 않으므로 난류나 와류작용에 의해서 공기가 혼입될 위험은 없어진다. 대부분의 탕류는 크기 때문에 산화개재물이나 슬래그를 충분히 부유시킬 수 있으므로 비교적 깨끗한 용탕만을 주형내부로 들어가게 할 수 있다. 청정작용은 때때로 주입컵 내에 [그림 3-19]와 같은 스킴머(skimmer)를 설치하여 효과를 볼 수도 있다.



[그림 3-18] 주입컵의 설계 보기



[그림 3-19] 탕류 설계

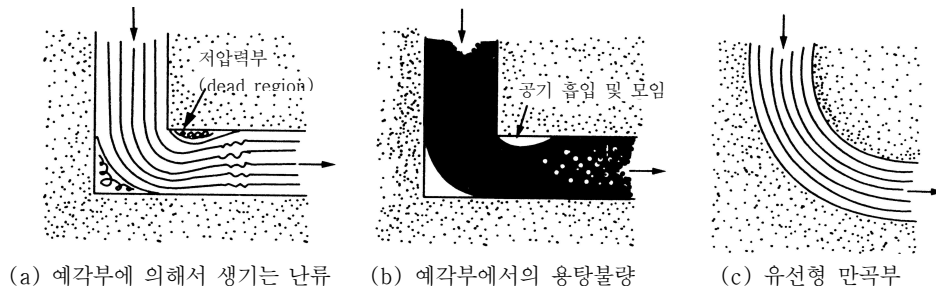
3) 탕구계의 형상

용탕을 원활하게 주입하기 위해서 탕구계는 반드시 유선형으로 설계할 필요가 있다. 이는 경제적인 관점에서도 유리하다. 탕구계 내의 유속은 유선형이면 더욱 빠르다. 따라서 탕구계의 크기가 감소됨으로써 구조수율이 높아진다.

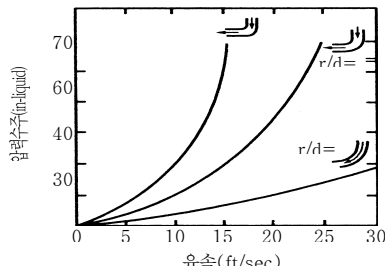
[그림 3-20, 3-21, 3-22]는 부적당한 탕구설계가 어떻게 하여 용탕의 난류와 가스를 흡수하는가를 나타내고 있다. 또한 이들은 다음과 같은 결과를 초래하므로 유선형으로 하여 피해를 최소로 줄이는 것이 바람직하다.

- (가) 공기 또는 산화개재물이 주물에 혼입된다.
- (나) 탕구계의 주형벽을 침식하여 주물에 주물사를 개재시킨다.
- (다) 용탕의 유속을 감소시킨다.

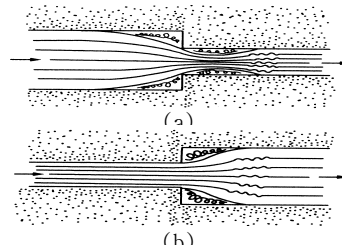
[그림 3-20] (a)는 탕구계의 예각부에서 생기는 난류를 나타내고 있다. 저압의 사각(dead region) 부분이 예각부에 생기며, 용탕이 속도가 상당히 높을 때는 이러한 부분의 압력은 대기압 이하로 떨어진다. 그렇게 되면 주형 내의 가스는 용탕이 흐를 때 용탕속에 흡입된다.([그림 3-20 (b) 참조), 따라서 심한 예각부에서는 적당한 반지름의 유선형으로 바꾸어 난류를 줄이고 가스혼입을 막을 수 있다.([그림 3-20 (c) 참조) 또한 유선형은 유속을 대폭적으로 증가시킨다.([그림 3-21 참조) 용탕의 유입경로에서의 돌연한 수축이나 팽창이 생길 때도 예각부에서 이와 비슷한 효과가 일어난다(그림 3-22 참조). 역시 난류와 공기혼입이 생긴다.



[그림 3-20] 탱구계의 만곡부에서의 용탕의 흐름



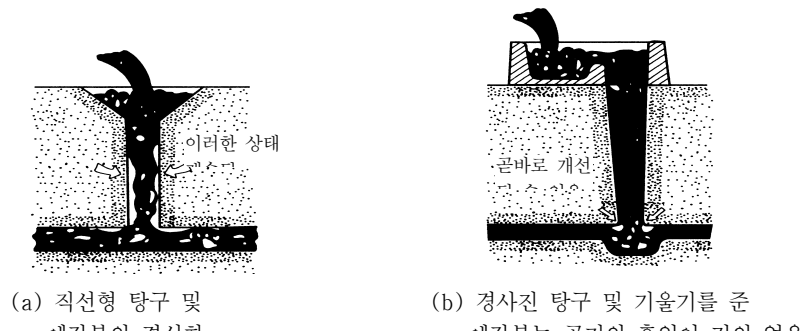
[그림 3-21] 용탕의 유속에 미치는 유선형 탱구계 효과



[그림 3-22] 탱구계의 갑작스런 확대 또는 축소로 인한 난류의 발생

[그림 3-23]은 난류를 최소한으로 해주기 위해서 수직탕구를 유선형탕구로 해주어야 할 필요성을 나타내고 있다. 수직탕구(균일한 단면적)에서는 심한 공기의 혼입을 초래한다.

수직탕구가 아래로 내려갈수록 용탕의 속도는 증가하기 때문에 공기의 혼입이 일어난다. 만일 용탕이 일정한 속도를 유지하도록 탱구가 주형벽에 대하여 일정한 기울기를 이룬다면 공기혼입은 감소하고 난류는 최소한으로 된다. [그림 3-23], (a)에 나타낸 바와 같이 유해한 입구효과(entrance effects)를 방지하기 위해서는 탱구의 입구와 출구를 둥글게 할 필요가 있다. 탱구와 탱도의 연결부에 있어서 수직면 내에 원만한 기울기를 조형에 의하여 만들어 주기는 매우 곤란하므로 흔히 [그림 3-23] (b)와 같이 탱구저(sprue base)를 만들어 용탕의 운동에너지를 흡수하여 공기혼입을 최소한으로 줄이고 있다.



[그림 3-23] 용탕의 난류에 미치는 탱구 설예의 영향

4) 탕구비(탕구계의 각 부분의 단면적 비)

탕구비란 탕구, 탕도, 주입구의 총 단면적의 비를 말하는 것이며 보통 탕구 단면의 단면적, 탕도의 단면적, 주입면의 총 단면적으로 표시한다. 예를 들면, 탕구는 25cm^2 , 탕도는 50cm^2 , 주입구는 50cm^2 라 할 때 이의 탕구비는 1 : 2 : 2로 된다.



















탕구비는 주조방안을 세울 때 매우 중요한 값이 된다. 그러나 이 관계는 용탕의 화학성분과 주형의 모양 및 주입온도 등에 따라 일정하지 않으며 실험값도 각각 다른 결과를 가져올 때가 많다.

[표 3-1]은 주물의 종류와 탕구비를, [표 3-2]는 주철의 경우 탕구, 탕도, 주입구의 관계를 치수와 모양으로 표시된 것이다. 주입계통의 형식 즉 탕구비에는 일반적으로 2가지 형식으로 구분하는데 압력주입방식(press gating system)과 비압력주입방식(unpress gating system) 등이 있다.

[표 3-1] 주물의 종류와 탕구비

합금의 종류	탕구비	비고
주철	1 : 0.81 : 0.625 1 : 0.86 : 0.715 1 : 0.96 : 0.9 1 : 0.75 : 0.5 1 : 0.9 : 0.5 1 : 0.95 : 0.9 1 : 0.75 : 0.25 1 : 0.75 : 0.25 1 : 1.2 : 0.9	10t 이상의 것 10t 이하의 것 얇은판상의 것 라디에이터 탕도가 탕구 한쪽에 있을 때 탕도가 탕구 양쪽에 있을 때
가단주철	1 : 0.5 : 2.45 1 : 0.6 : 1.67	살이 두꺼운 것 살이 얇은 것
주강	1 : 0.81 : 6.25 1 : 1 : 1 1 : 2 : 2 1 : 2 : 1	운동량을 감소시키는 방법 압력을 높이는 방법
고력황동	1 : 2 : 1 1 : 2.88 : 4.80	탕도 양측
Al-청동	1 : 2.88 : 4.80	탕도 양측
Al-합금	1 : 4 : 4 1 : 6 : 6 1 : 22 : 2 1 : 2 : 1 0.6~0.7 : 1 : 0.75 1 : 2 : 4 5 : 6 : 10	탕도 양측 탕도 양측
Mg-합금	1 : 2 : 2~1 : 4 : 4 1 : 2 : 2	

[표 3-2] 탕구계의 치수와 모양(주철)

구분	관계치수와 모양					
탕구						
탕도						
주입구 2일 때 (4개일 때는 1:2로한다)						

탕구비=4 : 3 : 2(탕구 : 탕도 : 주입구)일 경우

(가) 주입구의 총단면적을 구하는 방법

목표의 주입시간내에 주입이 끝날 수 있는 주입구의 총단면적을 구해야 한다.
주입구의 총단면적을 구하는 식은 다음과 같다.

$$\text{주입구 총단면적} = \frac{W}{V \cdot d \cdot T}$$

- W : 주입 중량(kgf)
- V : 주입구를 지나는 용탕의 흐름속도[cm/sec] = $\sqrt{2gH}$
- g : 중력의 가속도 980cm/sec²
- H : 탕구의 유효높이
- T : 주입시간[S]
- d : 주철의 밀도[kg/m³] = 7000~7200

(나) 탕구의 단면적을 구하는 방법

목표의 주입시간과 주입중량에서 필요한 탕구부의 단면적을 구하는 데는 탕구 : 탕도 : 주입구의 비가 정해져 있으면 윗 식에서 구한 주입구의 단면적에서 비례적으로 구하는 방법은 다음과 같다.

$$\text{탕구부의 교축의 단면적} = \frac{\text{주입중량}}{\text{주입시간}} \times \frac{\text{정수}}{\sqrt{\text{유효탕구높이}}} \times 7.160$$

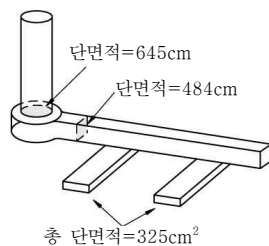
- 정수 : 탕구부 교축에서는 0.200
- 탕도 교축에서는 0.286

(다) 탕구비의 계산

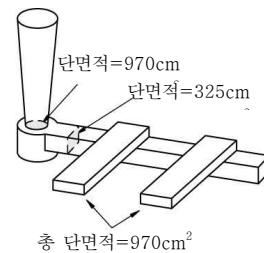
탕구, 탕도, 주입구의 치수를 [그림 4-24]와 같이 했을 때의 탕구비는 다음과 같이 구해지는데 반대로 먼저 탕구비를 결정했을 때에는 탕구, 탕도, 주입구의 어느 하나가 정해지면 탕구비에서는 다른 2개는 계산할 수 있다.

- 탕구 단면적 = $\frac{\pi}{4} 302 = 707\text{mm}^2$
- 탕도 단면적 = $\frac{23 + 27}{2} \times 25 = 625\text{mm}^2$
- 주입구의 총단면적(2개소) = $(47 \times 6) \times 2 = 561\text{mm}^2$
- 탕구 단면적(707) : 탕도 단면적(625) : 주입구 단면적(564)
- 탕구비 1 : 0.9 : 0.8

[그림 4-25]는 전형적인 압력주입 반식으로 탕구비가 1 : 0.75 : 0.5인 경우이다.



[그림 3-25] 압력 주입탕구계

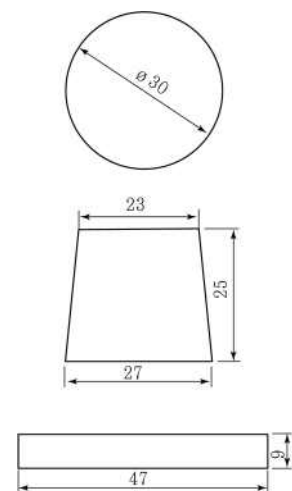


[그림 3-26]비압력 주입탕구계

[그림 3-26]는 부분적으로 유선화된 탕구비 1 : 3 : 3의 비압력 주입방식의 탕구계를 나타낸 것이다.

압력 주입방식(가압주입방식)에서는 탕구비가 주철에서 많이 쓰이는 1 : 0.75 : 0.5 또는 1 : 2 : 1 등과 같이 주입구의 면적이 탕구의 면적보다 크지 않아서 용탕 흐름의 제한 때문에 남게 되는데 압력 주입 장점을 열거하면 다음과 같다.

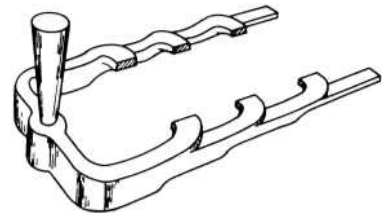
- (1) 탕구계에는 항상 용탕이 충만되고 있다. 즉 주입구에 걸리는 저항 때문에 생기는 압력에 의하여 용탕은 주형벽에서 분리되지 않으며 이로 인해서 공기의 혼입을 생각할 필요가 없다
- (2) 여러 개의 주입구를 만들 때 각각의 단면적이 동일하지 않으면 용탕의 흐름도 동일하지 않고 압력이 걸리지 않는 비압력주입(비가압주입방식)방식에서는 용탕의 흐름에 의한 운동에너지는 탕도의 거리에 반비례하게 되어 탕구에서 멀리 떨어져 있는 주입구에서는 용탕이 부족하게 되는 경향이 있다. 압력 주입방식에 있어서 탕구 단면적을 제한하면 운동에너지의 효과는 감소하게 되고 동일한 탕구의 크기라면 유속은 거의 같게 된다.
- (3) 일정한 유속에 있어서 압력 주입방식은 저압의 경우보다 부피가 적어지며 주물의 주조수율이 커진다.(단면적이 적기 때문에) 한편 압력 주입방식은 용탕의 유속이 비교적 크므로 다음 몇 가지 결점이 발생한다.



[그림 3-24] 탕구비

즉 단면 형상이 양호한 유선형이 아니면 연결부나, 꺼지는 부분에서 상당한 난류가 일어나며 또한 용탕이 주형 내에 유입할 때의 속도가 크기 때문에 많은 난류가 생기며 공기의 혼입, 헤파물의 발생, 주형의 침식 등을 일으킬 가능성이 있다. 주철 주조공장의 대부분이 탕도는 탕구보다 10%, 주입구는 탕도보다 10%씩 적은 단면을 가진 1:0.9:0.81의 압력 주입탕구를 이용하여 약간의 압력이 걸릴 정도로 하고 있다. 이는 탕구계에서는 다소의 난류가 일어나도 재질에 특별한 해를 끼치지 않는다고 생각하기 때문이다. 그러나 만일 주형 내에 유입되는 용탕의 속도가 너무 크면 주형 침식이 일어날 수 있다. 황동과 청동은 합금 조성에 따라 압력 또는 비압력 탕구계로 설계할 수 있다. 산화성이 큰 경금속(알루미늄과 마그네슘)은 비압력 주입탕구계로 설계하는 것이 정상적이다. 이런 합금에서는 탕구계 내에서의 난류를 최소한으로 해야 하고, 공기 혼입과 산화물의 형성을 억제할 수 있을 정도로 주형에의 유입속도는 낮아야 한다. 비압력 주입탕구계는 압력 주입탕구계에 비하여 용탕의 속도가 훨씬 낮다는 이점이 있다. 탕도와 탕구의 단면적이 크면 비교적 낮은 유속에서도 충분한 유량을 갖게 한다. 따라서 탕구 내의 난류가 주형의 공극부에서의 용탕 분출이 줄어든다. 비압력 주조방식의 불리한 조건들은 다음과 같다.

① 비압력 주입방식은 주입 중에 용탕이 완전하게 채워질 수 있도록 하기 위해서 신중한 설계가 필요하다. 탕구는 거의 또는 전혀 배압을 나타내지 않으므로 부적당하게 설계된 탕구나 탕도는 결코 완전히 충만하지 않으며, 만일 충만된다 하더라도 분리효과가 쉽게 일어난다. 하형에 탕도를, 상형에 탕구를 설치한다는 것은 완전 충만을 유지하는 데는 도움이 되지만 유선형으로 하는 것이 분리효과 및 공기의 혼입을 막아주기 위해서 중요하다. 기울기를 준 탕구에 주탕받이를 함께 사용하는 경우가 많다. 탕구와 탕구 연결부는 [그림 3-27]과 같이 유선형과 각 주입구에서 탕구의 크기를 점차 줄여나가는 방법을 권장하고 있다.



[그림 3-27] 완전한 유선형 탕구계

② 비압력 주입방식에서는 여러 개의 주입구에서 균등한 유량을 얻기 힘들다. 다만 탕구에서처럼 비압력 탕구계에서는 흐르고 있는 용탕의 운동에너지에 의해서 용탕은 탕도 끝까지 운반되어 탕구에서 가장 먼 주입구에 유입되게 하는 경향이 있다.

③ 비압력 주입방식은 큰 탕도와 탕구를 필요로 한다. 비압력 주입탕구계는 탕도와 탕구의 비교적 큰 단면적 때문에 일반적으로 같은 유량의 압력 주입방식 탕구계에 비하여 탕구계의 크기가 더 크기 때문에 주조수율이 좋지 않다.

5) 주입온도 및 주입시간

(가) 주입온도

주입온도와 주입시간은 탕구, 탕도, 주입구의 크기와 모양에 따라 달라진다. 그러

므로 주입시간을 미리 결정한 다음, 이를 기준으로 탕구비를 정하는 것이 보통이다. 같은 화학성분을 가진 용탕이라도 그 주입온도가 용탕의 유동성에 미치는 영향은 크며 주물의 모양 및 두께에 따라 주입온도를 조절할 필요가 있다. 또한 주입온도가 기계적 성질에 영향을 주는 원인이 된다.

- (1) 주입온도가 높을 때 : 용탕의 가스 흡수가 심하므로 기포의 원인이 되며 수축이 커서 균열을 일으키기 쉽다.
- (2) 주입온도가 낮을 때 : 압탕(riser), 플로우오프(flow off)등에 의한 충분한 용탕의 보급이 이루어지기 전에 응고가 되어 불량률의 원인이 되고 유동성이 나빠므로 용탕의 흐름이 나쁘다. 주입온도는 여러 가지 요소 즉 제품의 모양, 조형 방법, 용탕의 성분 등에 따라 결정하지만 일반적 기준은 [표 3-3]과 같다.

[표 3-3] 각종 주물의 주입온도

주물재질	주입온도(℃)
청동주물	1150~1200
황동주물	1050~1150
알루미늄합금주물	670~760
주철대형기계주물	1350~1360
주철소형기계주물(생형)	1350~1400
주철잉곳케이스	1265~1280
대형주강	1520~1540
소형주강	1540~1560

(나) 주입시간(주입속도)

주입속도라고도 하며 주형에 용탕을 주입할 때 걸리는 시간으로 초(sec)로 표시한다. 주입은 조심스럽게, 그리고 빨리하는 것이 요구되는데 오직 용탕이 난류를 일으키지 않도록 탕구방안을 세우도록 주의해야 한다. 그러나 주강과 같이 주입온도가 높은 것이 속도가 너무 빠르면 주형을 파손시킬 염려가 있고 두꺼운 살부분에 수축이 많이 생기므로 일반적으로 모양이 복잡하고 얇은 두께인 주물의 경우는 압탕을 크게하여 주입속도를 빠르게 하고, 모양이 간단하고 두꺼운 주물의 경우는 주입시간을 길게 한다.

주입시간은 [표 3-4]의 기준에 의한 합리적인 주입시간을 주물사의 통기도, 주물의 무게 및 살두께로부터 계산한다.

주입시간에 대한 실험식은 다음과 같다.

$$T = S\sqrt{W}$$

- [T: 주입시간(초)
W: 주물의 중량(kgf)
S: 주물의 살두께 따른 상수
S = 1.63(주물 살두께 2.8~3.6mm)
S = 1.86(주물 살두께 4.0~8.0mm)
S = 2.23(주물 살두께 8.3~15.8mm)

위의 S의 값은 450kgf까지의 소형 주철주물에 대하여 적당한 것이다.
무게 1ton까지의 건조형의 주강인 경우는

- 살두께와 모양이 복잡한 것 : $T \approx 0.5\sqrt{W}$
- 모양이 간단한 것 : $T \approx 0.75\sqrt{W}$ 가 적당하다.

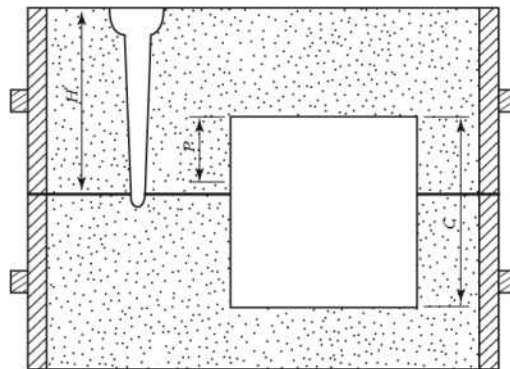
[표 3-4] 주철, 주강의 주입시간(초)

주물중량(kg)	회주철주물	강주물
5	3~5	5~8
10	4~6	7~10
25	7~10	8~12
50	8~12	10~15
100	10~15	12~20
200	15~25	25~35
400	25~40	40~50
1000	35~60	50~80
4000	70~100	100~160
10000	120~150	150~235
15000	140~180	-
25000	150~200	-

6) 기타

(가) 유효 탕구의 높이(effective sprue height)

유효탕구의 높이는 [그림 3-28]에 의거 다음 식으로 구할 수 있다.



[그림 3-28] 유효탕구의 높이

$$\text{유효탕구의 높이} = \frac{2HC - P^2}{2C} \quad (\text{사이드 게이트일 때}) = \frac{2HC - 0}{2C} \quad (\text{톱 게이트일 때})$$

- [H: 탕구의 높이(cm)
C: 주물의 높이(cm)
P: 주입구 위부분에서의 주물높이(cm)

(나) 주입구 넓이

주입구의 넓이는 탕구 및 탕도의 크기를 정하는 요소가 되며 다음과 같이 구할 수 있다.

$$A = 2.0 \sqrt{\frac{W}{E \cdot S \cdot H}}$$

- A : 주입구 단면적(cm²)
- W : 주물의 무게(kgf)
- E·S·H : 유효탕구 높이(cm)

(다) 용탕이 주형에 가하는 압력

주형에 용탕을 주입하면 주형의 각 부분은 그 투상면적과 탕구의 높이에 비례하여 압력을 받게 된다. 이 압력은 주형의 각 부분에 가하게 되며 코어에도 부력을 준다. 이와 같은 힘이 상형의 무게보다 클 때에는 상형을 올리게 되므로 용탕이 새거나 주형이 파괴되는 수가 있다. 따라서 상형과 하형을 클램프 등으로 조이든지 무거운 중추를 상형 위에 올려놓아야 한다.

그리고, 용탕의 압력 P를 구하는 식은 다음과 같다.

$$P = A \times H \times S$$

- A : 주물을 위에서 본 면적(m²)
- H : 주물의 윗면에서 주입컵의 면까지의 높이(m)
- S : 주입금속의 비중(kg/m³)

사실 이론상으로는 상형의 무게를 W라 한다면 압상력 P' = A×H×S - W = P - W 이므로 중추의 무게는 (P - W)보다 크면 된다. 그러나 실제로는 용탕이 흐를 때 큰 압력을 받게 되므로 계산값의 3배가량으로 여유 있게 하는 것이 안전하다.

마. 탕구의 처리(슬래그와 산화물 제거)

탕구계를 잘 만들어도 슬래그와 산화물이 주물 내에 혼입되는 경우가 가끔 있다. 이들은 용해로, 레이들 중에서 생성되어 혼입되는 경우도 있고 용탕주입시 숙련 부족으로 탕구계에서 발생하는 경우도 있다. 특히 용탕이 완전히 충전되어 있지 않은 주입의 초기에는 약간의 공기혼입, 산화물의 생성은 피할 수 없다.

용탕이 주형의 공간(cavity)에 도달할 때까지의 과정 중에서 불필요한 이들의 헝잡물을 제거하기 위하여 여러 가지 방법이 강구되고 있으나 이들 중 가장 일반적으로 이용되는 대책은 탕도를 여분으로 길게 하는 탕도끝을 설치하는 방법이다.

2. 압탕 방안

가. 압탕의 필요성

주입된 용탕이 주형에서 냉각될 때에 응고 수축에 따른 부피의 감소가 일어나게 되므로 용탕을 계속하여 보급하고, 치밀한 재질을 얻기 위하여 응고되기 전 압력을 가할 수 있게 만든 것을 압탕(riser)이라 한다. 즉 압탕의 주요 기능은 주물이 응고하는 마지막까지 용탕을 보급하는 것이다.

비스무트(Bi)와 그 합금 및 회주철을 제외한 대부분의 금속 및 합금은 응고나 냉각시에 체적수축이 생긴다. 이러한 체적수축은 3가지 단계로 구분할 수 있다. 즉 주입온도로부터 응고온도로 냉각시킬 때 액체수축(liquid contraction)이 생기고, 그것이 응고함에 따라 응고수축(solidification contraction)이 생기며, 고체 주물은 상온을 냉각시킬 때에 따라 고체수축(solid contraction)이 생긴다.

압탕의 구비조건으로는

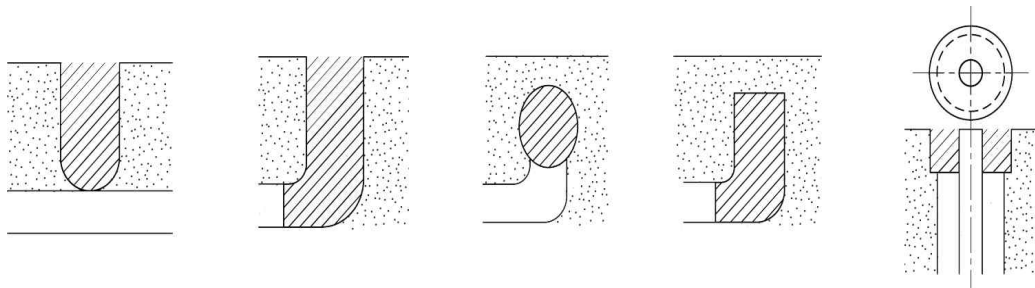
- 1) 압탕은 주물보다 나중에 응고할 수 있도록 충분히 커야 한다.
- 2) 주물의 응고수축을 보충할 수 있을 정도로 오랫동안 액체금속으로 유지해야 한다.
- 3) 압탕은 주물의 모든 부분에 정압이 유지되도록 설치해야 하며 대기에 개방되어 있어야 한다.
- 4) 압탕이 주물보다 먼저 응고되면 주물의 응고수축을 보충해 줄 수 없기 때문에 주물에서부터 압탕쪽으로 지향성 응고(directional solidification)가 일어나도록 설치해야 한다.
- 5) 용융금속을 절약할 수 있는 압탕을 설계해야 하는 등 경제적인 면도 고려되어야 한다.

나. 압탕의 종류

압탕의 종류를 위치에 따라 분류하면 직압탕(top riser)과 측면압탕(side riser)이 있다. 또 외측까지 나타나는가에 따라 개방형(open type), 폐쇄형 압탕(맹압탕, blind riser)으로 분류할 수 있으며, 녹 오프 코어(knock off core)를 사용하는 넥 다운 압탕(neck down riser)이 있다.¹¹⁾

각종 압탕을 그림으로 나타내면 [그림 3-29]와 같고, 경우에 따라서는 직압탕 대신에 측면압탕을 사용하는 것이 유리할 때도 있다.

11) NCS 분류번호 : 주조 공정 설계(1601030103_16v4)



(a) 개방형 직압탕 (b) 개방형 측면압탕 (c) 폐쇄형 직압탕 (d) 폐쇄형 측면압탕 (e) 특수압탕(전면압탕)

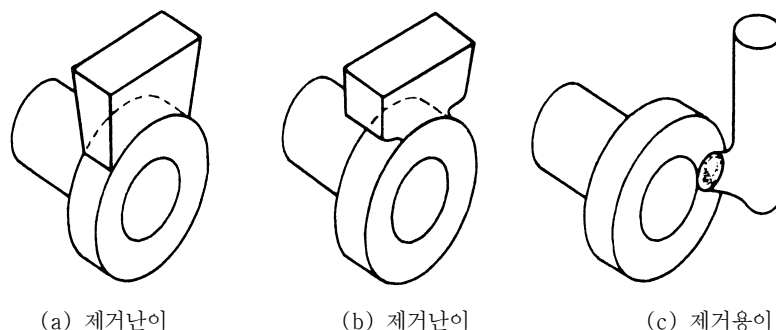
[그림 3-29] 압탕의 종류

측면압탕은 전체가 모래로 포워된 압탕(맹압탕)이든 또는 상형의 표면까지 노출된 개방형 압탕이든 모두 무방하다.

그런데 주철이나 비철합금에서는 응고할 때 생성되는 응고 표면의 강도가 강철에서와 같이 강력하지 않으므로 폐쇄형이든 개방형 압탕이든 상향으로 용탕을 보급하는 작용은 없다, 따라서 측면압탕은 주물 본체보다 높아야 한다.

이러한 폐쇄형압탕은 직압탕보다 몇 가지 장점이 있다.

- 1) 압탕을 통하여 주물 저부에 주입구를 설치할 때에는 온도의 분포 상황이 매우 양호하게 된다. 주입되는 최종의 용탕, 즉 최고온도의 용탕은 주물의 저부와 압탕 사이에 있으므로 보급에 있어서 유리한 조건이 된다. 또한 이 장소의 주형사도 충분히 예열되어 있기 때문에 방열도 적다.
- 2) 맹압탕은 주물 중 필요로 하는 임의의 장소에도 설치할 수 있다.
- 3) 두부가 반구의 원통형 압탕인 경우에는 체적에 대한 표면적의 비가 최소로 되기 때문에 압탕 자체의 냉각효과는 최소가 된다. 지름이 큰 반구압탕은 중앙을 둥글게 함으로써 열의 집중부를 중앙에 오게 하여 압탕의 효과를 향상시킨 것도 있다. ([그림 3-30] 참조)
- 4) 맹압탕은 주물이 평탄한 측면에 붙일 수도 있어서 개방형 직압탕과 같은 복잡한 곡면에 붙일 때보다도 훨씬 쉽게 제거할 수 있으며, 또한 제거할 때에 제품의 살이 떨어져 나가는 위험도 줄일 수 있다.



(a) 제거난이

(b) 제거난이

(c) 제거용이

[그림 3-30] 압탕의 설치 방법

다. 압탕의 방향성 응고와 압탕 효과

1) 덧살붙임

주물은 압탕부에서 멀어질수록 얇아지기 때문에 응고는 얇은 곳에서부터 시작된다. 두께는 지향성 응고가 압탕쪽으로 갈수록 점점 두꺼워지며 연속부분은 그 부분에 적당한 압탕효과가 있게끔 충분한 양의 용탕을 받는다. 이 덧살부분은 나중에 기계가공으로 제거해도 되고 또는 기울기를 준 부분이 완제품의 유용한 일부가 되도록 설계 할 수도 있다. 그러나 특히 강주물의 경우 경사진 단면의 설계를 예외적인 것으로 하기 보다는 오히려 통례적으로 하는 것이 좋다.

덧살을 붙인다는 것은 반드시 주물을 어떻게 제작할 것인가를 결정한 다음에 실시되어야 한다. 그렇지 않으면 기울기가 틀린 방향으로 붙여지기 쉽다.

2) 냉금 메탈(chill metal)

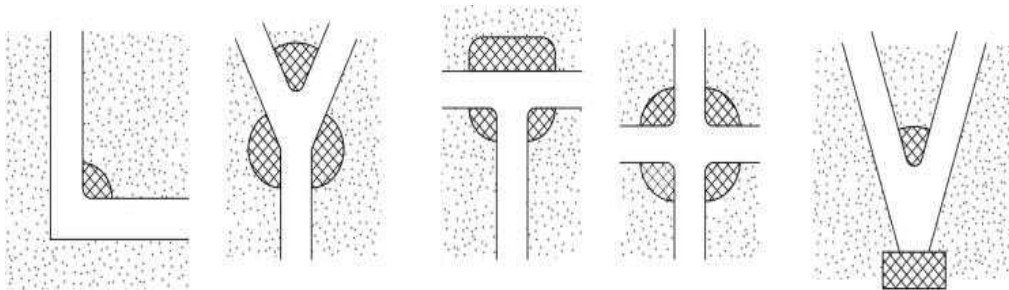
주물의 필렛 두께가 고르지 않거나 압탕만으로는 용탕의 보급이 미치지 못하는 곳 또는 압탕의 효과가 불충분할 때에는 국부적으로 두꺼운 부분에 수축공을 일으키는 경우가 많으므로 이러한 부분의 응고를 촉진시키기 위하여 냉금메탈을 사용한다. 이때 주물의 바깥쪽에 대는 것을 외부냉금, 안쪽에 대는 것을 내부냉금이라 한다.

(가) 외부냉금(external chill)

외부냉금은 융합될 필요가 없으므로 주물과 동일한 재료가 아니어도 된다. 철주물에는 철 또는 강재 냉금이 사용되고, 비철주물에는 철, 구리, 강철, 흑연제 냉금이 사용되며, 외부냉금의 사용목적은 다음 두 가지를 고려할 수 있다.

- (1) 비교적 두께가 균일한 주물에서는 주물 끝부분이나 측면에 냉금을 설치하여 지향성 응고를 촉진시킨다.
- (2) 두꺼운 부분이나 교차되는 부분에 냉금을 설치하여 열점을 제거시키는 것 등이다.

[그림 3-31]은 주물의 열점부에서 설치하는 냉금의 보기를 나타낸 것이다.



[그림 3-31] 주물 연결부에서 열점의 형성을 방지하기 위해 사용된 외부 냉금의 사용

금속냉금을 사용할 때는 사용 전에 샌드블라스트를 하면 좋으나 매끈하게 연마된 냉금은 용탕이 잘 접촉되지 않기 때문에 좋지 않다. 냉금표면에 셀로판지를 입혀 놓으면 주형 속에 냉금을 넣어 두더라도 냉금표면의 부식이나 수증기의 응축을 막아준다.

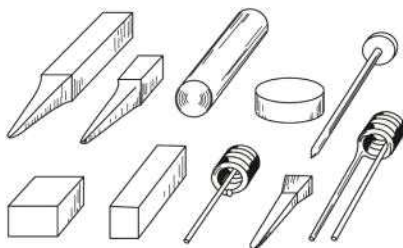
흑연피막은 훌륭한 냉금제 역할을 한다. 흑연의 열전도율은 강에 비해 약 3배나 되지만 그 비열은 1/3밖에 안 된다. 이는 흑연냉금이 같은 효과를 나타내기 위해서 강제의 경우보다 최소한 3배의 크기를 가져야 한다는 것을 뜻한다.

외부냉금은 불규칙하고 복잡한 형상에는 물론 평탄한 부분에도 사용될 수 있다. 다만 필요한 형상으로 냉금을 주조해야 한다.

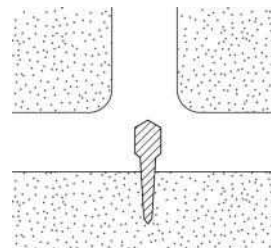
(나) 내부냉금(internal chill)

내부냉금에는 [그림 3-32]과 같이 여러 가지 형태가 있다. 이것은 압탕의 효과가 미치지 않는 부분에 응고를 촉진하기 위해 [그림 3-33]와 같이 사용된다. 내부냉금은 보통 주조금속과 같은 조성을 가지며 냉금은 전 표면을 통하여 주물 본체에 융합될 수 있도록 표면이 다소 녹아들어가는 것이 바람직하다. 또한 이를 위해서 크기와 형상을 잘 선택해야 하는데, 냉금이 너무 일찍 녹아 그 위치가 바뀌는 것을 방지하기 때문이다. 냉금을 사용할 때 주의 할 사항은 다음과 같다.

- (1) 냉금메탈의 표면을 깨끗이 하여 녹슬지 않게 해야 한다(기포의 원인이 됨).
- (2) 냉금메탈 표면에 기름을 얇게 발라 녹의 발생을 방지하고, 주형 내에 주탕할 때 습기가 부착되어 물방울로 되는 것도 방지한다(기름은 모빌유, 기계유 등을 사용한다).
- (3) 냉금메탈 위에 도형을 해도 좋다.
- (4) 일반적으로 생형 또는 건조 불충분한 주형에 냉금메탈을 사용하면 주탕할 때 냉금메탈 표면에 물방울을 일으켜 기포의 원인이 된다.
- (5) 생형을 버너로 말린 상태에서 냉금메탈을 사용해도 역시 기포의 원인이 된다. 내부냉금은 주철 또는 연강봉 등을 쓰는데 이 때에는 표면에 녹이 없는 것을 쓰기 위하여 주석, 알루미늄 등으로 표면처리한 것을 사용한다. 내부냉금의 두께는 주물 살 두께의 20~30%정도이다.



[그림 3-32] 냉금의 종류



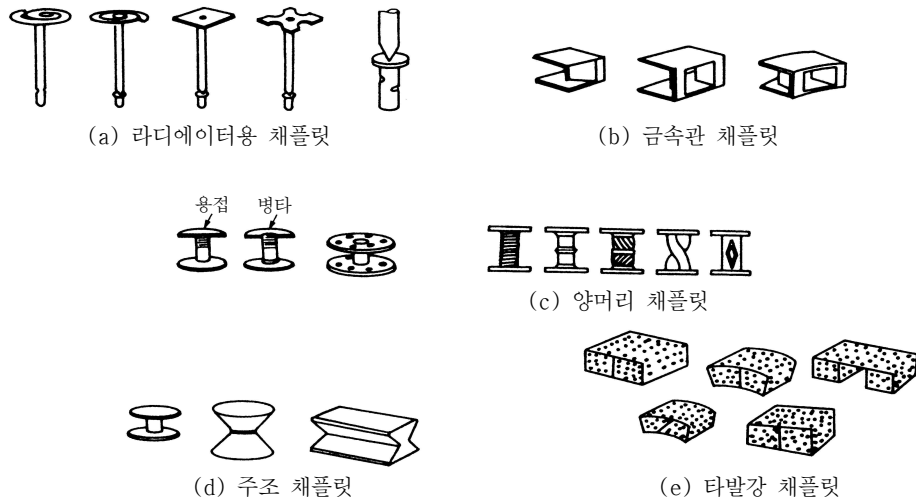
[그림 3-33] 내부 냉금의 사용보기

(다) 채플릿(chaplet)

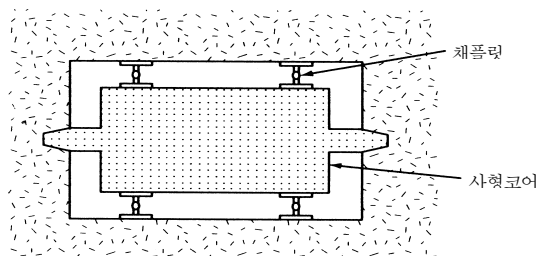
코어를 고정시킬 때 보조하는 것을 채플릿이라 하는데 [그림 3-34(a)]와 같이 여러 가지 모양이 있다.

채플릿은 코어의 설치가 불안정하거나 용탕의 부력에 의하여 위로 떠오를 염려가 있을 때 코어를 고정시켜 주며 주입 금속과 용착이 잘되는 것이어야 한다. 특히 가공면이나 수압을 요하는 주물에는 그 사용에 주의해야 한다. 보일러 주물, 라디에이터(radiator)주물은 얇고 또한 거의 채플릿이 삽입되는 경우가 많으므로 채플릿의 사용은 중요하다.

채플릿은 일종의 내부냉금이므로 용착해야 하며 주물 지금과의 경계면에 불순물의 혼입, 기포발생이 쉬워 채플릿 사용은 되도록 피하는 것이 좋지만 부득이한 경우에도 주석도금을 하여 녹이 없는 것이나 표면에 물기 또는 기름기를 없애 주입 온도에 알맞은 것을 선택해야 한다. 내부냉금과 채플릿은 비철주물에서는 거의 쓰지 않는다. 왜냐하면 적당한 융합을 얻기 힘들기 때문이다. [그림 3-34(b)]는 채플릿의 사용보기를 나타낸 것이다.



[그림 3-34(a)] 채플릿의 종류



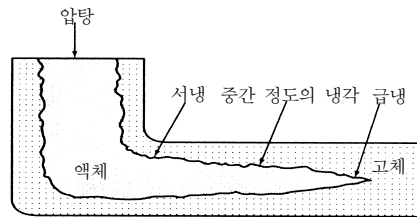
[그림 3-34(b)] 채플릿의 사용 보기

라. 압탕 설계

1) 지향성 응고

일반적으로 주형에 주입된 용융금속은 주물표면에서부터 내부로 향하여 응고층이 성장하며 얇은 부분이 두꺼운 부분보다 먼저 응고한다.

[그림 3-35]과 같이 두꺼운 압탕 부분이 늦게 응고하여, 주물이 응고할 때 수축하는 양만큼의 용융금속을 보충해 주어야 한다. 이와 같이 압탕에서 먼 곳부터 차례로 압탕쪽으로 응고되는 것을 지향성 응고라 한다.



[그림 3-35] 압탕을 이용한 방향성 응고

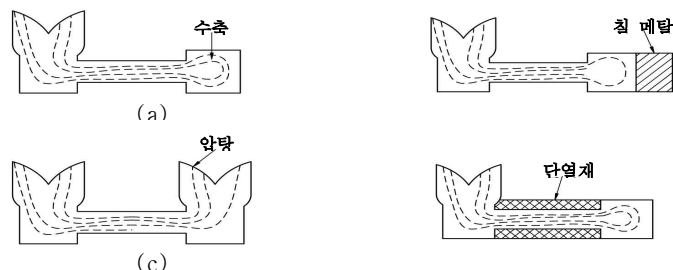
2) 압탕의 크기

(가) 고려할 점

압탕으로부터 용탕을 보충받지 못할 경우 건전한 주물이 될 수 없다. 따라서 압탕 내의 금속은 주물이 응고할 때까지 액체상태로 있어야 하므로 최소한 주물보다 늦게 응고하여야 한다. 주물이 응고할 때까지 용탕의 공급은 다음과 같은 조건에 따른다.

- ① 압탕의 크기
- ② 압탕의 모양
- ③ 압탕의 위치
- ④ 압탕과 주물부의 연결부
- ⑤ 칠 메탈의 사용 여부
- ⑥ 단열재나 발열재의 사용 여부

[그림 3-36]는 압탕의 위치, 칠 메탈의 사용, 단열재의 사용에 따른 수축과 압탕의 관계를 나타낸 것이다.



[그림 3-36] 압탕, 칠 메탈, 단열재에 의한 수축 방지

(나) 압탕의 모양

동일한 모양의 주물이 응고하는데 걸리는 시간은 그 부피와 표면적 비의 제곱에 비례한다. 즉

$$\theta_f = K \left(\frac{V}{A} \right)^2$$

- θ_f : 응고시간(sec)
- V : 주물의 체적(cm^3)
- A : 주물의 물면적(cm^2)
- K : 용융금속과 모양에 따른 상수

위의 식으로부터 동일한 부피의 압탕이 최대의 응고시간을 가지려면 구형이 되어야 함을 알 수 있다. 그러나 실제 조업에서는 원주형의 모양이 사용되고 있다.

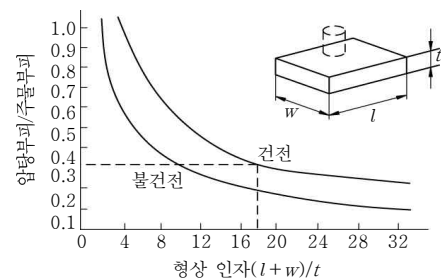
원주형의 주물을 만들 때에는 압탕의 지름은 주물보다 크거나 최소한 같아야 하며, 판상 주물에서는 압탕이 작아도 된다.

그리고 압탕의 크기가 클수록 주물 회수율이 낮으므로 경제성을 높이기 위해서는 단열재 또는 발열재를 사용하여 압탕의 응고속도를 낮추거나 철 메탈을 사용하여 두꺼운 부분의 응고속도를 빠르게 해야 한다.

(다) 압탕의 크기 계산

압탕의 크기는 여러 가지 방법으로 계산하고 있으나 일반적으로 형상 인자를 사용하여 압탕과 주물 부피의 비를 구하는 방법을 이용한다.

[그림 3-37]에서 형상 인자 $\frac{\ell + w}{t}$ 와 압탕과 주물의 부피비 V_r/V_c 와의 관계로부터 압탕의 크기를 구한다. 예를 들면 주물의 길이(ℓ)=18, 주물의 폭(w)=18, 압탕을 설치할 주물의 두께(t)=2라면 형상 인자는 18이다. 그림에서는 형상 인자는 18에 해당하는 V_r/V_c 는 약 0.29(=29%)이다. 따라서 압탕의 부피는 주물의 부피의 약 30%이어야 한다.



[그림 3-37] 압탕주물의 부피비와 형상 인자

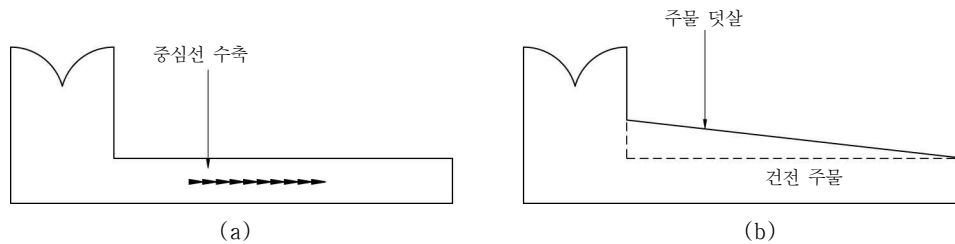
3) 압탕의 위치

긴 봉 또는 판재를 주조하면 양 끝으로부터 어느 정도의 거리까지는 수축이 없는 건전한 주물이 만들어진다. 이것은 끝 부분에서부터 방향성 응고가 일어나기 때문이다.

또, 긴 봉이나 판재의 중앙 지점에 압탕을 설치하여 주조하면 압탕으로부터 양쪽으로 어느 정도의 거리까지 압탕에 의해 용탕이 공급되어 건전한 주물이 된다. 즉,

압탕으로부터 급탕될 수 있는 거리가 있다. 예를 들면, 판상의 주강 주물에서 압탕의 효과로 수축이 방지되는 거리는 $2T$, 또 끝 부분에서 방향성 응고되어 수축이 일어나지 않는 거리는 $2.5T$ 이므로, 주물의 길이가 $4.5T$ 를 넘으면 가운데 부분에 수축이 생기게 된다. (여기서 T 는 주물 두께임)

[그림 3-38]의(a)는 중심선 수축이 생성된 예를 나타내었고 방향성 응고를 촉진시키기 위해서는 [그림 3-38]의 (b)와 같이 주물 덧살을 덧붙여(패딩) 주조할 때도 있다.



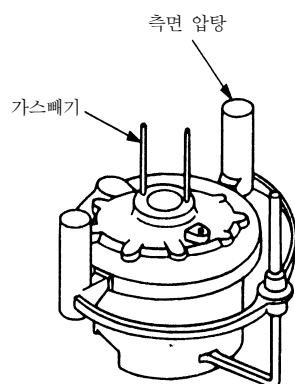
[그림 3-38] 금속 덧살로 건전한 주물을 만드는 예

4) 각종 금속 주물의 압탕

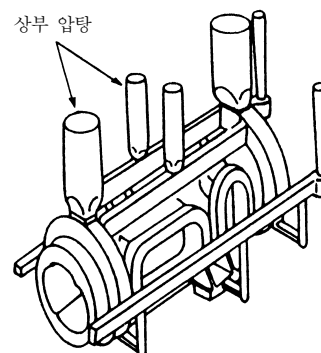
(가) 주철 주물의 압탕

주철의 응고수축은 주강이나 비철 합금에 비교하면 작다. 압탕의 목적은 응고수축에 의한 수축된 부분에 용탕을 보급하여 수축공을 방지하기 위한 것이지만, 이외에도 용탕에 혼입된 모래, 슬래그 또는 가스 등을 주물에 남지 않고 떠오르게 하는 목적도 있다.

수축량 만큼 용탕을 보급하는 데에는 어떤 크기의 압탕을 설치하면 좋은가를 고려하지 않으면 안 된다. 압탕은 그 중량 전부가 압탕으로 작용하지 않는다. 그것은 압탕 주형 표면 및 대기에 접촉한 용탕이 급속히 온도를 떨어뜨려 고체로 되기 때문이다. 또 [그림 3-39]의 측면 압탕과 같이 주물의 측면부에 설치하거나 탕구계에 직접 연결한 압탕은 효율이 좋고 [그림 3-40]의 상부 압탕과 같이 주물의 상부에 설치한 것은 대형 주물에 많이 사용된다. 일단 주물 중에 들어오는 용탕으로는 이 온도 차이에 의하여 유효 공급 비율이 다르다.

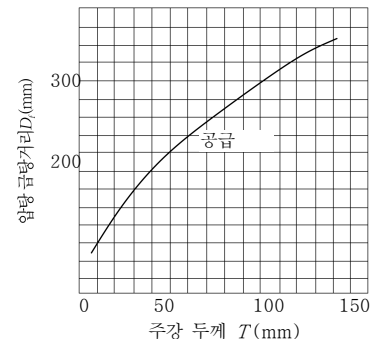


[그림 3-39] 측면 압탕



[그림 3-40] 상부 압탕

[표 3-5]는 보통 주철의 측면 압탕으로, 30~40%가 압탕 작용을 한다. 상부 압탕은 25~30%가 유효한 압탕 중량으로 작용한다. 압탕의 형태는 그 효율과 작업성을 고려한 원주형이 좋다. 원주형의 지름은 [표 3-6]에 나타낸 바와 같이 모든 주물의 두께로부터 결정된다.



[그림 3-41] 주강 두께와 압탕, 급탕

[표 3-5] 압탕의 유효 비율

압탕의 종류 \ 재질	일반 주철	구상 흑연 주철
상부 압탕	30~35%	20~25%
측면 압탕	35~40%	25~30%

[표 3-6] 압탕 지름의 결정 방법

재질의 인장 강도 \ 압탕 지름 종류	D(mm)	
20kg/mm ² 25kg/mm ²	측면 압탕	상부 압탕
	T+30	T+40
30kg/mm ² 이상	T+40	T+50

(나) 강 주물의 압탕

용해온도가 높고 수축률이 대단히 큰 것이 강 주물이다. 또 주철 주물과 달리 짧은 시간에 응고되므로 압탕 단면적은 아주 크게 해야 한다.

압탕의 위치는 게이트 바로 위에, 주조방안에서 맨 위쪽 및 두꺼운 부분에서 제거 가능한 장소에 위치하여야 하며 형태는 일반적으로 원주형이 좋다. 압탕의 위치, 형태가 선정되면 압탕의 수는 [그림 3-41]의 곡선에서 두께에 따른 압탕, 급탕 거리를 구한다. 다음 식에 따라 구한다.

$$\text{압탕의 수} = \frac{\text{압탕을 설치하는 부분의 전체길이(mm)}}{2 \times \text{압탕급탕거리 } D_f(\text{mm})}$$

단, 압탕의 수에 소수점 이하의 수가 있는 경우에는 모두 정수로 한다. 압탕의 위치, 형태, 수가 결정되면 다음에 각 치수를 결정하지 않으면 안된다. 이때 압탕의 형태는 모두 원주형이다. 그러나 주형상자의 씌움 및 주물의 형태에 따라 계산하여 압탕이 설치되지 않는 경우는 압탕 사이에 급탕 불충분의 부분이 발생하므로 압탕 두께는 지금 그대로 급탕 불능 부분의 방향으로 필요한 길이만큼 압탕 길이를 늘려야 목적을 달성하게 된다.

압탕의 높이 H는 다음의 식에 의해 구하는데 발열 슬리브 및 단열재를 사용하는 경우도 압탕 지름 D와 높이 H는 동일하게 하는 것이 좋다.

압탕 높이가 원추형인 경우

$$H = (1.5 \pm 0.2) \times D$$

압탕높이가 타원형인 경우

$$H = (2.0 \pm 0.2) \times \text{짧은 지름}$$

(다) 비철 주물의 압탕

비철주물은 일반적으로 응고수축이 크기 때문에 응고시 발생하는 결정립 사이의 틈에 용탕을 보급할 필요가 있다. 특히 구리 합금 주물은 재질적으로 응고온도 차이가 큰 금속의 합금이기 때문에 압탕계를 결정하는 것이 매우 어렵다. 이것은 각 공장마다 결정하는 방법이 다르므로 규정으로 정할 수는 없다.

[그림 3-42]는 비철 주물 압탕의 예를 나타낸 것이다.

청 동		망 간 청 동	
측면압탕	상부압탕	측면압탕	상부압탕
인 청 동		알루미늄 합금	
측면압탕	상부압탕	측면압탕	상부압탕

[그림 3-42] 비철 주물의 압탕

압탕의 유효 범위는 [표 3-7]과 같이 주철에 비하여 그 범위가 좁아 회수율이 나쁘다. 그러나 유효한 철 메탈의 사용방법을 고려하면 청동 주물과 같이 유효 범위가 넓어진다.

[표 3-7] 압탕의 유효 범위

재질	유효 범위 T : 두께	비고
주강	4.5T	
구상 흑연 주철	6~6.5T	
주철	8T	
청동	6T	20~40(두께)
청동	10T	칠 메탈사용
황동	5.5T	
알루미늄 청동	5~6T	
알루미늄	6T	

3. 주조설계¹²⁾

결합이 없는 주조품을 만들기 위해서는 설계시 주조품의 외형, 내형 및 각 부분에 대해 조형의 용이성, 결합 방지, 후가공의 용이성 등을 상세하게 검토해야만 주조품의 품질향상과 불량률 감소 및 제품의 원가를 절감할 수 있다.

가. 주조응력에 대한 설계

높은 주입온도 때문에 철강주물은 특히 주형 내에서 외부균열 또는 열간균열을 일으키기 쉽다. 즉 총 수축량이 크고 임계온도에서의 열간강도 및 연성은 작다. 이들의 결합은 주물의 외적 조건 또는 주물 고유의 특성에 기인된다.

외적으로 중요한 영향은 주형에 의한 영향뿐이다. 이는 보통의 수축을 억제하여 균열, 열간균열 또는 뒤틀림(warpage)을 유발시킨다. 이러한 응력은 조형의 기술에 의해 감소될 수 있다. 주물이 대형이고 형상이 복잡한 경우에는 2개 또는 그 이상의 부분으로 각각 주조하여 그 부분들을 서로 용접하는 것이 바람직한 경우도 있다. 조그만 타이바(tie bar)는 때때로 위험한 부분에 열간균열을 방지하기 위해 사용되며 차륜의 살(spoke)과 같이 곧은 부분은 응력을 약간 감소시키기 위해 구부린다. 주물 본래의 특성에 기인되는 응력에는 엄밀하게 구분하면 설계에 의한 응력과 금속의 성분에 의한 독자적인 응력이 있다. 얇은 단면의 주물은 두꺼운 (대형) 주물보다 빠르게 냉각하고 수축한다. 그와 같은 얇은 단면부가 자유단이 없이 연결된다면 높은 응력이 나타난다. 얇은 부분이 냉각하여 수축할 때 그들 부분은 두께가 보다 두껍고 냉각속도가 보다 늦은 단면에 의해서 구속된다. 얇은 부분은 응력을 완화하려고 균열을 일으키거나 그렇지 않으면 소성변형한다. 만일 얇은 부분에서 균열이 일어나지

12) NCS 분류번호 : 주조 공정 설계(1601030103_16v4)

않다면 연장된 얇은 부분으로부터 수축될 때에 뒤틀림이 일어난다. 균열은 양단에서 구속하지 않은 끝은 봉에서도 일어날 수 있다. 왜냐하면 봉이 냉각되어 수축할 때에 주물을 파괴하려는, 수축변형을 억제하기에 충분한 저항력이 주형과 금속 사이의 마찰로부터 생기기 때문이다. 균일한 단면을 가진 봉이면 특별히 약한 부분은 생기지 않으며 봉은 응고 및 수축이 단면에서 균일하게 일어나기 때문에 균열은 생기지 않는다. 다른 부분이 끝은 봉에 접속된다면 열점이 형성되고 응고형식은 열간균열을 조장시킨다.

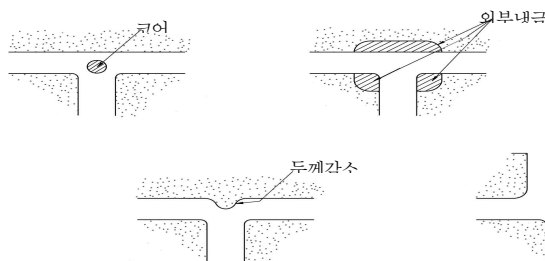
금속의 조성은 적어도 3가지 원인에 의해서 열간균열 발생에 영향을 미친다.

- ① 임계온도에서 고유강도와 연성에 의해
- ② 고체변태(solid transformation)의 존재와 범위에 의해
- ③ 결정립계에서 황과 같은 불순물의 존재에 의해

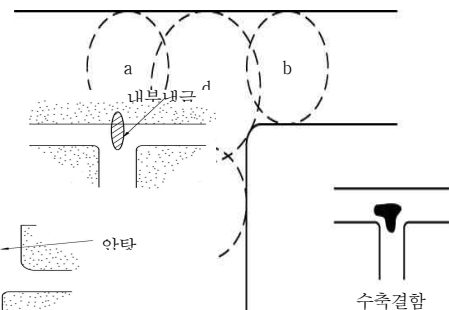
일반적으로 고품질의 보통 탄소강은 합금강보다 열간균열에 대한 저항력이 크고 회주철은 합금주철보다도 균열에 민감하지 않다. 철 및 비철주물에서의 열간균열은 일반적으로는 조성의 문제보다는 오히려 설계의 문제이다.

나. 방향성 응고를 위한 설계

건전한 주물을 만들기 위해서는 주물이 응고



[그림 3-44] T단면에서의 열점 제거방법



[그림 3-43] 내접원에 의한의한 열점
위치결정

할 때에 온도 기울기가 잘 조절되어야만 한다

는 것은 이미 배운 바 있다. 설계가 매우 나빠 충분한 방향성이 있는 점진적인 응고를 얻을 수 없을 때는 설계변경이 필요하다. 이를 쉽게 이해하기 위해 여러 가지 설계상의 주의사항은 다음과 같다.

- ① 큰 단면은 작은 단면을 통하여 압탕효과를 줄 수 없다. 주물의 여러 가지 구성 성분은 L, Y, T, + 또는 V자의 형태로 연결된다.

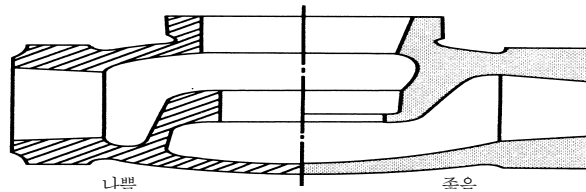
[그림 3-43]의 주물 연결부와 같이 T형 단면을 예를 들면 [그림 3-43]에 나타낸 것과 같이 내접원을 그려봄으로써 원 d에 의해 그려진 부분이 원 a, b 또는 c의 부분보다도 금속의 양이 많다는 것을 쉽게 알 수 있다. 이에 의해 보통 냉각속도에서 d부분의 중심에 있는 금속이 최후에 응고하는 열점으로 된다는 것을 알 수 있다. 일반적으로 이 점에 압탕을 설치하는 것은 편리하지 않고 비경제적이다.

어떤 거리를 두고 설치된 압탕으로부터 1개 또는 그 이상의 분기를 통하여 압탕의 효과를 높이도록 하는 것이 필요하다. 그러나 분기는 적기 때문에 연결부가 응고하기 전에 응고하여 분기의 압탕효과가 없어져 수축을 일으킨다. [그림 3-44]는 이에 대한 좋은 대책을 나타냈다.

설계시 연결부는 가능한 적게 설치해야 한다. 예를 들면, L형 연결부는 Y 또는 V단면보다 문제점이 적고 취급도 용이하다. L단면은 다른 어떤 단면보다도 단지 설계만으로 정정하기가 용이하다. 때로는 연결부의 수를 줄이는 방법으로 각 부분을 주조한 후에 이들을 용접 또는 볼트 결합하여 하나로 연결하는 방법이 있는데, 이와 같은 수단은 매우 가치가 있는 경우가 있다.

- ② 가능한 한 단면은 압탕쪽을 향해 기울기를 주어야 한다. 자연 응고에 의해 얻어질 수 있는 주물의 건전성은 허용된 기울기의 정도에 비례한다.

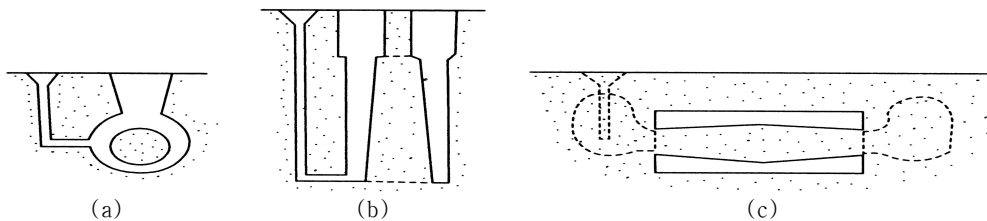
[그림 3-45]은 밸브주물의 설계를 나타냈다. 즉 왼쪽은 압탕효과를 증진시키기 위해 설계를 하지 않은 일반적인 상태이고, 반대쪽은 주물의 외부로 방향성 응고를 유도하기 위하여 주물의 살두께를 부여한 올바른 설계이다.



[그림 3-45] 방향성 응고를 하기 위한 주형의 설계

원통상의 주물은 정적인 방법으로 건전하게 제작하기 곤란하다. 즉, 원통상의 주물은 원심주조로 가장 양호하게 제작할 수 있다. 정적인 방법으로 중심선 수축(center line shrinkage)이 없는 원통상 주물(강 또는 비철주물)을 제작하기 위해서는 기울기 또는 어느 정도의 정교한 작업이 필요하다. 원통은 [그림 3-46]에 나타난 3개의 방법 중 하나로 기울기와 압탕을 설치할 수가 있다.

- ③ 수평은 바람직하지 못하다. 평편한 표면을 갖고 있는 주물의 제작은 곤란하다. 그 이유는 온도 기울기가 좋지 않기 때문에 중심선 수축을 방지하기가 곤란하며, 금속보다도 가벼운 슬래그, 가스 및 기타 불순물은 상부의 평편한 표면이 모이는 경향이 있기 때문이다. 가능하면 항상 만곡선 표면을 갖거나 또는 평편한 표면에 수평에 대해 직각 또는 경사지게 주물을 제작하는 것이 가장 좋다.



[그림 3-46] 방향성 응고를 촉진시키기 위해 관상주물에 덧살을 준 체질개선법

- ④ 고립된 열점은 피하지 않으면 안된다. 용탕에 둘러 쌓여져 있는 코어나 주물사 부분은 개방된 부분에 비하여 냉각속도가 늦다. 이와 같은 고립된 장소는 문제점이 많은 곳이다. 따라서 냉금 또는 압탕효과의 개선을 위한 특별한 수단을 강구하지 않으면, 수축공 또는 균열이 발생할 수 있다.

다. 유동성에 대한 설계

사형주물의 최소 단면의 두께는 금속성분과 함수관계에 있다. 일반적으로 회주철 및 알루미늄, 마그네슘의 사형주물과 구리합금 등은 극히 소형인 주물에서도 3.2mm 이하의 단면이 되지 않게 설계해야 하며 대형주물에 있어서는 4.8~6.4mm 이상으로 해야 한다. 강주물은 소형인 경우에 두께는 6.4mm 이상으로, 대형의 경우에는 12.7mm 이상으로 해야 한다. 0.5~1%의 인을 함유하는 주철은(stove plate와 같은 얇은 살의 주철) 경우에 따라서는 1.0mm 정도의 두께로 한다. 가정용 라디에이터가 그의 예이다.

라. 안전율

주물의 설계에 이용되는 안전율(safety factor)은 종종 낮출 수가 있다. 주물이 가혹한 구조물로 사용될 때에는 항상 초과된 높은 안전율이 이용되며 3:1의 크기로 취해진다. 양호하게 용해된 용탕으로부터 적절하게 만들어진 건전한 주물은 단조재의 기계적 성질과 동일하다. 주물보다도 단조에 적합한 부품을 기준으로 하는 기계적 성질은 단조품과 주물과의 우열을 비교하는 경우가 있는데 이는 바람직한 비교는 아니다. 현재 사용되고 있는 검사법과 개선된 주조작업을 이용하게 된다면 결함이 있는 주물은 중요한 용도로 사용될 수가 없다.

마. 주조방안의 수립

주조방안은 기계장치가 계획되고 그것에 필요한 주물부분이 설계되는 단계에서부터 전문기술자가 관여하여야 한다. 그렇지만 설계 단계에서 주물제조상의 문제점까지 고려되는 일은 드물며 도면이 만들어지고 나서 원형제작자의 생각만으로 주조용 원형을 만들고 그것이 주물공장에 넘어가는 것이 일반 현상이다. 주물을 경제적으로, 기술적으로 쉽게 만들 수 있는가의 대책을 세워야 하는 것을 주조방안이라고 하며 그 내용은 다음과 같다.

- ① 지금(地金) 등의 주요 원재료의 선정에 관한 사항(품질, 형상, 분량)
- ② 용해에 관한 사항(배합, 강도, 성분)
- ③ 원형에 관한 사항(원형의 종류, 제작법, 다듬질 여유)
- ④ 주물사, 주형재료에 관한 사항(주형의 종류, 도형제)
- ⑤ 조형에 관한 사항(주형의 종류, 도형제)

- ⑥ 주입에 관한 사항(주입온도, 주입속도, 주형의 상태)
- ⑦ 주입 후 주조품 처리에 관한 사항
- ⑧ 다듬질에 관한 사항
- ⑨ 운반에 관한 사항 등이다.

1) 주입용탕 중량의 결정

주입에 필요한 용탕을 예측하여 일정량의 용탕을 레이들에 저류할 때는 용해로의 능력에 따라 그 최대 주입중량의 한도가 있다. 용탕의 온도저하를 초래하지 않고 또 적정 주입온도를 유지할 수 있는 범위에서 용탕을 저류할 필요가 있다. 이와 같은 경우는 대략 그 공장의 큐폴라 용해능력의 1시간의 출탕량 범위일 것이다.

주입에 필요한 용탕량은 주물제품의 부분 외에 탕구계, 압탕, 주입 기준 등 중량을 생각하여 부족하지 않도록 준비해야 한다. 소형주물의 중량은 때로 원형에서 계산할 수도 있는데 커지면 도면 치수에서 중량을 계산하여 탕구계, 압탕, 주입기준 등의 중량을 가하여 이것에 다소 여유를 지닌 용탕의 중량이 준비되어야 한다. 주조품의 중량이 정확하게 계산 되었을 때라도 주조품만의 중량은 보통 흑피면(黑皮面)이 많은 주물일 경우 그 중량 계산의 약 1.1배 정도로 하고 다듬질면이 많은 것에서는 약 1.3배 정도의 여유가 있는 용탕 준비가 필요하다. 한편 장력(張力)이 생겼을 경우 그 증가분을 고려해야 할 것이다. 용탕을 저류하기 위한 용탕 대기에는 레이들 예열을 충분히 행한 뒤 덮개를 덮거나 혹은 용탕 위를 충분히 쪼을 태운 재로 덮어 대기시간 중 온도 강하를 방지해야 한다.

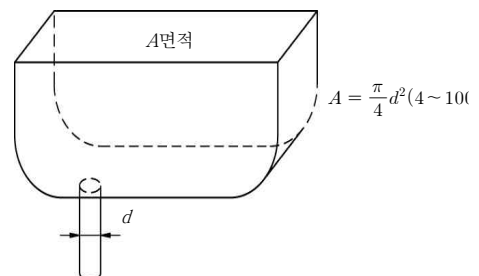
2) 걸치기 주입컵(용탕 저류부) 설계

걸치기 주입컵 레이들은 주형에 주탕 주입을 쉽게 하고 외부로 용탕이 넘쳐흐르는 것을 방지하거나 또는 용탕의 흐름을 갖춰 주형에 주입시키는 곳이다. 동시에 용탕 속에 혼입되어 있는 슬래그나 찌꺼지 등을 분리시키고 사립(砂粒), 불순물 등의 탕구로부터 유입을 되도록 저지할 수 있도록 설치되어야 한다.

일반적으로 액체가 바닥 구멍에서 유출할 경우 액체 흐름이 소용돌이를 이루면서 구멍에서 유출되는 상태가 있다. 이 소용돌이를 자유소용돌이라고 하는데, 이것은 용기의 깊이가 얇고 용기속의 액체가 적어질 때에 생기기 쉽다. 걸치기 주입컵 내의 용탕의 높이(h)가 얇고 탕구경(d)이 클수록 소용돌이는 일어나기 쉽고 h/d가 작으면 회전운동을 일으키는데 편리하게 된다.

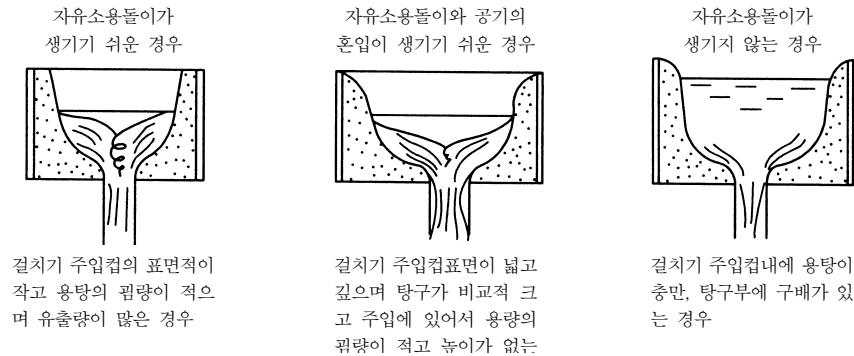
따라서 걸치기 주입컵 윗면의 표면은 적은 탕구 구멍의 지름(d)에 대하여 $\pi d^2/4(4\sim100)$ 의 범위로 해놓은 것이 안전하며 걸치기 주입컵 속의 용탕 높이는 항상 d의 4배 이상으로 유지할 수 있게 주탕할 필요가 있다.([그림 3-47] 참조)

걸치기 주입컵을 사용하지 않고 직접 주형



[그림 3-47] 걸치기 주입컵 면적

에 주입할 때는 탕구 상부를 나팔상의 입구로 만들어 작은 레이들이나 핸드생크 등으로 주입하는데 편리한 크기의 수구(受口)가 필요하다. 주입중에는 항상 수구 가득히 용량이 충만해 있어야 하며 용량의 흐름에 대하여 소용돌이가 생기지 않도록 만들고 주입해야 한다.([그림 3-48] 참조)

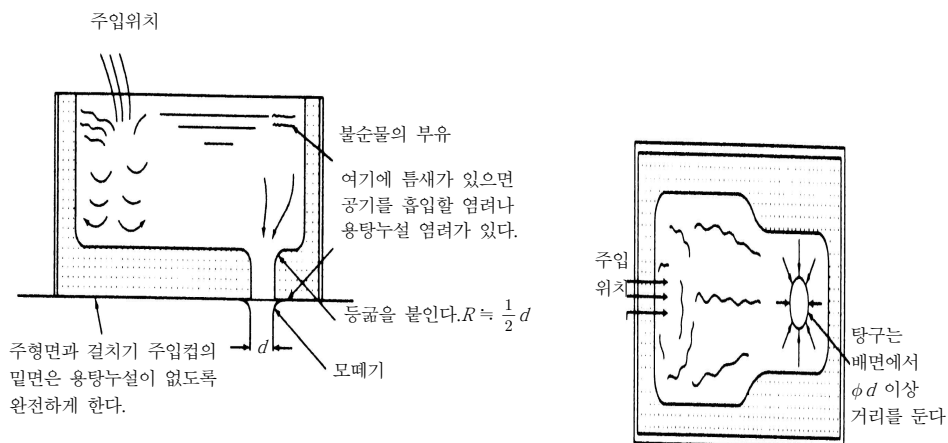


[그림 3-48] 걸치기 주입컵의 종류

(가) 걸치기 주입컵의 설계에 관한 요점

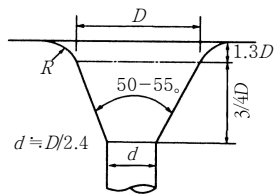
걸치기 주입컵의 설계에 있어 다음과 같은 점을 고려해야 한다.

- ① 용탕 저류부의 형상은 원형보다도 장방형 또는 타원형이 좋다.
- ② 탕구 구멍은 중심에서 한쪽으로 벗어난 위치에 둔다.
- ③ 걸치기 주입컵의 밑부의 형상은 깔대기 형상으로 하고 너무 경사를 붙이지 말 것
- ④ 탕구 구멍에 스트레이너를 사용하면 불순물의 유입방지에는 다른 곳에 사용하는 것보다 효과는 크나 용탕을 조용히 유입시킨다는 점에서는 다른 부분에 사용할 때보다 효과는 작다.([그림 3-49] 참조)

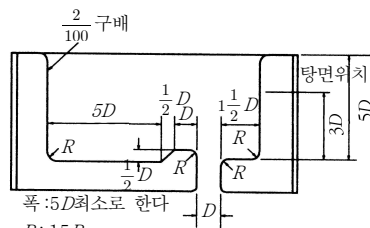


[그림 3-49] 걸치기 주입컵 설계

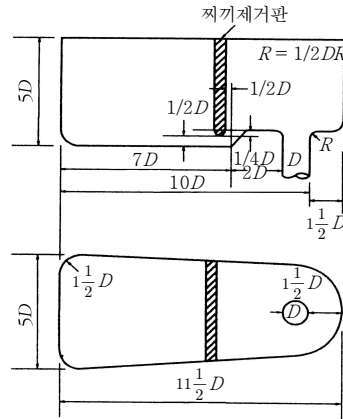
(나) 각종 걸치기 주입컵의 구조와 치수



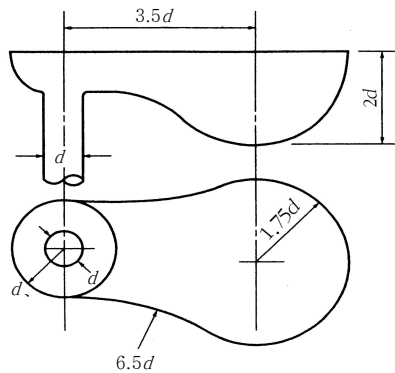
(a) 표준적인 수구의 형상, 치수



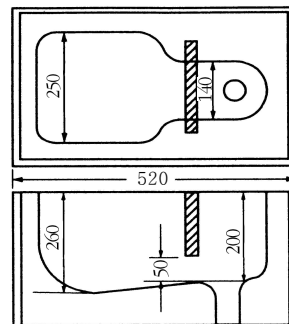
(b) 표준 걸치기 주입컵의 형상, 치수



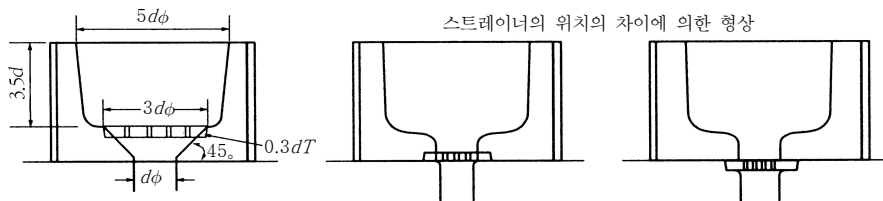
(c) 걸치기 주입컵의 예1
(찌꺼기 제거판을 사용한 터널식 댐형 걸치기 주입컵의 예)



(d) 걸치기 주입컵의 예2



(d) 걸치기 주입컵의 예3



(f) 걸치기 주입컵에 스트레이너를 사용한 예

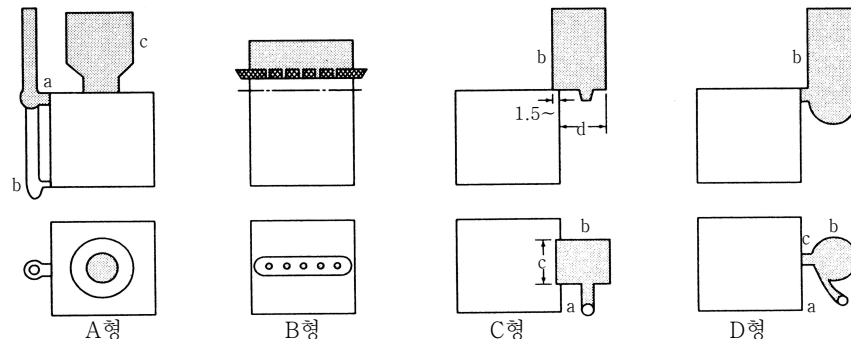
[그림 3-50] 걸치기 주입컵의 구조와 치수

바. 주물의 기본적인 형상과 그 주조방안

1개의 주물을 주조하는데도 주입방법은 다양하며 주형의 종류에 따라서 주입방법도 달라지게 된다.

1) 블록형 [동불(銅佛)류]

주로 수축방지 측면에서 [그림 3-51]에 표시하는 바와 같은 탕구가 행하여진다.



[그림 3-51] 동불주물에 사용되는 탕구양식의 종류

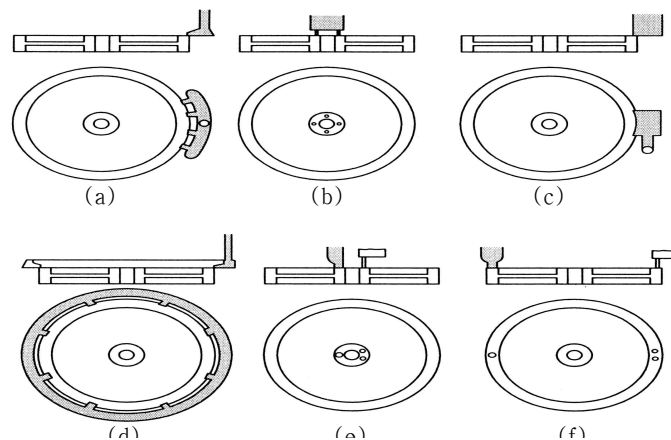
블록형 주물은 동불류라고도 부르고 형상은 일반적으로 간단하나 후형(厚形)이다. 수축이 없는 건전한 주물을 실용성 있게 만들기란 의외로 힘들다. 동불류에 발생하는 결함은 수축공이 대부분이다. 이 수축주소의 원인은 용탕의 응고수축에 의한 것이 주이고 주형벽의 정도에도 수축주소는 관계가 있다. 따라서 주조방안은 수축주소 방지의 입장에서 선정해야 한다.

2) 휠형

휠(wheel)형 주물이란 다음과 같은 것을 가리킨다.

- ① 기어 또는 기어바탕
- ② V폴리 또는 폴리바탕
- ③ 평벨트폴리 또는 드럼
- ④ 플라이 휠
- ⑤ 차륜

이와 같은 주물의 대부분은 림의 외주(外周) 및 상·하면, 보스의 내면과 그 상하면이 기계가공 되므로 흠이 없을 것을 요구한다. 이 주물에 채용되고 있는 탕구 양식은 크게 나뉘 [그림 3-52]와 같이 6종류가 있는데 지름의 크기, 림, 암(arm) 및 보스의 두께, 주형의 종류 등에 따라 선정된다.

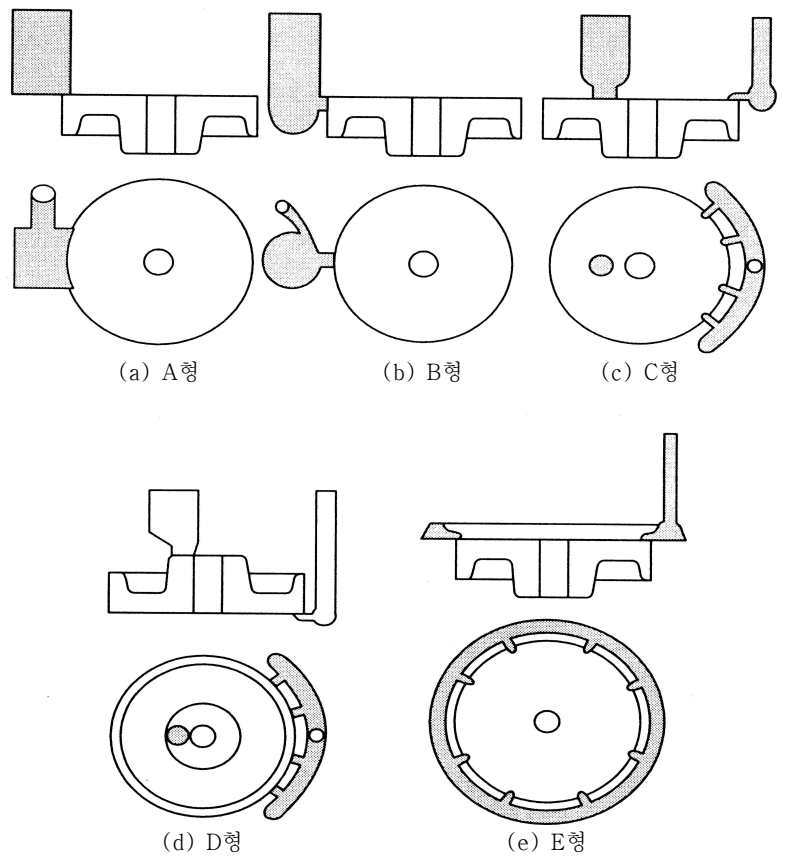


[그림 3-52] 휠주물의 탕구양식

3) 커플링

커플링은 형상이 간단하나 전면 기계가공을 수행하여 가공면은 물론 내부결함도 허용되지 않으므로 블록형이나 휠형 주물과 같이 만들기 힘든 주물 중 하나다. 커플링 주물의 특징은 다른 부분의 살두께에 비해 보스부가 후육이라는 점이며, 수축주소가 보스부에 집중할 때가 상당히 많다. 그 밖에 모래의 씻김, 기타의 원인에 의한 불순물 혼입 혹은 핀홀, 블로홀이 있다.

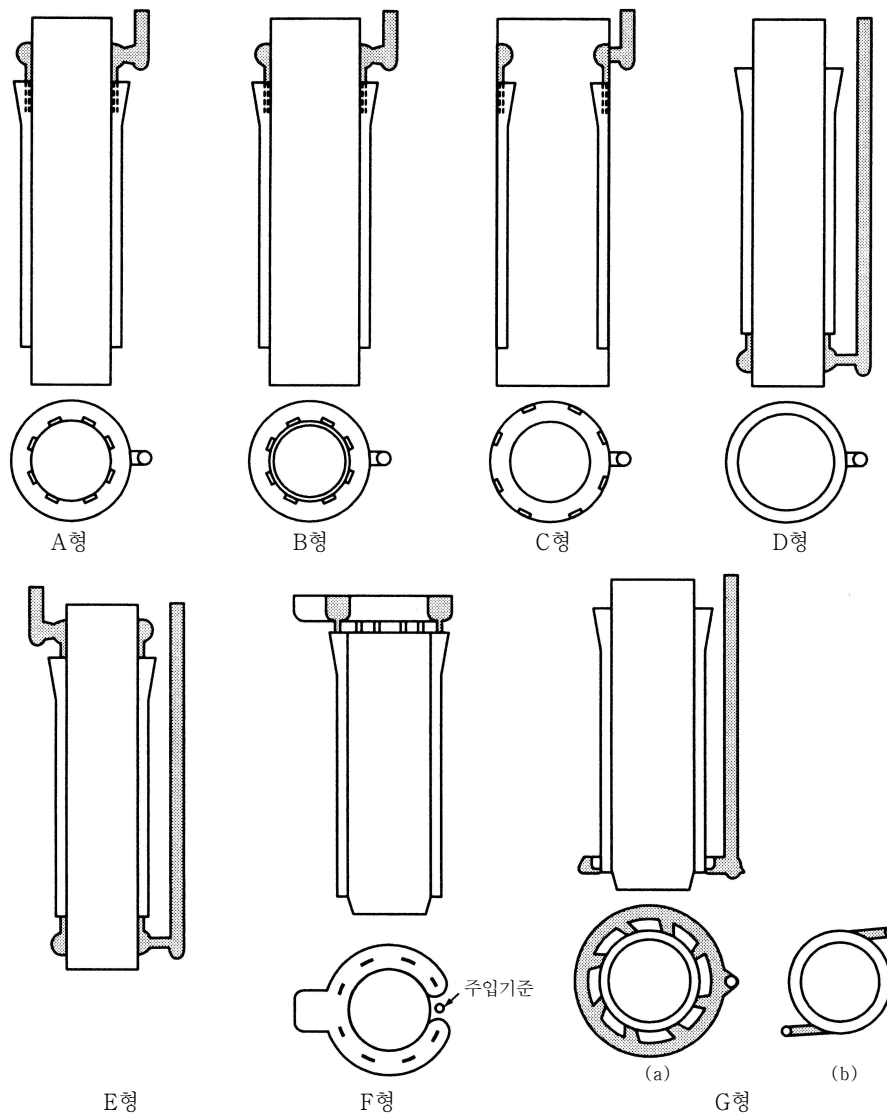
이런 종류의 주물에서는 [그림 3-53]에 표시한 바와 같은 5종류의 양식을 생각할 수 있다.



[그림 3-53] 커플링주물의 탕구양식

4) 원통형

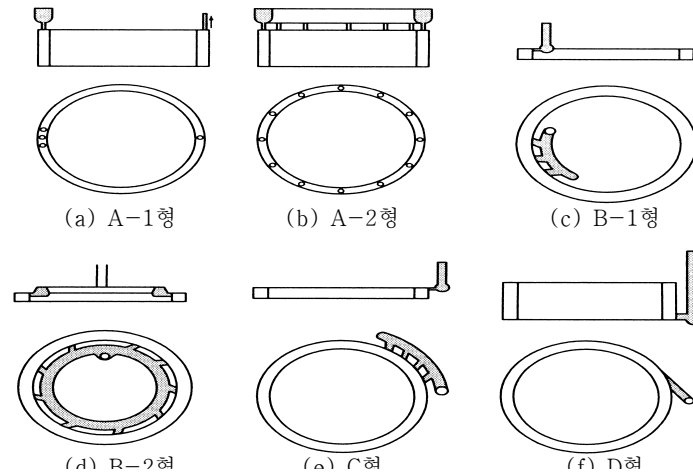
원통형 주물의 대표적인 것은 실린더라이너 및 실린더가 있다. 내·외면이 한쪽 또는 양쪽 모두를 기계가공하여 조그마한 흠도 남지 않고 다듬질 후의 수압시험에도 합격해야 하며 아주 작은 결함도 허용되지 않는, 가장 힘든 주물 중 하나다. 원통형 주물에 채용하는 탕구양식에는 [그림 3-54]과 같은 것들이 있다.



[그림 3-54] 원통형 주물의 탕구양식

5) 링형

링형 주물 중에는 지름에 비해 높이가 낮은 원통형과 두께에 비해 폭이 넓은 단면을 지닌 환상형 2종류가 있다. 링형 주물에는 전면 기계가공 후 결함이 전혀 없을 것이 요구되는 것, 지정면 이외는 다소의 결함이 허용되는 것, 한쪽 면만 기계가공을 행하는 것, 혹은 주방(鑄放)한 채로 사용되는 것 등 요구 조건이 각각 다르므로 탕구양식도 이와 같은 조건을 고려하여 확실하며 경제적인 것을 선택해야 한다. 링형 주물에 사용되는 탕구양식으로는 [그림 3-55]에 표시하는 것과 같이 일반적으로 6종류를 고려할 수 있다.

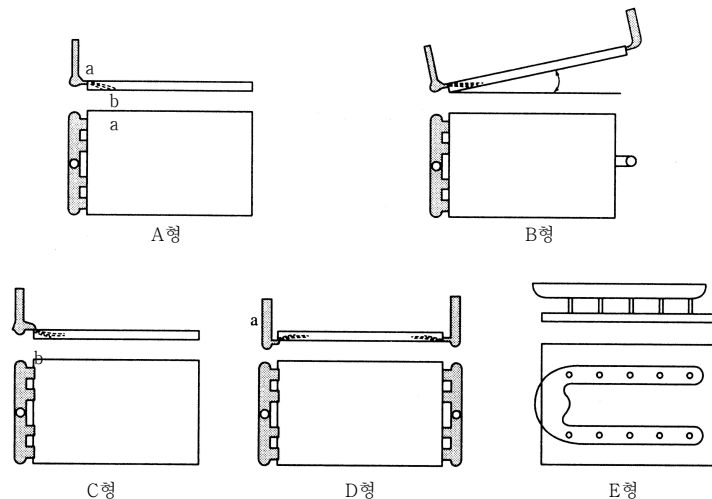


[그림 3-55] 링형주물의 탕구양식

6) 판주물

판상인 주물 중에는 주방한 채로 사용되는 것, 한쪽면 혹은 양쪽면이 일부 또는 전부를 기계가공하여 사용하는 것 등이 있으며, 같은 넓이의 평면에서도 살두께가 두꺼운 것, 얇은 것 등 여러 가지가 있다. 탕구양식도 역시 개개의 용도나 형상, 크기, 살두께 등에 따라 선택해야 한다.

일반적으로 판주물에서 소형인 제품은 생형, 중형이상인 제품에는 원칙적으로 건조형, 가스형, 자경성주형 등을 채용하는 것이 안전하다.([그림 3-56] 참조)



[그림 3-56] 판주물의 탕구양식

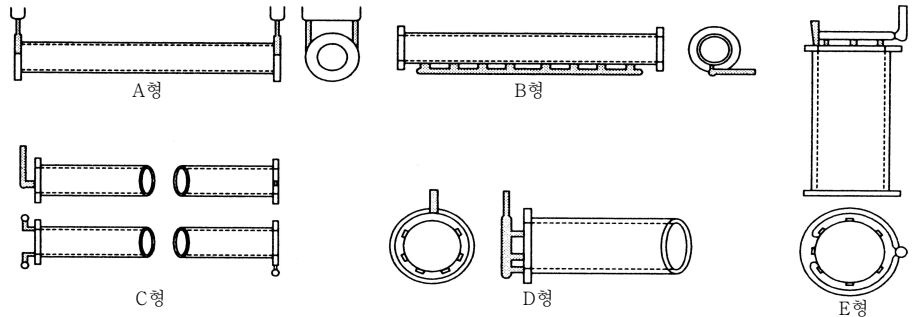
7) 관

관 주물은 대부분이 소수의 전문공장에서 만들어지므로 중소기업에서 일시적으로 수주하는 직관 혹은 이형관 및 특수관 등의 탕구에 대하여 알아보기로 한다.

일반적으로 관 주물은 내외면의 기계가공은 없고 대개의 경우 양단 플랜지면의 가공뿐이다. 따라서 외관의 결점이나 살두께가 균일하고 수압시험에 합격하면 대체

적인 목적은 달성된다. 따라서 대개의 경우 작업능률의 방법에서 수평 주입방식이 사용되고 있는데 살두께를 균일하게 하기 위하여 숙련을 요한다.

관 주물에 사용되는 탕구는 관의 지름, 길이, 살두께 및 주형의 종류에 따라서 적당한 양식을 선택해야 한다.([그림 3-57] 참조)



[그림 3-57] 관 주물의 탕구양식

사. 주조방안과 열전달

1) 주조방안

사형주조법이나, 중력금형주조법, 다이캐스팅 등 각종 주조법에서 건전한 주조품을 적절한 가격으로 제조하기 위해서는 주조품의 형상, 재질, 치수정밀도, 생산량 등에 따라 적절한 재질, 형상, 치수의 주형을 만들어 용융금속을 주형에 주입하여 응고시켜야만 한다.

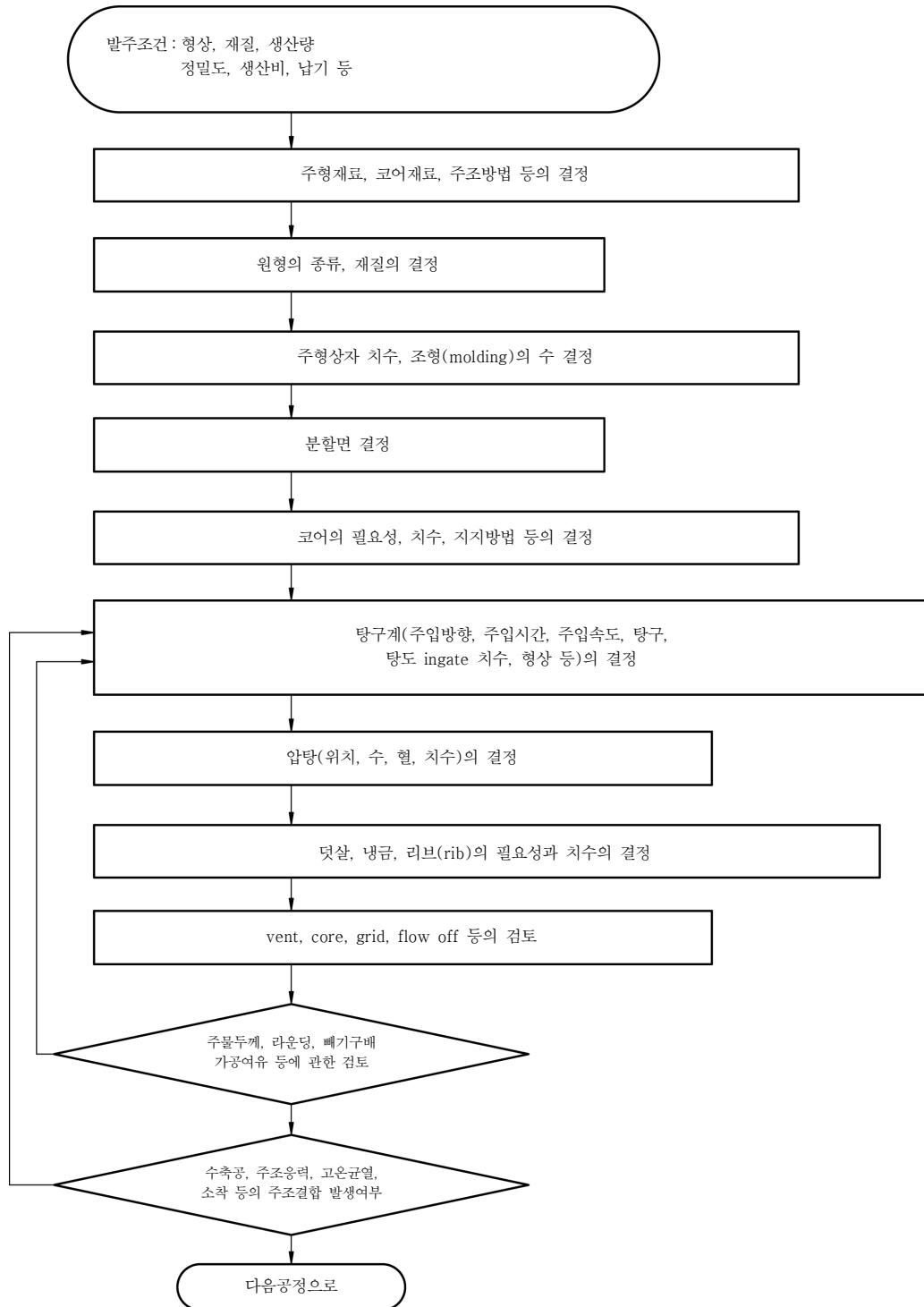
용융금속은 온도저하와 더불어 밀도가 증가하며, 응고와 함께 수축하는 것이 보통이다. 따라서 주입 후의 온도저하와 더불어 주조품 표면에 수축이 발생하며 주조품의 내부에도 수축공이 발생하게 된다. 이와 같이 수축공 결함은 주조품의 강도, 내압성 등을 떨어뜨리기 때문에 방지하여야 한다. 따라서 냉각, 응고시 수축량에 상응하는 용탕의 공급원으로서 압탕이 필요하다. 또 용탕이 압탕으로부터 응고부에 이동하기 쉽도록 압탕을 향한 지향성응고가 일어나도록 해야 한다.

이를 위해서는 적절한 주형의 구조, 탕구계, 압탕의 설계 및 주입조건의 설정, 즉 주조방안이 아주 중요하다. [그림 3-58]에 주조방안의 예를 나타냈다.

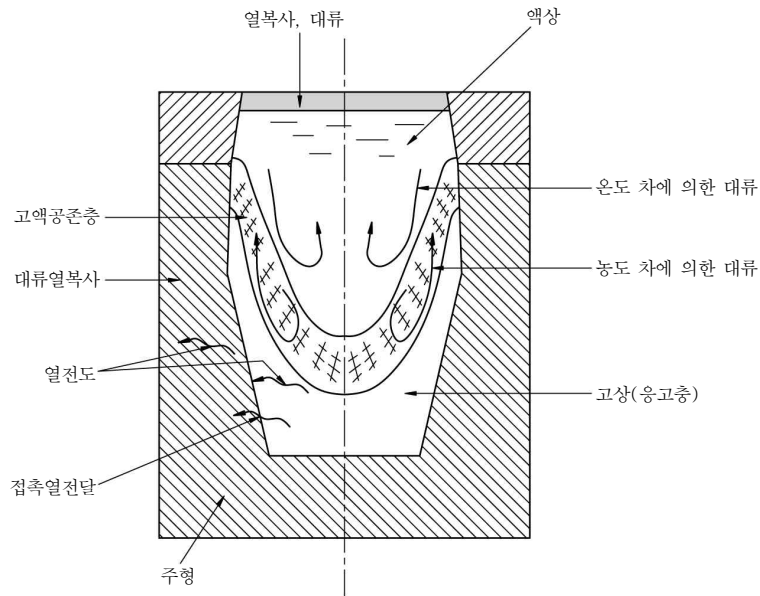
2) 주조과정에 있어서의 열전달

가) 열전도

응고는 용탕온도가 액상선 온도 이하로 냉각되면서 진행된다. 용탕의 온도강하는 용탕 중의 열에너지가 응고층과 주형을 통하여 열전도에 의해 이동함으로써 일어난다.([그림 3-59] 참조)



[그림 3-58] 주조방안 순서의 한 예



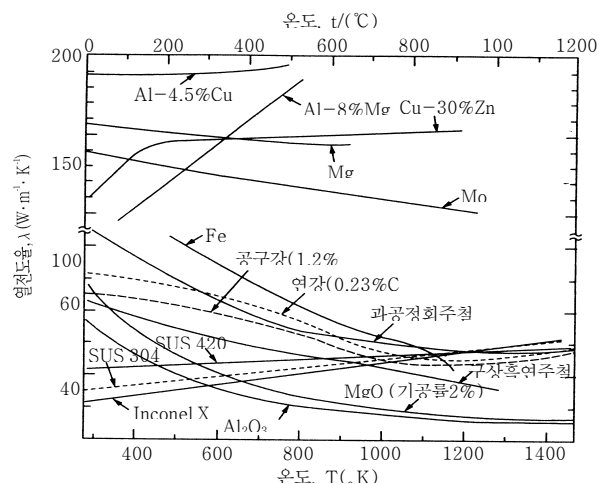
[그림 3-59] 응고시의 열이동과 유동

열전도란 물질 중에 온도분포가 존재할 때, 그 물질 구성분자(분자, 원자, 자유전자 등)의 상호작용의 효과로서 고온부로부터 저온부로 열에너지가 이동하는 현상이다. 열전도는 다음의 Fourier의 법칙에 따라 일어난다.

$$q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial n} \quad (4-1)$$

여기서, q 는 열유속(W/m^2), $\partial T / \partial n$ 는 온도구배(K/m), 비례상수 λ 는 열전도율($\text{W/cm} \cdot \text{K}$)을 나타낸다.

[그림 3-60]은 대표적인 열전도율을 나타낸다. 일반적으로 순금속, 저합금에서는 온도상승과 더불어 열전도율은 저하하고, 고합금에서는 상승한다. 철계 합금에서는 약 1100K 이상에서 대략 동일한 값이 된다. 또 금속의 열전도율은 세라믹 등보다 상당히 크다.


 [그림 3-60] 금속 및 Al₂O₃, MgO의 열전도율

열전도에 의해 형성되는 온도분포는 다음의 기초 미분방정식을 초기조건 및 경계 조건하에서 해석하여 얻어진다.

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla (\lambda \nabla T) \quad (4-2)$$

여기서, ρ : 밀도(kgf/m³), C_p : 정압비열(J/kgf · K), (K), t : 시간(s)이며, T : 온도(° K)
 ∇ 는 3차원 직교좌표계에서는

$$\nabla = \left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right) \quad (4-3)$$

이다. 이 경우 식(4. 2)는

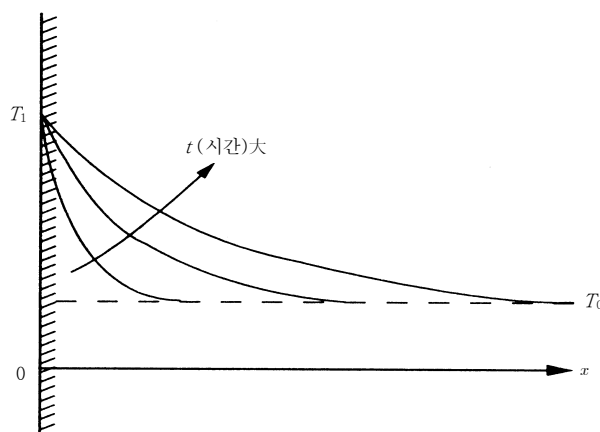
$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (4-4)$$

이 된다. 만약, 열전도율 λ 가 온도, 장소에 관계없이 일정하다면, 이식은

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (4-5)$$

로 변형된다. 여기서 $\alpha = \lambda / C_p$ 는 열확산율 (또는 온도전도율)로서 온도 전달속도를 나타낸다.

[그림 3-62]에 표시한 것과 같이 열물성치(ρ , C_p , λ)가 일정한 반무한 주형의 표면을 순간적으로 T_1 로 변화 시켰을 때의 주형의 온도분포를 구해 보자. 이 경우, 기초 식은 식 (4-5)에 의해



[그림 3-61] 반무한 고체의 표면온도를 순간적으로 T_1 로 변화시켰을 때의 온도분포

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (4-6)$$

이며, 초기조건은

$$t = 0 : T = T_0 \quad (4-7a)$$

경계조건은

$$x = 0 : T = T_1 (t > 0) \quad (4-7b)$$

$$x = \infty : T = T_0 \quad (4-7c)$$

이다. 해석 방법으로는 Laplace 변환법, 변수분리법, 적분법 등이 있다. 예를 들면, Laplace 변환법에서는, 우선 식(4, 6)을 Laplace 변환하여 상미분방정식으로 변환한다. 상미분방정식의 해를 구한 후 역변환하여

$$T - T_0 = (T_1 - T_0) \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{at}} \right) \quad (4-8)$$

을 구한다. 여기서 erf(y)는 오차함수로서 다음 식과 같이 정의된다.

$$\operatorname{erf}(y) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^y e^{-p^2} dp \quad (4-9)$$

또한 오차함수는 다음과 같은 성질을 갖고 있다.

$$\operatorname{erf}(\infty) = 1, \operatorname{erf}(0) = \operatorname{erf}(-y) = -\operatorname{erf}(y) \quad (4-10)$$

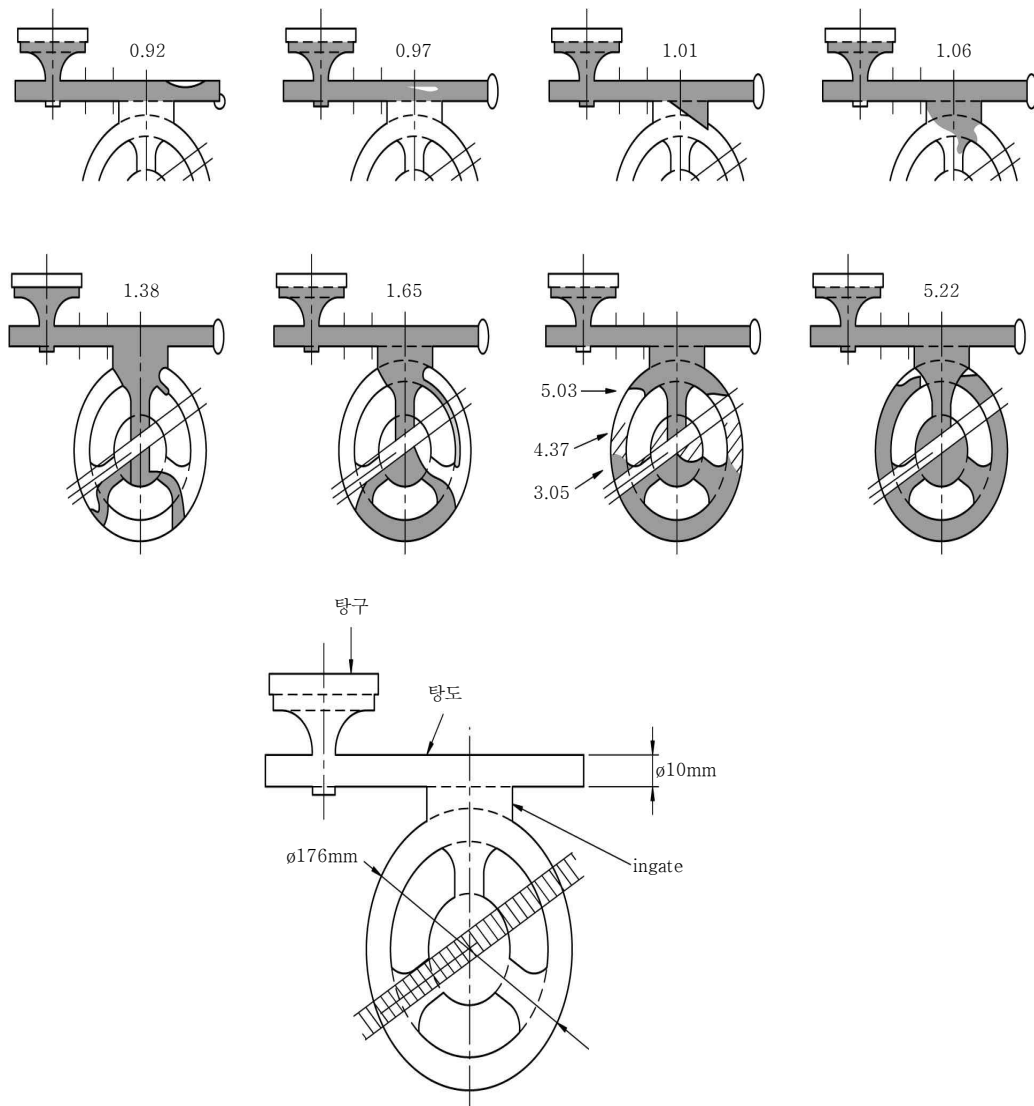
여기서 $\operatorname{erfc}(y) = 1 - \operatorname{erf}(y)$.

3) 주조과정에 있어서의 유동현상과 탕구계의 설계

(가) 탕구계에서의 흐름

[그림 3-63]는 상주식(上注式)으로 V벨트 폴리를 제작할 때에 주형공간이 용탕에 의해 충만되는 모양을 나타내고 있다.

주입컵(pouring)으로부터 탕도에 유입된 용탕(이 경우에는 주철)은 탕도 끝(runner extension)을 충만한 후 주입구(ingate)로부터 주형공간에 유입되고 일부분의 용탕은 갈라져 저부로부터 상부를 향하여 흐르고 있음을 알 수 있다.

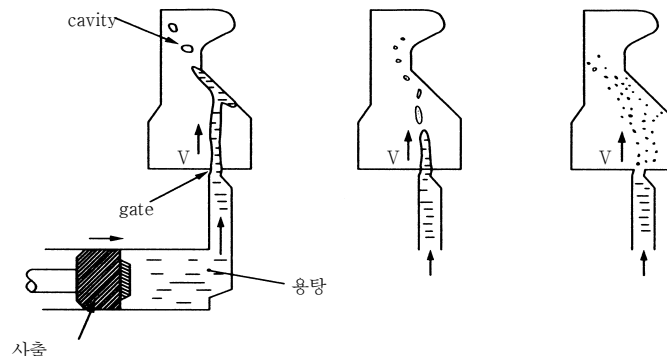


[그림 3-62] V belt pulley 주탕시의 주철용탕의 유동
(숫자는 주탕후의 시간(sec)을 나타낸다)

이 경우 유로의 대표치수는 10~20mm, 유속은 0.2~0.4m/s 정도이다. 시간적으로 변화하지 않는 흐름을 정상흐름이라고 한다. 상술한 탕구계의 흐름은 자유표면을 수반하는 흐름이다. 그러나 탕도부에서는 용탕이 유로를 충만하는 관내 흐름이 되고 있다.

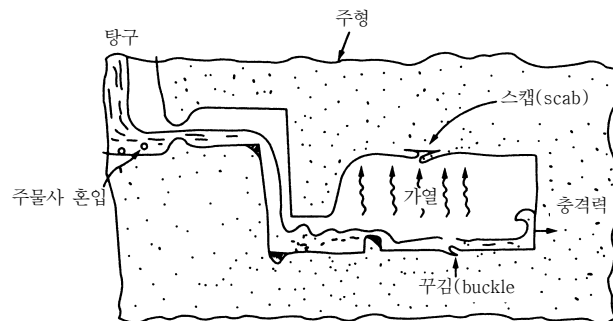
흐름은 층류나 난류로 분류된다. 유체중의 유선이 서로 섞이지 않고 질서정연하게 흐르는 것을 층류라고 부른다. 유선이 섞이며 흐르는 것을 난류라고 부른다. 탕구계와 같은 유로내를 흐르는 흐름은 Reynolds수로 나타낸다.

[그림 3-64]은 다이캐스팅과 같이 고압으로 용탕을 유동시켰을 때 생기는 제트류 및 분무류를 나타내고 있다.



[그림 3-63] 다이캐스팅에 있어서의 용탕의 유동

탕구계에 있어서의 이와 같은 흐름은 다음과 같은 구조결함을 발생시킬 가능성이 있다.([그림 3-65] 참조)



[그림 3-64] 사형의 주탕시에 발생하는 결함

- ① 용탕이 주형공간을 완전히 충만시키기 전에 응고하는 주탕불량, 용탕이 만나는 부분이 완전히 융착되지 않은 용탕경계(cold shut)
- ② 주형내의 공기나 주형표면에서 용탕과의 반응에 의해 발생한 가스를 혼입하는 가스결함
- ③ 용탕이 주형에 충돌하여 주형을 변형시키므로 생기는 치수불량, 주형의 일부를 파손시켜서 생기는 파임(scab)
- ④ 슬래그나 내화물이 주형공간에 혼입되는 결함
- ⑤ 주형의 국부적 가열에 의해 지향성 응고가 방해되어 생기는 수축공 결함

이러한 결함을 방지하기 위해서는 [그림 4-65]에 표시한 유동의 관찰(이 밖에 주형 내에 여러 개의 전극을 설치해 두고 전류의 흐름으로부터 용탕의 유입상황을 파악하는 측정기, X선측정, 수모델에 의한 시뮬레이션 등이 이용된다)이나 수치해석법 등을 참고하여 적절한 유동상황을 실현하는 탕구계로 만들어 주어야 한다.

(나) 응고시의 유동

주형공간을 용탕이 충만한 후 응고과정에서도 유동이 일어난다. 즉, 냉각에 의해 용탕 중에 온도분포가 생기면 밀도분포가 발생하여 자연대류를 일으킨다. 또 고상과 액상에서 용질이 재분배가 일어나 micro 편석이 있으면 농도분포, 밀도분포가 생

겨 역시 자연대류를 일으킨다. 더구나 응고시의 밀도변화(일반적으로 고상의 밀도 ρ_S 는 액상의 밀도 ρ_L 보다 크다)에 의해 응고수축에 따른 유동이 생긴다. 또 연속주조에서는 전자교반에 의해 강제적으로 유동을 일으키게 하는 수가 있다.

이와 같은 응고시의 유동은 각종 마이크로 편석이나 수축공 결함, 응고조직의 변화(동축정의 생성 등) 등을 일으킨다.

(다) 수치해석

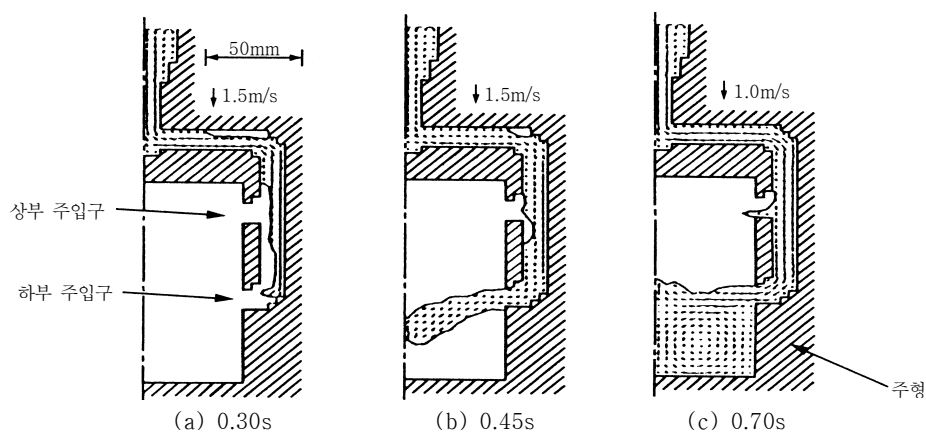
주조과정에 있어서의 유동현상은 복잡하여 앞에서 논한 해석은 극히 일부만이 적용될 수 있다. 특히 주탕시의 열전달이나 응고시의 대류 등을 해석하는 것은 아주 어렵기 때문에 수치해석이 필요하게 된다.

수치해석에서는 기초식 또는 물리현상으로부터 차분식을 유도하여 컴퓨터로 해석하게 되지만 유동문제의 해석은 열전도문제의 해석보다 복잡하다. 이것은 유동문제에서는 변수가 많고 (유속, 압력, 온도), 비선형(운동량항, 대류항 등)이 강하기 때문이다.

탕구계의 자유표면을 갖는 유동은 MAC법(marker and cell 법)과 같은 방법으로 해석할 수 있다. 이 방법에서는 중심에 압력 대표점, 각 변에 유속 대표점을 정의한다.

그리고 Navier-Stokes의 차분식으로 유속을 구하고 연속의 식을 만족하도록 압력을 보정한다. 동시에 자유표면에 있어서의 표면장력과 압력의 평형식을 고려한다. 한편 자유표면은 cell 내에 설정된 marker를 이동시켜서 나타내어진다.

[그림 3-66]은 직접 차분법에 의해 중력주조시의 탕류해석을 행한 예를 표시하고 있고 상부로부터 주입된 용탕이 우선 하부의 주입구로부터 주형내에 유입되며 (a), (b)에 이어 (c)에서와 같이 상부 주입구로부터 유입되는 것을 알 수 있다.



[그림 3-65] 직접차분법에 의한 중력주조시의 유동 시뮬레이션

4. 각종 주물의 주조방안¹³⁾

주조방안은 여러 가지 기준을 바탕으로 하여 결정하게 되지만 특히 주물의 재질에 따라 각각 다른 특징이 있기 때문에 먼저 주조할 주물의 재질에 알맞은 주조방안을 세워야 한다.

가. 주철주물과 주강

1) 보통 주철

주철은 용해작업이 잘되면 유동성이 좋아지고 응고수축률도 적어 주조성이 좋아진다. 그러나 엔진의 블록(block)이나 헤드(head)와 같이 복잡한 제품이 많고 재질이나 모양으로 보아 그 종류도 매우 많기 때문에 주조방안도 일정하지 않으나 일반적인 요점을 들면 다음과 같다.

- ① 탕구비는 1:1.2:1.8 또는 2:2:1인 압력방식과 1:4:2인 비압력방식 등이 적용된다.
- ② 주입온도는 1350~1400℃로 한다.
- ③ 모양이 복잡한 것은 용탕이 빠르고 균일하게 주입, 충만되도록 주입구의 수를 늘린다.
- ④ 아랫부분이 먼저 응고할 수 있게 주입구를 배치한다.
- ⑤ 일반 주철주물에는 압탕을 가능하면 만들지 않는 것이 좋다.

2) 구상흑연주철 주물

구상흑연주철(spheroidal graphite cast iron)은 보통주철과는 용탕의 성질이 다르므로 주조방안에 있어서도 따로 고려하여야 한다.

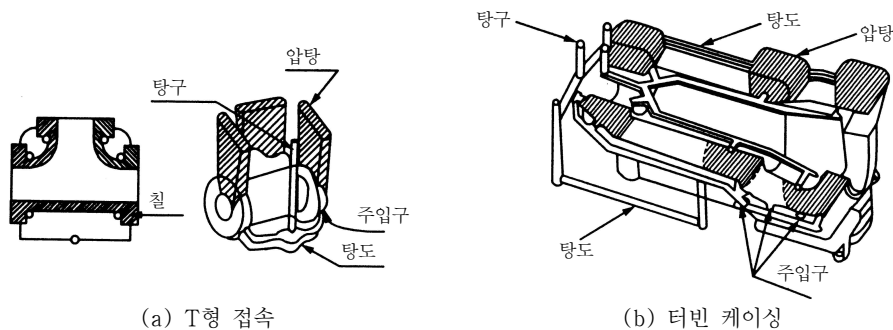
- ① 탕구비는 2:4:3 또는 1.2:3:2인 비압력방식과 2:4:1인 압력방식이 이 용된다. 탕도의 단면 높이는 폭의 2배로 하거나 오목부를 만들어 슬래그나 잡물 등이 주입구 앞에서 분리되어 떠오르게 된다.
- ② 주입온도는 주물의 필릿 두께에 따라 온도를 적용한다.
- ③ 탕구, 탕도 및 주입구는 슬래그나 불순물의 혼입을 막고 용탕이 조용히 주입 되도록 압상방식을 이용하는 것을 원칙으로 한다.
- ④ 주입속도는 $T=0.65\sqrt{w}$ 의 관계를 기준으로 하며 또는 주입구의 유량을 기준으로 1.1kgf/cm²/s를 들고 있다. 이 값들은 실제의 값과 비교, 수정하여 사용한다.
- ⑤ 압탕의 크기는 화학성분과 주형의 성질 등에 따라 달라진다. 특히 탄소당량 [C.E (carbon equivalent)= $T \cdot C + 1/3(Si)$]이 낮은 강력형은 수축률이 높으므로 주강에 쓰이는 정도의 압탕이어야 한다. 또 중심선 수축이 생기는 수도 있으므로 칠 메탈도 고려하여야 한다.

13) NCS 분류번호 : 주조 공정 설계(1601030103_16v4)

3) 주강

주강은 유동성이 나쁘며 응고수축이 많고 주입온도가 높아서 주형과의 열반응이 크므로 주조방안을 특별히 연구할 필요가 있다.

- ① 탕구비는 대개 1.0 : (1.0~1.2) : 3.0으로 하는 것이 필요하다.
- ② 주입온도는 제품의 종류에 따라 다르지만 1520~1560℃ 가량으로 한다.
- ③ 탕구, 탕도 및 주입구는 슬래그나 모래 등이 섞여 들어가지 않는 한도 내에 서 빨리 주입되게 한다. 대형 및 중형의 주물에서는 주형벽을 용탕이 매 초 15~40mm 가량의 속도로 증가되게 하는 것이 보통이다.
- ④ 압탕과 칠 메탈 등을 충분히 두어 수축결함을 방지하여야 한다.([그림 3-67(a)] 참조)
- ⑤ 비교적 큰 주물은 [그림 3-67(b)]와 같이 탕구와 주입구를 되도록 많이 만들어 주물의 주위에서 용탕이 신속하게 주입, 충만되도록 한다.



[그림 3-66] 주강의 주조방안 예

나. 구리합금 주물

1) 황동계

황동계 주물에서는 아연의 함유량에 따라 수축률이나 응고온도 범위가 다르므로 일반적인 원칙을 세우기는 어렵다. 또 아연의 증발에서 오는 슬래그의 발생도 피할 수 없다. 특히 황동계 주물에서는 용탕의 유입거리를 짧게 하고 주입 도중에 용탕이 응고되어 주입이 중단되는 일이 없도록 주의하여야 한다.

- ① 탕구비는 1 : 2 : 2로 한다.
- ② 일반적으로 작은 주물에서는 탕구를 주물의 위쪽에서 직접 주입하는 톱게이(XM)로 한다. 대형 주물일 때에는 주물에 가깝고 굵은 탕구를 여러 개 두어 용탕이 주형 안에 짧은 시간에 충만되도록 한다.
- ③ 탕도는 짧고 굵게하며 용탕의 흐름속도를 조절할 수 있고 주입구와 조합하여 슬래그의 분리에 중점을 두며, 주입구의 끝은 작고 짧게 한다.
- ④ 주물의 위쪽에 떠오른 슬래그나 잡물을 제거하기 위하여 플로우오프를 둔다. 주

물과 가장 가까운 탕도의 윗쪽에 탕도보다 단면이 큰 플로우오프를 두어 압탕을 겹하게 할 때도 있다.

- ⑤ 외형의 수축결함이 많으므로 주강과 같은 정도의 압탕을 두어야 한다. 특히 고력 황동은 주입할 때 산화물이 생겨 용탕에 불순물로 주물 중에 남게 되므로 주조방안의 하나로서 잡물의 방지와 그 제거에 특별한 대책을 세워야 한다. 여기에는 압상방식과 같은 사이드 게이트가 좋지만, 지향성 응고가 반대로 되므로 칠 메탈이나 압상 등을 알맞게 두고, 주입시간을 짧게 할수록 좋다.(〈표 3-8〉 참조)

2) 청동계

청동계의 주조방안도 황동계와 원칙적으로 같지만, 다음 몇 가지에 대한 주의가 필요하다.

- ① 수축량이 많으므로 치수의 보정에 유의하여야 한다.
- ② 용탕의 유동성이 나쁘기 때문에 주입속도를 빠르게 한다.
- ③ 냉각속도에 따라 주물의 조성이 달라지므로 압탕 외에 각 부분의 온도를 고르게 하여야 한다.
- ④ 인청동은 유동성이 좋으므로 주입온도는 낮고 주입속도는 빠르게 하다. 고온으로 주입하면 응고된 다음에 편석이 일어나기 쉽다.([그림 3-68] 참조)

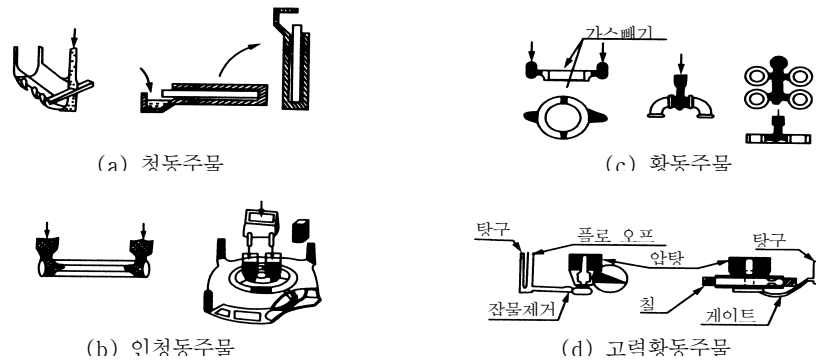
[표 3-8] 구리합금주물의 주입온도[°C]

청동주물	BC 2 1150~1200	BC 3 1150~1200	BC 6 1050~1100	BC 7 1050~1070
인청동 주물	PBC 1 1050~1130	PBC 2 1050~1130	PBC 3 1000~1080	
황동 주물	BSC 1 1100~1150	BSC 2 1000~1050	BSC 3, 4 980~1030	
고력 황동 주물	필릿 두께 <12mm 1000~1050	필릿 두께 12~25mm 1000~1030	필릿 두께 >30mm 980~1000	

3) 알루미늄 청동

알루미늄 청동에는 8~12%의 알루미늄이 들어 있기 때문에 산화물의 발생이 매우 심하다. 또, 수축율과 수소의 흡수력이 커 기포가 생기기 쉽다.

- ① 탕구비는 1 : 3 : (4~5)로 한다.
- ② 주입할 때 용탕의 흐름이 조용하고 빠르며, 주입 중에 발생한 산화물이나 잡물은 분리, 제거할 수 있도록 탕구계를 만들어야 한다. 그밖에 용탕의 와류가 주형안에서 생기지 않도록 특별한 대책을 세워야 한다.
- ③ 수축률이 매우 크므로 압탕은 주강에서와 같은 정도로 크게 하며, 발열 보온재를 사용하여 새로운 용탕을 보충하여야 한다.

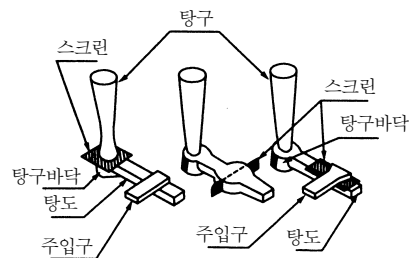


[그림 3-67] 구리합금의 주조방안 예

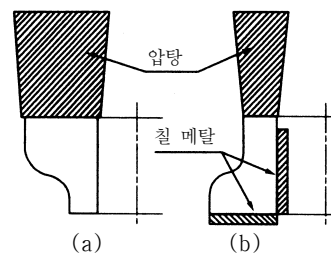
4) 알루미늄합금 주물

알루미늄 합금 주물은 응고 수축률이 크고 산화 및 열간균열이 생기기 쉬우므로 알맞은 주조방안이 마련되어야 한다.

- ① 탕구비는 1:2:2 또는 1:4:4인 비압력방식을 이용하며 탕구의 높이가 너무 클 때에는 2~3단으로 하는 것이 좋다. 또 생성된 산화물이나 잡물 등은 가스를 포함하는 수가 많아 용탕위로 떠오르기 쉬우므로, 탕도는 상형, 주입구는 하형에 두는 것이 보통이다. 필요에 따라서는 주입 도중에 잡물을 제거할 목적으로 스크린(screen)을 사용할 때도 있다.([그림 3-69] 참조)
- ② 수축률이 크므로 용탕의 주입방식은 아랫부분에서부터 방향성 응고를 도울 수 있게 해야 하며, 압탕은 용탕의 보급이 충분히 될 수 있도록 크게 해야 한다. 그러나 [그림 3-70(a)]와 같이 너무 크게 하면 주형의 과열로 과열점(hat spot)을 만들어 좋지 않게 되므로 [그림 3-70(b)]와 같이 칠 메탈을 사용하면 된다.
- ③ 주입온도는 제품의 모양, 크기 및 화학성분 등에 따라 다르지만 될 수 있으면 낮은 온도로 하는 것이 좋은데, 690~730℃에서 주입하는 것이 일반적이다.



[그림 3-68] 스크린 사용법



[그림 3-69] 압탕과 칠 메탈

제 4 장 주조에 사용 되는 재료¹⁴⁾

1. 철 지금재료

가. 선철

1) 선철(pig iron)의 특징

- ① 철광석으로 제조하였으므로 불순물이 적고, 성분이 일정하여 균일하고 양질의 제품을 제작하기 좋다.
- ② 순수성이 있고 유동성이 좋으므로 건전하고 질긴 성질의 제품을 제작할 수 있다.
- ③ 탄소가 4% 정도이므로 가격이 저렴한 강철을 배합하여 재질을 조절한다.
- ④ 주철주물용 선철은 중량이 개당 5kgf 내외로 일정하며, 비중이 2.8~3.2이므로 다른 원재료 비중보다 커서 적치 및 운반이나 장입이 보다 효율적이고 경제적이다.
- ⑤ 표면적이 작기 때문에 산화가 적으며, 선철 고유의 특성으로 GC25 이상인 고인장 주물이나 고급 주물의 원료로 적합하다.

이상은 선철의 장점을 특징으로 열거하였으며 이러한 이유만으로 선철을 반드시 사용해야 한다는 것은 아니다.

저질의 선철은 산소, 질소 등의 가스를 많이 함유하고 있거나 불순물원소 Ti, S, P, Cu, Al, Cr, Sn, Ni, As 등을 허용함유량 이상으로 함유하고 있는 것을 말하며, 특히 구상흑연주철주물을 제작할 때는 불순물원소(구상화저해원소)의 함유량을 엄격히 규제해야만 한다.

또 저탄소(3.2% 이하), 고헬(0.15% 이상)의 선철, 고크롬(0.5% 이상)의 재생산 철은 일반수축률(8/1000~10/1000) 이상으로 심한 수축을 하여 급냉현상을 일으키게 하거나 제품에 수축공을 유발시키므로 주의해야 한다.

2) 선철의 분류

- ① 고로선철은 화학성분에 의해 일반주철선, 가단주철선, 구상흑연주철선의 3종으로 분류하고 있으며, 일반주철선은 Si, P, S의 함량에 따라 6가지로 구분된다. 가단주철선은 C, Si의 함량에 따라 3가지로 구분되며 Cr의 함량은 특히 적다. 구상흑연주철선은 Si의 함량에 따라 5가지로 구분되며 특히 Cr, Ti 등의 구상화저해원소를 적게 함유해야 한다.
- ② 전기로 선철은 전기로를 사용하여 제조한 선철로서 저탄소선(C2.0~2.5%), 고규소선(Si 7~15%)등의 특수선철이며 원료로는 강철, 철광석이 사용된다.
- ③ 목탄선철은 일반 고로선철과 비교하면 고가이지만 우수한 구상화능을 가지고 있

14) NCS 분류번호 : 주조 공정 설계(1601030103_16v4)

기 때문에 구상흑연주철의 제조에 사용되고 있으며, 잉곳 케이스(ingot case)를 제조하는데 사용하여 좋은 결과를 얻고 있다.

- ④ 사선철은 사철이 주원료이며, P와 Cu 함유량이 적은 선철 등이 있다. 주로 제강용으로 사용되고 있으나 V, P를 1% 정도 함유하고 있기 때문에 내 마모 주철용선으로도 사용한다.

3) 선철의 검사

선철의 검사는 외관검사, 파단면검사, 성분 분석검사, 흑연구상화능의 검사 등을 실시하고 있다. 외관검사는 형선(型銑)의 개방면의 오목(凹), 볼록(凸)과 키쉬 흑연(kishgraphite)의 부상 정도를 관찰하는데, 키쉬 흑연의 석출이 많은 것은 고탄소, 고규소선철이다. 개방면의 상태는 주입할 때의 금형온도와 주입온도에 따라 변하므로 C, Si 양에 따라서도 나타나게 되는데, 일반적으로 Si 값 1.20 이상이면 형선의 개방면은 오목 볼록이 심하게 나타나고 1.15 이하이면 평활하게 된다.

파단면검사는 파단면이 회선철인가, 백선철인가 검시하고 또 회선철이면 그 흑연의 석출상태를 조사하는 것으로 보통 주물용선철으로는 흑연이 균등하게 잘 발달한 것이 좋다. 특별히 제조한 저탄소선철 이외는 파단면이 백선철인 것은 질이 낮은 선철로 생각하면 된다.

분석검사는 C, Si, Mn, P, S의 5성분을 분석하여 규격 범위 내에 들어가는가를 확인하고 그 분석 결과값을 장입 계산에 적용한다. 주의할 점은 분석시간 및 경비를 절약하기 위하여 여러 개의 시료분을 함께 섞어서 분석하고 그 분석값을 평균값으로 하여 결과를 통보하는데, 가능한 이 방식을 피하고 시료가 5개이면 5개를 분석하여 그 결과를 종합적으로인 판단해야 한다.

나. 선설

1) 선설의 분류

선설은 발생처에 따라 자가발생선설과 구입선설로 분류한다. 자가발생선설은 탕도, 압탕 및 유선(流銑) 등, 불량제품도 포함하여 일반적으로 주철 주물공장에서는 반설 및 회수철이라고 한다. 구입선설과 다른 점은 자가에서 발생하는 것이므로 그 재질을 어느 정도 알 수 있지만, 구입선설은 종류가 많고 그 성분이 분명치 않은 것이 많아 일일이 분석할 수도 없을 뿐 아니라 만약 분석을 해도 그 성분을 완전히 알 수가 없으므로 사용할 때에 주의해야 한다.

선설을 품질과 형상에 따라 분류하면 다음과 같다.

(가) 품질에 따른 분류

A종 - 고급선설 : 기계 또는 도구선 등

B종 - 보통선설 : 솥, 로스톨, 기타 이에 준하는 것

C종 - 가단주철선설

(나) 크기에 따른 분류

갑종 - 1개당 중량 20kgf

을종 - 파쇄, 용단(溶斷)에 의하여 쉽게 갑종이 될 수 있는 것

병종 - 선반절삭설(단, 불순물 혼입이 없는 것)

기타 - 반선, 반설, 황선, 유선 등

2) 선설의 관리

선설의 크기는 일반적으로 노지름의 1/16~1/8이 적당하며 노지름의 크기에 따라 장입한다. [표 4-1]과 같이 1개의 용해재료는 내경에 따라 다르다. 장입물의 크기가 너무 크면 풍압이 떨어져 정상 송풍이 되지 못할 뿐 아니라 평형 송풍도 되지 못하여 국부적 용해가 되고 또한 송풍구(tuyere) 부근까지 녹지 않고 하강하여 재질에 악영향을 미친다.

[표 4-1] 선설의 크기

안지름(mm)	가로×세로(mm)	단 중
500~750	200×100	10kg _f 이하
750~1000	250×150	20kg _f 이하
1000~1250	300×200	40kg _f 이하

다. 강설

고철의 분류는 KS D 2101의 용도에 의하여 용해용, 재생용, 잡용으로 구분하며 그 중 용해용 강설은 [표 4-2]와 같이 분류한다. 저주파유도로에서는 큐폴라(cupola)와 비교하여 형상, 크기에 제한 없이 노에 들어갈 수 있으면 되며 주철에 비해 화학조성의 변동이 적다.

강설은 일반적으로 녹이 적은 것이 좋으며, 황성분이 낮으므로 구상 흑연주철을 만들 경우에는 중요한 원료가 된다.

[표 4-2] 강설의 품질 및 형상에 의한 분류

품질에 의한 분류		형상에 의한 분류	
A종	탄소강설	갑류	특1호 : 두께 6mm이상, 길이 600mm이하, 폭 또는 높이 400이하, 중량 600kg이하 특2호 : 두께 3mm, 6mm이하, 길이 600mm이하, 폭또는높이 400mm이하
B종	저탄소강설 (Cu0.2% 이하)		1호 : 두께 6mm이상, 길이 120mm이하, 폭 500mm이하 2호 : 두께 36mm, 길이 1200mm이하, 폭 500mm이하 3호 : 두께 3mm미만, 길이 1200mm이하, 폭 500mm이하

C종	저인, 저항 저탄소강설	을류	절단에 의하여 쉽게 압류의 형상으로 만들 수 있는 것
D종	합금강설	병류	1호 : 제단프레스(press)품 2호 : 주석(Sn)을 제거한 프레스품 3호 : 보통 프레스품 4호 : 선반설 프레스품
E종	잡용강설	정류	강선반설

라. 합금설

1) 페로실리콘(Fe-Si)

페로실리콘은 규소의 함유량에 따라 KS에서는 1~5호로 분류하고 있다. 저주파유도로에서 주철의 규소함유량의 조정과 접종, 탈산의 목적으로 첨가한다. 페로실리콘은 KS 2호품의 규소 75%, KS 3호품에 가까운 50%인 것이 많이 사용되며 크기는 중간 정도의 10~100mm의 것이 적당하다. [표 4-3]은 페로실리콘의 성분과 크기를 비교한 것이다. 너무 가늘면 산화소모가 많아지며, 너무 크면 용재에 말려 들어가 용탕 교반효과에 의하여 노벽에 붙어서 녹기 힘들다. 또 접종효과를 위해서는 3~5mm정도가 좋으며 1호, 2호, 3호품이 사용되나 페로실리콘 내에는 수소 및 산소가스가 많이 함유되어 있으므로 가스량의 규소함유량에 의하여 달라진다. 특히 구상흑연주철의 접종제로는 산소량이 적은 것을 선택한다.

용점은 1200~1300℃ 정도로 규소함유량 50%일 때 용점이 낮으며 첨가방법은 성분조정을 위해서 가탄제의 용입 후에 첨가하고 접종시는 레들에 넣으면 녹지 않고 바닥에 달라붙어 남기 때문에 용탕을 레일들에서 약 200mm에 취하고 용탕이 떨어지는 부분에 조금씩 첨가하면 된다.

[표 4-3] Fe-Si의 종류와 화학조성 및 크기(KS D 3713)

종 류	기 호	화 학 성 분(%)			
		Si	C	P	S
1호	FSi 1	88~93	0.2 이하	0.05 이하	0.02 이하
2호	FSi 2	75~80	0.2 이하	0.05 이하	0.02 이하
3호	FSi 3	40~45	0.2 이하	0.05 이하	0.02 이하
4호	FSi 5	14~20	1.3 이하	0.05 이하	0.06 이하

종 류	기 호	입 도(mm)
① 일반 사이즈	g	10~150
② 중간 사이즈	m	10~100
③ 적은 사이즈	s	3~60
④ 가는 사이즈	f	15 이하

2) 페로망간(Fe-Mn)

페로망간은 망간 및 탄소함유량에 따라 KS규격으로 분류하며, 보통 주철 중의 망간함유량을 조정하기 위하여 주로 사용되며 탈산, 탈황의 목적으로도 사용된다. 고탄소페로망간편이 저탄소페로망간보다 염가이며 녹기 쉽다. 비중은 7.3~7.5, 용융온도는 1250~1350℃이다. [표 4-4]는 페로망간의 종류와 화학조성을 나타낸 것이다.

[표 4-4] Fe-Mn의 종류와 화학조성(KS D 3712)

종 류		기 호	화 학 성 분(%)				
			Mn	C	Si	P	S
고탄소페로망간	1호	FMn H1	78~82	7.5 이하	1.2 이하	0.40 이하	0.02 이하
	2호	FMn H2	73~78	7.3 이하	1.2 이하	0.40 이하	0.02 이하
중탄소페로망간	1호	FMn M1	80~85	1.5 이하	1.5 이하	0.40 이하	0.02 이하
	2호	FMn M2	75~80	2.0 이하	2.0 이하	0.40 이하	0.02 이하
저탄소페로망간	1호	FMn L1	80~85	1.0 이하	1.5 이하	0.35 이하	0.02 이하
	2호	FMn L2	75~80	1.0 이하	1.5 이하	0.40 이하	0.02 이하

3) 페로크롬(Fe-Cr)

페로크롬은 주철의 인장강도 및 경도를 증가시켜 내마모성, 내열성을 향상시키며, KS규격에는 탄소 함유량에 따라 고탄소페로크롬, 중탄소페로크롬, 저탄소페로크롬으로 분류되고 있으나 일반적으로는 고탄소페로크롬이 많이 사용된다.

용점은 1250~1600℃이며, 고탄소페로크롬은 1400℃ 정도로 용탕에 쉽게 용입된다. 레이들에 첨가시에는 온도가 저하되지 않고 수분이 제거될 정도로 예열하고 크기는 2~4mm 정도가 좋고 미분이 많으면 소모가 많아진다. [표 4-5]는 페로크롬의 종류와 화학조성을 표시한 것이다.

[표 4-5] Fe-Cr의 종류와 화학조성(KS D 3714)

종 류		기 호	화 학 성 분(%)				
			Cr	C	Si	P	S
고탄소페로크롬	0호	FCr H0	65~70	8.0 이하	1.5 이하	0.04 이하	0.08 이하
	1호	FCr H1	65~70	6.0 이하	1.5 이하	0.04 이하	0.08 이하
	2호	FCr H2	60~65	6.0 이하	2.0 이하	0.04 이하	0.08 이하
	3호	FCr H3	60~65	8.0 이하	2.0 이하	0.04 이하	0.06 이하
	4호	FCr H4	55~60	6.0 이하	4.0 이하	0.04 이하	0.05 이하
	5호	FCr H5	55~60	8.0 이하	8.0 이하	0.04 이하	0.05 이하
중탄소페로크롬	1호	FCr M3	60~65	4.0 이하	3.5 이하	0.04 이하	0.05 이하
	2호	FCr M4	55~60	4.0 이하	4.0 이하	0.04 이하	0.05 이하
저탄소페로크롬	1호	FCr L1	65~70	0.10 이하	1.5 이하	0.04 이하	0.05 이하
	2호	FCr L2	60~65	0.03 이하	1.0 이하	0.03 이하	0.03 이하
	3호	FCr L3	60~65	0.06 이하	1.0 이하	0.04 이하	0.03 이하
	4호	FCr L4	60~60	0.10 이하	1.0 이하	0.04 이하	0.03 이하

2. 비철 지금재료

가. 순금속지금

1) 구리 지금

주물에 사용하는 구리지금은 [표 4-6]에 규정된 지금순도 99.9% 이상이 좋다.

[표 4-6] 전기동의 화학성분표(KS D 2341)

종류	Cu(%)	불 순 물(ppm 이하)							
		As	Sb	Bi	Pb	S	Fe	Ag	계
1종	99.99 이상	5.0	4.0	2.0	5.0	15.0	10.0	25.0	65.0
2종	99.99이상	30.0	30.0	10.0	50.0	50.0	50.0	-	-

2) 알루미늄지금

주물에 사용하는 알루미늄지금은 [표 4-7]의 3종 이상의 것이 좋다.

[표 4-7] 알루미늄 지금의 성분표(KS D 2304)

종류	화학성분(%)				관리원소	분석원소 및 관리원소의 합계
	분석원소				Ti · Mn 각각	
	Al	Si	Fe	Cu	Ti · Mn 각각	
특1종	99.90이상	0.05이하	0.07이하	0.01이하	0.01이하	0.10이하
특2종	99.85이상	0.08이하	0.12이하	0.01이하	0.01이하	0.15이하
1종	99.70이상	0.15이하	0.20이하	0.01이하	0.02이하	0.30이하
2종	99.50이상	0.25이하	0.40이하	0.02 하	0.02이하	0.50이하
3종	99.00이상	0.50이하	0.80이하	0.02 하	0.03이하	1.00이하

3) 주석지금

주물에 사용하는 주석지금은 [표 4-8]에 규정된 4종 이상의 것이 좋다.

[표 4-8] 주석지금의 성분표(KS D 2305)

종류	기호	화학성분(%)					
		Sn	Pb	Sb	As	Cu	Fe
1종	Sn 1	99.90 이상	0.020 이하	0.020 이하	0.020 이하	0.030 이하	0.020 이하
2종	Sn 2	99.90 이상	0.038 이하	0.020 이하	0.031 이하	0.030 이하	0.020 이하
3종	Sn 3	99.80 이상	0.050 이하	0.050 이하	0.050 이하	0.050 이하	0.050 이하
4종	Sn 4	99.50 이상	-	-	-	-	-

4) 아연지금

주물에 사용하는 아연지금은 [표 4-9]와 같은 것을 사용하는 것이 좋다.

[표 4-9] 아연지금의 성분표(KS D 2351)

종류	화학성분(%)					비고
	Zn	Pb	Fe	Cd	Sn	
1종	99.995 이상	0.003 이하	0.002 이하	0.002 이하	0.001 이하	고순도아연지금
2종	99.99 이상	0.007 이하	0.005 이하	0.004 이하	-	특종 아연지금
3종	99.97 이상	0.02 이하	0.01 이하	0.005 이하	-	보통 아연지금
4종	99.6 이상	0.3 이하	0.02 이하	0.1 이하	-	증류아연지금 특종
5종	98.5 이상	1.3 이하	0.025 이하	0.4 이하	-	증류아연지금 1종
6종	98.0 이상	1.8 이하	0.1 이하	0.5 이하	-	증류아연지금 2종

5) 납지금

주물에 사용하는 납지금은 [표 4-10]에 규정된 4종 이상의 것이 좋다.

[표 4-10] 납지금의 성분표(KS D 2302)

종류	기호	화학성분(%)							
		Pb	Ag	Cu	As	Sb+Sn	Zn	Fe	Bi
1종	Pb 1	99.99 이상	0.002 이하	0.002 이하	0.002 이하	0.005 이하	0.002 이하	0.002 이하	0.005 이하
2종	Pb 2	99.97 이상	0.002 이하	0.003 이하	0.002 이하	0.007 이하	0.002 이하	0.004 이하	0.010 이하
3종	Pb 3	99.95 이상	0.002 이하	0.005 이하	0.005 이하	0.010 이하	0.002 이하	0.005 이하	0.050 이하
4종	Pb 4	99.90 이상	0.004 이하	0.010 이하	0.010 이하	0.015 이하	0.010 이하	0.010 이하	0.100 이하
5종	Pb 5	99.80 이상	-	0.05 이하	0.010 이하	0.04 이하	0.015 이하	0.02 이하	0.10 이하
6종	Pb 6	99.50 이상	-	0.05 이하	0.010 이하	0.20 이하	0.015 이하	0.05 이하	0.15 이하

6) 마그네슘지금

주물에 사용하는 마그네슘지금은 [표 4-11]에 규정된 2종 이상의 것이 좋다.

[표 4-11] 마그네슘지금 성분(KS D 2314)

종류	화학성분(%)							
	Mg	Al	Si	Mn	Fe	Zn	Cu	Ni
1종	99.90 이상	0.01 이하	0.01 이하	0.01 이하	0.01 이하	0.05 이하	0.005 이하	0.001 이하
2종	99.8 이상	0.05 이하	0.05 이하	0.10 이하	0.05 이하	0.05 이하	0.02 이하	0.001 이하

나. 합금지금

1) 인동지금

주물에 사용하는 인동지금은 [표 4-12]의 B급을 주로 사용한다.

[표 4-12] 인동지금의 성분표(KS D 2310)

종류	등급	기호	화학적성분(%)				
			P	P+Cu	불순물		
					Fe	Pb	Sn
1종	A	15P Cu A	14.5 이상	99.70 이상	0.05 이하	0.01 이하	0.01 이하
	B	15P Cu B	14.0 이상	99.50 이상	0.15 이하	-	-
2종	A	10P Cu A	10.0 이상	99.70 이상	0.05 이하	0.01 이하	0.01 이하
	B	10P Cu B	9.5 이상	99.50 이상	0.15 이하	-	-

2) 청동지금

주물에 사용하는 청동지금은 [표 4-13]과 같다.

[표 4-13] 주물용 청동지금의 성분표(KS D 2321)

종류	기호	화학적성분(%)				
		Cu	Sn	Zn	Pb	불순물
1종	BIC 1	79.0~83.0	2.0~0	8.0~12.0	3.0~7.0	1.5 이하
2종	BIC 2	86.0~90.0	7.0~9.0	3.0~5.0	-	1.0 이하
3종	BIC 3	86.5~89.5	9.0~11.9	1.0~3.0	-	1.0 이하
6종	BIC 6	83.0~87.0	4.0~6.0	4.0~6.0	3.0~6.0	1.5 이하
7종	BIC 7	86.0~90.0	3.0~5.0	1.0~5.0	1.0~5.0	1.5 이하

3) 인청동지금

주물에 사용하는 인청동지금은 [표 4-14]와 같다.

[표 4-14] 인청동지금의 성분표(KS D 2322) 종류

종류	기호	화학적성분(%)			
		Cu	Sn	P	불순물
2종	PBIC 1	87.0~91.0	9.0~12.0	0.1 이하	0.5 이하
3종	PBIC 2	84.0~88.0	12.0~15.0	0.1 이하	0.5 이하

4) 황동지금

주물에 사용하는 황동지금은 [표 4-15]와 같다.

[표 4-15] 황동지금의 성분표(KS D 2320)

종류	기호	화학성분(%)					
		Cu	Sn	P	Sn	Al	Fe
1종	BsIC 1	83.0~88.0	나머지	0.5 이하	합계 0.1 이하		
2종	BsIC 2	65.0~70.0	나머지	0.5 이하	1.0 이하	0.5 이하	0.8 이하
3종	BsIC 3	60.0~65.0	나머지	0.5 이하	1.0 이하	0.5 이하	0.8 이하

5) 활자합금지금

주물에 사용하는 활자합금지금은 [표 4-16]을 사용한다.

[표 4-16] 활자합금지금의 성분표(KS D 2340)

종류		기호	화학성분(%)								비교
			Pb	Sb	Sn	불순물				적용예	
						Cu	As	Zn	Fe		
1종	10호	TyM20:10	나머지	19.0~21.0	9.5~10.5	1.0 이하	0.5 이하	0.01 이하	0.03 이하	영문활판용	
2종	8호	TyM17:8	나머지	16.0~18.0	7.5~8.5	0.5 이하	0.5 이하	0.01 이하	0.03 이하	국·한문 활판용	
	3호	TyM17:3	나머지	16.0~18.0	2.5~3.5	0.3 이하	0.75 이하	0.02 이하	0.05 이하		
3종	6호	TyM15:6	나머지	14.0~16.0	5.5~6.5	0.5 이하	0.5 이하	0.01 이하	0.03 이하	윤전기연판용 일반연판용	
	3.5호	TyM15:3.5	나머지	14.0~16.0	3.0~4.0	0.3 이하	0.75 이하	0.02 이하	0.05 이하		

3. 기타 재료

가. 가탄제

가탄제는 일반적으로 고정탄소가 높고 황 함유량이 적은 전극 흑연설이 사용되며 특히 구상흑연주철을 용해할 때는 황(S) 성분이 적은 가탄제를 사용해야 한다.

[표 4-17]은 전극흑연설의 분석표를 나타낸 것이며 [표 4-18]은 각종 가탄제의 황분 비교표를 나타낸 것이다.

[표 4-17] 전극흑연설의 분석 값

회사명	화학조성(%)			
	T·C	휘발분	회분	S
A	98.5	1.	0.5	0.005
B	99.1	0.7	0.2	0.004
C	98.8	1.0	0.1	0.010
D	99.4	0.5	0.1	0.007
E	98.3	1.0	0.7	0.024

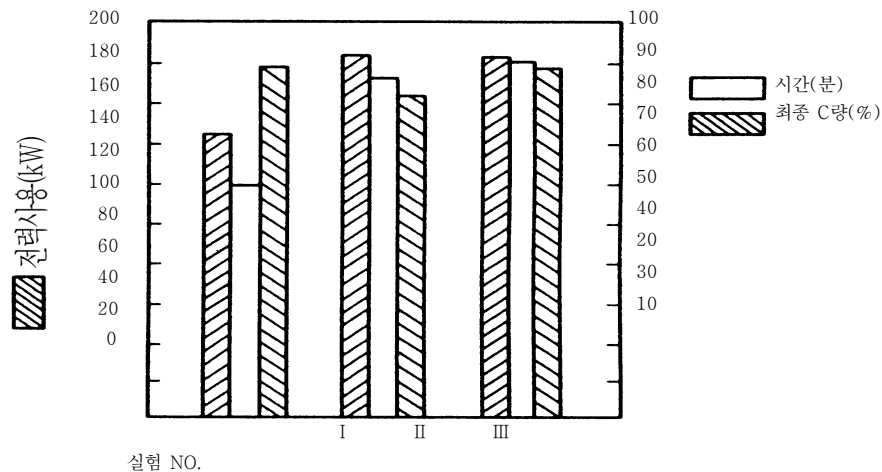
[표 4-18] 가탄제별 황 함유량의 변화

가탄제	S함유량(%)			
	가탄제	원탄	가탄 후의 용량	용탕량에 대한 증가분
개스코크스	1.34	0.065	0.096	0.031
탄스코크스	1.25	0.065	0.102	0.037
탄소립	1.01	0.065	0.099	0.034
무연탄	0.98	0.065	0.0102	0.037
석유코크스	0.84	0.065	0.096	0.031
목탄	0.19	0.065	0.077	0.012
전극설	0.19	0.065	0.077	0.012
흑연전극	0.19	0.065	0.072	0.007

가탄속도 및 가탄율은 용탕의 교반운동, 가탄제의 종류, 가탄방법, 가탄온도, 용탕의 조성 등에 따라 결정된다. 용탕의 교반운동이 없으면 가탄제가 용탕 중에 확산되지 않으며 그 가탄속도는 아주 느리고 용탕 표면에 가열되어 산소와 반응하고 일산화탄소로 되어 소실한다. 그러므로 가탄제의 첨가는 스타팅 블럭의 용락 후에 투입하는 것이 좋고 약간의 조절용으로서 첨가할 때에는 부상하고 있는 슬래그를 제거하고 탕면을 깨끗이 하여 첨가하면 된다. 온도가 높을수록 가탄속도가 증가하여 가탄율이 향상되며 용탕성분 중의 규소 함유량이 많으면 가탄속도가 느려진다. 그러므로 페로 실리콘의 첨가는 가탄제를 용해시킨 후에 한다.

미분은 용탕교반에 말려들기가 나쁘고 표면에 떠서 집진장치(dust collector)에 흡입되어 가탄율이 나빠진다.

[표 4-19]는 각종 가탄제의 가탄속도를 나타낸 것이며, [그림 4-1]은 가탄제의 첨가방법과 가탄과의 관계를 나타낸 것이다.



[그림 4-1] 가탄제 첨가방법과 가탄과의 관계

[표 4-19] 각종 가탄제의 가탄속도

가탄제	가탄속도(0.1%C/min)
흑연전극	10.3
탄소립	9.0
전극설	8.4
목탄	7.3
무연탄	7.2
석유코크스	7.2
개스코크스	7.2
고탄소코크스	5.8

[그림 4-1]의 I 은 가탄제를 강철과 함께 장입한 것이고, II는 강철의 약 반은 용락한 후 나머지 강철과 가탄제를 각각 3등분하러 3차에 걸쳐 함께 장입한 것, III은 강철 전부를 용해한 후 가탄제를 첨가하여 가탄한 것이다. 그림에서와 같이 I의 방법이 가탄속도가 빠르고 전력량의 소비도 적다.

나. 탈황제

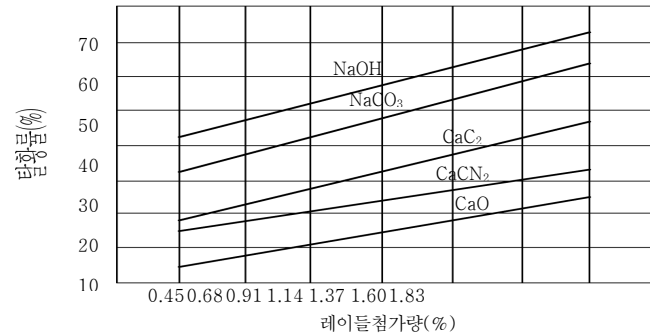
일반적으로 칼슘카바이드와 나트륨회가 주로 사용되고 있으며 그 밖에 생석회, 석회질소 및 수산화나트륨 등이 있다. 칼슘카바이드는 약 73% CaC_2 로서 용점이 1650°C 정도의 높은 온도이기 때문에 용탕과의 접촉이 잘 이루어지도록 할 때 발열반응이므로 용탕의 온도는 저하되지 않는다.

나트륨회는 용점이 820°C 정도로 온도가 낮기 때문에 탈황시간이 길어지면 복황현상이 생긴다. 또 탈황반응은 흡열반응이기 때문에 용탕의 온도가 저하된다.

[그림 4-2]는 각 탈황제의 첨가량과 탈황률을 나타낸 것이다.

다. 접종제

[표 4-20]와 같이 동일량의 접종으로 페로실리콘과 칼슘실리케이트(Ca-Si)를 사용할 때 인장강도의 개선되는 정도가 달라진다.([그림 4-2] 참조)



[그림 4-2] 각종 탈황제의 첨가량과 탈황률

[표 4-20] 접종제의 종류와 그 성분

명칭		성분(%)					비고
		Si	Ca	Mn	Cr	기타	
흑연화제	Si	98이상					저 Al(0.45% 정도)와 고 Ai(2.2% 정도)의 것이 있음.
	Fe-Si 45%	45~47				주Fe	
	Fe-Si 75%	73~78					
	흑연					C90~100	고 Si의 쪽의 효과 큼.
	Ca		100				
	Ca-Si	60~65	30~35				철 깊이의 조절에 쓰인다.
	Ca-Ti-Si	45~50	5~8			Ti9~11	
	Si-Mn-Zr	60~65		5~7		Zr5~7	
	Si-Zr	39~43				Zr12~15	국내에서 쓰이지 않음 효과 큼
	Ni-Si					Ni60	
	Si-C	45~56				C28~46	
복합제	Si-Cr	30			50		경도, 내마모성, 내식성, 내열성의 개선에 쓰인다.
	Si-Mo	30				Mo60	
	Si-Mn-Cr	17~69		8~11	38~42		
	Si-Ti	20~25				Ti20~27	
	Cr-Si-Mn-Zr	14~35		5~10	30~52	Zr1~6	
		14~16	5~8	8~11	38~42	Ti1	
	Cr-Si-Mn-Ti-Ca						

주철에 함유되어 있는 성분은 5원소로서 흑연조직에 복잡한 영향을 미치는데 보통 규소는 흑연의 생성을 촉진시키고 황은 이를 방해한다. 따라서 규소를 흑연화 촉진제, 황을 흑연화 저해제라 한다.

[표 4-20]의 접종제 원소가 흑연의 생성에 미치는 영향을 [표 4-21]에 나타내었다. 이 표는 각 원소가 주철 중에 용해되어 있을 때의 효과가 레이들에 접종했을 때이

고 대부분은 용탕 중에 녹아 들어가 [표 4-21]에 나타나 있는 정도의 흑연 생성을 돕기도 하고 방해하기도 한다. 예를 들면 강력한 흑연화 촉진제인 규소가 접종되어 그 양이 대단히 많을 때는 흑연이 조대화되고 펄라이트 기지는 페라이트로 되어 강도가 내려가 연한 재질로 된다. 또 흑연화 저해제인 크롬을 접종하면 흑연 미세화하고 페라이트 기지가 펄라이트화 되지만 그 양이 많으면 흑연화 저해요소가 되어 시멘타이트가 석출하고 경한 재질이 된다.

[표 4-21] 접종제의 원소가 흑연화에 미치는 영향

구분	정도	접종제에 쓰이는 원소
흑연화 촉진제 (흑연화를 조장하는 것)	약 중 강	지르코늄(Zr) 칼슘(Ca), 니켈(Ni) 알루미늄(Al), 규소(Si), 티타늄(Ti)
흑연화 저해제 (흑연화를 방해하는 것)	약 중 강	세륨(Ce), 테루륨(Te) 몰리브덴(Mo), 망간(Mn) 크롬(Cr)

라. 구상화제

구상화제는 마그네슘계, 칼슘계, 리어스계로 분류되고, 실제로 사용되고 있는 구상화제는 이들 금속원소들로 되어 있어 처리가 간단하고 안전하며, 용탕에 용해 분산되어 용탕 중 교반을 일으킨다.

마그네슘은 구상 흑연주철의 제조에 최초로 사용되었으며 증기압이 크고 용탕에 첨가하며 폭발적인 반응을 수반하므로 위험하다.

주철관 제작회사에서 다량의 용탕을 처리할 때에는 순마그네슘 압입방법을 채용하기도 한다. 이때 마그네슘 첨가량이 소량이어서 소규모의 공장 등에서는 관리가 어렵고 냉금, 수축 및 협잡물 등의 문제가 있어 채용되지 않으며 보통 마그네슘 5~30%의 합금이 사용되고 있다. 마그네슘 합금으로서 저비중의 Mg-Si-Ca, Fe-Mg-Si-Ca 계와 고비중의 Ni-Mg, Ni-Si-Mg 등이 있다. 마그네슘합금과는 별도로 플럭스형을 채용하는 경우가 있는데 이는 반응성이 약하고 간단하게 구상흑연주철을 제조할 수 있으므로 많이 사용되었으나 첨가방법이 좋지 않으면 가볍기 때문에 표면에 떠올라서 효과가 나빠진다.

이 이외에도 43% Mg를 함유하는 마그코크스가 있는데 이는 구상화처리시의 온도 강하가 적고 코크스로부터 가탄도 된다.

마. 조제제

산성큐폴라 조업에서는 일반적으로 슬래그에 의한 용탕의 정련은 고려하지 않고,

염기성 조재제의 첨가로 생성된 슬래그의 제거를 용이하게 하기 위하여 충분한 유동성을 부여할 목적으로 조재제를 사용하고 있다. 조재제의 양은 큐폴라의 노상(hearth)부나 출탕구, 출재구 등의 내화물을 필요 이상으로 침식하지 않을 정도의 양이 좋으나, 슬래그의 조성 및 양이 용탕의 화학조성에 영향을 주고 있기 때문에 조재제의 종류 및 양에 대해서 충분한 주의를 한다.

염기성 조업에서는 슬래그의 화학반응에 의한 용탕의 화학조성에 미치는 영향이 크고 열풍조업, 칼슘 카바이드 첨가 조업일 경우에는 화학반응도 더 활발해져 슬래그 관리의 필요성이 크게 요구된다. 따라서 조재제의 선택 및 사용량을 잘못 적용하면 소정의 용탕조성을 얻기 어려우므로 유의한다.

1) 슬래그의 발생원

(가) 연료 중의 회분

코크스(cokes) 중의 회분의 조성을 보면 대부분을 SiO_2 와 Al_2O_3 가 차지하고 있기 때문에 산성슬래그를 형성한다.([표 4-22] 참조)

[표 4-22] 대표적 코크스의 성분 조성

회분의 양(%) \ 조성(%)	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	TiO_2
약 6	46.95	30.56	8.20	5.26	1.66	0.96
약 8	48.16	27.16	8.05	5.56	2.06	1.33
약 10	50.16	28.02	7.09	4.84	1.84	1.63
약 13	51.8	32.5	7.6	1.4	3.0	-

(나) 노벽의 내장용 내화물

산성내장용으로 가장 많이 사용되고 있는 것은 납석벽돌이고 염기성 내장용으로는 마그네시아벽돌이 사용된다.([표 4-23, 4-24] 참조) 따라서 큐폴라에서는 내장재의 소모가 슬래그의 조성, 양과 큐폴라의 형상, 연료 중의 회분의 조성과 양에 따라 크게 달라진다.

[표 4-23] 납석벽돌의 화학조성 보기

조성	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	lg.loss
A	65.08	29.88	2.28	0.30	0.08	0.52
B	62.8	24.0	2.3	0.0	1.9	7.8

[표 4-24] 마그네시아 벽돌의 조성 범위

조성	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	lg.loss
마그네시아벽돌	2~6	0.5~2	1~4	0.2~2.5	85~92	4~5

(다) 장입된 Si, Mn, Fe 등의 산화물

용해대 직상에서 과잉공기 또는 탄산가스에 의해 산화되어 생긴 산화물로서 FeO는 환원되지만 SiO₂, MnO 등은 거의 환원되지 않고 슬래그 속으로 들어간다.

(라) 강설에 부착된 녹 또는 모래

강설의 저장관리가 불량한 것은 녹의 발생이 많고 비 오는 날에는 장입재료에 부착해 들어가는 모래에 주의한다.

(마) 조재제 자체

산성조업에서는 석회석이 주로 사용되고 있으나 염기성 조업에서는 석회석을 다량 사용하고 돌로마이트 등의 조재제를 사용하고 있으며, 슬래그의 유동성을 좋게 하기 위해서 형석을 병용하기도 한다.

카바이드의 첨가시 연소 후 생긴 CaO는 슬래그로 되며 슬래그의 염기도를 산출할 때에 형석 및 카바이드로부터 생기는 CaO는 생략하는 일이 있는데, 이것도 충분히 고려해야 한다.

2) 조재제의 종류

(가) 석회석

석회석(lime stone)은 천연적으로 가장 많이 산출되는 광물자원의 하나이다. 석회석은 일반적으로 조재제로서 사용되는 염기성의 암석이며 그의 주성분은 CaCO₃(탄산석회)로서 색상이 백색 혹은 회흑색이고 비중이 2.6~2.8이다. 양질의 것은 CaO로서 55%를 함유하고 불순물로서 SiO₂, Al₂O₃, FeO₃ 등이 함유되어 있으며 산성성분이 많은 것은 석회석 자체의 CaO를 소비하기 때문에 점토질, 규산질이 적게 함유된 것이 바람직하다 <표 4-25>는 석회석의 분석 예를 나타낸다.

석회석은 치밀한 것과 결정질의 것이 있으며 결정질의 것은 가열하면 붕괴되어 통풍 장애를 일으키므로 붕괴가 잘 되지 않는 것이 좋다.

[표 4-25] 석회석의 분석 보기

시료번호	화학조성(%)						비고
	CaO	MgO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	lg.loos	
No 1	51.80	1.17	2.86	0.65	0.79	40.66	
No 2	54.26	0.81	1.76	0.49	0.48	42.25	
No 3	50.49	0.44	0.17	0.18	0.26	43.19	
No 4	55.00	1.20	0.07	0.35		42.23	
No 5	53.35	0.69	2.93	0.96		41.72	
No 6	53.36	0.46	-	3.39		42.41	
No 7	55.28	0.41	0.18	0.10	0.22	43.62	

(나) 형석

형석(fluorite)은 CaF₂(calcium fluoride)를 주성분으로 하며, 산성로에서는 침식이

크기 때문에 일반적으로 사용되지 않지만 염기성조업에서는 항상 사용되고 있다. 1330℃에서 용융하며 석회석과 병용함으로써 유동성이 대단히 좋은 슬래그가 조성된다. 형석의 조성은 [표 4-26]에 나타났다.

슬래그의 점성은 CaO/SiO_2 가 커질수록 저하하고, 동일염기도이면 CaF_2 를 첨가했을 때 크게 저하한다.

[표 4-26] 형석의 성분 범위

조성	SiO_2	Al_2O_3	TiO_3	CaCO_3	MgCO_3	CaF_3
형석	0.5~1.5	1.05~1.0	0.5~5.0	3.0~9.0	0.1~0.2	8.8~9.4

(다) 백운석

주성분은 CaCO_3 또는 MgCO_3 로서 고회석 또는 백운석(dolomite)이라 하며 광대한 지층에서 산출되는데 때로는 사문암 중에도 함유한다. 그 조성은 석회석과 마그네사이트의 중간에 해당된다.([표 4-27] 참조) 품질 표시는 모두 MgO 의 함유량에 결정된다.

[표 4-27] 석회석, 백운석 및 마그네사이트의 비교

명칭		석회석	백운석		마그네사이트
주성분		CaCO_3	CaCO_3	MgCO_3	MgCO_3
성분비	CaO	55%	-	30.4%	-
	MgO	-	-	21.7%	47.6%
	CO_2	44%	-	47.9%	52.4%
비중		2.7	2.8~2.9		3.0~3.1

4. 연료

연료란 공기와 화합하여 연소되므로 열을 발생하는 것을 말하며, 다음과 같은 조건을 구비해야 한다.

- ① 아주 쉽고 풍부하게 공급할 수 있을 것
- ② 사용법이 간편하고, 가격이 저렴할 것
- ③ 운반 및 저장이 간단할 것

일반적으로 사용되는 연료는 그 종류가 대단히 많으나 크게 분류하면 고체연료, 액체연료, 기체연료로 나눌 수 있다. 주물에 가장 관계가 깊은 것은 무연탄, 코크스, 중유이며, 이외에 목탄, 석유, 경유, 천연가스 등도 이용할 수 있다. [표 4-28]은 각종 연료의 발열량을 나타낸 것이다.

[표 4-28] 각종 연료의 발열량

구 분	종류	발열량(kcal/kg _p)
고체연료	장작	1500~3200
	목탄	7000~8000
	석탄	6000~6300
	코크스	6000~7500
액체연료	중유	9000~10000
	석유	10000~11000
	휘발유	11000~13000
기체연료	도시가스	4000~5000
	천연가스	7000~10000
	발생로가스	1000~1300

가. 고체연료

1) 석탄

석탄의 분류에는 여러 가지가 있으나 대부분은 석탄화 작용의 정도에 따라 토탄(peat), 갈탄(lignite), 역청탄(bituminous coal), 무연탄(anthracite) 등으로 분류된다. 그러나 토탄은 공업용에 사용되지 못하므로 여기서는 제외했다. 석탄은 공업분석, 원소 분석과 시성분석에 따라서 분류하기도 하고, 용도 또는 입도에 따라서 분류하기도 한다.

(가) 석탄의 공업분석

(1) 수분(moisture)

석탄중 함유되어 있는 물은 부착수분(또는 습분) 수분 및 결합수분으로 분류된다. 부착수분은 석탄에 기계적으로 부착되어 있으므로 상온에서 석탄을 실내에서 얇게 펴놓아 말릴 때 증발해 없어지는 수분을 말한다. 공업분석에서는 부착수분을 제거한 시료에 대하여 실시한다. 수분은 석탄의 콜로이드질의 흡습에 의한 것으로 105~110℃에서 1시간 가열하여 제거할 수 있다.

결합 수분은 105~110℃의 가열로는 방출되지 않고, 석탄을 건류시켰을 때 방출된다.

수분은 본질적으로 탄의 질과 관계있는 것으로 알려지며, 탄화도가 진보됨에 따라 감소하고, 아탄(亞炭) 및 갈탄에서는 10~15%, 역청탄에서는 5~6% 이하, 강점결탄에서는 1% 내외이다.

(2) 회분(ash)

석탄 중에 항상 존재하는 성분이며, 무기물로 구성되어 있고, 연료로서 가치가 없으며 석탄 사용상 장애를 일으키는 성분이다. 석탄의 회분함유량, 성분, 용융점 등은 석탄의 실용가치상 중대한 영향을 주고 있다.

회분의 용융점은 1000~1500℃의 범위 내에 있으며, SiO₂, Al₂O₃와 같이 산성 성분

이 많은 것은 높고 Fe₂O₃, CaO, Na₂O, K₂O 등의 염기성 성분이 많은 것은 낮다. 또 회분의 산성도(acidity) 및 규산도에 의해 회분의 용융점을 측정할 수 있다.

$$\text{산성도}(r) = \frac{\text{SiO}_2(\%) + \text{Al}_2\text{O}_3(\%)}{\text{Fe}_2\text{O}_3(\%) + \text{CaO}(\%) + \text{MgO}(\%)}$$

이 값은 1~5 정도이며, $r = 1$ 이면 1200℃, $r = 5$ 이면 1400℃ 정도이다.

(3) 휘발분과 고정탄소

석탄으로부터 수분, 회분을 제거한 휘발분(volatil matter)과 고정탄소(fixed carbon)가 석탄의 실재를 나타내는 것이며, 이것을 순탄(pure coal)이라 한다. 휘발분과 고정탄소의 비율은 석탄화 작용에 따라 다르며, 탄화의 진행에 따라 휘발분은 감소하고 고정탄소는 증가한다. 따라서 휘발분과의 고정탄소의 비를 연료비(fuel ratio)라 하며 탄화의 질 즉, 탄화의 정도를 알 수 있는 좋은 자료이다.

$$\text{연료비} = \frac{\text{고정탄소}}{\text{휘발분}}$$

휘발분은 공기를 차단하고 석탄을 950±20℃에 7분간 가열했을 때 휘발하는 성분의 양을 나타낸다. 이 성분은 탄화수소, 일산화탄소, 수소 등의 가스 및 타르(중기)로 되어 있다. 휘발 성분이 많은 석탄은 화염이 길고 광휘가 있으며, 반사로에 적합하다. 고정탄소는 석탄으로부터 수분, 회분 및 휘발분을 제거한 것으로,

$$\text{고정탄소} = 100 - (\text{수분} + \text{회분} + \text{휘발분})$$

이다. 고정탄소가 많을수록 건조온도에 의해 얻어지는 코크스량이 많고 발열량도 높다.

(나) 발열량

연료의 발열량은 단위량의 연료가 연소했을 때 발생하는 열량 즉, 연소열을 말한다. 고체, 액체연료일 때는 1kgf, 기체연료일 때는 1Nm³(Nm³은 0℃, 760mmHg에서의 가스체적)을 완전 연소시켰을 때 발생하는 열량을 말한다. 열량의 단위는 공학적으로 kcal를 사용한다. 연료가 연소할 때 수소를 함유한 것은 반드시 수증기가 생기지만, 응축해서 액체로 되었을 때와 수증기 상태로 있을 때와는 물의 증발열만큼 차이가 생긴다. 수증기가 응축하여 물이 되었을 때의 발열량을 총 발열량 Hh(gross calorific value) 또는 고위발열량(higher calorific value)이라 하고, 물이 수증기 상태로 될 때의 발열량을 진발열량, Hl(net calorific value), 또는 저위발열량(lower calorific value)이라고 한다. 고위발열량 Hh와 저위발열량 Hl과의 관계는 상온(20℃)에서 물의 증발열이 586kcal/kgf이므로 다음 식과 같다.

$$Hh = Hl + 586(9h + w) \approx Hl + 600(9h + w) \text{ kcal}$$

h = 연료 1kgf 중에 함유되는 수소량
 w = 연료 1kgf 중에 함유되는 수분량

2) 주물용 코크스

코크스의 품위를 규격으로 표시하는 것은 강도, 회분, 휘발분, S분, P분, 입도, 기공률, 연소성, 반응성 및 수분 등의 여러 가지 성질에 따르고 이들 중에는 시험방법 및 분석방법이 복잡하기 때문에 전부를 규격에 규정하는 것은 불가능하며, 다. 또 사용조건에 의해 상반하는 결과가 생기므로 현재에는 몇 가지만 규정하고 있다. 코크스의 입도는 큐폴라 내경의 1/8~1/12이 좋고 [표 4-29]에 표준입도를 표시하고 있다. 그러나 사용하는 큐폴라의 크기에 따라서만 그 입도가 다른 것이 아니라 조업조건에 따라서도 다르게 된다. 코크스의 입도는 노 내의 송풍저항, 용해온도, 용해 분위기 및 가탄량, 가황량에도 영향을 미친다.

[표 4-29] 표준입도

입도별명칭	입도(mm)	사용 큐폴라 능력(t/h)
괴	120 이상	5 이상(대형 큐폴라용)
별괴	80~120	5~3(중형 큐폴라용)
상괴	60~80	3~2(중형 큐폴라용)
중괴	40~60	2 이하(소형 큐폴라용)

코크스의 밀도는 겉보기 밀도 및 진밀도에 의해 표시된다. 겉보기 밀도는 코크스 셀(cell) 간의 공극을 포함한 그대로의 형이 결정되므로 그 값은 밀도와 기공률 양자 모두 관계가 있다.

코크스의 강도가 낮으면 노 중에서 부서져 바람의 유동을 저해하여 생각지도 않은 장애를 일으키므로 외관상 균열이 있으면 약하게 하는 근원이므로 좋지 않다.

일반적으로 주물용 코크스의 기공률은 40% 이하가 좋으며, 양질의 것은 35% 정도이다. 기공률은 연소성, 반응성이 중요한 영향을 미친다. 동일 입도의 코크스에서는 기공률이 높을수록 연소성, 반응성이 커 송풍구 바로 위에서는 고온이 얻어지고 노 내분위기도 CO가 많아져 좋지만 소모가 크다. 또 기공률이 작은 코크스의 경우는 비교적 큰 풍량을 요구하지만 동일 노지름의 큐폴라에서는 용해량이 크게 된다.

회분은 큐폴라의 용해 상황에 중요한 영향을 미치므로 가능한 적은 것이 필요하다. 회분이 많을수록 발열량은 적게 되며, 또 석회석의 양을 더 첨가하여 슬래그 양을 증가시키고 이것을 용융하는데 여분의 코크스를 사용하게 되어 이중으로 손해다. 그러나 가단주철이나 고급주철의 용해에서는 반드시 회분이 적은 것이 좋다고는 말할 수 없다.

휘발분이 높은 것은 착화점이 낮고 반응성이 크므로 큐폴라용에는 적합하지 않다. 또 휘발분이 높은 것은 고정 탄소분이 감소하므로 좋지 않다. 그러나 휘발분이 높을수록 산소와 용이하게 반응하므로 착화 온도는 낮다.

인분은 구상흑연주철과 가단주철용해의 경우를 제외하고는 그렇게 큰 문제는 아니다. 대략 0.1% 이하가 좋으며, 황분은 낮을수록 좋다.

코크스 중의 탄소가 송풍 중의 산소와 발열반응을 일으키는 속도의 대소를 연소성이라고 말하며 다음과 같은 식으로 표시된다.

$$\text{연소성}(\%) = \frac{\text{CO}_2 + \text{CO}}{\text{CO}_2 + \text{CO} + \text{O}_2} \times 100$$

노 내에서 코크스가 연소할 때 송풍구 바로 위의 연소대에서 먼저 산화반응이 일어난다. 이 반응이 일어나기 쉬운 코크스는 연소성이 높으며 또한 환원대에서는 연소대에서 생긴 CO₂와 코크스가 접촉하여 환원반응이 일어나기 쉬운 코크스는 반응성이 높다고 한다. 즉 환원되는 능력은 다음 식과 같이 나타낸다.

$$\text{반응성}(\%) = \frac{\text{CO}}{\text{CO} + 2\text{CO}_2} \times 100$$

코크스의 반응성이 높으면 연소대에 도달하기 이전에 환원대에서 코크스 중의 탄소가 많이 소비되며 흡열반응이므로 열을 흡수한다. 이와 같은 코크스는 연소성도 높으므로 연소대의 폭이 좁아져 용적이 고온부를 통과하는 시간이 짧아져 출선온도가 낮아진다. 따라서 주물용 코크스는 반응성이 낮을수록 좋다.

나. 액체연료

1) 중유

중유는 고체연료에 비해 저장, 수송이 간단하고 발열량이 크며, 회분이 적고, 완전 연소 등이 용이하다. 중유는 보통 중유라고 부르는 석유계 중유와 타르라고 하는 콜타르(coaltar) 중유로 구분된다.

비중은 0.9~1.0, 발열량은 10000~11000kcal 정도이며 사용법에 따라 다음과 같은 종류가 있다. 황분이 적은 동정련용 또는 특수의 요업로에 사용되는 것을 A중유라 한다. 점도가 비교적 적고 수분, 헤파물이나 황분이 많지 않은 것으로 내연기관용 중유, 즉 디젤중유로 사용되는 것을 B중유라 한다. 이보다 점도가 크고 충분히 예열해서 펌로, 가열로 등의 가열용에 사용하는 것은 C중유(벙커C유)라고 한다.

2) 등유

비중은 0.750~0.850 정도이며, 비점은 약 150~320℃ 범위로 등화용, 동력용, 열원용 등에 사용된다. 동력용으로서

- ① 연소성이 좋을 것
- ② 연료 소비량과 출력점에서 비점이 너무 낮지 않을 것
- ③ 윤활유 희석방지상 고비점이며, 황분이 적을 것 등 휘발유(gasoline)에 가까운 성질이 필요하다.

3) 경유

비중은 0.80~0.90 정도이며, 비점은 약 200~320℃ 범위로 가스유(gas oil), 중성유(neutral oil), 솔라유(solar oil) 같은 별명이 있고 등화용, 동력용, 열원용 등에 사용된다. 일반적으로 경유의 성질은 다음과 같은 것이 좋다.

- ① 착화성과 연소성이 좋을 것(착화성은 세탄가로 40~60 정도가 적당하다)
- ② 점도가 적당할 것
- ③ 펌프작동을 방해할 수 있는 고형물, 수분, 황분과 같은 부식성 물질을 함유하지 않을 것

다. 기체연료

가스원료에는 천연가스, 석탄의 건류에 의해 얻어지는 석탄가스, 석탄 또는 코크스의 가스화에 의한 발생로가스, 석유의 가스화에 의한 석유가스, 액화석유가스(LPG) 등이 있다. 그 성분은 주로 메탄에서 부탄가스의 포화탄화수소, 에틸렌에서 부틸렌까지의 불포화탄화수소, 수소, 일산화탄소와 같은 가연물질과 탄산가스, 질소, 산소와 같은 불연물질로 된다. 기타 유해성분으로서 소량의 황화합물, 산화질소 등도 함유되어 있으므로 이것들은 정제에 의해 제거하고 있다. 가스원료는 다른 고체, 액체와 같은 연료에 비해 다음과 같은 장단점이 있다.

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> - 약간의 과잉공기로 완전연소가 가능하다. - 연료의 예열온도를 다른 연료보다 높게 할 수 있고 연소비 가스의 열을 연료의 예열에 의해 회수할 수 있다. - 가열 대상에 따라 자유로이 조정할 수 있다. - 점화, 소화가 용이하다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 저장에 곤란하다. - 연료비가 비싸다. - 누설되기 쉽다.

5. 내화물

내화물(refractory)은 고온에서 열의 작용에 견디며 용적의 변화가 가급적 적고 기계적 강도가 충분하며 열의 급격한 변화에도 견디는 것으로서 이것과 접촉하는 가스, 용융체, 고체 등의 침식이나 마모에 저항력을 가지고 있어야 한다.

사용조건에 따라서 동일한 내화물을 동일한 온도에서 사용해도 그 결과가 대단한 차이를 나타내므로 내화물의 선정에 내화도만을 따져서는 부족하다. 내화물의 여러 가지 성질 중에서도 사용조건, 환경 등에 가장 적합한 것, 즉 열간강도, 열전도성, 체적의 안정성, 열용량, 액상 또는 기상에 대한 내식성, 내마모성, 열이나 기계적 충격에 대한 충격저항성 등의 성질은 매우 중요하다.

제게르 추(seger cone), 26번(1580℃에 상당) 이상의 내화도를 가진 것을 내화재(내화벽돌, fire brick)라고 규정하고 있다.

가. 내화물의 종류

내화물의 분류 방법은 여러 가지 있으나 [표 4-30]은 내화물을 일정한 모양으로 성형하여 사용하는 것과 성형하지 않고 모르타르(mortar)와 같이 부정형의 상태로서 사용하는 종류로 분류한다.

[표 4-30] 형상에 의한 내화물의 분류

정(성)형 내화물	부정형 내화물
① 산성(규석벽돌, 반규석벽돌, 점토질벽돌) ② 중성(고알루미나질내화물, 크롬질내화물) ③ 염기성내화물(마그네시아내화물, 마그크로내화물(Mg-Cr), 크로마그내화물(Cr-Mg), 돌로마이트내화물(MgO-CaO) ④ 특수내화물(탄화규소질, 탄소질, 알루미나내화물) ⑤ 내화단열내화물(카올린질, 고알루미나질)	① 캐스터블(샤모트질, 고알루미나질) ② 플라스틱, 램밍 믹스(샤모트질, 고알루미나질) ③ 내화모르타르 또는 내화시멘트(각종) ④ 내화피복제(지르콘질, 마그네시아질)

[표 4-30]에서와 같이 성형된 내화물로는 내화벽돌이 있는데, 보통 사용하는 형체는 보통형 벽돌과 이형 내화벽돌이 있다. 부정형의 내화물 중에서 캐스터블(castable) 내화재료 분말을 골제로 하고 알루미나 접착제(alumina cement) 등을 배합한 분말상 내화물이며, 물과 혼합하여 다지든가 흘려 넣는 방법으로 사용되고 있다.

플라스틱 내화물은 시판 그대로 쉽게 다져서 사용할 수 있는 점토질 내화재료다. 내화 모르타르는 내화물의 분말에 가소성의 점토, 기타의 물질을 혼합해서 제조되는 벽돌을 쌓는 접합부에 메우는 재료이며, 모르타르 중에서 적당한 입자를 가진 것으로

스탬프에 적합한 것을 내화스탬프재라고 부른다. 또 내화피복재는 특수한 목적으로 도가니 등의 라이닝에 사용되는 내화물의 분말이며 특별히 점결제를 배합할 때도 있다.

내화물을 조성에 의하여 화학적으로 분류하면 산성, 중성, 염기성 내화물로 분류되며, [표 4-31]은 이에 의한 분류를 나타낸 것이다.

[표 4-31] 조성에 의한 내화물의 분류

구 분	종류	주요 화학성분	주요 조성결정
산성 내화물	규석질 반규석질 납석질 샤모트질	SiO ₂ SiO ₂ (Al ₂ O ₃) SiO ₂ , Al ₂ O ₃ SiO ₂ , Al ₂ O ₃	크리스토파라이트, 트리디마이트, 석영 위와 같은 것 및 물라이트 물라이트 물라이트
중성 내화물	고알루미나질 탄소질 탄화규소질 크롬질	Al ₂ O ₃ (SiO ₂) C SiC Cr ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ , MgO, FeO	물라이트, 코런덤 그라파이트 탄화규소 크로마이트, 스피넬
염기성 내화물	튀르스테라이트질 크롬마그네시아질 마그네시아질 돌로마이트질	MgO, SiO ₂ MgO, Cr ₂ O ₃ MgO CaO, MgO	튀르스테라이트(페리크레이스) 크로마이트(페리크레이스) 페리크레이스 페리크레이스, 3CaO·SiO ₂

산성, 염기성 또는 중성이라는 것은 소위 산, 알칼리와 같은 것임을 말하는 것이 아니라 산성 내화물이 주로 규산을 함유하고 있는 것으로 고온도에서 석회나 마그네시아와 결합해서 규산염을 만들기 쉬운 것을 말하고, 염기성 내화물은 석회나 마그네시아를 주로 함유하고 있는 것을 말하며, 중성 내화물을 상기 양자를 함유하고 있지 않은 것으로서 알루미나, 산화크롬 및 탄화규소 등을 말한다.

여러 종류의 내화물이 있으나 주물용으로 사용되고 있는 것은 극히 적은 종류로 규석질 내화물, 점토질 내화물, 납석질 내화물, 마그네시아질, 마그네시아-크롬질이 대부분이며, 기타 탄소질 내화물, 탄화규소질 내화물, 고알루미나 내화물도 조금씩 사용한다.

나. 내화물의 성질

1) 내화도

내화도(refractoriness)란 내화물의 정도를 말하며, 제게르추의 번호로서 나타낸다. 제게르추의 연화점과 화학성분은 [표 4-32]와 같다.

[표 4-32] 제게르추의 화학조성과 연화온도

제게르추	화학조성(중량%)				용융연화점 (℃)
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	
SK					
26	100	58.8	3.80	5.35	1580
27	〃	58.8	1.38	1.92	1610
28	〃	58.8	0	0	1630
29	〃	47.0	〃	〃	1650
30	〃	35.3	〃	〃	1670
31	〃	29.4	〃	〃	1690
32	〃	23.5	〃	〃	1710
33	〃	17.7	〃	〃	1730
34	〃	14.7	〃	〃	1750
35	〃	11.8	〃	〃	1770
36	〃	9.8	〃	〃	1790
37	〃	7.8	〃	〃	1825
38	〃	5.9	〃	〃	1850
39	〃	3.9	〃	〃	1880
40	〃	1.9	〃	〃	1920
41	〃	0.7	〃	〃	1960
42	〃	0	〃	〃	2000

내화도가 알려지지 않은 시료를 0.3mm 이하로 분쇄하고 소량의 텍스트린 용액으로 반죽하여 표준의 제게르추와 동일한 모양의 크기로 시험추를 만든다. 시험추 치수는 저면 삼각형의 1변이 8mm, 상면 삼각형의 1변이 3mm의 2등변 삼각형으로 [그림 4-3]과 같다. 이것을 표준추와 열을 지어 내화물의 판상에 80°의 경사로 세워 놓는다.

판의 재질은 시험추가 알루미나질, 점토질, 규석질의 경우는 알루미나질의 것을, 마그네시아질, 크롬질의 경우에는 크롬질을 사용한다. 추를 판상에 세울 때는 하단 약 4mm로 매몰시킨다. 가열속도는 800℃ 이하에서는 매분 10℃로 하며, 최저번호의 표준추가 구부러지기 시작할 때부터는 매분 3~5℃를 표준으로 한다.

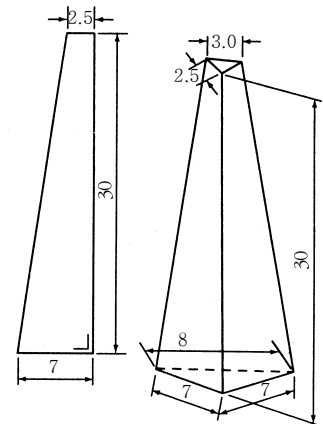
시험추가 똑바로 구부러져 선단 판상에 접촉했을 때 이것과 유사한 변형을 한 제게르추의 번호가 시험추의 내화도이다.

미국에서는 제게르추라 하지 않고 PCE (pyro-metric cone equivalent)라고 하며, 독일, 일본, 한국에서는 독일의 Seger Keggel에서 SK를 취해 SK번호로서 나타낸다. 내화물 선정에 있어서는 여러 성질을 충분히 검토해야 한다. 예를 들어 쿠파라 내의 라이닝 벽돌에 대해서 논할 때 내화도만을 가지고 비교하는 것은 무의미하며 송풍량, 송풍압력, 코크스의 성질, 장입지금의 종류와 상태, 용제 등의 각종 조업조건을 고려하여 가장 침식이 적은 벽돌을 선정한다.

2) 비중

내화물 품질을 결정하는 중요한 요소는 진비중(true specific gravity), 가비중(apparent specific gravity) 및 용적비중(bulk specific gravity)이라는 세가지로 구분하는 것이 보통이다. 진비중을 제외하고는 내화벽돌 내부의 실제부분 즉 기공의 대소를 나타내는 것이며 흡수율과 가공률에 밀접한 관계가 있다.

내화물의 기공은 외기와 통하지 않는 것과 통하는 것이 있으며 전자는 밀봉기공, 후자를 개구기공이라고 한다. 따라서 벽돌은 두 가지의 기공부분과 암석질로 구성되어 있다.



[그림 4-3] 제게르추의 크기

- 진비중 = $\frac{\text{중량}}{\text{암석질}}$
- 가비중 = $\frac{\text{중량}}{\text{밀봉기공} + \text{암석질}}$
- 용적비중 = $\frac{\text{중량}}{\text{밀봉기공} + \text{개구기공} + \text{암석질}}$

3) 기공률

내화물의 기공률(porosity)은 벽돌의 공극부분의 용적을 전체의 용적에 대한 백분율(%)로 나타내는 것으로, 기공에는 두 종류가 있는데 진기공률은 밀봉기공과 개구기공을 모두 함유하고 있어야 한다. 보통의 기공률이라고 부르는 것은 외관상의 기공률 즉 개구기공만의 용적을 말한다.

4) 흡수율

내화물의 흡수율은 벽돌을 물속에 담갔을 때 기공 중 충분히 물을 충전시켜 그 때에 요구하는 물의 중량을 벽돌의 중량에 대한 %로 나타낸 것으로, 벽돌 100g 중에 존재하고 있는 개구기공의 용적은 cm³로 나타낸다.

내화벽돌의 공극부분의 용적을 나타내는 표현법으로서 가비중과 기공의 흡수율이 있는데 같은 의미를 가지고 있다.

5) 스포링

내화벽돌의 스포링(spalling)은 벽돌의 내부에 발생한 변형에 의해 표면에 균열이 생겨 낙하는 현상으로 박락(剝落)이라고도 부른다.

(가) 온도의 변화에 기인하는 스포링

벽돌이 온도의 급변으로 팽창하든가 또는 급속히 수축했을 때 생기는 현상을 말한다. 벽돌의 소성조직은 팽창성이 적은 것으로서 균일한 조직이며, 다소 유연성이 있어 유리질 알카리를 다량 함유하고 있을 때는 이 종류의 스포링에 대한 저항성이 강

하다.

고급 점토질의 내화벽돌로서 소성온도가 높지 않고 비교적 기공률이 큰 것은 소성이 잘된 치밀한 벽돌보다는 열에 대한 스펀링이 강한 것이 보통이다.

(나) 기계적 압력의 불균일에 의한 스펀링

아크 로(arc furnace)의 천정에 규석벽돌을 사용했을 때 가열된 아크 로의 안쪽은 큰 팽창이 생기나, 대기쪽의 외면은 거의 팽창하지 않거나 또는 급격히 표면만이 큰 팽창을 일으켰을 때 벽돌 내부에 변형이 생겨 이 압력이 비교적 적은 일부분에만 불균일하게 집중할 때가 있다. 이러한 경우에는 벽돌이 파쇄되어 스펀링이 생긴다.

(다) 벽돌의 조직구조와 변화에 의한 스펀링

용해로에서 벽돌의 가열면이 슬래그나 용제를 벽돌이 흡수하거나, 고온에 가열되어 용탕과 반응해 그 조직이나 광물상 변화에 따라 가열면과 무변화면과의 사이에서 성분, 조직, 구조 및 광물상 다른 층이 생성 된다. 이것이 변형의 원인이 되어 균열을 일으키며 내외층의 팽창률이 달라 스펀링이 발생하는 것을 말한다.

6) 내마모성

내마모성이 좋은 벽돌은 입자간의 결합이 매우 강하고 입자의 크기 및 분포 상태가 일정하며 치밀한 구조를 가지고 있다. 큐폴라의 라이닝한 벽돌은 장입물의 강하에 의해 마모가 생기지만 이때에 순기계적 마모에 의한 벽돌의 소모는 다른 여러 조건보다도 훨씬 적다.

7) 슬래그, 가스에 의한 침식

주물의 내화벽돌, 특히 큐폴라의 라이닝벽돌의 소모는 침식이 주원인이다.

8) 압축강도와 하중연화

압축강도는 상온에서 어느 정도의 하중에 견딜 수 있느냐를 의미하며 고온에서 연화된 내화물을 사용하는 동안 자기 하중이나 다른 하중을 받아 변형되는 하중을 연화현상이라고 한다. 즉 내화도는 자중에 견디지 못해 연화변형하는 온도이며, 하중연화의 경우에는 보통 노의 구조를 생각하여 내화물의 위치에 다소의 차이는 있으나, 상당한 하중이 걸려 있을 것이므로 하중연화는 자중이 아닌 다른 하중을 받았을 때의 변형하는 온도를 말하는 것으로 내화도와 혼동해서는 안 된다.

9) 체적변화

내화물의 체적변화에는 그 변화가 영구적인 것, 즉 내화물의 제조 소성시 충분히 광물적, 물리적 변화가 정해지지 않고 사용할 때 체적변화가 생기는 것과 열에 의해서 팽창, 수축하는 일시적인 용적변화가 있다.

예를 들어 전자는 점토질과 염기성의 내화물인데 소성시 보통 수축하며, 규석질은 반대로 팽창하는데 소성에 의한 변화의 종식은 실제 매우 장시간에 걸쳐 서서히 진행되므로 완전히 소성시에 끝난다고 말하기는 어렵다. 따라서 제조된 내화물에도 체적변화가 있다. 일시적인 체적변화는 일시의 팽창이 큰 것 또는 실태에 따른 이상변화를 말하며 내화 스펀링 저항에는 약하다.

다. 산성 내화제

산성 내화 벽돌에는 규산을 주성분으로 하는 규석벽돌과 규산알루미나질을 주성분으로 하는 샤모트 벽돌 및 납석 벽돌 등의 점토질 벽돌이 있으며, 이의 중간에 속하는 것으로는 반규석벽돌, 고규산점토질벽돌이 있다.

1) 규석벽돌

적백규석을 원료로 하며 저급은 백규석을 원료로 하여 제조한다. 규석은 점결성이 없으므로 점결제로서 석회유 또는 당밀이 사용된다. 원료가 규석이므로 산성에는 강하나 염기성에는 약하다. 화학조성은 SiO_2 94~97%, Al_2O_3 0.4~1.5%, Fe_2O_3 1.2~2.5%, CaO 1.7~2.5% 정도이다. 내화도는 SK 32~33, 기공률 16~24%, 가비중은 2.3~2.4, 체적비중은 1.8~2.0, 열간선판창률은 1000℃까지는 1.2~1.4, 압축강도는 300~500kgf/cm², 하중연화점은 1500~1700℃이다. 급열·급냉에 대한 저항성이 저온에서 적으며 고온에서는 크다. 스프링에 약하다는 점이 큰 결점이나 최근 입도 조절에 의한 15~19%의 저기공률의 조립자벽돌이 발명되어 성질을 향상시켜 내구성이 약 20% 정도 증가했다고 한다.

2) 샤모트(chamotte)

점토질 벽돌의 대표라고 말할 수 있는 것으로 용도가 가장 넓고 각종 가열로, 반사로와 쿠폴라에 사용되는 경우 외에도 주강 등에서는 레이드벽돌로 사용하고 있다. 내화점토(fire clay)는 카올린($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, kaolin)을 말하며 이의 결정수가 많아 그대로 성형하여 소성하면 균열이 많이 발생해 사용할 수 없다. 따라서 일단 점토를 1200℃ 이상으로 소성한 것을 분쇄하여 샤모트로 한 것에 목절점토를 배합하고, 성형 후 다시 소성한 것이다.

원료가 규산알루미나질이므로 산성내화물이다. 따라서 염기성용제에는 약하다. 화학조성은 SiO_2 50~76%, Al_2O_3 20~45%, Fe_2O_3 1.0~2.5%의 저급부터 고급까지 넓은 범위에 이른다. 따라서 내화도는 SK 28~34, 기공률 12~30%, 가비중 2.5~2.8, 체적비중 1.8~2.3, 열팽창률 0.5~0.7%(1000℃까지), 하중연화점 1300~1500℃이며 급열급냉에 대한 저항이 크다.

압축강도는 150~400kgf/cm²도 광범위하며 고급품에는 800kgf/cm²까지 되는 것도 있다. 열전도가 적고, 가공하기 쉽다는 것은 이 벽돌의 특징 중 하나다. 점토질벽돌은 만능벽돌이라고 할 수 있을 만큼 많은 용도를 가지고 있고 내화물 중에서 가장 생산량이 많아 전 생산량의 70%를 점유하고 있다.

3) 납석벽돌

납석벽돌은 점토질벽돌이라는 점에서는 샤모트 벽돌과 동일하나 제조공정에서 볼 때에 샤모트를 만들지 않고 직접 벽돌을 만드는 점이 다르다. 이것은 카올리나이트(kaolinite)계의 점토와는 달리 납석벽돌의 주원료인 납석은 결정수가 적으며, 소성할

때 수축이 작아 샤모트로 할 필요가 없다. 납석은 광물학적으로는 파이로필라이트(pyrophyllite, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)를 주성분으로 해야 하지만 실제로는 카올린이나 다이아스포어(diaspore, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)를 수반하는 것을 총칭하여 납석이라고 부르고 있다.

이 납석벽돌의 품질은 사용하는 원료에 따라 다르므로 보통 납석벽돌이라고 부르는 것은 매우 광범위하다. 내화도는 SK 27~30의 범위에 있으며 하중연화점이 낮고 연화의 속도가 큰 것이 많다. 특히 규산분이 많고 내화도가 낮은 납석벽돌에 이러한 경향이 나타난다. 샤모트벽돌보다 외관이 희고 치밀하며 철분이 흡입되어 있는 것은 황갈색의 반점이 많이 보인다.

압축강도가 일반적으로 크며, 용선, 용강, 슬래그와 접촉해도 내침식성이 좋다. 또한 1400~1500℃의 고온에서 조적이 치밀하고, 동시에 수축변화가 적으므로 사용범위가 넓어 큐폴라의 라이닝벽돌로 가장 많이 사용하고 있다. 화학성분은 SiO_2 60~65%, Al_2O_3 30~40%, FeO_3 1~2% 정도이며 내화도는 SK 28~31 정도, 물리적 성질은 가비중이 2.6~2.7, 용적비중이 1.9~2.0, 기공률은 17~27%, 하중연화점은 1300~1500℃이며, 급냉, 급열과 마모에 대한 저항성도 양호하다.

라. 염기성 내화재

염기성 내화물로서 주물에 사용되는 것에는 마그네시아(magnesia) 내화물, 크로마그(Cr-Mg)와 마그크로(Mg-Cr) 내화물, 돌로마이트(dolomite) 내화물이 있다.

1) 염기성벽돌

염기성벽돌은 눈부신 발전을 하여, 불소성(不燒成)의 크롬, 마그네시아질의 벽돌의 진보는 특히 현저하다. 이것은 철판 케이스로 한 소위 메탈 케이스(metal case)된 획기적인 불소성 벽돌이다.

소성벽돌로서는 다량의 마그네시아가 가해진 크로마그 벽돌과 마그크로 벽돌, 마그네시아 단독의 마그네시아 벽돌이 있다. 크로마그와 마그크로 벽돌은 단순히 크로마그 벽돌(chrome-magnesite brick)이라고 부르고 있다.

원료로서는 크롬광(chromite : $\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ 30~36% 정도가 사용하기 좋으며 작열감량과 규산분이 되도록 작은 것)과 마그네시아 클링거를 사용한다.

능고토광(MgCO_3 , magnesite)에 적철광 또는 갈철광의 분말 3~5%를 첨가, 소성온도를 낮추어 소성하여 만든 것이 마그네시아 클링커(magnesia clinker)이다. 마그네시아 클링커는 전기로, 평로 등의 염기성로 저부의 내화물로서 필수적이다.

염기성 내화벽돌은 염기성이 강하여 염기성 슬래그에 침식되기 힘들고 내화도가 높으며 SK 36~40 이상이다. 상온에서 내압강도가 크나 마그네시아분이 많아질수록 스폴링저항이 적은 것이 결점이다.

2) 포스터라이트(forsterite)

포스터라이트 벽돌은 고토감람석(foresterite : $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$)을 주성분으로 하고 활석(talk : $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), 감람석(dunite : $(\text{Mg}, \text{Fe})_2 \cdot \text{SiO}_4$), 사문암($3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 등도 원료로 사용하고 있다.

이들의 광물은 가열에 의해 $1500 \sim 1550^\circ\text{C}$ 이상에서는 포스터라이트로 변화한다. 화학조성이 2MgO , SiO_2 의 분자식을 가지므로 중성에 가까운 염기성이며, 마그네시아벽돌에 비해 염기성 슬래그에 대한 저항성도 약간 적으나 수증기에는 침해되지 않는다.

이 포스터라이트 벽돌의 장점을 보면 다음과 같다.

- ① 내화도가 높다(SK 36이상)
- ② 마그네시아 내화물은 수분, 탄산가스 등을 흡수해서 슬레이크(slake, 소화)되기 쉬우나 이 내화물에는 결점이 없다.
- ③ 크롬내화물은 크로마그내화물과 산화철을 흡수해서 붕괴되는 결점이 있으나 이 내화물은 이 결점이 없다.
- ④ 알칼리의 침식에 대한 저항성이 매우 크다.
- ⑤ 비교적 고온에서 용적이 안전하다.
- ⑥ 다른 종류의 염기성 내화물에 비교해서 열전도율이 낮다.
- ⑦ 마그네시아 내화물보다도 열팽창이 적다

위의 장점을 이용하여 제강용, 비철금속용의 내화물, 기타에 사용되고 있다.

마. 중성 내화재

1) 크롬질 내화벽돌

크롬광석을 주원료로 하며, 내화점토, 석회, 고토, 피치(pitch) 등을 결합제로 하여 만든 것이다. 크롬광석에는 피코타이트(picotite, $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{O}$, $(\text{AlCr})_2\text{O}_3$)의 두 종류가 있으며 실제로는 혼합해서 산출된다.

내화연료로서는 CrO_3 31~36%, SiO_2 7% 이하의 피코타이트계가 유리하며 이 성분 중 Al_2O_3 , MgO , CrO_3 가 각각 스피넬(spinel, XY_2O_4 : 예, 돌정식 MgAl_2O_4)을 형성하는데, CrO_3 의 함유량이 적은 데도 불구하고 내화도가 높고 하중연화온도가 높다. 이에 비해 크로마이트를 원료로 한 내화물은 CrO_3 의 함유량이 많으면서도 내화도, 연화온도가 낮다. 따라서 양질의 크로마이트는 Fe-Cr, 금속 Cr의 원료로 사용하고 있다. 결합제로서는 보통 점토를 사용하는 것보다는 석회를 사용하는 편이 내화도가 높다. 그러나 석회의 경우 5% 정도 사용해야 될 것이다. 소성온도는 적어도 1460°C 이상이어야 하며, 가능하면 1700°C 이상으로 소성하는 것이 좋다. 크롬벽돌의 가비중은 3.0~3.2인데, 내압강도는 강한 편이며 급격히 저하한다. 열전도는 $2.05\text{kcal/m}^3\text{hr}$ 이고, 온도 차가 없이 일정하며 점토질벽돌이나 규석질벽돌보다는 크지만 마그네시아벽돌보다는 적다. 이 벽돌의 열팽창계수는 크며 평균해서 1.14×10^{-5} 로 최대에 이른다.

이 때문에 스펙터링저항이 적으며 급열, 급냉에 대해서는 약하다. 크롬벽돌은 저온에서는 내마모성이 크지만 고온에서는 비교적 약한 결점이 있다. 이와 같이 물리적 성질이 좋은 편은 아니며 화학적으로는 극히 강하고 안정하여 슬래그에 대하여 침식이 잘 되지 않는다. 특히 중성내화물의 특징으로서 산성벽돌과 염기성벽돌의 어느 것이나 접촉해도 반응이 잘 되지 않으므로 이들 이종벽돌의 경계에는 없어서는 안 될 내화재이다. 크롬벽돌은 각종 제강로에는 물론 강, 철, 안티몬 등의 금속제련용로의 라이닝에도 사용된다.

2) 탄소질 내화벽돌

탄소질 내화벽돌의 원료는 피치, 코크스, 무정형탄소와 흑연의 세 종류가 있으며, 이들 중에서 주물용으로는 주로 흑연이 사용되고 있다. 즉 흑연도가니, 흑연벽돌, 흑연전극 등에는 천연 및 인조의 흑연이 있다. 천연흑연에는 인상과 토상흑연이 있는데 인상흑연은 결정질이며 탄소분이 높고 순수한 것은 탄소분이 90~99%이상이다. 내화물로서는 특히 도가니에 가장 적합하며 흑연벽돌 전극으로서 사용되고 있다. 이에 비하여 토상흑연은 비정질이고 불순물이 많다. 체로 선별 또는 수세하여 탄소분의 품위를 올리고 있으며 전극, 도가니, 벽돌 등의 내화물로 사용되고 있다. 인상흑연을 원료로 한 도가니는 비늘조각이 층을 이루어 침식산화에 대해서 저항력이 큰 특징을 가지고 있다. 전기로에 사용되는 전극은 피치, 코크스, 무연탄, 천연흑연, 인조흑연 등의 분쇄물에 당밀, 피치, 콜 타르 등을 결합제로 하여 300~400kgf/cm²에 가압성형한 후에 소성을 실시한 것이다. 특히 2200~2400℃의 고온소성으로 인조흑연화한 것은 SiO₂, Al₂O₃, FeO₃, CaO 등을 환원하여 휘발시켰기 때문에 회분이 극히 적다.

바. 내화 단열재

내화벽돌의 바깥쪽에 사용하여 노 내의 열을 외부에 유출시키지 않도록 하는 목적으로 열전도율이 적은 벽돌을 사용한다. 이것을 단열벽돌(heat insulating brick)이라고 한다. 액상의 침식을 받는 곳 즉, 용탕이 접촉하는 데에는 사용할 수 없으나 내화도가 높은 단열재를 내화벽돌로 얇게 표면에 붙이거나 직접 내면에 붙이는 내화물 겸 단열재를 단면용 단열벽돌이라고 한다.

일반적으로 기공률이 크고(약 70% 내외), 단열성(상온의 열전도가 0.5 kcal/mhr℃ 이상)이 좋은 것으로 점토질(카올린질)의 것이 많이 제조되고 있으며, 기타 규석질, 고알루미나질, 저융알루미나질, 지르코니아(zirconia, ZrO₂)질 등이 있다.

사. 내화물질

내화벽돌 사이의 접합부에 사용하는 것으로 벽돌을 균일하게 밀착시켜며 벽돌의 수리를 위해 노 내벽에 도포 또는 다져 붙여서 사용하는 분말을 내화 모르타르(refractory mortar), 내화 시멘트(refractory cement)라고 한다.

내화벽돌에서 슬래그 또는 용융금속에 의한 화학적 침식은 접합부분이 가장 심하다. 한편 접합부는 벽돌의 열팽창에 의한 파괴를 방지하는데 필요하므로 내화모르타르는 그 질의 선정, 사용량 등 축로상 중요한 것이다. 내화 모르타르의 선정기준은 다음과 같다.

- ① 사용하는 내화벽돌과 가급적 동질인 것을 사용한다.
- ② 내화도가 벽돌보다 SK 1~3번 정도 높은 것을 사용한다.
- ③ 고온에서도 접착력을 가지며, 벽돌에 가까운 성질이 되어 균열, 변형 등을 일으키지 않는 것을 사용한다.

아. 부정형 내화물

입상, 분말상 또는 진흙모양의 내화물로서 수경성, 공기경화성 및 열경화성이 있다. 대부분은 주물 현장에서 희망하는 형체로서 만들어서 사용한다.

1) 플라스틱 내화물

플라스틱 내화물(plastic refractory)은 일반적으로 반죽한 토상을 방수지에 싸서 상자 또는 깡통에 넣는다. 이 중에는 건조상태로 판매되고 있으며 사용할 때 물을 혼합하도록 되어 있는 것도 있다.

노 내에서 순차적으로 다져서 쌓아올려 노벽이나 노체를 희망하는 형상으로 만든다. 그리고 노의 열로 소성시킨다. 크롬질, 샤모트질, 마그네시아질, 시리마이트질, 탄화규소질 이외에 단열질이 있다. 결합체로서는 점토 이외에 규산나트륨, 유기질 등이 사용되며 열경화성과 공기경화성이 있다.

2) 래밍 믹스

래밍 믹스는 플라스틱 내화물의 일종이라고 볼 수 있으며 주로 노상이나 노벽의 구축에 사용되는 것이므로 결합제나 수분이 적고 뉴머틱 해머로 다져서 사용한다.

3) 캐스터블 내화물

캐스터블 내화물(castable refractory)의 내화골재에 적당량의 수경성 시멘트를 혼합한 것으로 물을 첨가하여 잘 혼합한 후 콘크리트와 동일하게 사용하든가 형에 흘려 넣어 쓰고자 하는모양과 크기로 만든다.

골재로서는 충분히 소결한 후 입도조절을 한 점토질 및 고알루미나질 등을 많이 사용한다. 시멘트로서는 알루미나시멘트가 사용되고 있다.

4) 내화피복제

내화피복제는 노벽이나 천정, 기타의 표면에 도포해서 사용한다. 사용 중 노 내의 온도에 의해 변화하여 내화물의 표면을 피복해 뜨거운 가스나 열이 새어나가는 것을 방지하는 동시에 내화물을 보호한다. 내화 모르타르를 이 목적에 사용할 때도 있으나 일반적으로 밀착성을 더 좋게 하는데 사용한다.

제5장 금속의 용해와 주입¹⁵⁾

1. 용해로의 종류와 도가니로 용해

고체 상태의 금속을 액체 상태로 만드는 것을 용해라 한다. 가열원에 따라 가열방식을 분류하면 <표 5-1> 와 같다.

[표 5-1] 가열원에 따른 가열 방식의 종류

에너지원 발열 방법 등			로의 용도 및 특성			
			직접 가열 방식		간접 가열 방식	
연료	고체	석탄, 코크스, 용해탄소 등	정련(철광석환원)			
	액체	중유, 등유 등	압연, 단조, 열처리(담금질, 뜨임, 풀림, 불림), 소성, 건조, 열풍 발생		레디언트 튜브, 레토르트 등을 사용	
	기체	천연가스, 프로판, 부탄 등			무산화 및 광휘열처리, 침탄, 침탄질화, 연질화, 염욕열처리, 소결, 열풍	
전기	저항 가열		직접 통전	압연, 단조	금속 발열체	진공 열처리, 탄소유동층 가열, 적외가열, 원적외가열
					비금속 발열체	
	유도 가열	고주파	금속 가열, 표면 담금질, 브레이징, 반도체 열처리, 용해, 압연, 단조	전자조리기 비철금속 가열		
		저주파	용해, 정련, 압연, 단조	유도 발열 자켓롤러 표피전류 가열장치		
	아크 열		아크전류가 가열재료에 흐른다.		아크전류가 가열재료에 흐르지 않는다	
			제강, 탄화물제조, 알루미늄 전해		비철금속 용해	
	전자빔 가열		고융점 및 고순도 합금의 용해, 금속의 증착			
	플라즈마 가열		제강, 고융점 금속의 용해, 광석 환원, 화합물의 합성 또는 분해 가스화			
전자파 가열 (유전, 마이크로)		비금속(식품, 고무, 플라스틱, 종이, 섬유)의 가열, 전자렌지				

15) NCS 분류번호 : 주철 용해 작업(1601030117_16v4), 비철금속 용해작업(1601030118_16v4)

가. 주조용 용해로

주조용 용해로로는 큐폴라, 도가니로, 유도로, 반사로 등이 주로 이용되고 있는데, 주조에 사용되는 노는 다양하며, 일반적으로 사용하는 용해로는 [표 5-2]와 같다.

[표 5-2] 주조용 용해로

종 류	형 식		열 원	용해 금속
도가니로	자 연 통 풍 식		코크스, 중유, 가스	구리 합금, 경합금 (주철, 주강)
	강 제 통 풍 식			
반사로	-		석탄, 미분탄, 중유, 가스	구리 합금, 주철
전기로	저항로	도가니형 저항로	니크롬 저항 전기로	경합금, 활자합금
		탄소저항 저항로		특수주철, 스테인리스강, 청동합금
	아크로	직접 아크로	저전압, 고전류 50 ~ 60[Hz]	주강(주철), 가단주철
		간접 아크로		주철, 구리합금, 백색합금
	유도로	고주파 전기로	전력, 주파수 500 ~ 10,000[Hz]	주강, 주철, 특수합금
		저주파 전기로 (철심형 유도로 무철심형 유도로)	전력, 주파수 50 ~ 60[Hz]	구리 합금, 알루미늄 합금, 주 철, 특수강
큐폴라	냉풍식		코크스	주철
	열풍식			
	염기성			

나. 도가니로 용해

용해하려는 물체를 도가니에 넣고 외부에서 가열하여 용해하는 로를 도가니로라 하며, 용해온도가 낮은 비철합금의 용해에 사용된다. 설비비가 싸고 외부에서 가열하므로 금속산화가 적고 불순물 혼입이 적어 양질의 용탕을 얻을 수 있다.

1) 도가니로

도가니로(crucible furnace)는 옛날부터 비철 합금, 강, 유리 등의 용해에 사용되어 왔다. 금속의 산화가 적고, 연료 및 송풍 등에 의한 불순물의 흡수가 적어 양질의 용융체를 얻을 수 있으며 시설비도 적게 든다. 도가니는 흑연으로 만든 것이 가장 많으며 경합금의 용해에는 주철제의 도가니도 사용된다.

도가니의 규격은 1회에 용해할 수 있는 구리량으로 표시하는데, 이를테면 흑연제의 도가니는 구리 1kgf을 용해할 수 있는 크기를 1번이라고 하며, 1회에 구리 80kgf을 용해할 수 있는 도가니는 80번이라고 한다. [그림 5-1]은 일반 현장에서 사용하는 용해로이다.



[그림 5-1] 용해로

2) 도가니로의 종류

노의 설치에 따라 [표 5-3]과 같이 도가니로를 분류할 수 있다.

[표 5-3] 노의 설치에 따른 도가니로의 분류

노의 종류 (노의 설치에 따라)	내 용
피트 도가니로	코크스의 연소가 많고 여러 개의 용해실과 높이 20 ~ 30개의 굴뚝을 갖고 있는 용해로이다. 높은 굴뚝이 필요하기 때문에 많은 건설비가 소요된다.
고정식 도가니로	노의 상부를 개방한 개방형과 철로 만든 도가니로의 상부를 밀폐하고 별도로 배기 구멍을 설치한 밀폐형으로 분류한다. 다이캐스트 공장 등과 같은 적은 용량의 용탕이 요구되는 공장에 적합하다.
가경식 도가니로	가운데에 도가니를 끼워 만들며 노체는 수동 또는 전동으로 기울일 수 있도록 되어 있는 용해로이다. 약간 대형의 노가 많고, 열효율도 고정식보다 양호하며 도가니의 수명도 길다. 연료는 코크스, 중유, 가스 등이 사용된다.

3) 도가니로의 특징

- ① 용해되는 금속이 연료가스와 직접 닿는 일이 적으므로 용탕이 산화되거나 불순물이 섞이는 위험이 적다.
- ② 여러 가지 금속을 계속하여 용해할 때에도 도가니만 바꾸어 주면 되고, 소량의 용해 등 이용범위가 넓다.
- ③ 설비는 간단하나 외부로부터 간접적인 가열법을 이용하기 때문에 용융점이 높은 금속의 용해에 알맞지 않다.
- ④ 높은 온도에서는 도가니 강도가 한정되어 있으므로 많은 양의 용해에는 부적합하다.
- ⑤ 열효율이 나쁘고, 도가니 값이 비싸기 때문에 경제성이 낮다.

도가니의 규격은 1회에 용해할 수 있는 구리의 무게를 기준으로 하여 정한다. 그러나 알루미늄의 경우에는 구리의 비중량(8.96)과 알루미늄의 비중량(2.74)이 다르기 때문에 100번 도가니에서 용해할 수 있는 알루미늄의 양은 약 30.6kgf이 된다.

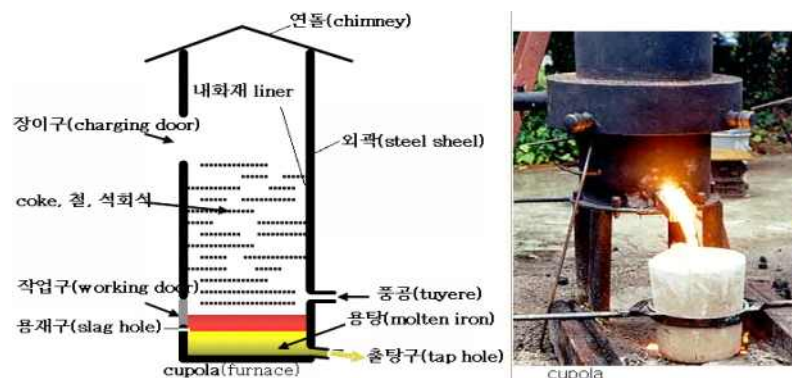
[안전 및 유의사항]

- 도가니와 주입기구를 충분히 건조시키고, 지금 재료를 장입하거나 가열 전 예 열을 한다.
- 용해온도가 너무 높으면 수소가 흡수되고, 용탕이 산화되므로 가능하면 용해 시간을 짧게 한다. 용탕에 수분이 묻은 기구를 사용하면 폭발의 위험이 있다.
- 안전 보호구와 안전화 등을 착용한다.
- 용제처리를 할 때는 인체에 해로우므로 직접 닿지 않도록 유의한다.

2. 큐폴라 용해¹⁶⁾

가. 큐폴라 용해

큐폴라(cupola)는 주철을 용해하는 가장 대표적인 용해로이며 용선로라고도 한다. 강판으로 만든 원통형 내부에 내화 벽돌로 라이닝을 한 용해로이다. 용선로(큐폴라)는 원통형 노 내에 재료와 연료를 교대로 장입하고 점화하여 송풍시킬 때 발생하는 연소열로 연속 용해시킨다. [그림 5-2]은 용선로, 즉 큐폴라의 도식적인 모형과 사진이다.



[그림 5-2] 용선로(cupola)

1) 큐폴라의 특징

- ① 장입 재료가 코크스와 직접 접촉하여 용해하므로 열효율이 비교적 높아 짧은 시간에 많은 양을 용해할 수 있다.
- ② 노의 구조가 간단하여 설치비가 적게 들고, 관리하기가 쉽다.

16) N주철 용해 작업(1601030117_16v4), 비철금속 용해작업(1601030118_16v4)

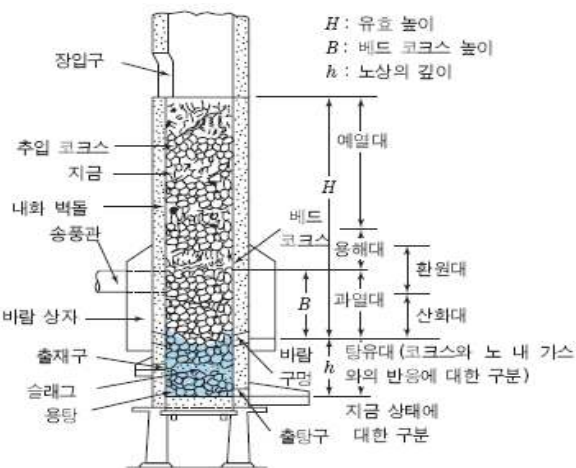
- ④ 조업 중에 성분변화가 일어나기 쉬우므로, 용해작업을 세심하게 관리하여야 한다.

2) 큐폴라의 구조

큐폴라의 구조 및 명칭은 [그림 5-3]과 같다. 노 바닥에서 일정 높이까지 코크스를 넣고 그 위에 지금류와 코크스를 일정 비율로 장입하여 장입구까지 채운다. 이 상태에서 송풍구를 통하여 공기를 불어넣어 코크스를 연소시키고 그 열로 지금을 하부로 부터 서서히 용해시킨다. 용탕은 노저에 고이게 되며, 적당한 양이 모이면 출탕구를 통하여 빼낸다.

(가) 노의 높이

- ① 예열대 : 지금이 용해되는 과정을 장입구에서부터 지금이 용해하기 직전까지를 말하며 지금이 강하하면서 예열된다.
- ② 용해대 : 베드 코크스 층의 윗부분에서 지금이 녹아떨어지는 부분이다.
- ③ 과열대 : 용해대에서 용해된 지금이 용해대 밑에서 송풍구면까지를 낙하하면서 고온으로 가열되는 부분이다.
- ④ 용탕 저류대 : 송풍구면에서 노 바닥에 이를 때까지의 부분을 말하며 용탕과 슬래그가 모여 저장된다.



[그림 5-3] 큐폴라의 구조 및 명칭

- ⑤ 산화대 : 송풍구에서 들어온 산소는 $C+O_2 \rightarrow CO_2$ 의 산화 반응을 하여 코크스를 완전 연소시킨다. 이 반응이 일어나는 송풍구면에서 코크스상 가운데까지를 산화대라고 하며 노 내에서 온도가 가장 높다.
- ⑥ 환원대 : 산화대에서 발생한 CO_2 의 일부와 상부의 코크스는 $CO_2+C \rightarrow 2CO$ 의 환원반응에 의하여 CO로 환원되며 이 부분을 환원대라 한다. 이 반응은 흡열 반응이므로 이 부분에서 노 내의 온도는 저하된다.

(나) 유효 높이

바람 구멍면에서 장입구 밑면까지의 높이를 유효높이라 한다. 유효높이의 비를

H/D로 나타내며(H: 유효높이, D: 바람 구멍면의 노의 안지름), 일반적으로 그 값은 5.4~5.0을 기준으로 한다. 장입된 금속이 예열, 용해, 과열되는 부분이며, 유효 높이가 높을수록 장입물이 예열되어 좋으나, 너무 높으면 송풍 저항이 증가하여 송풍량이 줄어들어 코크스가 완전 연소하지 못한다. 너무 낮으면 장입된 금속이 충분히 예열되지 않아 용탕의 온도가 낮아지는 원인이 된다.

(다) 노상의 깊이

노의 밑면으로부터 바람 구멍면까지의 높이를 노상의 깊이라 한다. 이곳에는 용탕과 코크스가 함께 존재하므로 탄소(C), 황(S) 등의 원소가 용탕에 흡수된다. 또한 슬래그가 고이므로 출재구를 통하여 가끔 배출시켜 준다. 용해된 금속은 베드 코크스층을 따라 흘러내려 노상에 고인다.

(라) 바람 구멍(송풍구)

노 안에서 코크스가 연소하는데 필요한 공기를 불어넣어 주는 곳을 바람 구멍이라 한다. 보통 용해능력에 따라 1 t/h 이하에서는 4개, 1.5~3.0 t/h 정도는 6개, 그 이상은 8개로 한다.

(마) 바람 상자(풍상: wind box)

송풍기에서 들어오는 공기는 방향성이 강하므로 특정의 송풍구에만 공기가 들어가기 쉽다. 따라서 코크스의 연소가 불균일하게 되며, 지금의 용해가 불균일하게 될 가능성이 많다. 이와 같은 방향성을 없애기 위해 설치하는 것이 바람 상자이다.

(바) 노벽

노벽은 보통 산성로에서는 납석질의 내화 벽돌을 라이닝하고, 염기성로에서는 돌로마이트질과 마그네시아질의 벽돌이 쓰인다. 벽돌 사이에는 동질의 모르타르를 사용하는 것이 보통이다.

(사) 전로

큐폴라 본체와는 별도로 출탕구 앞에 설치된 용탕 저장용 용기를 말한다. 용탕을 저장하고, 용탕의 성분을 균일하게 할 목적으로 설치하며 고정식과 회전식이 있다.

3) 큐폴라 용해 작업

(가) 용해 이론

(1) 연료의 연소 반응

송풍구를 통하여 노 내로 들어온 공기 중의 산소는 코크스와 반응하여 $O_2 + C = CO_2 + 8,080kcal/kgf$ 가 되어 CO_2 가스가 되며, 이 반응은 발열반응이므로 이 열에 의하여 지금은 용해된다.

(2) 코크스의 비(coke's ratio, 지금 중량에 대한 코크스량의 비)

- CO_2 가스의 환원을 좌우하는 중요한 요소로서 이 값이 크면 코크스 베드가 약간 높게 됨으로써 환원 반응이 촉진되어 CO 가스가 많은 분위기로 된다.

- 코크스의 비 = $\frac{CO_2}{CO_2 + CO}$ 로 표시되는 값으로 연소율이라고 한다.

(나) 큐폴라 조업법

(1) 큐폴라의 보수(라이닝)

- 산성로는 샤모트질이나 규산을 주성분으로 하는 규석 벽돌 등이 사용된다.
- 염기성로는 산화마그네슘질이나 돌로마이트질이 사용된다.
- 노 저벽에는 흑연질의 내화물을 사용하며, 장입구 부근은 주철제 벽돌을 사용한다.

(2) 점화와 조업 개시 : 자연 통풍으로 불꽃이 상승되어 가면 소정의 베드 코크 스 높이까지 베드 코크스를 여러 번 나누어 장입한다.

- 베드 코크스의 높이 = (유효 높이) - (베드 코크스 위 장입구까지의 높이)
- 출탕구를 막은 후 지금을 장입하고 송풍 개시까지 지금을 예열한다.

(3) 재료의 장입법 : <그림 5-4>는 야적장에 있는 장입 재료의 처리 모습이다.

- 1회의 장입량은 보통 큐폴라의 용해 능력의 1/10~1/15이 표준이다.
- 1회 장입 시간은 5~6분 간격으로 해야 이상적이다.
- 지금의 장입 순서는 용융점이 높은 강재를 먼저 넣고 다음에 선철, 고철 순으로 한다.
- 재료의 장입 순서는 베드 코크스 위에 석회석을 장입하고 다음에 장입 지금, 코크스, 석회석의 순서로 1회의 장입을 끝내고, 이 순서를 반복하여 장입한다.



[그림 5-4] 야적장에서의 장입 재료

(4) 송풍 : 장입구의 높이까지 장입을 끝낸 후 약 30분 동안 노의 몸체와 장입 재료를 충분히 예열시킨 다음 송풍을 시작한다. 송풍 개시 후 노의 조건이 정상이면 5~10분 만에 용탕방울이 떨어지고 10~15분이면 출탕구에서 용탕이 흘러나오기 시작한다.

(5) 출탕과 용해 : 단속 출탕방식은 처음에 용탕과 슬래그가 흘러나오기 시작하면 출탕구를 막고 15분 정도의 간격으로 슬래그를 슬래그 구멍으로 유출시킨 다음 출탕한다.

(6) 조업중의 사고 대책

□ 행잉(hanging, 엇힘)

- ① 행잉이란 장입이 서로 엉키거나 노벽의 파손부분이 걸리면 장입물이 내려가지 못하여 그 밑에 공간이 생겨 베드 코크스 보급이 중단되는 상태를 말한다.

- ② 행잉이 생기는 곳은 주로 송풍구의 바로 위나 용해대의 윗부분이다.
- ③ 노벽의 파손이나 장입 금속의 크기가 너무 큰 경우에 일어난다.
- ④ 장입 재료의 크기와 무게를 고르게 하여 행잉을 막는다.
- ⑤ 용해대 위에 생기는 행잉은 노벽의 수리를 완전히 하고 장입한다.
- ⑥ 행잉시 송풍량을 감소시키고 철봉으로 밀어 떨어뜨린다.

☐ 장시간의 조업 중지

- ① 정전이나 송풍기의 고장 등의 사유로 장시간 조업을 중지할 경우가 있다.
- ② 송풍구를 점토로 막고, 출탕구를 열어 용탕을 전부 빼내고, 출탕구를 막는다.
- ③ 다시 조업을 시작할 때는 그 사이에 소모된 베드 코크스를 보충한다.

☐ 출탕구가 열리지 않는 사고

- ① 용탕이 응고해 출탕구가 막혀 열리지 않는 경우를 말한다.
- ② 노의 건조와 예열을 충분히 하고, 조업시작 시 용탕의 온도를 높인다.

☐ 조업 중 노저로부터 용탕이 새어나오는 사고는 송풍을 정지하고 가능한 빨리 출탕하며, 새어나오는 양이 적을 경우 그 부분을 내화물로 막는다.

☐ 용탕이 너무 많이 고여 송풍구로 슬래그가 흘러넘칠 경우에는 빨리 출탕시키고, 송풍을 중지하며 송풍 상자의 문을 열어 슬래그를 제거한다.

3. 전기로 용해¹⁷⁾

가. 전기로 용해

전기로는 노 속에 장입된 재료에 전기 에너지를 직접 또는 간접적으로 공급하여 그때 발생하는 열(저항열, 아크열, 유전 가열) 에너지로 용해시킨다. [표 5-4]는 전기로의 종류를 분류한 것이다.

[표 5-4] 전기로의 종류

전기로	아크로	직접아크로	Herault 전기로	강,가단주철,주철
		간접아크로	Detroid 전기로	주철,동합금,백색합금
	유도전기로	고주파유도로		강,주철,특수합금
		중주파유도로		
		저주파유도로	유심형(채널형)	주철,동합금,다이캐스트합금,알루미늄합금
			무심형(도가니로)	주철,가단주철
	저항전기로	도가니형저항 전기로	니크롬저항전기로	경합금
		탄소저항전기로	용커스저항로	강,주철

17) NCS 분류번호 : 주철 용해 작업(1601030117_16v4), 비철금속 용해작업(1601030118_16v4)

1) 전기로의 특징

- ① 주조용 금속은 연료의 연소열로 가열, 용해하는 것이 아니므로 용해할 때 나쁜 영향을 받는 일이 적다.
- ② 용탕의 온도를 저온에서 고온까지 광범위하고 정확하게 조절할 수 있다.
- ③ 열효율이 약 60% 정도이며, 작은 용량에서부터 큰 용량까지 설치할 수 있다.
- ④ 주조용 금속의 용해 손실이 매우 적다.
- ⑤ 용탕의 성분 조절이 쉽고, 인건비가 절약된다.
- ⑥ 전력 및 내화 재료 등의 유지비, 설치비가 많이 든다.

2) 전기로의 종류

(가) 저항로

저항로는 노의 내부에 니크롬, 철크롬 또는 탄화규소 등의 저항 발열체를 부착하고 여기에 전류를 통해 발생하는 열을 열원으로 이용하는 노이다. 최고 사용온도는 니켈-크롬계, 철-크롬계인 경우 900~1,100℃, 탄화 규소계의 경우 1,300℃까지다.

저항로는 금속의 열처리, 분말 금속의 소결 및 여러 가지 도장 건조용 등의 공업용 노로 쓰이며, 또 학교 연구실의 실험용 등으로 널리 쓰인다.

저항로의 특징은 온도조절이 용이하며 균일도가 높다. 용해할 때의 분위기 조절이 용이하다. 소음과 분진이 적어 작업환경이 깨끗하다는 이점이 있다. 또한 에너지의 단가가 높다는 단점이 있으나 알루미늄과 같은 경합금, 아연과 같은 저융점 금속의 용해와 다이캐스팅에 있어서의 보온로로 많이 사용되고 있다.

(나) 아크로

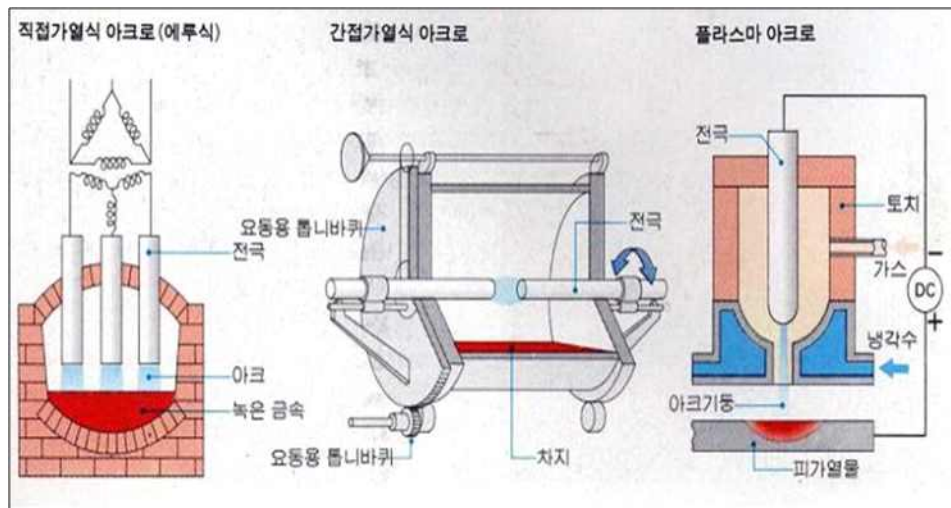
아크로는 전극 사이에 발생하는 아크를 열원으로 사용하는 것으로 직접 아크로와 간접 아크가 있다.

(1) 직접 아크로

탄소 전극과 장입 재료가 각각 한 극이 되어 직접 아크를 발생시키는 열원을 이용함으로써 이때 발생된 아크의 복사열과 반사열에 의해 장입재료를 용해한다. 1,800℃ 정도의 고온이 발생하므로 주강, 회주철, 특수 주철 및 가단 주철의 용해에 널리 쓰이며, 쿠파라에서 경제적으로 용해한 용탕을 이 노에서 정련하는 2중 용해법에 사용되기도 한다. 열효율은 각종 용해로 중에서 가장 높으며 신속하게 가열할 수 있고, 용금의 온도를 정확하게 조절할 수 있는 장점이 있다. 특히 화학조성이 복잡한 합금의 용해에 좋다.

(2) 간접 아크로

간접 아크로는 탄소 전극 사이에 발생하는 간접적인 열에 의하여 용해한다. 온도가 낮고 용해율이 낮기 때문에 주로 융점이 낮은 구리 합금 및 합금 주철 등의 용해에 사용된다. [그림 5-5]는 아크로의 종류를 나타냈다.



[그림 5-5] 아크로의 종류

(다) 유도 전기로

유도로는 전자유도에 의한 열이 장입재료를 가열하여 용해하는 노이다. 유도로의 유도 코일에 전류가 흐르면 도전 재료(장입 금속)는 변압기의 2차 코일로 작용하여 장입 금속에 유도 기전력이 발생한다. 이 기전력에 의해 발생하는 와전류가 임의의 저항을 가진 도체 내를 흐르면 그 도전 재료에 주열[J] 열이 발생하는데, 전도성이 있는 어떠한 금속도 유도로를 이용하면 용해시킬 수 있다.

유도로는 1차 코일에 공급되는 전류의 주파수에 따라 고주파 유도로, 저주파 유도로로 분류한다. 또한 노 내부의 철심 유무에 따라 철심형 유도로, 무철심형 유도로로 분류하는데, 고주파 유도로는 무철심형, 저주파 유도로는 무철심형과 철심형이 주로 쓰인다. 유도로의 용량은 1회의 용해량으로 나타낸다.

유도 전기로의 특징은 가열속도가 빠르고 진공 혹은 분위기 하에서 사용 가능하며 모든 금속을 녹일 수 있다. 깨끗하고 편리하며 신속하다. 교반력이 우수하여 균일한 조성으로 용해하여 합금제조에 유리하나, 금속 이외의 재료는 용해가 곤란하며 온도를 미세하게 조절하기 어려운 점도 있다.

(1) 고주파 유도로

고주파 유도로는 1차 코일의 주파수가 1,000~10,000Hz이므로 용해시간이 짧다. 온도조절이 쉬우며 용탕의 교반작용이 강해 균일한 성분을 얻을 수 있으며, 고온 용해를 할 수 있으므로 공구강, 고합금강, 스테인리스강, 자석강 등의 용해 작업에 이용되고 있다. 또한 1회만의 조업도 가능하며, 유도로 용해 초기에 노 안에 넣는 스타팅 블록이나 잔류 용탕이 필요 없다는 특징이 있다.

(2) 저주파 유도로

저주파 유도로는 50~60Hz의 교류 전류를 이용하며, 철심형 저주파 유도로와 무철심형 저주파 유도로가 있다.

(3) 철심형 저주파 유도로

철심형은 노 내부의 철심에 1차 코일을 감았으며, 용탕이 있는 채널 외부에 2차 코일을 설치한 유도로이다. 용탕을 항상 철심부에 남겨 놓은 상태에서 가열하므로 균일한 용탕을 얻을 수 있다. 특히 노 밑에서 가열되므로 아연과 같이 기화하기 쉬운 합금용해에 알맞다. 용탕의 저장량이 크면서도 전력소모가 적고 보온용 전력도 적게 들며 용해작업에 의존하지 않고 야간 용해를 하여 언제나 사용할 수 있는 이점이 있다. 대형 주물을 생산하는 소규모 주물공장에 적합하다. 그러나 용탕의 조성변화에 빨리 대처하는 융통성이 없고, 내화물의 라이닝의 비용이 크며, 라이닝 교체 시 오랜 시간이 소요되어 조업을 중단해야 한다.

(4) 무철심형 저주파 유도로

무철심형 저주파 유도로는 고주파 유도로와 구조가 비슷하지만 용해 초기에 많은 전력을 출력할 수 없어 냉재를 그대로 용해하기가 어렵다. 용탕을 남겨 놓든지 또는 미리 큰 덩어리로 만든 스타팅 블록을 장입하여 용해조업을 시작해야 한다. 용탕 성분을 마음대로 조절할 수 있는 합금화에 대해 융통성이 크다. 자기력에 의한 교반작용으로 균일하게 용탕을 만들 수 있으며, 저렴한 경비로 신속하게 라이닝을 교체할 수 있다. 단점으로 효율이 비교적 낮으며 용탕량의 수요, 공급에 대한 경직성 등을 들 수 있다.

4. 진공로 용해¹⁸⁾

가. 진공로 용해

1) 진공의 이용

금속을 용해하면 공기 중의 산소, 수증기 및 질소가스 등의 용탕 유입에 의해 재료가 취약화될 수 있다. 용융 금속과 대기와의 접촉을 차단하기 위해서는 아르곤, 헬륨 등의 불활성 가스의 보호 분위기를 사용하거나, 진공 하에서의 용해를 하게 된다. 진공에서는 고온에서 환원, 불순물의 증발 등에 의한 정련이 기대되므로 진공 용해의 적용이 점차 확대되고 있다. 완전한 진공을 만들기가 매우 어렵기 때문에 보통 “대기압보다 낮은 압력의 기체로 가득차 있는 특정의 공간 상태”라고 생각하면 된다. 진공으로 만든 용기 내에 남아 있는 기체의 압력을 그때의 진공도라 한다. <그림 5-6>처럼 대기압 이하의 진공 상태를 만들기 위해서는 송풍기나 압축기가 사용되며, 피스톤의 왕복 운동을 이용하는 왕복식, 모터의 회전 운동을 이용하는 회전식이 있고, 수봉식 진공 펌프, 유확산 펌프, 수은 확산 펌프, 이온 펌프 등이 있다.

18) NCS 분류번호 : 주철 용해 작업(1601030117_16v4), 비철금속 용해작업(1601030118_16v4)

2) 진공 용해로

진공을 이용한 용해 방법에는 대상으로 하는 금속의 종류 및 목적에 따라 여러 가지가 있다. 유도가열식 진공 용해로, 진공 아크로, 전자빔 용해로, 플라즈마 전자빔 용해로 등이 있다. 금속을 진공 용해하는 방법은 주위로부터 오염이 없고 금속 중 가스 함유량을 낮추는 등의 특징을 가지고 있다. 진공으로 유지되고 있는 용기 가운데에 무철심형 유도로를 설치하고, 도가니 내의 장입 재료를 용해하며 유도 코일이 진공용기 밖에 있는 외열식과 용해실과 유도 코일이 같이 용기 내에 있는 내열식이 있다.



[그림 5-6] 진공 용해로

(가) 진공 유도 용해법

진공 유도 용해법(Vacuum Induction Melting)은 VIM이라 하며, 유도로를 진공 중에 설치하여 용해하는 방법이다. 기본적인 형식은 유도 전기로와 같지만 유도 전류 발생장치와 진공 배기계통을 갖추고 있다.

진공 용해로의 특징은 진공 하에서 용해가 이루어지기 때문에 분위기로부터의 오염이 없다는 점, 수소, 질소, 산소 등의 가스 성분이 감소한다는 점, 활성 금속을 포함하여 성분조성이 정확하고 용이하다는 점 등을 든다, 또 열간 가공성의 개선에 효과 있고 산화물계 개재물이 감소하기 때문에 피로 특성, 충격치, 크리프 강도가 개선된다는 것도 들 수 있다.

(다) 진공 아크 용해법

진공 아크 용해법(Vacuum Arc Remelting)은 VAR이라 하며, 진공 챔버 중에서 용해하려는 소모 전극과 주형 바닥에 직접 통전하여 아크를 발생시켜 그 열로 소모 전극을 녹이는 방법이다. 고진공 하에서 수냉 동판 주형 중에 피용해제(즉, 소모 전극)를 용해하여 잇달아 그 상태대로 적층, 응고하게 된다. 이 작업을 순차적으로 소량씩 진행하면서 진공 정련, 개재물의 부상 분리, 응고조직의 개선이 이루어지며 품질이 향상된다. 또한 잉곳은 진공 중에서 응고하기 때문에 기포를 생성하기 쉽다. 진공 아크 재용해법에 의하면 용강 중의 수소, 질소, 산소 등의 가스 성분이 감소하지만 용강 중의 질소와 결합하기 쉬운 원소를 포함하면 탈 질소 효과는 감소하게

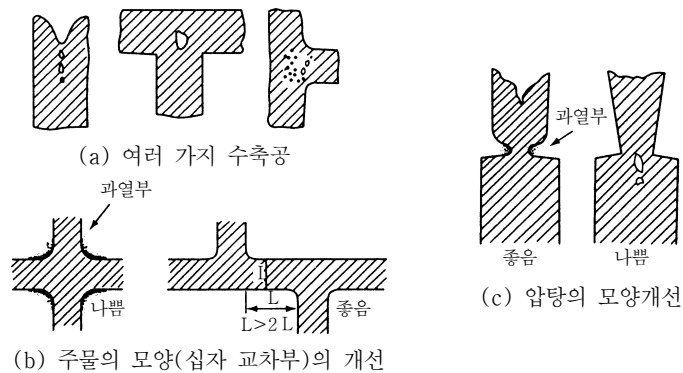
된다. 또한 불순물이나 개재물도 감소하여 기계적 성질이 개선된다. 적용 강종은 고
급강뿐만 아니라 대형 단조강에도 적용하며 초내열 합금은 진공유도 용해법과 진공
재용해법의 2중 용해공정으로 제조되는 것도 많다.

제6장 주물 결함의 종류¹⁹⁾

1. 주물결함과 방지대책

가. 수축공(shrinkage cavity)

주형에 주입된 용탕은 주형 외벽에서부터 냉각, 응고되기 시작하여 점차 내부 또는 상부로 응고가 진행된다. 응고될 때 수축에 의해서 용탕이 부족해지고 최종응고부위에는 공동(空洞)이 생긴다. 이를 수축공이라 한다. 최종 응고부는 냉각이 가장 늦어지는 부분이며 주물의 두꺼운 부분, 교차부분, 주형이나 코어 등에 의한 과열부가 여기에 해당된다. [그림 6-1]은 주물의 각종 수축공을 나타낸 것이다.



[그림 6-1] 주물의 수축공

1) 발생원인

(가) 주조방안의 불량

탕도계 방안 특히 압탕의 위치와 크기 및 모양이 부적당하여 용탕의 보급이 적절하지 않을 때 생긴다.

(나) 주물의 모양과 주형재료의 불량

주물의 모양에 있어, 용탕의 보급이 곤란한 위치에 살이 두꺼운 부분이 있거나 과열부가 생기는 모양은 수축공을 발생시킨다. 십자교차부 또는 돌출된 코어가 용탕으로 둘러싸이는 곳에는 과열부가 생기며 여기에 접하는 주물 부위에 최종응고부가 발생하고 용탕의 보급이 되지 않아 수축공이 생긴다. 주물의 종류와 모양에 따른 수축공 발생량을 [표 6-1]에 나타낸 것이다.

19) NCS 분류번호 : 주조 품질관리(1601030121_16v4), 특수주조 품질관리(1601030811_18v1)

[표 6-1] 주물의 모양, 종류에 따른 수축공 발생

주물모양	주형종류	수축공 발생량(cm ²)
구형	가스주형	1.6~1.7
구형	생형	8.7~8.9
장방형	가스주형	2.7~5.2
장방형	생형	47.6~52.7

(다) 용탕의 재질 부적당

주철주물에서는 용탕의 화학조성에서 흑연화에 큰 영향을 미치는 탄소, 규소함량이 적으면 수축공의 발생이 많아진다. 인이 많아지면 수축공 발생이 증가된다. 주철주물에서 탄소와 수축공의 관계를 보면 <표 6-2>와 같다. 화학조성 외에 용탕이 산화되면 정상적인 것에 비하여 수축공이 발생이 많아진다.

[표 6-2] 탄소함유량과 수축공 발생량

탄소 함유량(%)	3.78	3.20	2.60
수축공 발생량(%)	33.0	63.0	100.0

2) 방지대책

- ① 수축공을 압탕 내로 유도하기 위해서 주물의 하부에서 상부로 방향성 응고가 진행되도록 주조방안을 결정해야 한다.
- ② 주물의 두께를 될 수 있는 대로 얇게 하고 주입온도를 필요 이상 높이지 말아야 하며 주입한 용탕이 장시간 용융상태에 있지 않게 해야 한다.
- ③ 살두께가 같은 주물에서는 분리면에 따라 압상 게이트로 주탕하고 압탕이 필요치 않다. 살두께가 다른 주물에서는 두꺼운 부분에서 가장 멀리 떨어진 얇은 부위에서부터 주탕하고 급탕이 곤란한 과열부의 냉각에는 충분한 냉금급속을 붙여야 한다.
- ④ 충분한 용탕정압을 얻을 수 있도록 높은 탕구를 사용해야 한다.
- ⑤ 응고수축이 적은 합금(C, Si 등은 수축을 감소시킴)을 선택한다.

나. 가스구멍(기공), 미세공

용탕 중에 함유된 가스가 응고시 석출되어 주물 속에 남아 있거나 탕구방안의 잘못된 곳으로 공기가 흡입되어 잔류하는 경우, 주물 내에 공동이 생긴다. 큰 공동은 기공(blow hole), 작은 공동은 미세공(pinhole)이라 하며 실제 수축공과 엄밀히 구별하기 어렵다. 기공상태가 수지상의 모가 난 경우 수축공, 입상 또는 긴 원형의 경우 기공이라 할 수 있지만 비철금속의 미세공의 경우 판정이 어렵다.

1) 발생원인

(가) 용탕의 주입불량

용탕에 가스가 다량 함유되었거나 또는 주입시에 공기가 말려들어가면 가스구멍이 생긴다.

(나) 주형의 코어의 불량

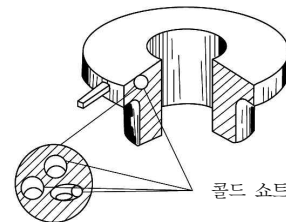
주물사 또는 코어 모래가 수분이 많거나, 주형이나 코어에서 가스발생이 많은 경우, 또 주형이나 코어의 통기성이 나빠 가스의 배출이 잘 안될 때 생긴다. 코어의 통기성이 나쁘면 코어와 주물이 접하는 부위 가까이에 가스구멍이 생기며 주물사의 통기성 불량으로 생긴 가스구멍은 주물이 주물사와 접하는 표면 근처에 집중된다.

(다) 콜드쇼트를 수반한 가스구멍

주입방법이 나쁘거나 탕구방안이 부적당하면 주입초기에 용탕이 튀어 주형 벽에 둥근 모양으로 응고된 콜드쇼트(cold shot)가 생긴다. 이 콜드쇼트는 그 뒤에 유입된 용탕과의 상호반응으로 가스층이 생겨 용탕에 융합되지 않는다. 이 가스개재층이 가스구멍으로 된다. [그림 6-2]은 콜드쇼트를 수반한 가스구멍을 나타낸 것이다.

2) 방지대책

- ① 주형에 충분한 배기공을 설치하고 탕구방안을 개선한다.
- ② 주물사(주형 및 코어)의 수분함량을 조절하고 적절한 건조처리를 한다.
- ③ 탕도의 높이를 조절하고 압탕으로 용융금속에 압력을 가한다.
- ④ 용해온도를 너무 높게 하지 않는다.
- ⑤ 장입재료의 관리를 철저히 하여 N_2 , H_2 등의 양을 감소시킨다.

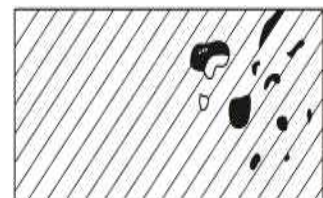


[그림 6-2] 콜드쇼트를 수반한 가스구멍

다. 주물표면의 결함

1) 개재물(inclusion)

레이들에서 용제가 주입방법이나 탕구방안의 불량으로 주물 내에 혼입되거나, 탕도 및 주형 일부가 강도부족 또는 탕구방안 잘못으로 주물 내에 들어가거나, 금속의 산화물이 주물 내에 혼입되어 주물 내에 형성되는 것을 말한다.([그림 6-3] 참조)



[그림 6-3] 개재물 혼입

□ 방지대책

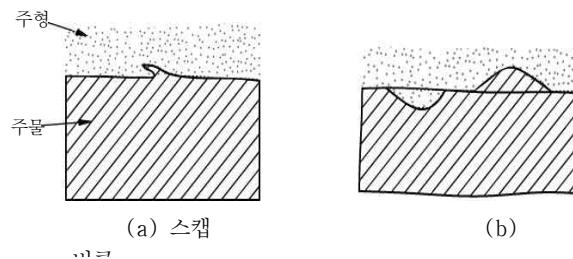
- ① 용탕운반시 슬래그 처리를 완벽히 한다.
- ② 용탕주입시 비금속 이물질의 주입을 막기 위해 필터를 사용한다.
- ③ 레이들의 선정에 유의하여 개재물의 침입을 방지한다.
- ④ 탕구방안의 개선을 통해 주물사의 혼입을 막는다.
- ⑤ 주물사에 점결제의 첨가량을 증가시킨다.
- ⑥ 모래를 균일하게 다지고 주형을 조심스럽게 취급한다.
- ⑦ 모형 표면에 결함이 없어야 하며 적당한 원형빼기 기울기를 붙여야 한다.

2) 파임(scab), 꾸짐(buckle)

주형이 팽창하여 주물사 뒤로 용금이 넘어들어가 응고하는 경우(주형의 팽창에 의한 파임), 용탕의 교란, 주형 중의 수탕의 비등 등에 모래의 일부가 제거되고 이곳에 응고되는 경우(침식에 의한 파임), 또는 용탕의 열적 현상으로 주형표면이 일부 들고 일어나면서 갈라지고 그곳에 흠이 생기는 경우(꾸짐) 등이 발생하는 것을 말한다. [그림 6-4]는 스캐프 및 버클을 나타낸 것이다.

□ 방지대책

- ① 주물사의 강도를 높이고 수분함량을 조절한다.
- ② 첨가제(seacoal, pitch, asphalt) 등을 적당히 첨가하여 주물사의 팽창을 줄인다.
- ③ 주입온도를 낮추고 주입속도를 높인다.



[그림 6-4] 주물의 표면 결함

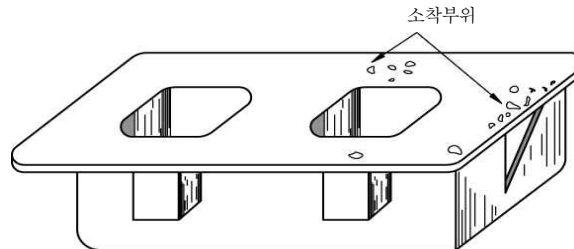
3) 소착

주형과 용탕간의 반응에 의해 주물사가 주물표면에 용착되어 표면이 거칠어지는 현상으로 주물사의 내화도가 낮거나, 국부적인 과열현상이 있거나 주형의 밀도가 낮을 경우에 발생한다. [그림 6-5]는 주물표면에 모래가 소착(sand burning)된 예를 나타낸다.

□ 방지대책

- ① 충분한 내화성을 갖는 주형재료를 사용한다.
- ② 조형시에 모래다짐을 규정대로 하고 경도를 검사한다.
- ③ 국부적으로 과열되는 주형 부분에는 핀 또는 못 등의 형지를 사용한다.
- ④ 건조형, 가스주형 등에는 내화도가 높은 양질의 도형제를 도포한다.
(지르콘 및 크롬마그네사이트 도형제)

- ⑤ 생형의 경우에는 주물사에 소착방지 첨가제를 배합한다. 25%이상의 휘발성분을 갖는 석탄분이 첨가제로 적당하다.
- ⑥ 대형주물의 경우에는 주물사로서 크롬마그네사이트, 샤모트모래를 사용한다.



[그림 6-5] 주물표면에 모래가 소착된 예

4) 용탕경계(cold shut)

주형 내에 용탕이 합류될 때 그 경계면이 완전히 용융되지 않아 형태가 생기는 것을 말하며 또는 용탕의 온도가 낮아서 용탕이 완전히 용착하지 못하고 기계적으로 접촉되어 있는 결합을 말하며, 주입온도가 너무 낮을 때, 주입속도가 느릴 때 또한 넓은 면적의 부분을 수평하게 해서 주입할 때에 생기며 가는 흠으로 나타난다.

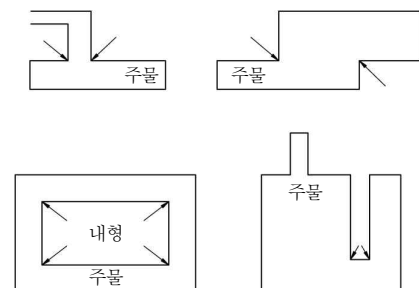
□ 방지대책

- ① 용탕의 유동성은 주입온도, 용탕의 화학조성, 탕구방안 등에 따라 영향을 받는데, 규정된 주입온도 및 주입속도를 지키고 주입온도가 떨어지지 않도록 한다.
- ② 탕구계에서 탕구나 주입구의 단면적을 적절하게 하여 용탕의 유입이 잘 되도록 해야 한다.
- ③ 용탕의 산화피막은 합류된 두 용탕의 완전한 용융을 방해하므로 용탕의 산화를 막아야 한다.

라. 균열(crack)

1) 열간균열(hot tear crack)

주물이 응고될 때 고온에서 응고수축이 저지되어 균열이 발생하는 것을 말하며 재질 자체 수축이 심하거나 압탕효과가 적을 때 주물의 핫 스폿(hot spot) 부위에서 많이 발생한다. 주물의 핫 스폿이란 용탕의 흐름에 의한 주물 표피부의 응고가 특히 늦은 지점을 말하며 주입구 부근, 코어의 모서리, 주물의 흠이 생긴 모서리, 용탕의 흐름이 심한 곳 등이 이에 해당한다. [그림 6-6]은 핫 스폿의 발생이 용이



[그림 6-6] 핫 스폿이 생기기 쉬운 곳

한 곳의 예이다. 일반적으로 열간균열은 탄소강은 1250~1450℃, 주철은 1050~1100℃ 정도에서 많이 발생한다.

□ 방지대책

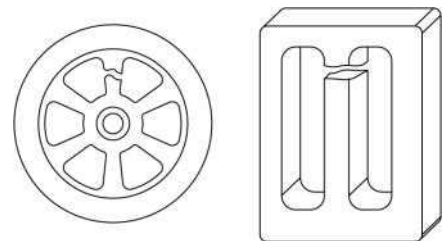
- ① 주물 두께의 급격한 변화가 없도록 주형을 설계한다.
- ② 연결부위나 코너(corner) 부위를 가급적 줄인다. 주물과 주형이 걸리는 것이 적도록 한다.
- ③ 최종 응고부위에 냉금을 부착시켜 응력 발생을 방지한다.
- ④ 합금의 함량을 조절한다.

2) 냉간균열

주물이 불균열하게 냉각되었을 때 잔류응력이 저온이 될수록 주물의 인장력부위의 결합부에서 고속으로 집중되어 균열이 일어난다. 냉간균열(cold crack)은 결정의 벽개면을 따라 발생하므로 열간균열과는 쉽게 구별할 수 있다. 주로 주물의 두께가 불균일하여 냉각이 불균일해짐으로써 응력집중부위가 생기거나, 주형이나 코어의 수축이 주물의 냉각수축과 차이가 심하거나, 후처리시 충격을 주었거나, 주물의 인성부족 때문에 발생한다. [그림 6-7]는 냉각중 생기는 수축균열의 예를 나타낸 것이다.

□ 방지대책

- ① 주물의 두께를 균일하도록 설계하거나 압탕, 탕구, 냉금의 배치를 적절히 하여 균일한 냉각이 되도록 한다.
- ② 주형에 첨가제(피치, 목분) 등을 배합하여 수축성을 준다.
- ③ 주물의 후처리시 충격을 주지 않는다.
- ④ 냉간균열의 우려가 심한 주물은 상온까지 냉각시키지 말고 재가열하여 응력완화 및 인성부여 조치를 취한다.



[그림 6-7] 냉각중 수축균열

마. 주탕불량(misrun)

용탕이 주형을 완전히 채우지 못하고 응고된 것을 말하며 용금의 유동성이 나빠거나, 주입온도가 낮거나, 탕구방안이 잘못되어 주입속도가 늦거나, 주형의 예열이 부적당할 때 또는 넓은 주물의 수평주입시에 발생한다.([그림 6-8] 참조)



[그림 6-8] 주탕불량

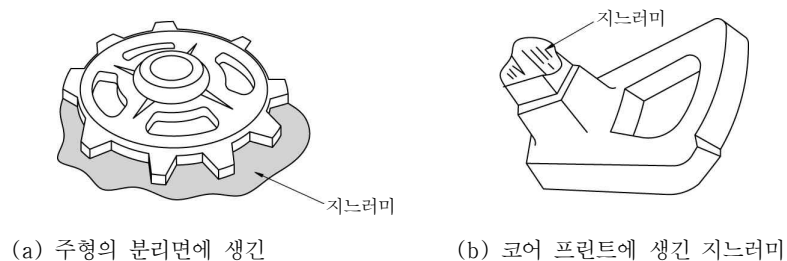
□ 방지대책

- ① 탕구방안을 개선한다.
- ② 주입온도, 주입속도, 금형의 경우 예열온도를 높인다.
- ③ 가스배출이 잘 되도록 배기공의 수를 늘린다.
- ④ 충분한 압탕을 준다.

바. 지느러미(귀 : fins)

주형의 접합이 불완전한 경우 또는 코어와 주형에서 코어프린트 사이가 들떠 있을 때 여기에 용탕이 들어가 얇은 지느러미 모양의 살로 되는 경우와 용탕의 압력에 의하여 주형의 바깥쪽 등이 팽창하여 여분의 살로 된 것이다. [그림 6-9]은 주물의 지느러미를 나타낸 것이다.

이는 주물을 사용할 수 없는 결함은 아니지만 이 지느러미는 냉각이 빠르므로 마치 냉금을 대어 놓는 것과 같은 역할을 하여 주물에 냉금효과가 나타나 균열이 발생할 수 있다.



[그림 6-9] 주물의 지느러미

□ 방지대책

- ① 원형, 주형상자의 점검을 철저히 하여야 한다.
- ② 코어의 부착, 주형의 접합작업을 정확히 한다.

사. 치수불량

주형상자의 조립이 잘못되었거나, 코어 및 원형이 변형되거나 이동되었을 때, 또는 주물사의 선정이 잘못되었을 때 치수불량이 생길 수가 있다.([그림 6-10] 참조)



[그림 6-10] 수축에 의한 치수불량

□ 방지대책

- ① 원형의 보관에 주의하며 재사용시 치수변화를 점검한다.
- ② 금속의 수축률을 고려하여 주물자의 선정을 유의하여야 한다.
- ③ 주형상자의 연결핀의 고정 및 분할선의 이물질 제거 등에 유의해야 한다.

아. 어긋남(shift)

주형에 분리면에 서로 이가 맞지 않아 생긴 결함이며, 주형 맞추기 작업의 불량에서 오는 결함이다. 그 대책으로는

- ① 원형의 돌기부의 위치를 틀리지 않게 하여야 한다.
- ② 상형과 하형의 접합을 완전하게 한다.

자. 냉금 냉경화

냉금은 주물의 냉각이 지나치게 빠른 경우에 발생하는 결함이며, 주물의 일부가 백선으로 냉금화한 것이며 대부분 살이 얇은 곳에서 발생한다. 방지대책으로는 냉금이 발생한 부분에 용탕을 돌도록 흐르게 하여 응고를 지연시킬 필요가 있다.

2. 주물검사²⁰⁾

가. 외형검사

주물은 주방상태로 또는 기계가공하여 기계부속품으로 조립하여 사용되고 있다. 특히 주철주물은 복잡한 형상을 갖고 강도를 요하며 또는 주강품의 대용으로 깨끗한 표면의 외관을 필요로 하는 곳에 많이 쓰인다.

1) 표면의 거칠기 검사

표면의 거칠기는 주물의 조형방법과 주물의 크기, 주물사위 입도 등에 따라 좌우되며 제작사 사양서에 맞추어야 한다. 최근에는 주물표면의 도장비용을 절약하고 주물 또는 주물 원형에 가까운 모양을 갖게 하기 위해서 표면거칠기에 대한 관심이 많다. 특히 시험기구와 같은 소형기계 및 장식품, 일용생활품 등은 외관 모양검사가 재질검사 보다 중요하다. 표면거칠기의 검사는 한도건본으로 많이 하게 되고 거칠기가 심한 것은 적절한 다듬질처리를 하여야 한다. [표 6-3]은 표면거칠기에 대한 기준표의 예이다.

20) NCS 분류번호 : 주조 품질관리(1601030121_16v4), 특수주조 품질관리(1601030811_18v1)

[표 6-3] 표면거칠기

주형의 종류	기계조형 및 A급 원형으로의 손조형	일반손조형
생형주물 자경성 및 건조형주물	60S 이하 200s 이하	150S 이하 300S 이하

2) 부분적 변형 검사

주물의 표면은 아무리 좋은 원형을 갖고 정확한 조형을 했다 하더라도 용탕 주입 후 응고 냉각할 때 제품의 두께와 형상에 따라 비틀림이 생기거나 휘어질 수도 있다. 또 주물의 표면이 부분적으로 들어가거나 나왔다 하는 현상이 있다. 따라서 표면 전체의 굴곡상태를 검사하게 된다. 사용에 지장을 주지 않는 범위 내에서는 무방하나 그렇지 않을 경우에는 기계가공 또는 그라인더로서 갈아주어야 하는 불편이 있다. 따라서 주방상태 그대로 표면을 이용하는 제품은 [표 6-4]와 같은 검사를 하여야 한다.

[표 6-4] 주방품의 변형치수 허용차

주물크기	기계조형 또는 기계조형에 준한 수조형	수조형
500 이하	1/300 이하	0.8/100 이하
501~1000	11.5/300 이하	1/100 이하
1001 이상	2/300 이하	1.5/100 이하

3) 합형의 틀림 검사

주철제품은 보통 주형을 상, 하형 또는 코어를 사용해 조형하여 주입하게 되며, 그 합형자리에 핀이 생기고 또 합형시 어긋나는 경우가 있게 되는데 핀은 치수에 영향을 주지 않도록 얇게하여 외관상 핀을 제거한 자리가 깨끗해야 한다.

합형이 어긋나면 제품 전체가 틀려짐으로 치수에도 관계가 있고 중요한 부분에 불량 발생할 수도 있다. 합형 틀림은 주방품 사용제품에는 중요한 것으로 그라인더로 가공하더라도 곧 외관에 나타나게 된다. [표 6-5]는 합형 틀림의 검사표준 예를 나타낸 것이다.

[표 6-5] 합형의 허용차

주물크기	기계조형 또는 기계조형에 준한 수조형	수조형
500 이하	0.5~1 이하	1 이하
501~1000	2 이하	2 이하
1001~1600	2.5 이하	3 이하
1601 이상	-	3.5 이하

나. 치수 검사

1) 길이 검사

원형제작시 주물의 재질, 모양을 고려하여 수축률을 잘 결정해야 한다. [표 6-6]은 길이 치수의 허용공차를 나타낸 것이다.

[표 6-6] 주방품의 길이치수의 공차

주물크기	기계조형 또는 이에 준한 정밀급	손조형보통급
100 이하	± 1	± 1.5
101~200	± 1.5	± 2
201~400	± 2	± 3
401~800	± 3	± 4
801~1600	± 4	± 5
1601~3150	-	± 6
3150 이상	-	± 7

2) 두께 검사

주물의 두께는 실제 원형의 크기보다는 항상 더 두꺼워지게 되며 특히 합형시 주형의 맞춤에 간격을 띄우거나 또는 코어합형시 코어의 몰림으로써 한쪽은 얇고 다른 쪽은 두꺼워지는 현상이 생긴다. 주물두께에 대한 허용공차를 [표 6-7]에 나타냈는데 제품에 따라 + 또는 - 한쪽 두께만 제한하는 경우도 있다.

[표 6-7] 주물두께의 허용공차

두께	A급 원형 또는 기계조형	A급 원형 또는 A급 원형수조형	손조형보통급
5 이하	± 0.5	± 1	± 1
6~10	± 1	± 1.5 ± 1.0	± 1.5
11~12	± 1.5	± 2	± 2
21~30	± 2	± 3	± 3
31~40	± 2	± 3	± 4
41~50	± 2.5	± 3	± 4
50 이상	-	두께의 $\pm 6\%$ $\pm 5\%$	두께의 $\pm 8\%$ $\pm 6\%$

3) 기울기의 검사

주물은 조형작업상 기울기가 반드시 필요하며 기울기가 클수록 작업이 용이하다. 다만 주물에서 기울기가 클 때 모양과 치수에 영향을 주므로 주의한다. 길이와 두께 치수는 기울기의 허용공차를 가산할 수 있다.

4) 중량검사

우리나라는 주물의 중량을 특별히 규정하지 않고 있다. 그러나 주물의 거래가 중

량단위로 되고 있어 중량이 예정보다 크다는 것은 그 만큼 주물의 값을 비싸게 하면서 기계가공의 작업량을 증대시키는 결과가 되어 수요자에게는 이중 손실을 가져온다.

주물중량은 원형의 품질향상, 기계가공 여유의 감소 등으로 저하될 수 있으므로 주물중량이 예정보다 높거나 낮으면 그 원인을 규명하여 방지대책을 세워야 한다.

5) 재질 검사

(가) 화학성분 검사

주물의 규격과 재질표시는 인장강도(kgf/mm)로 표시하지만 용도에 따라 화학성분의 표시를 더 중요시하는 경우도 있다. 공작기계의 습동면을 가진 주물, 강괴주물, 특수주물 등은 성분표시를 반드시 요구한다.

(나) 기계적 성질 검사

주물의 재질표시는 일반적으로 인장강도로서 나타내는데 같은 성분의 주물이라도 두께와 냉각속도에 따라 인장강도에 차이가 심하므로 시편 채취장소 및 방법, 크기 등을 유의하여야 한다.

6) 내부결합 검사

(가) 방사선 투과 검사

X선이나 선 등의 방사선을 투과시키면 검사부위의 두께나 밀도, 재질 등에 따라서 투과상태가 달라지는 원리를 이용하여 주물 내에 결함부위를 검사하는 방법이다. 방사선을 투사한 주물내부에 균열이나 구멍이 있으면 투과한 방사선의 세기에 차이가 생긴다. 이것을 필름에 촬영하거나 형광판에 비추어 관찰하거나 또는 방사선 계수관으로 측정하면 결함의 유무를 검출할 수 있다.

(나) 초음파 탐상 검사

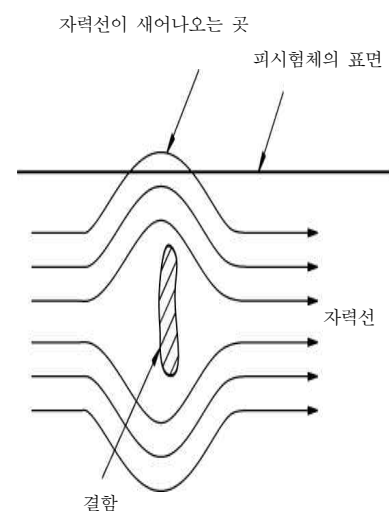
초음파는 주파수가 높아 광선과 같이 직진적(直進的)으로 전파된다. 또 물체의 경계면, 물체 중에 있는 이물질 또는 가스구멍의 경계면에서는 반사되는 성질이 있다. 이 성질을 이용하여 검사하고자 하는 주물 물체에 초음파를 보내어 내부결합의 검사를 하는 것이다.

(다) 자기 탐상 검사

여러 가지 방법이 있으나 자분검사법이 보통 사용된다. [그림 6-11]과 같이 강자성체인 주물을 자화(磁化)시키면 자력선이 흐르게 된다. 표면이나 표면에 가까운 내부에 결함이 있으면 자력선이 새어나와 자극이 생겨 여기에 철가루를 살포하면 자분모양이 발생하기 때문에 결함이 검출된다.

(라) 형광침투 탐상 검사

검사하려는 주물 표면을 깨끗이 한 후 형광염료를 용해시킨 침투액을 도포하면 모세관 현상에 의해서



[그림 6-11] 자분탐상시험법의 원리

결함내부로 스며들어간다. 표면에 남은 침투액을 완전히 씻어낸 후 건조시키고 현상제를 다시 칠해 결함에 스며들어갔던 형광물질이 밖에 나타나게 하여 자외선을 비추면 형광에 의해서 균열, 다공성기포 등이 검출된다.

이상의 각종 비파괴 검사법의 특징을 정리하면 [표 6-8]과 같다.

[표 6-8] 각종 비파괴 시험법의 특징

경사의 종류	결함의 검출			장점	단점
	표면 결함	내부 결함	재질 변화		
방사선 투과		○		1. 결함의 종류를 안다. 2. 결함의 분포를 안다.	1. 결함의 위치결정 복잡 2. 300mm 이상 살두께에는 적용 곤란 3. 설비, 검사비용 고가
초음파 탐상		○	○	1. 조작 간단 2. 두꺼운 주물에도 적용가능	1. 결함의 정량적 판정 곤란 2. 탐상면에 대한 준비 필요
자분탐상	○			1. 균열성 결함 검사에 적당 2. 표면 가까운 곳의 결함 검출 가능	1. 핀홀, 가스구멍의 검출 감도가 낮다. 2. 자분모양의 판정 곤란
침투탐상	○			1. 기포성 결함 검출에 적당 2. 조작 간단, 비용 저렴	1. 모세균열 검출감도가 낮다. 2. 검출감도가 표면거칠기에 크게 영향을 받는다.

제7장 주물의 후처리²¹⁾

1. 주형의 해체

가. 주물의 후처리

1) 주입

용탕을 주입할 때에는 그 전에 압상력을 고려하여 주형상자 위에 중추를 올려놓거나 상하 주형상자를 볼트로 고정해 용융금속의 압력을 견딜 수 있도록 해야 한다. 주입 온도가 너무 높으면 조직이 조대화되고, 온도가 너무 낮으면 성분이 불균일하게 되거나 유동성이 떨어지므로 적당한 온도에서 가능한 빠른 속도로 주입하는 것이 좋다.

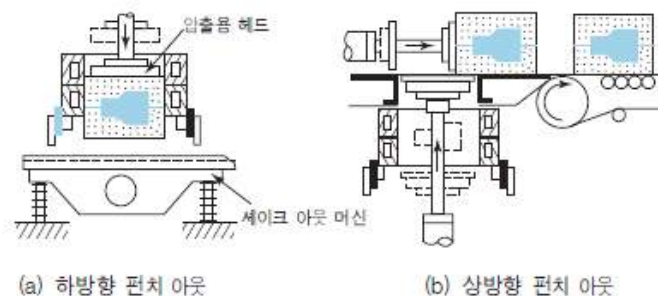
2) 주입 후 처리

응고된 주물을 주형에서 분리시킨 후 주물에 붙어 있는 주물사나 내화물을 진동 또는 블라스트(Blast)로 제거하여 주물표면을 청정하게 한 후 압탕 및 탕도 등의 탕구계를 제거하고, 주물을 다듬질 및 보수 후 열처리하는 작업을 진행하게 된다.

나. 탈사

1) 펀치 아웃 머신

펀치 아웃 머신(punchout machine)은 주형틀 속에 들어있는 모래와 주물을 꺼내기 위한 장치로 정반을 분리하고 주형, 정반의 순서로 분리장치 위에 이송시켜 상부에서 압출용 헤드펀치가 하강하여 모래와 주물을 셰이크아웃 머신 위에 하강시킨 후 주형틀을 진동체 위에 올려놓고 진동시키는 방식이다. [그림 7-1]은 상방향 및 하방향 펀치 아웃 머신의 예를 나타낸 것이다.

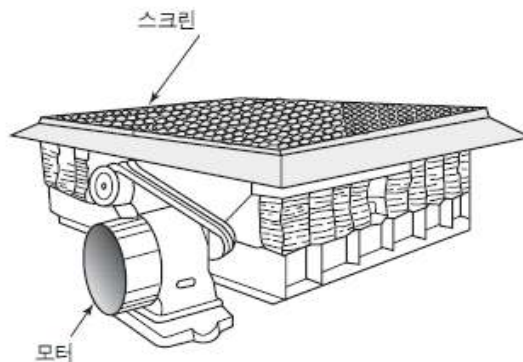


[그림 7-1] 펀치 아웃 머신

21) NCS 분류번호 : 주조품 후처리(1601030107_14v3)

2) 셰이크 아웃 머신(Shakeout machine)

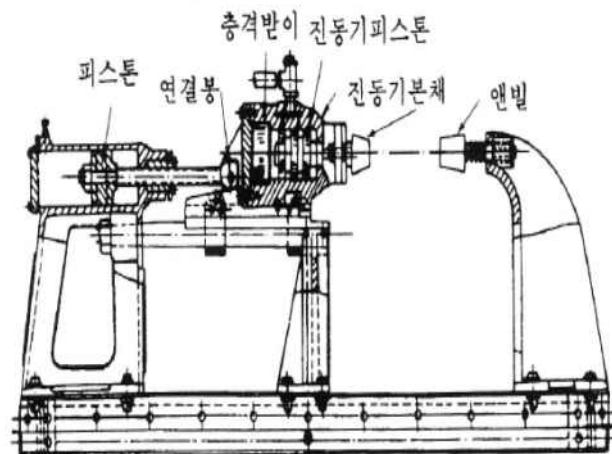
셰이크아웃 머신은 진동대 위에 주입이 끝난 주형틀을 올려놓고 진동을 주어 주물과 모래를 분리하는 장치로 현수식, 편식구동축 방식, 언밸런스 웨이트 방식 등이 있다. 현수식은 주형틀이 크거나 제품 중량이 무거운 경우에는 주형틀을 대형 바이브레이터에 부착된 훅(hook)에 매달아 모래를 터는 방식이다. 편식구동축 방식과 언밸런스 웨이트 방식은 주물을 진동대 위에 올려놓고 모래를 터는 방식이다. 떨어져 나온 모래는 아래쪽 벨트 컨베이어, 모래받이 등을 통하여 회수할 수 있다. [그림 7-2]는 셰이크 아웃 머신을 나타낸 것이다.



[그림 7-2] 셰이크 아웃 머신

3) 녹아웃 머신(Knockout machine)

이 방식은 주물에 진동을 가하여 코어의 모래 떨기를 하는 기계로서 기름 코어와 같은 비교적 모래 떨기가 용이한 경우에 사용된다. 그림 <그림 7-3>은 녹아웃 머신의 예를 나타낸 것으로 앤빌로 주물을 지지한 후 녹아웃 머신 본체에 부착된 진동 피스톤의 진동으로 코어 모래를 떨어내도록 되어 있다.

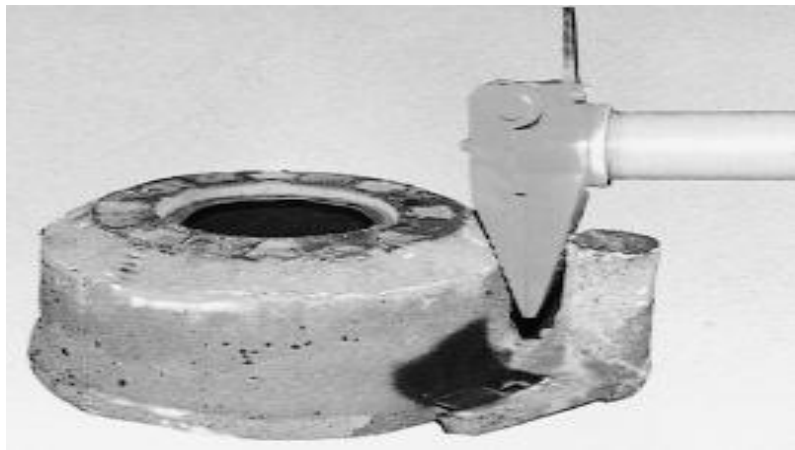


[그림 7-3] 녹아웃 머신

2. 탕구계 및 압탕의 제거²²⁾

가. 파단

형 해체와 동시에 탕구계 및 압탕을 절단하여 주물로부터 분리시키는 것이 가장 일반적이다. 회주철 및 가단 주철용 백석 등과 같이 취성이 있는 재질의 경우에는 셰이크 아웃 머신 위에서 진동의 충격으로 자연히 절단되는 것도 있지만 대부분 [그림 7-4]와 같이 진동기계를 사용하여 탕구계를 제거한다.



[그림 7-4] 진동에 의한 탕구 제거

비교적 단면적이 큰 구상흑연 주철 및 가단주철의 압탕 등을 제거할 때는 탈사에 의한 자연 분리가 불가능하므로 망치 등을 사용하여 제거하는 것이 보통이다. 대량 생산 제품은 전용 치공구를 사용하여 유압 프레스 및 공기 해머에 의해 압탕을 절단하는 방법도 있다.

다이캐스팅 제품의 경우에는 비교적 게이트가 얇기 때문에 금형으로부터 꺼낸 후 망치로 가볍게 두드려 탕구를 절단한다. 또한 트리밍 프레스에 의해 탕구, 오버 플로우, 에어벤트 등의 분리 제거를 행하는 경우도 많다.

나. 절단

금형주조 및 저압주조에 의한 경합금 주물과 구리 합금 주물의 대부분과 주강 및 구상흑연주철, 가단주철의 일부 등의 파단이 불가능하거나 부적합한 탕구, 압탕에 대해서는 주로 절단에 의해서 분리, 제거한다. 사용하는 기계는 두께가 얇은 원형 띠톱, 원형톱, 고속 절단기 등이 있다.

22) NCS 분류번호 : 주조품 후처리(1601030107_14v3)



[그림 7-5] 탕구의 절단

다. 가스 절단 및 용단

주강에는 비교적 큰 압탕을 필요로 하고, 인성이 있는 재질이므로 파단과 절단도 곤란하고 능률적이지 못하다. 이런 강종의 경우는 산소-아세틸렌 또는 프로판 가스에 의한 가스 절단이 가장 널리 사용되고 있다.

망간이나 크롬이 많이 함유된 고합금 주강의 경우는 가스 용단 시에 생성하는 슬래그의 용융점이 높아 유동성이 나빠 제거가 어렵고, 용단면의 경화 및 균열이 발생하기 쉽다는 등의 문제가 있다. 이런 강도의 경우는 흑연 전극봉을 사용하여 아크열에 의해 용단하는 아크 용단 및 가스 절단부에 철분 또는 알루미늄 가루를 혼합한 철분 등을 공기 및 질소가스로 취입하여 그 가루의 산화열에 의한 용단 및 용융점이 낮은 슬래그 생성작용을 하는 분말절단을 사용하고 있다.

3. 주물 표면의 청정²³⁾

가. 주물의 청정

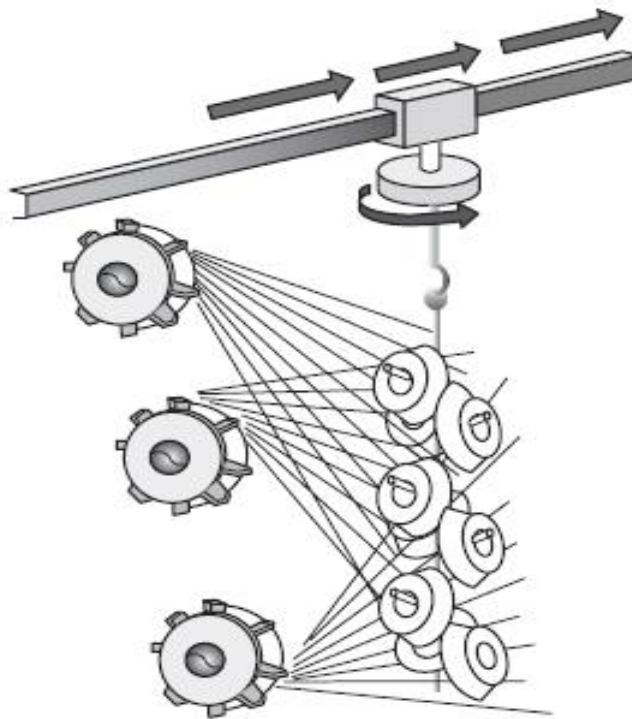
주물 표면에 붙어 있는 주물사 및 산화스케일, 불순물 제거를 청정작업이라 한다. 소량인 경우에는 수동으로 와이어 브러시를 사용하지만, 일반적으로 산업 현장에서는 슛 블라스트 또는 샌드 블라스트 머신 등을 많이 사용한다.

23) NCS 분류번호 : 주조품 후처리(1601030107_14v3)

나. 청정 작업

1) 쏿 블라스트(shot blast)

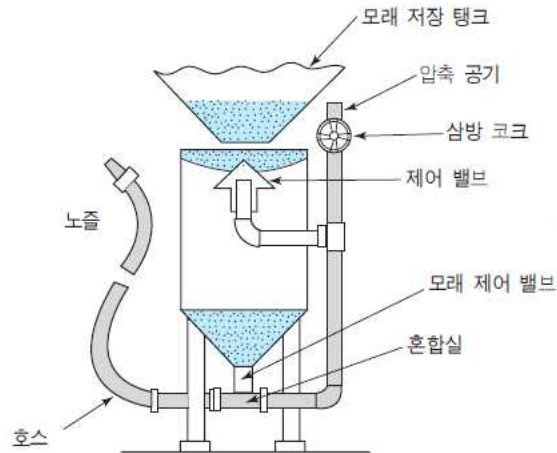
고속으로 회전하는 임펠러를 이용하여 쏿(shot), 컷 와이어 및 그릿(grit)을 주물 표면에 분사하여 깨끗이 하는 장치이다. 쏿은 구상으로 되어 있고, 그릿은 쏿을 분해해 만들어진 것이며, 컷 와이어는 탄소 함유량에 따라 20C, 40C, 60C 등의 종류가 있다. 이 장치는 쏿 투입장치, 투사장치, 회수장치 및 집진장치 등으로 구성되어 있다. 쏿을 투사하는 임펠러의 회전속도는 2,000~3,000rpm 정도이며, 쏿의 투사 속도는 60~70m/sec이다. [그림 7-6]은 행어식 쏿블라스트의 작동 원리를 나타낸 것이다.



[그림 7-6] 행어식 쏿블라스트

2) 샌드 블라스트(sand blast)

공기압축기를 사용하여 노즐을 통해 주물표면에 모래를 분사하여 주물표면을 깨끗이 하는 장치이다. 샌드 블라스트는 표면이 유연한 경합금, 구리 합금 등의 주물 표면 청정에 많이 사용되며 청정 대상 주물의 재질에 따라서 사용하는 모래알의 크기와 분사 압력이 다르다.



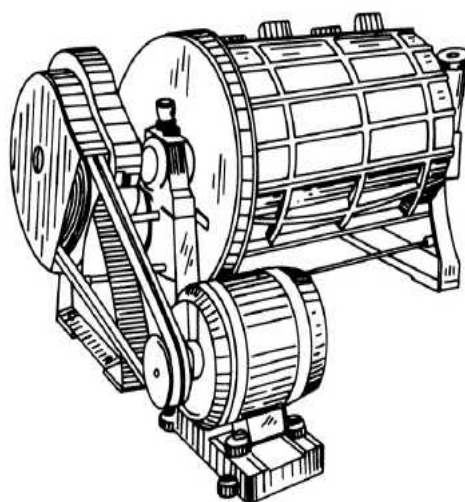
[그림 7-7] 샌드브라스트

3) 하이드로 블라스트(hydro blast)

압력이 높은 물줄기를 분사시켜 코어를 제거하는 장치이며, 주물에 부착된 모래를 제거하는 데도 사용된다. 다른 방법에 비해 먼지 발생이 없고 내부 공동부가 많은 중대형 주물의 청정에 이용된다.

4) 텀블러 블라스트(tumbler blast)

텀블러는 철제용기에 처리하려는 주물을 장입하고 다각형 철편을 넣어 매분 40~60 회 정도의 속도로 용기를 회전시켜 청정하는 장치이다. 이는 장치가 간단하고 설비비가 적게 드는 장점이 있지만, 소음이 심하고 제품 손상이 크다는 문제점이 있어 주로 소형주물의 코어 모래털기 등에 이용된다. <그림 7-8>은 텀블러 블라스트를 나타낸 것이다.



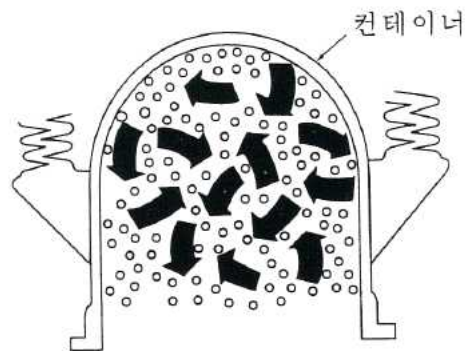
[그림 7-8] 텀블러 브라스트

5) 공기 블라스트(air blast)

압축공기를 노즐에서 분사시켜 발생하는 고속 기류를 이용하여 제품 청소를 하는 방식으로 국부 청소에 적합하다. 이 방식은 1단 탱크형과 2단 탱크형이 있다.

6) 진동 연마에 의한 청정

진동기 정반 위에 설치되어 있는 컨테이너 속에 처리할 주물과 청정 매질을 함께 장입한다. 정반이 진동하면 컨테이너도 같은 진동수로 진동하여 컨테이너 중의 주물과 청정 매질 사이에는 상호 마찰이 생기고 또 주물 내외면에 작은 충격 작용이 일어나 주물의 내외표면이 동시에 깨끗하게 된다.



[그림 7-9] 진동 청정 기구

이 청정법은 텀블러에 방법에 비해 다음과 같은 장점이 있다.

- ① 컨테이너 내의 모든 부분이 청정되므로 미처리 부분이 남지 않는다.
- ② 주물의 내부 공동이 있는 부위나 얇은 주물도 깨끗이 할 수 있다.
- ③ 소착물 및 스케일의 제거, 주물의 청정 및 연삭작업을 함께 할 수 있다.
- ④ 주물의 청정 시간이 1/1.5~1/2 정도 단축된다.
- ⑤ 기본 조작 및 부대 조작이 기계화되어 환경위생 조건이 개선된다.

7) 화학적 청정법

주물제품의 표면에 생긴 산화 피막이나 녹 등의 스케일을 산 용액에 담귀서 제거하는 방법을 의미한다. 사용하는 산으로는 황산과 염산이 주로 사용된다. 황산의 경우는 5~20% 수용액을 60~90℃로 가열하여 사용하고, 염산을 사용할 경우는 10~15% 수용액을 상온에서도 산화 스케일 제거가 가능하다.

4. 마무리 및 보수

가. 용접에 의한 보수

주물의 보수 용접은 결함의 보수 외에 열응력에 의한 변형, 균열, 재질의 변화, 왜곡 등을 초래하지 않도록 해야 하며, 응력의 집중, 습동부의 접촉 유무 등을 고려하여 가장 적합한 용접법을 선택한다.

1) 주철 주물의 보수

주철은 용접성이 좋지 않아 용접이 어려운 재질이다. 주철 중의 흑연이 용접 시에 산화되어 용착금속에 기공을 만들고, 용접부 부근의 모재는 급냉되어 백선화하여 절삭가공이 어렵게 된다. 또한 주철 주물은 형상이 복잡한 것이 많아 구조 잔류응력이 존재하므로 용접 예열 시 또는 용접작업 시 균열상을 나타내기도 한다. 이러한 결함을 방지하기 위해서는 주철 주물의 가스 용접 보수 시에는 충분한 예열이 필요하다. 따라서 주철 용접은 주철의 모양에 따라 최적의 방법을 선택해야 한다. 용접봉으로는 주철 용접봉, 연강 용접봉 및 고니켈합금 용접봉 등이 사용된다. 용접을 완료한 주철 주물은 반드시 서서히 냉각하여 용착금속의 급냉에 따른 경화를 억제하여 흑연화가 충분히 이루어져 양호한 용접부를 만들고 용접열에 의해 생긴 내부응력을 제거해야 한다.

주철 주물의 용접 시 주의 사항은 다음과 같다.

- ① 모재 금속과 이음 금속의 균일한 강도 유지
- ② 용접부에서의 가스, 슬래그 혼입의 억제
- ③ 용접부와 모재에서의 균열 억제

2) 강주물의 보수

강주물의 결함 보수에는 금속 아크 용접법이 이용된다. 이때 살붙임 금속은 그 성질이나 조직이 모재 금속과 가깝도록 보수해야 한다. 합금강이나 고탄소강의 결함 보수에 균열이 생기는 경우가 있는데 이를 방지하기 위해서는 다음 사항에 주의해야 한다.

- ① 보수해야 하는 결함 장소를 용접 전에 손질할 것
- ② 주물의 내부응력을 제거할 것
- ③ 정해진 가열, 냉각조건을 잘 지킬 것
- ④ 용접용 전극의 선택을 바르게 할 것
- ⑤ 용접 시에 살붙임 금속의 가스 흡수를 방지할 것

3) 비철합금의 보수

비철합금은 대부분 가스 용접으로 보수한다. 황동 주물의 가스 용접에는 분말 또는 페이스트 상태의 용제가 사용되며 용접봉을 용제 속에 넣어 용접 중에 용제를 입

히는 경우도 있다. 용접봉으로는 주물과 같은 합금의 주조봉이 사용되며 용제로서는 배소(roasting)한 붕사 또는 배소한 붕사 50%와 붕산 50%의 혼합물이 사용된다. 청동 주물에 있어서는 주물과 같은 합금으로 만든 직경 6~8mm의 용접봉을 사용하고 용제는 황동주물의 용접에서 사용한 것과 같은 것을 사용한다. 또 탄소전극에 의한 아크 용접도 이용할 수 있다.

알루미늄 합금 주물의 경우는 결함 장소를 청정 탈지한 후 주물 금속과 같은 합금으로 만든 용접봉으로 가스 용접한다. 염화나트륨, 염화칼륨, 염화바륨, 염화리튬, 형석 등이 주성분인 용제를 결함 장소와 용접봉에 입힌 후 용접하는 것이 좋고 주물 전체를 250~260℃까지 예열하는 것이 좋다. 용접이 끝나면 냉각 후에 용제를 깨끗이 제거해야 한다.

나. 충전재에 의한 보수

기계가공을 하지 않는 주물표면에 나타나는 많은 주물 결함은 각종 충전재나 페이스트로 보수할 수 있다. 이것은 결함 장소에 경화되어 주물 내에 남을 수 있는 특수 소재를 매꾸어 넣는 방법으로 손쉽게 주물 결함을 보수할 수 있어 주물의 외관을 개선할 수가 있다. [그림 7-10]는 충전재에 의한 보수 예를 나타낸 것이다. 사용하는 충전재의 구비 조건은 다음과 같다.

- ① 조제가 간단해야 한다.
- ② 경화 후의 기계적 강도나 화학적 내성이 충분해야 한다.
- ③ 주물 금속과의 결합성이 양호해야 한다.
- ④ 충전재의 색은 가능한 주물의 소재 색과 같거나 또는 같게 할 수 있는 것이어야 한다.
- ⑤ 경화된 충전재는 충격을 가해도 주물 금속에서 떨어지지 않아야 한다.
- ⑥ 충전재는 에멀션(emulsion), 등유 및 기름에 녹지 않아야 한다.



[그림 7-10] 충전재에 의한 보수

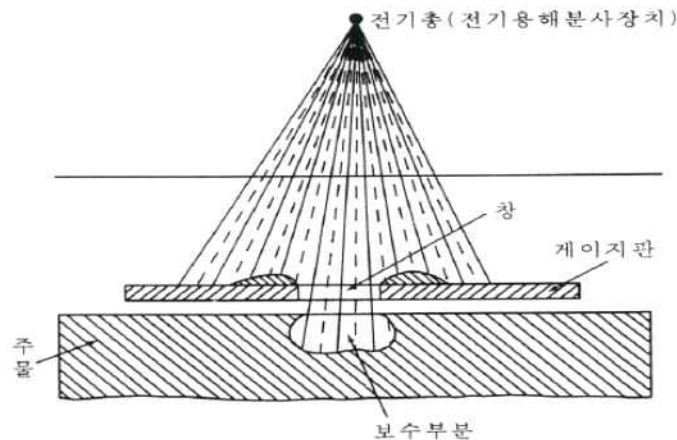
다. 침투법에 의한 보수(함침법)

침투에 의한 보수는 가압투과 시험으로 나타나는 주물의 미세한 구멍 결함에 이용된다. 수압시험으로 결함이 발견된 주물을 청정한 후 120~140℃의 건조로에서 건조

한다. 92% 에틸알콜에 녹인 베이클라이트 수지를 준비한다. 주물은 진공 장치안에 넣어 완전히 휘발성 물질을 제거한 후 50~60℃ 까지 가열하고 베이클라이트 수지를 주물의 결함부분에 가압 주입한다. 가압 주입을 1시간 정도 한 후 주물을 3~4시간 공기 건조한 다음 가열로 중에서 80~100℃ 의 온도로 2시간 가열하고, 가열로 온도를 160~180℃ 로 올려 1시간 30분 2차 가열을 한다.

라. 메탈라이징에 의한 보수

메탈라이징은 다공질, 기포 등 주물의 표면결함 보수에 사용된다. 이 방법은 전기 아크로 용해된 미세한 금속의 용적이 압축공기에 의해서 주물의 결함 장소에 분사되어 이것이 결함의 공간을 메우고 주물 모재 금속과 강하게 결합하는 것이다. [그림 7-11]은 주철 주물의 메탈라이징 보수원리를 나타낸 것이다.



[그림 7-11] 주철 주물의 메탈라이징

메탈라이징 법으로 보수하는 주물의 결함 장소는 오물, 기름 및 산화물 등의 불순물을 제거해야 한다. 또 주물표면은 아세톤이나 알콜 등으로 탈지한 후 슛블라스트 처리를 해야 한다.

메탈라이징은 결함의 깊이가 주물 단면 두께의 절반 이하인 경우에 사용할 수 있으며, 주물의 강도를 높이는 것이 아니라 단지 주물의 구멍을 메우고 기밀성을 높여 주는 것뿐이다.

마. 땀 용접에 의한 보수

땀 용접이란 피접착 금속(모재)보다 용융온도가 낮은 금속을 용융하여 접착시키는 방법이다. 보통 모재의 용융점보다 낮은 온도에서 작업이 되므로 모재가 받는 열영향이 극히 적은 것이 특징이다. 모재의 열영향이 적고 용접 시 생기는 모재의 조직

변화나 급냉에 의한 균열 또는 잔류응력의 발생 등이 아주 적으나 땀 용접은 모재보다 기계적 강도가 낮고 모재와 이종금속이기 때문에 색채가 달라 보수 부분이 눈에 띄게 표시가 난다는 단점도 있다. 그러나 최근에는 땀 용접 재료나 방법이 많이 개량되어 결점이 많이 개선되었으며, 일부 금속에서는 용접 대신 이 땀 용접을 이용하고 있다.

땀 용접에 이용되는 재료는 주석, 납, 아연 등의 저융점 금속 또는 은, 강 등의 중간 정도의 용융점을 가진 금속을 이용한다. 땀 용접은 재료의 용융점을 기준으로 하여 융점이 450℃ 이하의 땀용접 재료를 연납 땀, 그 이상인 땀용접 재료를 경납 땀이라고 구분한다.

바. 기계적 보수 방법

주물의 기공으로부터 물이나 기름 등이 새어 나올 때 용접이나 납땀 보수가 불가능한 경우에 구멍을 뚫고 나사 구멍을 내어 나사를 끼워 맞추는 보수 방법이다. 또 기계가공한 구멍의 내벽에 결함이 있는 경우 구멍을 규정 치수보다 확대 가공한 후 규정 치수의 슬리브를 압입하여 보수하기도 한다. 이때 구멍의 안지름 면과 슬리브의 바깥지름은 정밀 가공하여 밀착되도록 하여야 한다.

5. 주물의 열처리²⁵⁾

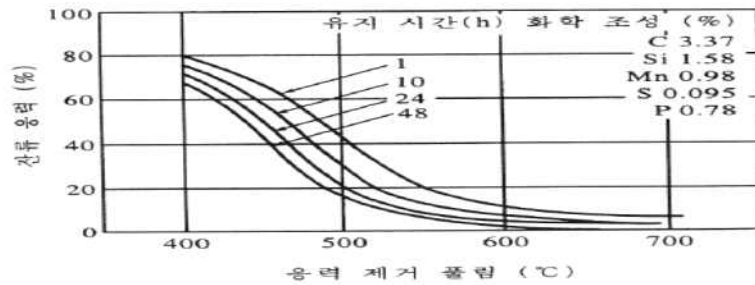
가. 열처리 목적

주물은 주방상태로 사용하는 경우와 열처리를 행하여 사용하는 경우가 있다. 주물은 그 사용 목적에 따라 알맞게 열처리하여 사용목적에 적합한 성질을 충족시켜야 한다. 즉, 주조 후 주물이 요구하는 성질을 가지도록 적당한 조건에서 각종 열처리를 실시하는 경우가 많다.

나. 주철의 열처리

주철 주물의 열처리는 주물의 잔류응력의 제거, 주조 조직의 개선 및 기계적 성질의 향상을 목적으로 실시된다. 주철의 열처리라고 하면 흑연화 열처리가 대표적이었으나, 근래에는 보통 주철도 내부 응력의 제거와 절삭성의 향상을 위하여 응력제거 풀림이나 연화 풀림을 하는 경우가 있다. [그림 7-12]는 회주철의 풀림에 의한 잔류응력의 제거효과를 나타낸 것이다.

25) NCS 분류번호 : 주조품 후처리(1601030107_14v3)



[그림 7-12] 회주철의 응력 제거 풀림에 의한 잔류 응력의 제거

다. 주강의 열처리

주강은 응고할 때 주상정 및 수지상정 등의 결정조직이 남게 되어 기계적 성질이 약하게 되며 열처리를 통해 그 재질을 개선할 수 있으므로 열처리를 시행하는 경우가 많다.

보통 주강은 주철과 마찬가지로 주조 응력의 제거, 조직의 균일화 및 결정립의 미세화를 위하여 풀림 또는 불림처리를 주로 한다.

1) 풀림

주강의 풀림은 주강품의 연화, 결정 조직의 조정, 내부응력 제거, 냉간 가공성 향상 및 기계적 성질의 개선을 위하여 실시한다. 풀림은 주강품을 적당한 온도까지 가열, 유지한 후 적당한 속도로 냉각하는 열처리법이다.

2) 불림

주강을 A3 변태점보다 20~50℃ 정도 높은 온도로 가열, 유지시킨 다음 공기 중에서 냉각하는 열처리법이다. 이러한 불림은 미세하고 균일한 페라이트-펄라이트 조직으로 만들기 위해서 사용하는 방법이다.

3) 담금질 및 뜨임

특수강 주물에서 경도가 요구되는 경우 또는 우수한 강인성이 필요한 경우에는 A3 변태점 이상의 온도로 가열한 다음, 기름 또는 물속에서 담금질을 한다. 담금질한 주강은 다시 A1 변태점 이하의 적당한 온도로 재가열하여 뜨임을 한다.

라. 비철 합금 주물의 열처리

알루미늄 합금 주물은 냉각 수축에 따른 구조변형을 제거하기 위하여 조직의 균질화 및 가공에 의한 응력의 제거 등을 위한 열처리를 한다. 열처리는 풀림과 용체화 처리, 시효 처리로 구분된다.

구리 합금 주물도 다른 주물과 마찬가지로 열처리에 의해서 기계적 성질과 기타 성질을 개선시킬 수 있다. 열처리는 균질화 처리, 풀림 및 시효 처리로 나눌 수 있다.

제8장 안전관리²⁶⁾

주물공장에서 일어나는 안전사고는 용탕에 의한 화상이 가장 많고 후처리 공정에서 철분에 의한 부상과 크레인 및 기타 시설물에 의한 사고 등이 있다.

부상의 순위를 신체상 부위별로 보면 눈, 손, 다리 및 허리 등의 순이고, 이 중에서도 철분에 의한 눈의 부상은 시력을 해치며, 손 및 다리의 부상은 용탕에 의한 화상이 대부분이다. 특히 안전사고는 작업자나 경영관리자의 정신상태와 밀접한 관계에 있으므로 다음과 같은 점에 유의한다.

- ① 안전에 대한 무관심
- ② 개인의 태도 불량과 정신적 동요
- ③ 자존심, 배타성, 경솔, 나태 등의 성격 결함
- ④ 판단착오, 과로
- ⑤ 불화, 빈곤, 채무 등의 사생활의 불안과 사회에 대한 불만
- ⑥ 교육불만 및 기술부족

사고의 원인을 살펴보면 불완전한 행동으로 인한 사고가 88%, 작업조건으로 인한 것이 10%, 천재지변 원인이 2%의 순으로 작업자의 교육과 훈련으로서 사고를 미연에 방지하도록 노력해야 한다. 안전사고의 예방을 위한 교육으로서는 다음과 같은 것이 있다.

- ① 안전에 대한 인식의 고취
- ② 사고예방에 대한 인식 고취
- ③ 사고예방 조치의 중요성에 대한 인식
- ④ 책임의 소재를 인식하게 하고 책임감 부여

구체적인 방안으로는 안전계획 수립을 위한 조직의 활동 강화로서

- ① 사고기록 검토
- ② 작업분석
- ③ 안전점검
- ④ 안전사고의 분석

26) NCS 분류번호 : 주조 안전보건관리(1601030123_16v4), 특수주조 환경·안전관리(1601030812_18v1)

1. 재해방지의 기본사항

가. 공통적 안전수칙

- 1) 기계의 안전장치에 함부로 손을 대지 않는다.
- 2) 각 작업장, 각 기계시설에 붙여놓은 안전 주의사항을 반드시 지킨다.
- 3) 보호구를 반드시 착용하고 작업한다.
- 4) 관계가 없는 기계는 일체 손을 대지 않는다.
- 5) 파손된 것은 즉시 수리해 놓는다.
- 6) 무거운 것을 무리하게 들지 않는다.
- 7) 공동작업에서는 반드시 서로 신호를 하고 작업을 한다.
- 8) 재료 운반시에는 통로가 꺾이는 곳에서 특히 주의한다.

나. 작업자의 복장에 관한사항

- 1) 몸에 맞는 작업복을 반드시 착용한다. 공장 내가 덥다고 옷을 벗어서는 절대로 안된다. 소매끝, 옷자락 등이 너풀거려 기계 등에 끼이거나 감기는 일이 없도록 해야 한다.
- 2) 안전모를 반드시 착용한다. 특별한 경우 외에는 장갑을 사용하지 않는다.
- 3) 신발은 벗기 쉬운 것이어야 하고 석면과 같은 내화재로 만들어진 것이 바람직하며, 신발의 발가락 및 발등 부분에는 강철로 된 보호관이 들어 있는 것이 좋다.
- 4) 용해, 주입작업시에는 방열복을 착용한다.

다. 작업장의 정리정돈

작업환경의 정리정돈은 안전관리의 첫걸음이라 할 수 있다. 이는 재해방지뿐만 아니라 작업능률의 증진에도 필요하다. 정리정돈을 위해 특히 유의해야 할 사항은 다음과 같다.

- 1) 재료, 공구, 예비품 등은 놓는 장소를 정하고 사용 후에는 즉시 지정된 장소에 되돌려 놓아야 한다.
- 2) 통로에는 일체 불필요한 물건이 없어야 한다.
- 3) 물건을 놓는 방법, 쌓는 방법, 벌려놓는 방법 등을 일정하게 한다. 특히 금속재료에 있어서 화학조성을 알고 있는 재료는 유사한 것끼리 모아 정리하고 섞이지 않게 한다.
- 4) 작업공정을 합리화 시켜 재료 및 제품이 공장 내에서 질서 있게 일정한 방향으로 흐르면서 작업이 이루어지도록 한다.
- 5) 안전에 대한 토의가 이루어져야 한다.

라. 운반작업시 안전사항

중량물의 취급, 특히 운반에 있어서 주의할 사항은 다음과 같다.

1) 수동 운반시

- (가) 적재방법을 안전성 있게 해야 한다. 또 앞이 가리도록 높게 적재하면 안 된다.
- (나) 적재 제한량을 넘지 말아야 한다.
- (다) 운반차를 통로에 방치하면 안 된다.

2) 천정주형 기중기

- (가) 기중기 운전은 신호를 확인하고 신호에 따라 운전한다.
- (나) 기중기의 걸고리를 정확하게 걸고 이를 확인한 후 움직인다.
- (다) 갑작스런 발진, 정지를 해서는 안 된다.
- (라) 무리하게 짐을 매달면 안 된다.
- (마) 짐을 매다는 줄은 적절한 안전율을 고려하여 선택한다.

2. 작업별 안전관리

가. 조형작업시 안전사항

1) 주물사 처리

- (1) 주물사는 사용 전에 소정의 체로 쳐서 남는 금속 부스러기는 제거하여 정해진 장소에 치운다. 또 조형장에는 금속조각이 산재되는 일이 없게 한다.
- (2) 체질한 주물사가 통로에 나오지 않게 통로와의 경계를 명확히 해둔다.
- (3) 제품을 꺼낸 후의 주물사는 평편하게 만들고, 물을 가하기 전에 탕도개는 주물사에서 제거한다.

2) 주형제작

- (1) 작업장과 주형 사이의 통로는 항상 청결하게 하고 평평하게 해놓으며, 정돈해 둔다.
- (2) 작업시작 전에 주형상자, 공구 및 기중기와 같이 들어올리는 장치들은 점검과 조정을 해둔다.
- (3) 무거운 주형상자는 반드시 기중기 등 기타의 들것을 이용해서 다룬다.
- (4) 주형의 상하형을 맞출 때 주형 위에 올라서서는 안 된다.
- (5) 눈에 먼지가 들어가지 않게 원형이나 주형의 먼지털이를 할 때에는 반드시 붓, 솔 또는 특수한 집진기를 사용해야 하며, 입 또는 압축공기 등으로 불어서는 안된다.
- (6) 주형의 건조작업에서 수동식 건조장치, 가스버너 등을 사용하는 경우는 실내의 환기장치를 가동시키고 작업해야 한다.

나. 용해작업시 안전사항

1) 재료의 파쇄

- (1) 선철이나 고철을 적당한 크기로 파쇄하기 위해서는 해머를 점검한다. 해머자루는 빠지기 쉬운 것 등을 사용해서는 안 된다.
- (2) 편한 자세로 일할 수 있게 하고 불필요한 물건은 모두 치운다.
- (3) 파쇄할 때 근처의 작업자, 통행자에 주의하며, 파편의 비산을 방지하는 방법을 강구한다.

2) 용해작업(큐폴라 용해시)

- (1) 노의 라이닝 상태를 충분히 점검하고 필요한 보수를 한다. 용해작업 전에 노를 충분히 건조시켜 둔다.
- (2) 위에서 작업하는 작업자가 아래로 물건을 떨어뜨릴 때는 아래에서 작업하는 사람에게 신호를 하고 위험 없음을 확인한 다음 떨어뜨려야 한다.
- (3) 용해작업장 부근에는 연소성 물질을 놓지 않아야 한다.
- (4) 용해작업 중의 노 내부를 살펴 볼 때에는 반드시 보호안경을 쓴다.
- (5) 출탕할 때에는 반드시 신호를 하고 주위의 안전을 확인한다.
- (6) 출탕구의 전지는 확실히 하고 또 예비전지를 준비해 둔다.
- (7) 큐폴라 하부에 물이 고여 있을 때에는 용탕과 접촉하여 수증기 폭발을 일으키므로 배수에 충분히 주의하고 동시에 물이 고이지 않도록 필요한 조치를 강구한다.
- (8) 노저를 열 때에는 용탕과 용재가 남아 있지 않도록 하여야 하며, 바닥과 아래에 있는 흙이 젖어 있으면 이를 완전히 제거한 후에 노저를 열어야 한다.
- (9) 용해작업이 끝나면 완전 소화해야 하며 물을 뿌릴 때에는 멀리서 해야 한다. 너무 접근해서 소화하면 과열증기로 화상을 입을 염려가 있다.

다. 주입작업시 안전사항

- (가) 중추는 주입컵이나 압탕에 접근하여 놓지 않는다.
- (나) 주형의 가스빠기를 완전히 하고 동시에 주형의 분리면의 밀착이 잘 되어 있고, 또 조여있는지 점검한다.
- (다) 레이들은 사용 전에 다음 사항을 점검한다.
 - 손잡이의 파손 유무 및 부착상태
 - 레이들의 라이닝 상태(충분한 라이닝 필요)
 - 레이들의 건조상태(완전 건조가 필요)
- (라) 레이들에 받는 용탕량을 너무 많게 하지 않는다.
- (마) 용탕 운반시에는 반드시 지정된 통로로 다녀야 한다.
- (바) 용탕은 주물사 이외의 것에 닿으면 불꽃이 튀어 위험하니 콘크리트 바닥에는 주물

사를 깔아 놓아야 한다.

- (사) 탕구가 높으면 주입이 불편하므로 가능한 탕구는 낮게 하는 것이 좋다.
- (아) 기중기로 운반하는 대형 레이드들은 장애물에 걸리지 않을 정도로 낮게 매달아 운반하며, 작업자는 반드시 보호안경을 써야 한다. 또 이 레이드는 절대 사람 위를 지나서는 안 된다.
- (자) 주입 중에는 절대로 탕구 위에 얼굴을 내밀어서는 안 된다. 용탕이 튀어나오는 경우가 있어 화상을 입을 염려가 있다.
- (차) 주형을 누르는 추의 무게가 적당해야 하며 응고가 완료되기 전에는 추를 내려놓지 말아야 한다. 또 주탕 후에 탕구를 발로 밟는 일이 없도록 한다.
- (카) 특수주형에 주입하는 경우에는 각종 유독가스가 발생하니 환기장치를 하고 충분한 환기조건 아래에서 작업한다.

라. 주방품 후처리시 안전사항

- (가) 주방품의 주물 본체 이외 것은 해머링(hammering) 할 때에 떨어져 나가는 방향을 고려하여 처리한다.
- (나) 해머링할 때의 제품이 놓인 위치는 불안정한 상태로 되어서는 안 된다.
- (다) 해머링이나 연마(grinding) 작업을 할 때에는 방진안경 및 방진마스크를 사용한다.
- (라) 정(chisel)을 사용할 때에는 정 끝이 갈아져 있는지 또는 정의 두부가 올바른가를 잘 점검한다.
- (마) 해머를 크게 때릴 때에는 주위에 주의하며, 탕구나 코어메탈을 해머로 절단할 때에는 사람이 없는 방향으로 때려야 한다.
- (바) 모래를 털 때에는 방진마스크와 보안경을 사용한다.
- (사) 모래털기를 공압공구로서 실시할 때는 샌드블라스트의 작업을 할 때와 같이 귀막이를 사용한다.
- (아) 주조된 주물제품은 완전히 냉각된 것을 확인한 후 취급한다.



참고 문헌



1. 주조응고학(2018, 구민사(조수연, 문희권))
2. 주조(2013, 서울특별시 교육청)
3. Principles of METAL CASTING(2014, Mahi Sahoo & Sudhari Sahu)
4. 주조실기(2014, 한국산업인력공단)
5. 鑄造の本(2018, 日刊工業新聞社)



주조 개론서 집필

- ☐ 조수연 교수(한국폴리텍대학 인천캠퍼스 신소재응용학과, sycho@kopo.ac.kr)
 - (현) 한국주조공학과 사업이사, 금속기술지도사, 국가기술자격 전문위원
 - 2018년도 '특수주조' NCS 및 활용패키지 개발진
 - 2019년도 '주조, 축로기능사, 제선' NCS 및 활용패키지 개선진
 - 2019년도 뿌리산업 특성화고 현장교육훈련 주조분야 표준모델 개발진
- ☐ 송용호 금속주무관(공군 군수사령부 제82항공정비창, kosha0516@daum.net)
 - 주조기능장, 금속재료기능장, 주조산업기사, 금속재료산업기사, 주조기능사
 - (전) 산업안전보건공단 안전인증팀, 해군 군수사 해군정비창 금속직장
 - 2015년도 '냉간압연' 분야 NCS 및 활용패키지 검토위원
 - 2017년도 '다이캐스팅' NCS 및 활용패키지 개선활동 집필
- ☐ 검토·자문
 - 권영길 한국주물공업협동조합 전무이사

유 의 사 항

뿌리산업 개론서 내용을 대외적으로 활용 및 인용할 경우에는 반드시 원 출처를 명기하여 주시기 바랍니다. 관련 참고문헌 및 데이터 출처는 본문의 해당 자료에 명시하였습니다.

뿌리산업 인적자원개발위원회(금형·금속가공·표면처리·용접)
☎ 070-4269-9388 / osm@koreamold.com

