

# 강판압연기술의 최신 동향

이 준 정

(산업과학기술연구소 설비공정연구팀)

## 1. 머리말

전 세계적으로 강판압연기술이 급속히 발전된 것은 1970년대 이후라고 볼 수 있는데 이는 석유파동 후 에너지 절감이나 인건비 절감을 위한 여러가지 기술개발 욕구가 절실하였고 동시에 제품의 품질에 대한 시장의 요구도 매우 엄격해짐에 따라 압연기술이 종전에 비해 획기적으로 변할 수 밖에 없었다. 이렇듯 압연기술의 발전을 촉진한 요인을 크게 두 가지로 구분할 수 있는데, 하나는 강판의 2차 제도가공공정이 자동화됨에 따라 소재강판의 치수품질에 매우 엄격한 관리가 필요하게 되었으며, 다른 하나는 에너지 및 생산원가의 절감노력으로 강판 제조공정의 단순화 및 프로세스의 연속화 기술이 매우 활발하게 개발되었다는 점을 지적할 수 있다. 우리나라의 경우는 1970년대 초에야 종합적인 제철산업이 태동되었지만 매우 급속한 주변산업 발전으로 인해 강판수요가 급증하고 이에 대응한 생산증대 노력을 계속하여 1990년대 중반인 현재에 이르러서는 양적이나 질적으로 세계 강판제조기술의 선봉장적인 역할을 수행하게 되었다. 이는 새로운 설비를 도입할 때마다 선진의 신규기술들에 과감히 도전하였고 미완의 공법들을 우리기술자들의 손에 의해 다듬어온 공이 아닌가 여긴다. 여기서는 우리나라에 강판압연기술이 도입된 이후로부터 현재에 이르기까지 선진 기술의 흐름을 고찰해보고 동시에 현재 국내의 기술수준과

비교하여 봄으로써 해서 우리기술이 앞으로 나아가야 할 방향을 조망해 보고자 한다.

## 2. 후판압연기술

Fig. 1은 후판압연 기술의 동향을 상호 연관성에 따라 표기한 것으로 기술과 장치가 최초로 응용된 시점을 기준으로 표기하였으며 기술명은 네모안에 그리고 장치명은 별도로 삼입하였다. 여기서 점선 상자와 ◆ 표기는 국내에 계획이 있더라도 아직은 응용되지 않는 기술 및 장치를 나타낸 것이다.

후판압연은 패스당 압하량 수준을 어떻게 짜는가가 매우 중요한데, 압연이 개시된 초기에는 소재를 롤 사이에 치입시키는 한계, 압연기 구동 모터의 토오르크 한계, 압연기의 하중 한계 등에 기준하여 최대 압하조건을 선정하게 된다. 그러나 판이 얇아지고 제품의 최종두께에 가까워지면 압연판의 평탄도 확보가 매우 중요하므로 판크라운 비율을 일정하게 유지하는 조건으로 압하량을 선정한다. 따라서 압연 능률을 높이기 위해 소정의 판두께 및 형상크라운을 얻기위한 계산 알고리즘을 여러가지 형태로 개발하고 이러한 알고리즘에 기초하여 압하스케줄을 계산하여 압연 개시전에 컴퓨터에 설정하는 방식이 사용되고 있다.

판두께 제어방식은 초기에는 판내 판두께 변동을 감소시키는 로크업 식의 자동두께 제어가 주였으나 유압압하로 고속압하가 가능해지자 압연기에 판이 치입된 직후에 목

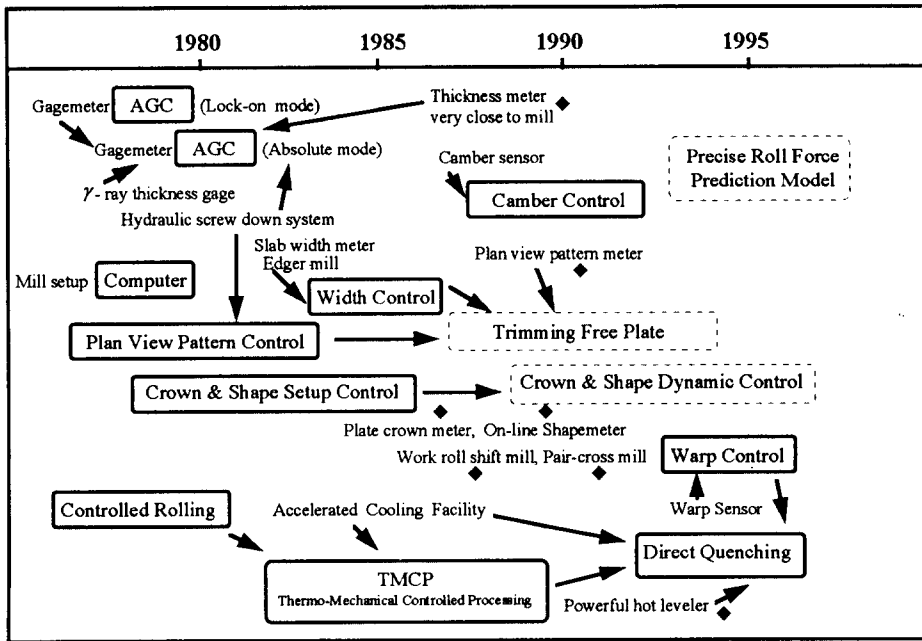


Fig. 1 후판압연기술의 세계적인 발전추세

표판두께에 맞도록 압연롤 간격을 제어하는 절대치 자동두께 제어방식이 사용되고 있다. 절대치 방식의 정도를 높이기 위해서는 게이지미터식의 정도를 높여야 하는데 압연기로부터 2미터 가량 근접한 위치에 설치한 두께계를 설치하여 실측두께를 즉시 피드백 제어하는 경우에 두께제어 정도가 훨씬 높아진다. 이 절대치 방식은 종전에 비해 두께 정도가 현저히 좋지만 단점은 예측압연하중의 오차가 크면 판크라운에 악영향을 미친다는 점이다. 최근에는 이러한 문제점에 착안하여 예측압연하중의 적중률을 높이고자 압하력에측식을 이론역학에 근거한 식을 도입하고 판의 변형저항도 압연중에 발생하는 금속학적인 변화를 감안할 수 있는 식을 도입하고 있다.<sup>(1)</sup>

후판압연기는 작업롤경에 비해 동장의 길이가 길기 때문에 작업롤 벤더는 판형상 제어효과가 매우 낮다. 따라서 판크라운을 제어하기 위해서는 압하스케줄을 정확히 계산하여 크라운 비율이 매 압하에 대해 일정하

게 유지되도록 압하설정을 한다. 그러나 '80년대 후반 이후에 일본에 최초로 도입된 작업롤 쉬프팅압연기는 쉬프팅효과가 벤더력과 합해져서 판크라운 제어가 가능하게 되고 최종패스 근방에서의 압연하중 크기를 채취하여 즉, 절대치 자동두께제어 등에서 생긴 압연하중변화만큼의 형상크라운 변화를 동적으로 제어하는 것이 가능해졌다.<sup>(2)</sup> 현재는 패어크로스형 압연기도 후판압연기에 적용된 사례가<sup>(3)</sup> 있는데 후판 제품에 대한 엄격한 치수 요구 동향에 비추어 볼때 앞으로 이러한 형상크라운 제어기능이 반드시 필요하게 될 것이다.

후판압연에서 압연실수율을 향상시키는 매우 중요한 기술은 판면이 직사각형으로 압연되도록 하는 평면형상 제어압연기술이다. 평면형상을 제어하는 방법으로는 두 가지로 대별되는데 그 하나는 압연중에 생기는 곡면 부위 평면형상을 미리 예측하여 상쇄시키는 방법으로 압연중에 스타브 두께를 선후단부와 중앙부가 서로 다르게 두께 프

로파일을 주는 방법이 있는데 고속의 유압 압하능력을 이용하여 판내에서 롤 간격을 변경시키는 기술이다. 한편 다른 방법은 수직압연기를 이용한 엿저압연방식인데 판면의 측면이 접히던가 불거지는 측면형상불량도 막고 측면 크롭, 선후단부 크롭도 감소시킬 수 있어 매우 효율적이다. 또한 '90년대에 이르러는 이러한 두 가지의 기술을 조합하고 판측면의 도그본 형상을 억제시키는 장치를 추가하여 판폭을 곧게 절단하지 않아도 최종압연된 상태로 직사각형의 편면형상이 얻어지는 후판압연법의 실용화로 압연실수율이 96%를 상회하고 있다.

고기능 후판강재를 제조하기 위한 노력으로는 제어압연과 제어냉각기술을 들 수 있다. 제어압연이란 강의 재결정온도 이하의 미재결정온도역에서 압연을 하여 미세한 결정립을 얻어 강도와 인성을 확보하는 기술로 널리 활용되어 왔다. 그러나 이 방법의 단점은 합금원소를 많이 필요로 해서 강재의 용접성이 나쁘고 강재의 워너가가 높은 단점이 있다. 이를 해결하는 방안으로 압연 후에 압연판의 냉각속도를 크게 하여 강재의 변태생성물을 미세하여 하는 방법으로 열기계적제어압연기술(일명 가공열처리압연 또는 TMCP)이 등장하였고 최근에는 보다 냉각속도를 높여 미세한 조직의 강재를 얻는 직접퀵칭 압연법도 응용중이다. 한편, 이러한 냉각을 이용한 고기능 강재생산에서 매우 중요한 요소는 판내 균일냉각기술인데 이를 위해서는 압연된 판이 우선적으로 평탄해야만 한다. 그러나 실제 압연 중의 강판 상하부간에는 온도를 비롯한 여러가지 비대칭 요소가 있어 압연시에 판 선단부가 상부 또는 하부로 휘는 현상이 통상 발생하는데 이를 워핑(warping)이라 부른다. 이 휨현상이 발생하면 상하부 냉각효과가 다를 뿐만 아니라 압연중에 사고를 일으킬 위험도 있어 이의 발생을 억제하기 위한 제어방법으로 압연롤의 상하부 속도를 달리 부여

하는 기술이 개발되어 응용되고 있다.<sup>(4)</sup>

### 3. 열간박판 연속압연기술

Fig. 2는 열간박판 연속압연기술의 동향을 표기한 것으로 그 요령은 Fig. 1과 같다. 통상, 열간압연이라 불리우는 연속압연 공정은 일찍부터 컴퓨터 조업이 일반화되었다. '70년대에 유압압하 장치가 도입됨에 따라 자동두께제어가 가능하게 되었는데 최근까지만 해도 최종 압연스탠드 출구에 설치된 두께계로부터의 측정치를 피드백제어하는 방법이 사용되어 왔다. 이때 최종 스탠드 출구에 설치된 두께계에서 판 선단부 두께를 측정할 때까지의 판 선단부의 두께 제어 방법으로는 절대치 자동두께제어방식이 최근 응용되고 있는데, 게이지미터식의 정밀도를 높이고 첫번째 스탠드에서 측정된 압하력 편차에 기준하여 후단 스탠드들의 롤 간격을 재조정하므로 선단부의 판두께정밀도를 높이는 데 매우 효과적이다. 판선단부의 두께 정도를 높이는 방법으로 다른 한편으로는 마무리압연기 스탠드열의 전반부에서 측정된 정보(두께, 온도, 변형저항 등)를 이용하여 후반부 스탠드열에서 압연롤의 간격을 재조정해주는 새로운 방법들이 강구되고 있다. 예를 들면, 네번째와 다섯번째 마무리압연기 사이에 두께계를 설치하고 측정된 중강판 두께를 기준으로 최종 여섯번째와 일곱번째 스탠드의 롤간격을 재조정하는 피드퍼워드 제어방법<sup>(7)</sup>이라든지, 전반부 스탠드에서의 압연하중편차를 기준으로 피지추론 방법을 응용해 후반스탠드에서의 롤간격을 재조정하는 방법<sup>(8)</sup> 등이 응용되고 있다. 또한, 연속압연에서의 자동두께제어시 발생하는 어려움은 압하위치 변경에 따른 장력변동인데, 이를 방지하기 위해  $i$ -스탠드의 출측 판속도와  $(i+1)$ -스탠드의 입측 속도가 항상 일치하도록 다이내믹제어를 행하는 최적 질량흐름(mass-flow)제어가

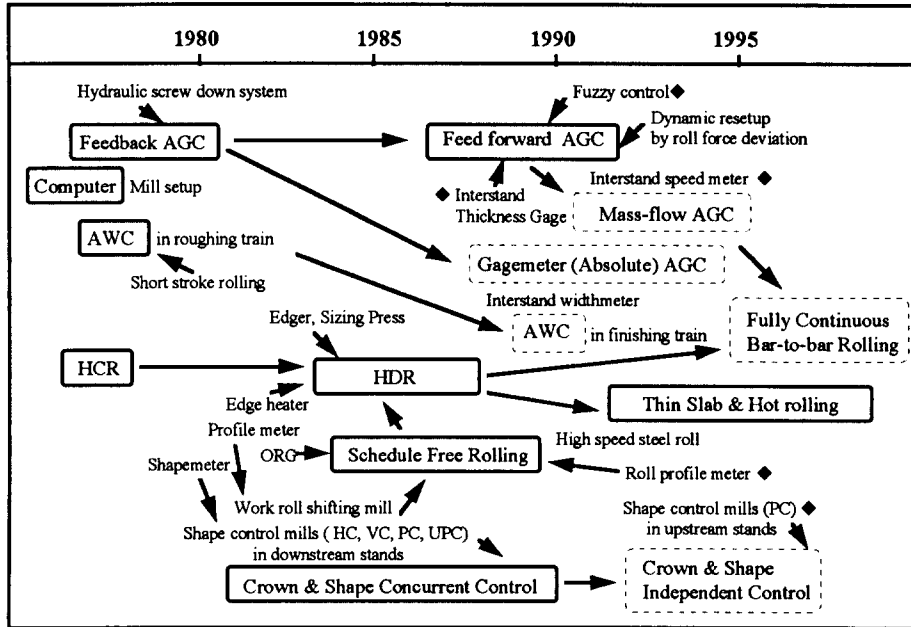


Fig. 2 열간박판 연속압연기술의 세계적인 발전추세

개발되었다. 초기에는 롤속도로부터 판속도를 추정하고 롤간격으로부터 판두께를 추정하였는데 롤속도와 판속도간에는 판의 선진률을 정확히 예측하는 문제가 있으며, 판두께 역시 롤간격으로부터 추정하는데는 압연중 롤마모 및 열팽창의 변화를 감안한 롤표면 곡선의 정확한 예측 여부가 내재되어 있다. 이러한 문제점을 극복하는 방안으로 '90년대에 들어서는 스탠드 사이에 판두께계와 판속도계를 동시에 설치하여 직접 측정된 두께와 속도로부터 질량흐름제어를 시도한 경우도 있는데<sup>(9)</sup> 이는 앞으로의 추세를 반영한다고 볼 수 있다.

열연에서의 판폭을 제어하는 방법으로는 우선 조압연 단계에서 엷저에 의한 폭압연으로 폭을 제어하는 자동폭제어 방법이 응용되고 있으나 판 두께가 얇은 마무리압연 단계에서는 엷저에 의한 압연 효율이 나쁘기 때문에 스탠드간 장력과 판폭변동의 상관관계를 정밀한 관계식으로 표현하여 제어하는 방법이 이용되고 있다.

판크라운 형상을 제어하는 수단으로 '80년대에 들어 여러가지 형태로 개발된 고기능 압연기들은 열간압연기술을 한 단계 상승시키는 기폭제가 되었다고 할 수 있다. 압연기의 형태에 따른 여러가지 이론모델들이 개발되고, 이를 형상제어에 응용하고 판크라운을 온라인제어하기 위하여 롤의 표면곡선을 엄밀하게 예측할 수 있으면서도 어느 정도 간략화된 모델들이 철강사들에 의해 다양하게 개발되었다. 종전에는 롤교체주기 사이마다 압연 순서를 정하는 롤단위를 일정한 두께와 폭으로 패턴을 잡아 정해야만 했던 것과는 달리 이렇듯 압연기 자체에서 판프로파일을 제어할 수 있게 되자 판의 목표치수에 관계없이 압연순서를 자유로이 정할 수 있는 스케줄프리압연기술이 응용되기 시작하였다. 이때 판폭이 자유롭게 변할 수 있으려면 압연롤의 국부 마모를 방지해야 하는데, 마모를 분산시키는 방법으로 작업롤 쉬프팅압연기가 널리 응용되거나, 압연기내에서 롤을 연마하는 장치의 개

발로 해결되고 있다. 한편, 판크라운을 제어하는 수단으로 도입된 고기능 압연기들이 초기에는 후단 압연스탠드에만 적용되어 크라운과 형상을 동시에 제어하는 기술이 적용되었으나 요즘엔 박물의 저크라운제품이 많이 요구되어 전단 스탠드에 고기능형상제어 압연기를 설치하여 크라운은 전단 스탠드에서 제어하고 판형상은 후단의 박물 사이즈 압연시에 제어하는 압연 방법이 새롭게 적용되고 있다.<sup>(9)</sup>

에너지의 효율적인 절감책으로 시도된 연속주조와 열간압연공정의 연속화 기술은 70년대부터 시도되어 왔으며 초기에는 연주된 스톱를 뜨거운 상태로 열연의 재가열로에 장입하는 기술(HCR)단계로부터 재가열단계를 완전히 생략하고 연주된 스톱를 직접 열간압연하는 열편직접압연기술(HDR)로 발전해왔다. 이 열편직접압연기술을 실현하기 위해선 연주스라브의 폭을 대폭 변경시킬 수 있는 대폭압연기나 폭가변프레스를 조압연기 입측에 설치하여 연주 스톱의 폭을 다단계로 변화시킬 수 있도록 하고 스케줄 프리압연기술을 실현하여 압연순 편성의 제약이 없어야 한다. 최근에는 롤프로파일을 직접 측정하기도 하고 내마모 특성이 우수한 고속도강롤을 채용하여 롤편성의 제약이 대폭 완화되었다.

연속화의 개념에서 보면 최근에 시도된 박스라브연결 열간압연기술은 재가열 공정은 물론이고 조압연 과정도 대폭 축소하여 열연박판코일을 제조할 수 있는 매우 혁신적인 공법이다. 종전의 연속주조법은 250mm 정도의 두께로부터 압연을 개시하였는데 박스라브법은 스톱의 두께가 50~100mm 정도로부터 압연을 개시하는 반면에 최종제품의 두께는 같기 때문에 압연부하가 줄어드는 효과가 있으며, 열연에서 1mm 이하의 극박물을 생산하는 데도 유리한 장점이 있다. 다만 아직은 박스라브공정에서 일반 연속압연공정에서와 같은 품질을 획득

하지 못하는 단점이 있어 이를 개선하는 기술의 발전이 기대된다. 또한, 열연의 최대 문제점은 안정통판기술인데 매스라브마다 단속적으로 통판을 시키기 때문에 판의 선단부가 권취기에 물리기까지와 판의 후당부가 최종압연기를 빠져나간 후 완전히 권취될때까지는 매우 불안정한 통판이 이루어진다. 특히 박물압연시나 저크라운재의 압연시에 통판성을 확보하기가 매우 어렵고 중요한 기술이다. 이러한 문제를 근본적으로 해결하기 위한 수단으로 열연공정을 완전 연속화하는 방법이 생각될 수 있는데 현재 마무리압연기 입측에 스톱 용접기를 설치하여 조압연된 압연바(bar)를 서로 용접하여 연속압연을 실현시키고자 시도되고 있다.<sup>(9)</sup> 여러가지 난관들이 예상되기는 하지만 이 방법을 실현시키기 위한 중요한 여러가지 기술들이 이미 완성되어 있어 이의 실현은 대체로 낙관적이다.

#### 4. 냉간박판압연기술

냉간압연에서의 기술발전은 Fig. 3에 표시하였다. 이 역시 Fig. 1, 2와 마찬가지로 점선의 상자와 ◆는 국내에 아직은 실용화되지 않은 기술 및 장치를 나타낸 것이다.

판두께제어방식은 1번과 5번 스탠드 후변에 설치된 판두께계에 의한 피드백제어가 주로 활용되었으나 냉간압연판의 경우는 마이크로미터 단위로 관리할 필요가 있어 피드백 제어만으론 한계가 있어 별도의 제어 방법들이 보완될 필요가 있었다. 따라서 압연시에 생기는 외란요소를 감소시키기 위한 대책으로 유막베어링을 가감속 중에 유막두께변화가 없는 롤러베어링으로 교체하거나 편심제거장치를 이용하는 한편 피드퍼워드 제어를 응용하기도 하였다. 그러나 냉간연속압연은 열간연속압연과는 달리 스탠드간 속도의 편차를 해소시킬 수 있는 루퍼가 없어서 중간 스탠드에서 롤간격을 조정하면

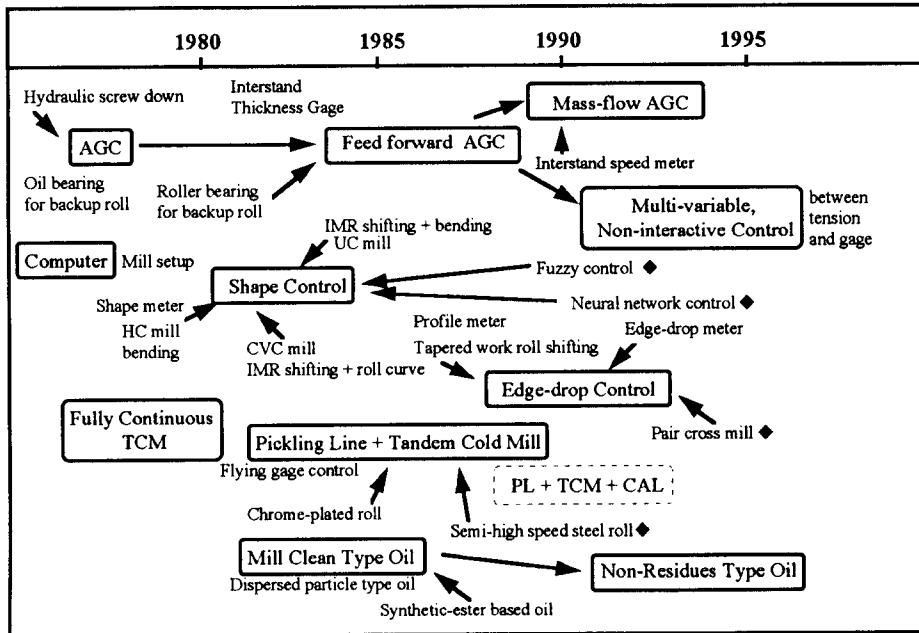


Fig. 3 냉간박판 연속압연기술의 세계적인 발전추세

전후 장력의 변동을 유발시켜 두께를 조정 한 효과가 거의 소실되는 특징이 있는데 이는 판두께와 장력간에 서로 간섭현상을 일으키기 때문이다. 따라서 장력과 두께간에 비간섭제어 로직이 개발되고, 다변수제어 방식이 두께제어에 응용되기도 한다. 또한 압연 스탠드간에 장력계와 판두께계는 물론이고 판속도계를 설치하여 압연기 내에서 발생하는 모든 압연변수를 즉시 파악할 수 있어 실질적인 질량흐름제어를 실시할 수 있을 뿐만 아니라 스탠드간 장력제어와 함께 종합적인 두께제어 시스템으로 완성하게 되었는데 이 경우 판두께 정도가 0.8 mm 두께의 판을 기준으로 할때 0.45% 이내까지도 제어할 수 있는 것으로 나타났다.<sup>(10)</sup>

형상을 제어하는 수단으로 70년대만 해도 롤벤딩 방식만이 응용되어 왔으나 80년대 들어 여러가지 형태의 고기능 형상제어 압연기들이 속속 개발됨에 따라 롤크라운 변경을 통한 판형상제어를 가능하게 되었으니 입측 판크라운의 꼴에 맞게 롤간격의 프로

파일을 일치시키면 평탄한 압연판을 얻을 수가 있게 되었다. 판형상을 측정하는 장치도 여러가지로 발달됨에 따라 측정된 형상을 피드백하여 최종스탠드에서 형상 교정을 쉽게 할 수 있게 되었다. 이때 난해한 형상을 교정하는 방법으로 압연롤의 국소 부위를 냉각시켜 롤곡선을 조정하는 방법 등에 퍼지 추론법 등의 알고리즘이 응용되기도 한다.<sup>(11)</sup>

최근에는 압연판의 판폭단부의 두께 균일 여부가 매우 중요하게 되었는데 이는 강판의 2차가공에서의 공정자동화로 인해 판폭단부에서의 두께부족현상인 엣지드롭이 불량발생의 직접적인 원인이 되는 경우가 발생하기 때문이다. 엣지드롭은 판폭단부의 자유변형과 롤의 편평형상에 의해 발생하는 데 이를 압연중에 방지하기 위한 방법으로는 작업롤 슈프팅이 가능한 압연기에서 롤의 단부에서의 직경을 점차 경사지게 하여 이 경사부위를 판단부에 일정량 중첩시켜 판단부에서의 두께변형량을 완화시키는 방

법이 매우 효과적인 것으로 나타났다. 이 엣지드롭 제어는 전반 스탠드에서 효율적인 데 판폭 기준으로 롤의 경사부를 일정량 중첩되는 양을 설정하는 방법도 있지만 엣지드롭계를 설치하여 피드백 또는 피드포워드 제어하는 방법도 사용되고 있다. 이밖에도 최근에는 패어크로밀의 형상제어능력이 큰 것을 이용하여 엣지드롭을 제어하여도 효과가 있다고 보고되고 있다.<sup>(12)</sup>

냉간압연공정은 원래 복잡하고 여러 단계가 중첩된 공정이라 일찍부터 연속화의 주요 대상이었다. 국내에는 70년대 상반기에 연속식 냉간압연기가 설치된 이래로 10여년간은 별 진전이 없다가 80년대 후반기에 들어 급속한 설비투자와 더불어 산세-연속연압의 연결공정과 전해청정, 소둔, 조질압연이 연속화된 연속소둔공정이 계속 추가 건설되어 이제는 연속화설비가 냉연공정의 정형으로 되었다. 연속화 공정의 장점은 판의 선단부로부터 후단부 꼬리부까지 압연품질이 매우 균일해져서 실수율이 월등히 상승할 수 있다는 점이 있으나 각 단위 공정간의 생산성 및 조업능률 측면에서의 정합성을 이루는 일이 오히려 중요하게 강조되기도 한다. 실제로 산세로부터 압연과 연속소둔공정까지를 전체로 연속화시킨 설비가 건설된 예<sup>(14)</sup>가 있지만 생산성 측면이나 조업관리 측면에서 비효율적 요소를 극복하지 못해 단위설비를 서로 분리하여 조업하는 불합리한 일이 발생한다면 곤란할 것이다.

냉간압연 제품이 가져야 할 가장 중요한 품질은 표면품질이라고 해도 과언이 아닌데 냉간압연유회와 관련된 압연유의 변천을 생략할 수 없다. 유회유는 압연가공중에 강판 표면으로부터 분리된 철분입자등이나 압연유 성분의 비누 성분이 생성시키는 물질이 주변의 환경을 오염시키고 판표면에 잔류하여 표면 품질을 나쁘게 하는 성질이 있어 이를 해소하고자 압연유의 분산이나 유회특성을 개선하고 천연유지 대신에 합성에스테

르 계통의 압연유들이 채용되어 오고 있다. 표면광택을 어느 정도 확보하기 위해서는 압연유의 점도가 낮은 것이 바람직하나 이 경우엔 롤에 유입되는 유량이 감소되어 유회율이 나빠지고 히트스크래치의 발생위험도 있어 서로 상반된 문제를 동시에 해결해야 하는 곤란한 기술적 과제를 해결해야만 한다. 즉, 표면 잔류물이 없어도 유회율은 매우 우수한 압연유를 개발하기 위해 합성유종 및 첨가물질들의 변이를 추구할 필요가 있다.

## 5. 맺 음 말

최근 20여년간 강판압연기술이 발달해온 과정을 조명해 보면서 국내의 기술수준을 그림에서 대비해 보았다. 여기서 주로 다룬 부분이 판두께제어, 형상제어 그리고 연속화 기술로서 설비의 응용적인 측면만이 주로 강조되고 이를 효율적으로 운용하는데 필요한 이론적 배경이나 모델의 상세한 해설이 부족한 듯하나 실제로는 이들 설비운용기술이 전체적인 생산성과 품질의 수준과 연결되기 위해서는 훌륭한 이론적 모델이 뒷받침되어야만 한다. 그동안 국내에 여러 가지 형태로 도입된 압연기술들의 실제적 원천이 선진국에 있었다는 점이 간과될 수는 없겠으나 실제로 운용하는데 사용한 여러 운용모델들중의 상당한 양은 우리의 기술로 다듬고 개선하여 왔으며 최근에는 독자적인 모델의 구성에까지 역량이 쏠리고 있다는 점에서 매우 고무적이다. 강판 생산량 측면에선 이미 세계적으로 최선진국 수준에 도달한 작금에 이르러 기술적 도약이 뒷받침되지 않는다면 사상누각이 될 수 밖에 없다. 앞에서 예시한 많은 부분에 있어서 국내기술이 아직도 미흡한 여러 부문에 대한 기술적 도전을 멈추지 말고 보다 더 앞선 기술이 우리의 손으로 개발되는 일이 자주 있기를 바라는 마음으로 이 글을 마친다.

## 참고문헌

- (1) Saino, K., et. al., 1995, "Development of Prediction Model for Rolling Load," CAMP-ISIJ, Vol. 8, No. 2, p. 443.
- (2) Nishioka, K., 1994, "Improvement of Size and Gauge Control in Steel Sheet Rolling," Tetsu-To-Hagane, Vol. 79, No. 3, pp. 3~9.
- (3) Nishioka, K., 1994, "Precise and Efficient Plate Rolling Technology on Pair Cross Mill," Development and Prospect of Theory and Technology of Sheet Rolling, Prodeedings of the Memorial Symposium of 100th Rolling Theory Committee, Tokyo, Japan, ISIJ, pp. 67~78.
- (4) Park, B. H., et al., 1994, "On-Line Control of Front End Bending in Plate Rolling," Proceedings of the 6th International Rolling Conference, Düsseldorf.
- (5) Nunokawa, T., 1989, "Gage Control Using Interstand Thickness Meter for Hot Strip Mill," CAMP-ISIJ, Vol. 2, No. 2, p. 485.
- (6) Kamata, N., 1989, "Development of Gauge Control System Using Fuzzy Theory for Hot Strip Mill," CAMP-ISIJ, Vol. 2, No. 5, p. 1474.
- (7) Kawakami, K., 1995, "New Crown Control Method in Nagoya Hot Strip Mill," CAMP-ISIJ, Vol. 8, p. 451.
- (8) Fujimoto, T., 1989, "Development of Strip Velocity Measuring System for Hot Strip Mill," CAMP-ISIJ, Vol. 7, No. 5, p. 1473.
- (9) Ooi, T., 1994, AGC System of Kashima No. 2 Cold Strip Mill, CAMP-ISIJ, Vol. 7, No. 5, p. 1444.
- (10) Katayama, Y., et. al., 1993, "Outline of Improvement in Shape Control," Tetsu-To-Hagane, Vol. 79, No. 3, pp. 56~61.
- (11) Shigematu, K., 1994, Outline of the No. 2 Cold Strip Mill at Kashima Steel Works., CAMP-ISIJ, Vol. 7, No. 2, p. 445.
- (12) Kawasaki, Y., et. al., 1987, "Fully Integrated Processing Line at Hirohata Works of Nippon Steel Corporstion," Proceedings of the 4th International Steel Rolling Conference, Vol. 2, E34.