

제철기계의 연구개발에서 배운 지혜와 본질

林 寬治¹

Wisdom and Essence Gained from the Research and Development of Steel Making Machine

K. Hayashi

1. 서 론

필자는 과거 약 30년간 제철기계의 연구개발에 종사해 왔다. 마침 일본의 제철업계는 기술도입에 의한 독자기술 개발이 진행되고 있으며 차레로 새로운 제철기술이 창안되고 있다. 필자는 이를 바탕으로 제철기술 개발을 지향하는 실비 메이커로서 새로운 제철기계를 개발하여 업계의 평가를 받아왔다. 그 가운데 실용화 되어 모든 제철소에 기간설비로서 사용되고 있는 기술도 있다. 이것을

개발한 경위를 회고 할 때 거기에는 연구개발을 달성하는 진수로서 “일의 본질과 지혜의 짜남”이 연구개발의 공통사항으로 생각된다. 여기에 체험한 개발사례를 소개하면서 연구개발에 있어서의 “지혜와 본질”에 대하여 술회를 정리하였다.

2. 연구개발에 있어서의 지혜와 본질

그림 1에 연구개발의 기획에서 실제기계화까지

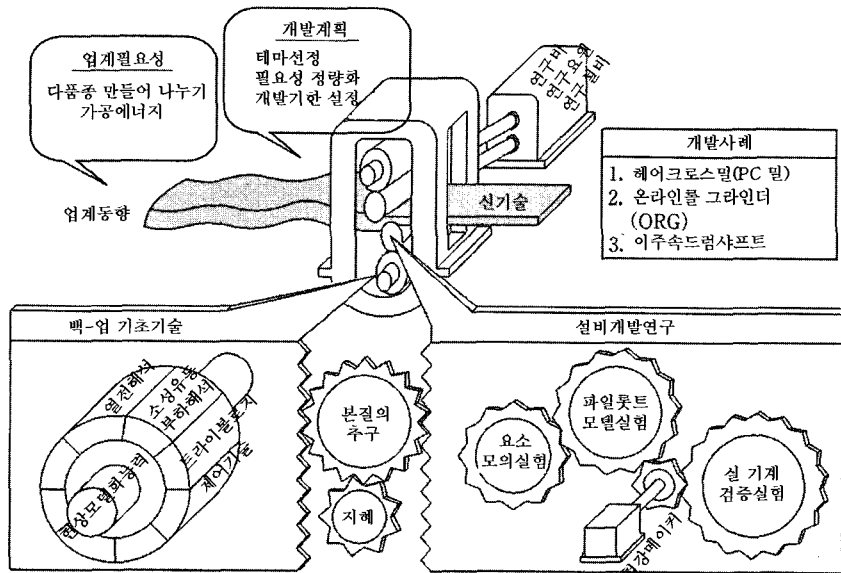


그림 1 연구개발 프로세스

1. 三菱日立製鐵機械(株) (우) 733-8553 広島市西區觀音新町4-6-22, Japan
 - 원고출처: 소성과 가공(일본소성가공학회지) 제47권 제 540호 pp. 2-9 (2006.1)
 - 번역자: 박정서(자유번역가), 김인수(금오공과대학교 신소재시스템공학부, 교수)

의 프로세스를 표에 나타내어 그 가운데에 지혜와 본질의 위치를 표시하였다.

① 업계 필요에 적합한 개발 주제와 과제를 명료하게 한 뒤에 목적과 목표를 정하는 연구개발을 기획한다.

② 연구개발의 구체화에 해당하는 백업(압연기의 보장률)으로서 여러 가지의 기초 지식(기술)[1]이 필요하게 되지만, 여기서 이것을 기초기술의 질과 수준이 양의 많음이 좋다고 생각하지 않고 현상을 도해하는 모델화에 주력했다. 즉 모델의 입안에 해당하는 “본질의 추구”가 불가결하다. 본질을 끝까지 추구(확인)하면 할 수록 의문이나 모순에 직면하여 연구추진의 장애가 된다. 이 장애의 타개책을 찾아내는가 아닌가로 부터 그 연구의 독창성의 유무가 정해진다.

이 때의 타개책들 즉 아이디어가 “본질의 추구에서 생긴 지혜”이며 연구개발의 초석이 된다.

③ 설비개발단계에 있어서는 요소시험, 파일로트 실험 그리고 실기 시험으로 성능이나 내구성을 검증해나간다. 이 사이에 개발의 적정화나 효율화를 꾀하는 데에서 철강 메이커의 지원이나 지도를 받아야 한다.

④ 이상의 기초기술에서 설비개발(실용화)에 이르기까지 각부의 치차를 유기적으로 연결해 나가게 하고 원활하게 구동하여 새로운 기술을 만들어 낸다.

⑤ 이 구동원(압연기의 구동 모터)으로서 개발 자금이 올라가고 연구설비가 들어가지만, 이것들을 유기적으로 구동되는가 아닌가는 연구개발의 풍부한 창조성과 정열에 달려있다.

3. 본질의 끝에 생기는 기술(보는 것을 보다 관찰해야 될 것)

3.1 슈림프마크와 폭증가율의 설계방법[2]

재미있는 설계기술(방법)으로서 압연에 있어서 피압연재의 폭증가량(폭축소량)의 설계방법을 소개한다.

이 설계기술은 페아크로스밀[3](이하 PC밀)의 개발과정에서 찾아낸 것이다. 크로스압연한 강판의 표면을 자세하게 관찰하면 낚시바늘의 마크[4~5](이하 슈림프마크)가 눈에 띄는 일이 있다. 이 마크는 롤의 표면손상이 피압연재 표면상으로 이동한 궤적을 나타내며 롤과 피압연재의 상대미끄럼을 나타내고 있다. 그래서 롤 표면에 의도적

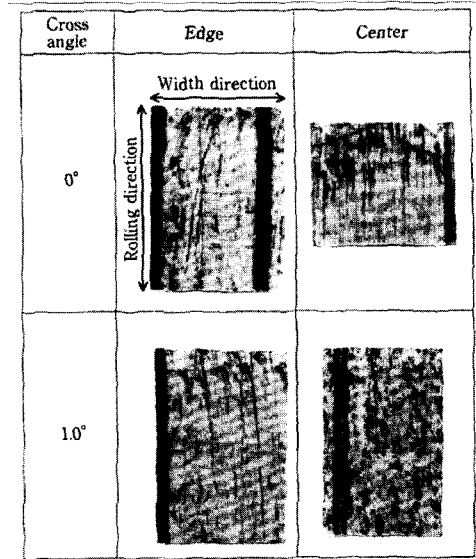


그림 2 슈림프마크[2]

| | | Region of backward slip | Neutral point | Region of forward slip | Shrimp-mark |
|----------------------|--|-------------------------|---------------|------------------------|-------------|
| Conventional rolling | | | | | |
| Cross rolling | | | | | |

그림 3 롤과 스트립의 상대속도[2]

인 손상흔적을 내어 그 전사 마크를 관찰하였다. 현미경 사진을 그림 2에 표시하였다. 크로스 각도 1.0도의 크로스 압연과 0도의 보통 압연의 결과를 비교하고 있다. 판폭 중앙부에 있어서 크로스 각 0도의 전사마크를 하나의 똑바로 일직선상으로 되어 있는데 비하여 크로스 각 1.0도 때로는 낚시바늘 모양으로 되어 있으며 크로스 압연에 따른 폭방향의 상대 미끄럼이 관찰 된다.

여기서 흥미 있는 현상으로서 판폭 단부의 전사마크를 확인하면 크로스 각도 0도의 보통 압연에도 슈림프마크가 관찰된다. 또 그 마크의 방향이 크로스 압연과 반대의 방향으로 되어 있다. 그래서 판폭 방향의 상대 미끄럼의 요인으로서 ① 크로스 압연에 의한 롤 폭방향 성분 외에 ② 피압연재의 폭증가 성분과 압연진행 방향의 빠름과 늦음을 고려하여 슈림프마크의 발생형태를 그림 3과 같이 정리 했다.

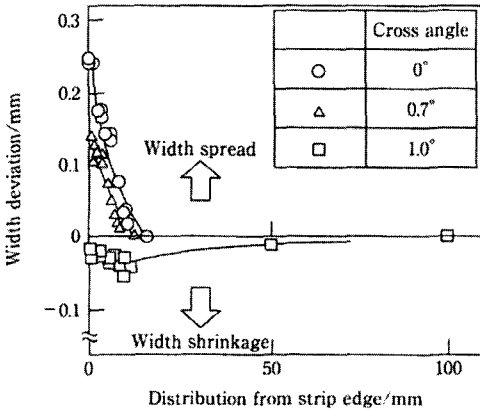


그림 4 폭 흐름의 분포[2]

이 슈립프마크 폭 Δl 에서 다음 식에 의해 폭증 가량 Δw (또는 폭 축소량)을 구할 수가 있다.

$$\Delta w = \Delta l \cdot \Delta lc$$

여기서 Δw : 각점의 폭 넓이

Δl : 각점의 슈립프마크 폭

Δlc : 판 중앙부의 슈립프마크 폭

이 방법으로 측정한 폭 증가량의 분포를 그림 4에 표시하였다. 폭 변화량은 판 끝의 10-20mm 영역에서 발생하였으며 그 값의 크로스 각도가 1.0도에서는 오히려 폭이 축소되는 흥미로운 현상이 나타났다. 또 슈립프마크의 변곡점을 경계로 그 전 후로 하여 길이에서 각각 미리 나감과 지연량을 구할 수가 있다.

4. 지혜와 공부로 얻어진 개발(상식과 통념에서 탈피)

4.1 비구동식 컵형 ORG의 개발[6~8]

ORG는 On Line Roll Grinder의 약칭으로 압연기의 장치 내에 삽입하여 압연 중에 작업롤(이하 WR)을 연삭하는 장치이다. WR의 표면을 압연량이 증가하는데 따라서 마찰하고 그 결함이 압연 제품에 전사하는 판의 표면성상이 나쁘게 되는 것과 더불어 단면 프로파일도 불통불통되게 된다. 종래의 결함을 피하기 위해 소정의 양을 압연하여 악화된 WR는 새로운 WR과 교환(WR 삽입)하고 있다. ORG로 연삭하여 WR의 표면을 항상 양호한 상태로 유지 된다면 압연제품의 품질이 좋게 된다. 동시에 WR 삽입 빈도가 적게 되면 그만큼 생산성이 향상된다. 이와 같은 효과를 위하여 옛날부터 개발이 시도되어 왔다.

그림 5에 각 형식의 ORG를 표시하였다. 일반의 롤그라인더 용 원통 연마석, 직방체의 각형 연마석, 슷돌 표면에 연마석 입자를 고착시킨 벨트 연삭 등 수 종류의 방식이 있으나 각각 동 그림에 표시 하는 것과 같은 과제가 있으며 실용기로서 널리 채용 될 때 까지 이르지 못하고 있다. 그 최대의 과제는 압연기라는 가혹한 환경에서의 설비적 내구성과 연마석의 연삭 성능의 안정화에 있다. 이들 과제를 극복하기 위해서 ① 간단한 장치로 ② 연마석과 WR간의 상대미끄럼 속도가 얻어지는 것을 명제로 하여 항상 모터 등으로 구동하는 일이 없이(장치의 간소화) 비구동으로 연마석이 회전하여, 안정한 상대미끄럼 속도가 얻어지는 방법을 찾아내는 것에 집착했다. 그 결과 고안된 것이 비구동식 컵형 ORG이다.

여기서 주장하고 싶은 것은 한번의 묘안으로 연습 삼아 생각해낸 것 만으로 결과가 나오는 것이 아니고 별도의 개발의 실험결과가 힌트가 되어 떠오른다는 것이다.

그 실험이란 3.1절에서도 언급한 한 PC 밑에 관한 것으로 크로스 압연에서의 WR의 마찰실험이다. 피압연재가 얇아지면 상하의 WR을 서로 접촉시켜서 회전 시키는 것이다. 이때 WR끼리 크로스 하면 롤 간에서 상대 미끄럼틀이 생겨 롤이 마모 한다. 그 마모량을 조사 하기 위해서 2분의 롤을 크로스 시킨 상태로 전동회전시켰다. 이때의 마찰량은 롤 간 선압 X 전동수 X 크로스 각도에 비례해서 커졌다. 여기까지도 당연한 결과로서 특별하는 것도 아니지만 중요한 것은 2분의 롤의 한쪽은 전동회전, 다른 한쪽은 비구동하면서 마모했다는 사실을 인식하여 그 원인이 크로스에 따라서 롤 축방향의 상대 미끄럼인 것에 착안 하는 것이다.

여기서 ORG 개발시 집착을 바탕으로 크로스 전동에 의한 롤 마찰을 연마석이 롤을 연삭하는 것에 회전 시키는 것과 연결하여 행했다. 같은 생각으로서 원통상 연마석을 WR에 크로스 시킨다는 착안도 나왔다. 이 안은 롤과 연마석의 접촉 균등화나 상대미끄럼 속도가 작은 것에서 만족한 성과가 얻어지지 않았다. 그래서 원통상 연마석에 구애받지 않고 각주상(컵형 연마석)을 비구동으로 롤에 압착한 경우 그 회전반경이 달라지는 것에서 롤 접촉의 접촉면이 있어서 상대 미끄럼이 발생하는 것을 알게 되었다. 이 방안도 연마석이 롤의 접촉폭의 중앙에 있어서 상대속도가 없는 소

| 형식 | 고정블록형 정압압착 | 강제회전 디스크형 정위치 압착 | 강제회전 벨트형 정압압착 |
|-------|---|--|----------------------------------|
| 장치 개념 | | | |
| 문제점 | -연마석의 “눈채우기” “소각” -“결손”이 발생하기 쉽다. -연마석의 수명이 짧다. | -연마석 회전구동장치가 필요하기 때문에 장치가 복잡하게 되어 고장 나기 쉽다. -연삭 범위가 롤의 양단부에 한정된다. | -연삭 능률이 낮다. -연마 벨트의 내구성 이 없다. |

그림 5 각 형식 ORG의 비교

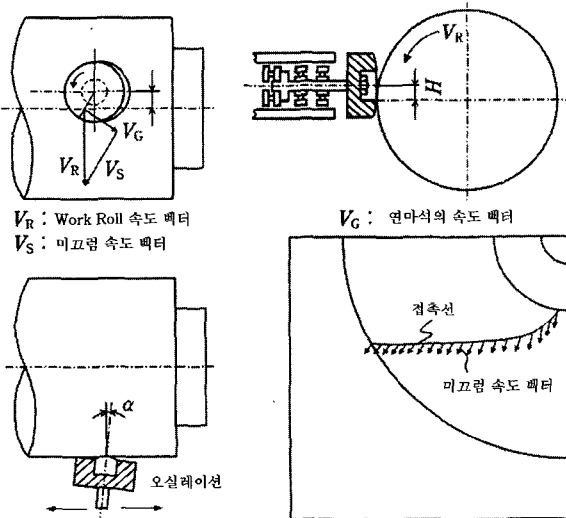


그림 6 비구동식 ORG의 연삭 원리기

위 중립점이 존재하는 것에서 채택에는 이르지 않았다. 이 중립점을 없애는 방법으로서 건의한 것이 연마석의 회전축 중심을 WR중심과 떨어지게 했다. 소위 오프셋을 붙이는 것이다. 오프셋을 붙인 것으로 컵형 연마석과 롤의 접촉선을 기하학적 고려하는 것과 더불어 접촉부의 상대 미끄럼 속도를 해석해 보면 확실히 어느 접촉에 있어서도 미끄럼 속도가 발생하는 것을 알게 되어 여기에 이르러 비구동식 컵형의 ORG의 기본원리가 확립되었다(그림 6 참고).

이상과 같이 ORG는 실제기계를 포함한 연삭 성능 검증을 거쳐 많은 열간압연기에 채용하였다. 현재 설비적, 성능적으로 뛰어난 ORP가 개발되어 비구동식 컵형 ORG는 과거의 기술로 되어 가고

있지만 신규 안전을 발안하기 위한 과정으로서 문제를 순순히 생각하는 것이 중요함을 깨닫게 하는 개발사례이다.

4.2 이주속 드럼샤프트의 개발

드럼 샤프트는 열간압연설비(이하 HSM)의 마무리 압연기 입구에 있어서 거친 바의 끝선단의 부정형 부분을 절단하기 위한 절단장치이다. 압연 강판의 고장력화가 진행되고 드럼샤프트의 부하 용량이 높아져 동시에 확실히 절단하는 것이 요구되고 있다.

이것들 요구에 대해서 장치의 대형화와 고강성화가 통상의 대응책이지만 여기에 소개하는 이주속 드럼샤프트는 칼끝에 드는 작용력 자체를 경감하는 것을 개발한 것이다. 일의 시작은 “왜 자르는 기능이 나빠지는가” 그 원인을 확인하려는 것이다. 이 때 생각한 자르는 불량 발생 메카니즘을 그림 7에 표시하였다. 샤프트의 분단기능은 상하 칼끝 간격과 밀접한 관계가 있으며 이것이 지나치게 크면 자르는 성능이 나빠진다. 절단의 과정에서 전단력의 작용점이 상하에서 떨어져 편하중이 되어 피절단재를 회전하는 응력이 발생한다. 이 우력에 대항하는 것으로 칼끝의 측면에는 측방력이 발생한다. 이 측방력은 상하의 칼끝을 서로 분리하는 방향에 작용하여 칼끝간격은 넓어진다. 칼끝간격이 넓어지면 응력이 더욱 더 측방력의 증가 그리고 간격확대로 이어지며 끝내는 절단 불량에 이른다.

여기서 절단 불량 원인의 원인인 칼끝 간격의 확대를 억제하기 위해서, 그 근원인 측방력을 경감하는 방법으로써 편하중의 작용간격을 작게 하는

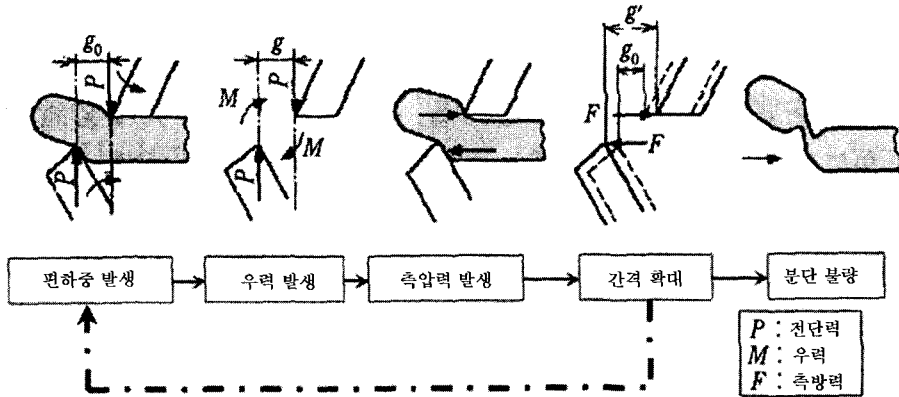


그림 7 전단불량의 발생 메커니즘[9]

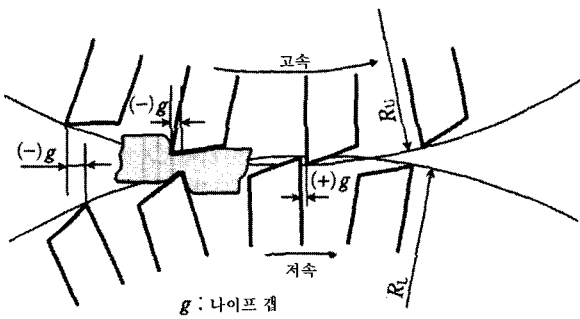


그림 8 이주속 드랩 샤프트의 원리[9]

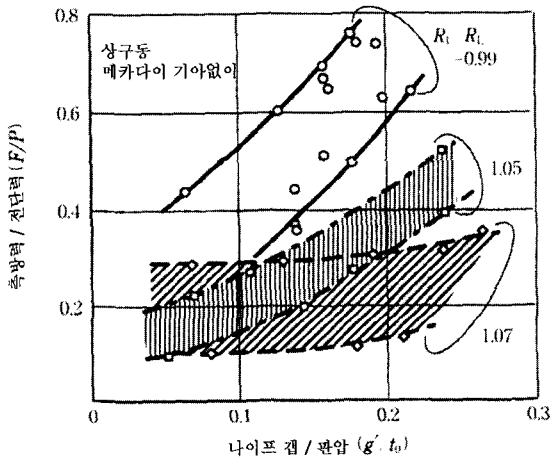


그림 9 이주속비와 측방력비의 관계[9]

것을 착안하고 고안한 것이 그림 8에 표시한 이주속 드랩샤프트이다. 구조적인 특징은 상나이프의 회전반경을 하나이프의 회전반경보다 수% 크게 하여 주속도에 약간의 차(이주속)를 나게 하는

것에 의해 절단 과정의 하사점 근방에서 후행나이프인 상칼이 우선 행하는 하칼을 뒤쫓아 넘겨한 것이다. 이와 같이하면 편하중의 작용간격을 부(-)로 하는 것이 되고 우력 더 나가서는 측방력 그 자체가 경감될 수 있는 것이다.

그림 9는 실제기계의 약1/2 모델 시험기를 이용하여 이주속 샤프트의 효과를 조사한 결과이다. 이주속비(상칼회전반경/하칼회전반경)를 파라메타로 하여, 칼끝간격비(칼끝간격/판두께)와 측방력비(측방력/절단력)의 관계를 표시한다. 이주속비를 크게 하는데 따라 측방력비가 감소하여 측방력의 억제효과가 인정된다.

이 성과는 실제기계로 적용되고, 칼끝이 마모해도 양호한 자르기 성능이 유지되는 것과, 나이프 수명의 확대 즉 나이프의 교환주기의 연장도 되어 현재도 많은 HSM 이 채용되고 있다.

5. 역 발상에서 생겨난 실험기술

5.1 연주기의 비금속개재물의 부상분리 수 모델 실험의 실험방법[10]

이 실험 방법은 천지를 거꾸로 하여 현상을 관찰한다는 정말로 역 발상에서 얻어진 방법이다.

대상은 연속주조설비이다. 연주설비에서는 제조되는 주편 내부에 혼재하는 비금속 개재물을 어떻게 하면 적게하는가를 중요하게 생각해야 한다. 초기 응고되는 주형의 안에 주로 쏟아지는 용강의 청정도를 좋게 하는 것을 당연 하지만 증지할 수 없이 용강중에 혼입하여 주형내에 들어가고마는 비금속개재물은 응고결질(응고셀)에 유입되지 않은 가운데에 부유분리를 해야한다. 이 부유분리를 촉진하기 위해 수직 굽은형이라 알려지는 방

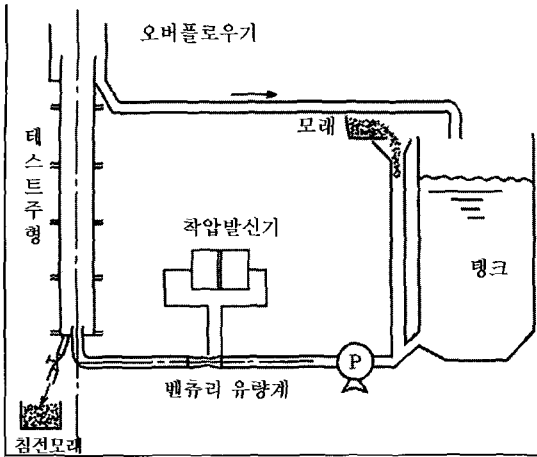


그림 10 실험장치 개념도[10]

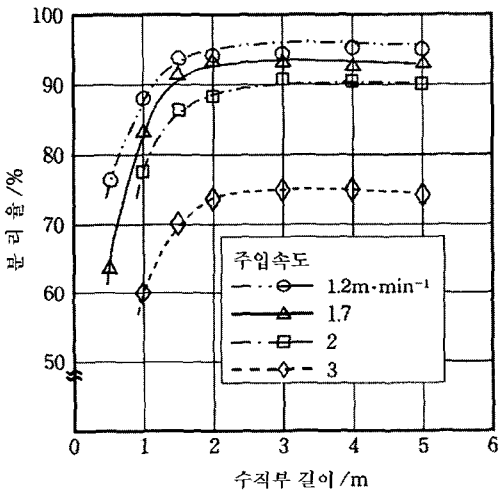


그림 11 수직부 길이와 분리 성능[10]

식이 널리 이용되고 있다. 주형을 포함한 상당한 길이의 수직부를 갖고 이 수직부에 있어서 비금속 개재물의 부력을 이용하여 분리시키는 것이다. 수직부가 길수록 부유 분리효과가 뛰어나지만 한쪽에서는 설비가 높아지고 설비비용이나 조업성의 면에서 수직부는 되도록 짧게 하고 있다. 여기서 이 수직부를 얼마 만큼의 길이로 하면 효과적인가를 설계하여 구하였다. 주형내 용강의 탕흐름도를 포함하여 유동해석기술을 갖지 않을 당시, 수모델로 유동 상황을 가시화 하는 것이 보통의 수단이었다. 필자 등도 이 길의 선례에 따라서 유체의 상이측 파라메타로 하여 레이놀드수를 고려하여 기하학적으로 흐르는 용강 중의 비금속 개재물을 모의한 연화비닐 수지입자를 수중에 혼입하여 그 거동을 관

찰하는 것으로 주형내 흐름을 파악하였지만 중요한 수직 길이의 정량 평가가 되지 않았다.

즉, 수직부 길이와 부유 분리성능의 관계가 그래프에 나타낼 수가 없는 것이다. 어떻게 부유 분리효과를 정량화할까 고민 끝에 발상을 전환하여 부유 분리를 침강 분리로 전환하면 어떨까? 즉 천과 지를 반전하여 역전의 발상을 하였다.

그림 10에 실험 장치의 개념도를 표시하였다. 부유 분리 시험과 같은 컷수 크기이지만 그 배치는 상하 모두 역전되게 하였다. 물은 하에서 상으로 향하여 주입되고 그 안에 침강한 시험 림(여기서는 모래를 썼다.)은 상승 수류에 동반하면서 상승한다. 그런데 주수면에서 떨어진 상부 즉, 어느 정도 수직부를 지나가면 흐름에 역행하여 침강하고 분리가 시작된다. 여기서 중요한 것은 이 침강 분리한 모래를 포획하여 그 양을 정량화하는 것이다. 그 때문에 모델 장치의 저면에 집적한 모래를 저울에 잴 때, 이것을 전 유입 중량에 대한 비율로 나타내어 분리효율로 표시하였다.

그림 11에 실험결과의 대표적인 예로 상층부 길이와 분리 효율의 관계를 표시하였다. 이 외에도 수량 즉 주조 속도에 관계없이, 어느 주조 속도에 있어서도 수직부 길이는 2m이상으로 하여도 그 효과는 작고, 이 값이 합리적인 값으로 되었다. 이 결과는 스텝 연주 설비의 수직부 길이를 의논하는데 중요한 자료가 되고 더불어 다른 연주 설비의 모델 시험 방법으로 이용되었다.

6. 결 론

과거 30년 종사한 연구 개발의 안에서 실험 및 체험을 대상으로 기억에 남아 있는 것을 술회하였다. 계측 기술이나 해석 기술이 양적으로나 질적으로 고도화된 현재에 보면 필자가 서술한 내용은 진부한 기술뿐이지만 그 당시는 새로운 것을 생각해 내고, 찾아 낼 때마다 감동과 충만감을 느꼈던 것이다. 주변의 기술이 고도화하고 있는 현재, 새로운 것을 발견하기가 어려움을 느끼면서도 연구는 사실을 추구하는 것에서 시작한다. 이것을 체감해 주시기 바라며 본 원고는 참고사례로 생각하여 주시면 다행이라고 생각한다.

본 논문은 한국소성가공학회와 일본소성가공학회의 번역 개재협정에 의하여 저자의 허락을 생략하고 번역하여 게재합니다.

참 고 문 헌

- [1] 例, 古屋愼一: 三菱重工技報, 21-6 (1984), 5-16.
- [2] 古元秀昭, 梶原哲, 林冠治, 金字亨, 富沢諒: 154 回塑加 심포지움집, (1993), 87-96.
- [3] Matsumoto, H., Tsukamoto, H., Hatae, S. & Hino, H. : Advanced Technology of Plasticity(Proc. Of the first Inc. Conf. on Technology of Plasticity), Vol. 11(1984), 1372-1377.
- [4] Omori, S., Hino, H.& Goto, H. : Ironmaking and Steelmaking, 21-6 (1994) 456-471.
- [5] 大森舜二, 『本預彦, 日野裕之, 中島浩』, 中俣吉: 塑性과加工, 28-321 (1987), 1067-1074
- [6] 山本國男, 林寬治, 『本預彦, 江川康夫, 後』崇之: 三菱重工技報, 25-4 (1998), 352-365.
- [7] 林寬治, 島簡章, 西崎純一: 상동, 29-1 (1992), 13-17.
- [8] 特許 第 1774012 号.
- [9] 大森舜二, 林寬治, 日朝幸雄, 吉谷弘毅, 橋本正一: 鉄과鋼, 67-15 (1981), 2526-2531.
- [10] 角井洵, 林寬治, 西村統, 佐 佐本邦: 상동, 63-11(1977), 190.