

## 21세기 침탄열처리 기술의 발전 전망 (Carbuurizing : Challengers for the Next Century)

内藤武志(Takeshi Naitoh)

- 정리 : 부경대학교 김 한군 · 정 태영  
Han-Goon Kim, and Tae-Young Chung

### 1. 시작하면서

침탄용재료 및 그 열처리기술에 관한 변천과 앞으로의 전망에 대하여 고찰해 보고자 한다.<sup>1),2)</sup>

### 2. 열처리업계 주위 환경

열처리업계는 다른 업계와 같이 거품경제의 붕괴에 의한 급격한 엔고의 영향으로 국내산업의 침체와 열처리부품의 해외산업에 의한 가격경쟁의 영향을 받았다. 그 결과, 열처리 부품의 가공가격의 저하는 과거에 그 예를 찾아 볼 수 없을 정도에 이르렀다. 그림 1은 武智弘씨에 의한 제품의 비용과 가치와의 관계를 나타내고 있다.<sup>3)</sup> 즉 비용이 일정할 때 품질이 좋게 되는 0A의 벡터가 바람직하다. 그러나 좋은 제품을 만들기 위해서는 그만큼의 비용이 든다. 종래에는 가치/비용의 비가 큰 0C 벡터였다.

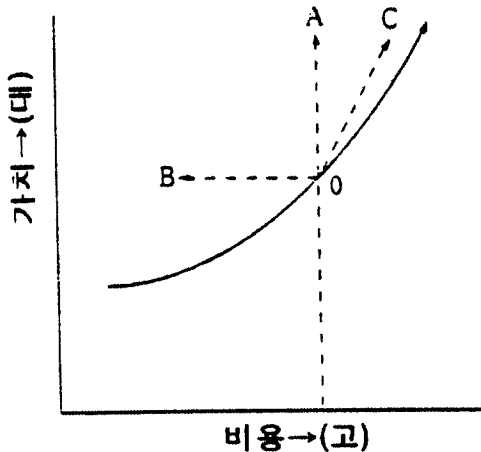


그림 1. 제품의 비용/가치 비율 표시한 각각의 벡터.

그러나 거품경제의 붕괴 후 품질이 나빠도 좋다는 것은 아니지만 0B의 벡터에 주목하기에 이르렀다. 가치가 일정할 때 비용을 저하시키는 것은 말하자면 가치/비용의 비율 크게 하는 것과 같고, 이러한 현상은 종래에도 증가하여 품질의 향상을 강하게 요청되는 시대에 돌입하고 있다고 볼 수 있다.

그림 2는 “소형재연감” 및 “금속열처리 가공통계”에 나타난 데이터를 사용해서 만든 그림이다.<sup>4)</sup> 침탄 퀀칭 템퍼링처리는 16년간에 7%로부터 12%로 거의 71%증가하고 있다 (종축의 비율은 각 년도의 총처리 증량에서 각 처리방법에 의해 처리증량을 나눈 것이다). 침탄이외의 처리방법에 대한 연도별 변화는 생략한다.

침탄처리의 비용은 다른 처리에 비교해서 일반

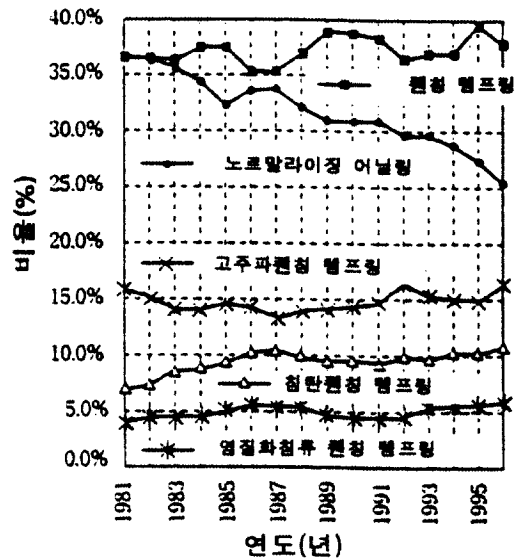


그림 2. 연도별 가공 종류에 의한 비율(%).

적으로 높다. 그러나 그와 관계없이 수요가 증가하고 있는 이유는 다음과 같이 생각된다.

첫째로 모든 기계 및 그 장치는 고속도강, 고정도화(高精度化) 및 소형경량화의 방향으로 흐르고 있다. 따라서 이들을 구성하고 있는 부품에 대해 모두 정밀한 형상과 동시에 고강도인 것이 바람직하다.

둘째로는 생산성 측면이다. 예를 들면 고주파 퀴칭에서 비교적 단일한 증량의 경한 부품을 한 개씩 처리하는 것보다 침탄에서 모아서 처리하는 편이 유리한 경우도 있다.

### 3. 침탄용 재료 및 침탄열처리 기술의 변천

#### 3.1 침탄용재료

철강용어(제품 및 품질) JIS G 0203-1984에 의하면 "표면경화강은 「저침탄강 및 저탄소합금강에서 주로 침탄퀴칭에 의해 표면경화시키는 강」으로 되어 있다

또 강의 열처리(5)에 의한 표면경화강의 해설에 의하면 탄소량은 0.2%이하 정도인 것이 필요하다고 되어 있다. 그 이유는 비경화부는 퀴칭에 의해서 그다지 경화되지 않고, 또 어느 정도의 강도와 인성을 필요로 한다고 되어 있다. 이러한 개념은

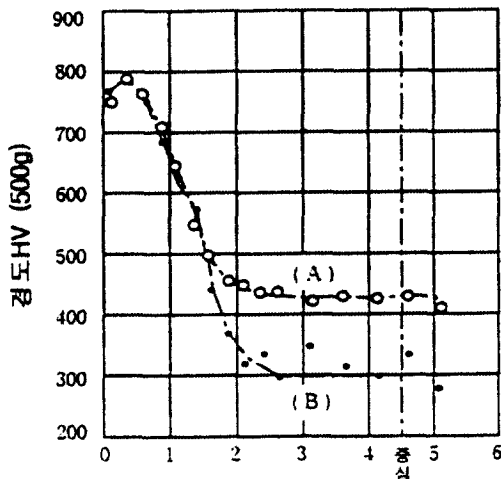


그림 3. 시험편의 경도분포.

오래전부터 잘 알려져 있는 사실이다.

그림 3은 SCM 420강을 침탄하여 퀴칭온도를 860°C 및 780°C로 하였을때 각각의 내부경도를 HV 450 및 HV 310이 되도록 조정 한 것이다. 그림 4는 위에서 나타낸 비경화부의 경도를 바꿔 회전굽힘 피로시험을 실시한 것이다.<sup>6)</sup>

이 그림으로부터 알 수 있는 바와 같이 비경화부의 경도가 높은 쪽이 낮은 쪽에 비교해서 수명이 긴 것을 알 수 있다. 일본에서는 침탄용재료의 탄소량을 0.2%전후로 하고 있지만 미국의 어느 회사에서는 0.4%를 사용하고 있는 부품도 있다.

또 합금원소를 포함한 침탄용재료에 있어서 그 변화를 자동차에 대해서 고찰해 보자. 그림5는 자동차에 사용되는 기계구조용강의 사용추이를 나타낸 것이다. 이 그림에 의해 알 수 있는 바와 같이 분명히 Cr 강과 Cr-Mo강 (모두 침탄강)의 소비량은 증가하는 경향이다. 한편 Ni-Cr-Mo강과 같이 재료 비용이 높은 재료의 소비량은 오히려 감소하는 추세이다. 구미 각국에 있어서도 합금원소를 많이 포함한, 말하자면 재료비용이 높은 재료는, 가령 제조 과정 전체를 볼때 저가(低價)인 경우라도

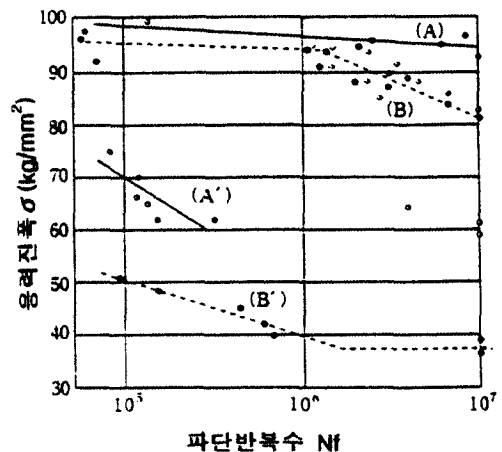


그림 4. 회전굽힘 피로강도에 미치는 심부경도의 영향. 그림 중 (A), (B)는 그림 3의 (A), (B)시료임. 또 (A'), (B')는 침탄하지 않고 소재를 퀴칭온도, (A'):860°C, (B'):780°C에서 처리한 것임.

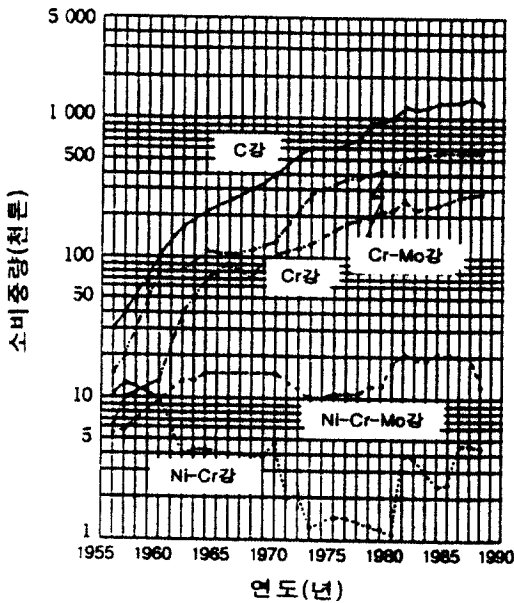


그림 5. 자동차에 소비된 기계구조용강의 사용 추세.

사용되지 않는 경향이 있다.

### 3.2 침탄열처리

침탄의 역사는 오래 되었으며 1945년경에는 고체침탄과 염욕침탄이 보급되어 있었고, 그 당시 일본에서는 아직 가스 침탄이 이루어지고 있지 않았다.<sup>2)</sup> 그 이후 연구개발이 이루어져 수많은 침탄방법이 등장하게 되었다.

표 1은 지금까지 개발된 여러 가지 침탄방법의 변천과정을 간단히 정리한 것이다. 개발된 기술을 시대별로 보면 품질이 향상되어 왔고, 비용이 감소되고 있음을 알 수 있다.

표 1의 10번째 항에 나타낸 바와 같이 현재 사용되고 있는 기술의 장단점이 명확하고, 또 사용자-수요자도 분명하기 때문에 머지 않은 장래에 새로운 침탄열처리 기술이 출현될 것으로 기대된다.

## 4. 침탄설비의 변천

### 4.1 흡열형 발생로가스를 이용하는 침탄설비

일본에 가스 침탄기술이 도입된 이래 그 주류를 차지하고 있는 것은 역시 흡열형 발생로 가스를 이용한 침탄이다. 현재까지도 이러한 사실은 변함이 없다.

로의 종류로서는 배치형 및 연속형 침탄로가 있으며, 생산량에 따라 한 가지를 선택한다. 동일부품을 다량 생산하는 경우에는 연속형 침탄로가 적합하다. 그러나 최근에는 동일부품을 다량 생산하는 것으로부터 점차 다품종의 생산으로 변화하고 있는 경향이 있다. 그러한 결과는 침탄설비면에도 나타나고 있다.

외국의 침탄로 메이커 등의 자료에 의하면 2가지의 링상에 결합된 침탄로와 확산로로 이루어지고 임의의 침탄깊이가 얻어지도록 트레이(Tray)를 회전형으로 만든 후 다음으로 확산로에 이동하여 적당한 확산을 얻을 수 있도록 회전형으로 하는 구조를 갖는 설비가 이미 실용화되고 있다.<sup>3)</sup> 이렇게 하여 다품종의 작업을 동시에 효율적으로 처리하는 것을 가능하게 하고 있다. 이것은 컴퓨터를 활용한 성과에 의한 것으로 앞으로 더욱 사용자-수요자를 만족시키는 새로운 침탄설비가 등장할 것으로 기대된다.

### 4.2 흡열형 발생로를 사용하지 않는 침탄설비

흡열형 발생로 가스를 사용하는 침탄은 이미 정착되어 안정한 품질을 얻고 있다는 것은 주지의 사실이다. 그러나 가스의 소비량을 절감할 수 없을까 또는 침탄시간을 단축할 수 없을까 하는 소박한 의문도 제기되어 온 것이 사실이다.

예를 들면 유효침탄깊이 0.8mm를 얻기 위하여 침탄온도, 침탄시간, 흡열형 발생로 가스의 흐름 총량 및 첨가한 엔리치(enrich)가스의 총량을 기본으로 다음과 같은 검사를 실시하는 경우를 생각해 보라.

(1) 침탄시간(정확하게는 침탄시간, 확산시간 및 등은 퀘칭 유지시간의 총계)에 흐른 가스중의 탄소의 중량을 계산한다.

(2) 침탄된 부품의 표면에서 임의의 위치까지 탄

표1. 침탄방법의 변천

| 침탄방법      | 변천 내용  |
|-----------|--|
| 1. 고체침탄   | 변천 내용품질 및 작업환경에 문제가 있고 현재 특수한 경우를 제외하고 거의 사용되고 있지 않다.  |
| 2. 액체침탄   | 1960년대까지는 꽤 사용실적이 높았다. 그러나 공해문제가 엄격해짐에 따라 점차 감소하고 있다.  |
| 3. 프레임침탄  | 1950년대 후반에 출현하여 주목되었지만 양산단계까지 이르지 못하고 사라졌다.  |
| 4. 방전침탄   | 프레임침탄과 같이 1960년대에 출현하였지만 양산단계에 이르지 못했다.  |
| 5. 가스침탄   | 일본에서는 1953년부터 기술이 도입되어 지금까지 가장 많이 활용되고 있는 방법이다. 그러나 앞으로 많이 개선될 것으로 기대된다.   |
| 6. 적주식침탄  | 1960년대에 개발되었다. 기본적으로 가스침탄법과 같다. 가스발생로를 필요로 하지 않고 그 나름대로 효과가 있다. 지금부터 가스침탄과 같이 많은 개선이 기대된다.   |
| 7. 진공침탄   | 1974년에 미국에서 개발된 기술이다. 침탄시간의 단축, 가스량이 절약되는 것이 특징이다. 그러나 그을음 문제를 해결하지 못해 크게 보급되지는 못했다. 1996년 일본열처리기술협회의 발표대회에서 문제를 해결하는 방법에 대한 발표가 있었다. 앞으로 감압하의 침탄은 장래 발전할 가능성이 예상된다. |
| 8. 프라즈마침탄 | 1979년에 개발되어 양산은 되지 않았다. 그러나 최근에는 복수의 부품을 트레이에 적재하여 프라즈마 침탄을 실시하고 있다. 지금부터 주목될 기술의 하나이다.  |
| 9. 직접침탄   | 1984년에 실제 생산을 개시했다. 가스발생로를 필요로 하지 않고 또 가스소비량이 종래의 가스침탄방법에 비교해서 20%정도에 불과하므로 점차 보급되어 확대되고 있다. 더욱더 개선이 요망된다.   |
| 10. 차세대침탄 | 상술한 바와같이 5~10년을 주기로 새로운 기술이 개발되고 있다. 적어도 현재의 침탄방법의 결점과 사용자-수요자의 패턴이 바뀔 것은 명확하다. 따라서 새로운 침탄방법이 가까운 장래에 출현할 것으로 기대된다.  |

소농도를 분석한다. 결국 부품에 취입된 [침탄]탄소의 총중량을 계산한다.

(1)과 (2)에서 (2)/(1)×100을 계산하면 약 10%가 된다. 이 값은 침탄깊이와 침탄조업조건에 의해 달라진다고 할지라도 제품을 제조하는 관점에서 보면 결코 합리적인 값은 아니다

이상과 같은 배경에서 다음과 같은 침탄설비가 개발되고 있다.

#### 4.2.1 대기압 이하에서 실시하는 침탄

대기압 이하에서 실시하는 침탄으로써 옛날부터 널리 알려져 있는 침탄 설비로서 "진공침탄로"가 있다. 이 장치를 사용하면 침탄시간의 단축 및 가

스 소비량을 감소시킬 수 있다. 그러나 생산적인 측면에서 여러 가지 문제점이 있기 때문에 폭발적으로 증가하지는 못했으나, 최근의 연구에 의하면 이것들의 문제점도 점차 해결되고 있다.<sup>8)</sup> 또 독일 입센사의 그라펜(W. Grafen)사에 의하면 배치형로(350kg/트레이)를 사용한 프라즈마 침탄의 유용성에 대해서 기술하고 있으며, 이 설비도 지금부터 기대가 큰 것으로 생각된다.<sup>9)</sup>

#### 4.2.2 대기압에서 실시하는 침탄

흡열형 발생로를 사용하지 않고 대기압하에서 침탄로에 침탄용 원료 가스를 직접 도입해서 실시하는 방법을 직접 침탄법이라 부른다. 이러한 연구

는 1980년경부터 개시되어 지금은 실용화의 단계에 이르고 있다. 필자의 소속 회사에서는 현재까지 약 200대 (배치형로, 연속로를 포함)의 판매실적을 가지고 있다. 이 설비를 이용하면 침탄시간은 종래의 흡열형 가스를 사용해서 실시하는 방법에 비해서 15~20% 단축할 수 있을 뿐만 아니라 침탄 가스도 종래에 사용하는 양의 20%정도이면 된다. 이러한 방법에 의한 설비도 지금부터 기대되는 부분이다.<sup>10, 12)</sup>

4.3 설비 측면의 에너지 개선

여러 가지 측면에서 에너지의 총사용량을 감소시키는 방법이 강하게 요구되고 있으며, 침탄설비에 있어서도 마찬가지다. 四條등에 의하면 리제네버너를 사용하여 열에너지 소비량을 35% 절약하고 또한 로벽표면 온도를 약 20℃ 저하시킬 수 있다고 하였다.<sup>13)</sup> 이것은 하나의 예에 불과하지만 에너지 개선을 위한 새로운 침탄방법은 여러 가지가 있고 앞으로 그 활용이 기대되는 부분이다.

이상에 나타난 바와 같이 침탄용 설비의 측면에서 보면 단순히 침탄이 가능하다고 하는 기능뿐 아니라 요망되는 생산의 형태에 적합한 침탄용설비가 아니면 안된다. 동시에 침탄시간 단축이 필연적이고 사용 침탄가스의 효율성(제품이 흡수한 탄소량/공급한 가스 중의 탄소량)의 향상도 필수적이며, 더구나 비용 절감은 말할 필요도 없다.

5. 침탄과정의 변천

침탄 대상부품의 대부분은 기어나 샤프트 종류이고 반복하중을 받는다. 따라서 내피로강도가 우수한 침탄열처리 기술이 요망된다. 동서고금을 막론하고 재료의 강도를 향상시키는 것은 재료 기술자에 있어서 영원한 과제이다.

5.1 1차, 2차 퀴칭

주강용어(G 0201)-1987 번호 4121, 4122에 소개되어 있는 1차, 2차 퀴칭 과정은 현재 거의 실시되

고 있지 않은 실정이다. 그러한 이유는 노내 분위기 제어기기의 발달 때문이다.

주지하는 바와 같이 침탄로 분위기의 제어는 (1)로점 측정에 의한 방법, (2)적외선을 이용한 CO<sub>2</sub>측정법, (3) 산소센서에 의한 로내의 O<sub>2</sub>측정법으로 변화되었다. 표면탄소량 0.8%를 목표로 하는 경우 그 제어범위를 ±0.05%로 하는 것도 현재로서는 불가능한 것이 아니다.

지금부터 컴퓨터를 활용한 제어기술이 점점 진보하고 있기 때문에 이전에 불가능하였던 침탄열처리 과정을 지금은 가능하게 하고 내피로강도가 우수한 침탄열처리 기술이 등장할 것이다.

5.2 복합처리

수년 전부터 침탄부품의 내피로강도 개선책으로서 쇼트피닝 기술이 도입되고 있다. 이 기술은 1930년 전반에 이미 사용되고 있었다. 그 이후 주변기기의 발달에 의해 정밀도를 우수하게 제어할 수 있게 되므로써 현재 개선되어 적용되기에 이르렀다.

그림 6은 SCr 420H 재료에 침탄하여 제어된 쇼트피닝을 실시한 후 기어에 대한 피로시험을 실시한 것이다.<sup>14)</sup> 이 그림에서 쇼트피닝의 강도를 변화시키는 것에 의하여 기어의 굽힘강도가 변한다. 106회에 걸친 기어의 응력시험 결과 쇼트피닝에

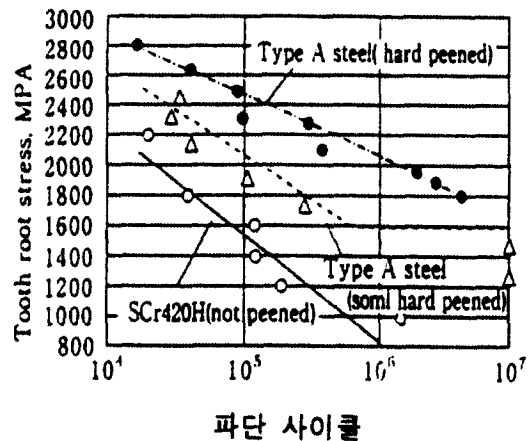


그림 6. 기어 피로시험결과.

의해서 쇼트피닝을 실시하지 않은 것에 비교해서 2·3배 향상하고 있다는 것을 알 수 있다.

이 처럼 단순한 침탄만의 단독 과정에 기존의 기술 또는 신기술을 조합하는 것에 의하여 재료의 강도는 더욱 개선될 수 있다.

### 5.3 재료선택과 그 처리

앞의 3.1항에서 침탄용 재료의 항에서 침탄강에서 모재의 탄소함량에 대하여 설명하였다. 그림 7은 침탄온도 930℃, 침탄시간 10시간, 노분위기의 카아본 포텐셜을 0.8%로 하고 930℃에서 탄소의 확산계수  $D=2.35 \times 10^{-7}(\text{cm}^2/\text{sec})$ , 모재의 탄소량을 0.2%, 0.3% 및 0.4%로 하였을 때 Fe-C강에서 탄소농도 분포를 계산한 것이다.

이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 모재의 탄소량이 증가하면 유효침탄깊이는 깊어지게 된다. 또한 0.2%의 재료는 유효침탄깊이 1.22mm, 10시간이다. 0.4%의 재료에 있어서 유효침탄깊이 1.22mm를 얻는 침탄시간을 같은 방법으로 계산하면 약 2시간에서 유효침탄깊이 1.22mm가 얻어질 수 있다.

이것은 하나의 예에 불과하지만 “표면경화강”의 경험을 충분히 활용하여 재료선택과정을 개선하면 품질 향상과 비용을 더욱 감소시킬 수 있을 것이다.

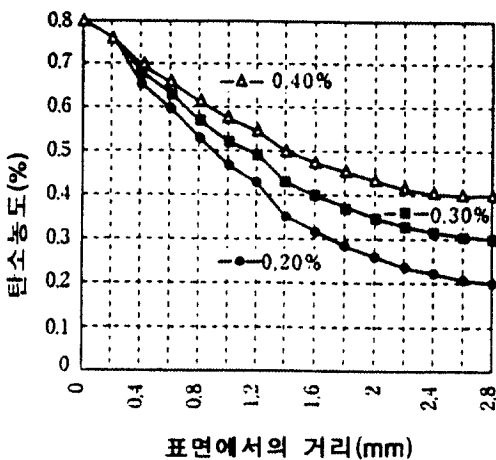


그림 7. 탄소농도분포에 미치는 소재 탄소량의 영향.

## 6. 환경변화

기후변화에 대비한 국제협약이 어떠한 내용으로 결정될 것인가에 대해서는 예측하기 어렵다. 그러나 지구 온난화 가스로 알려져 있는 이산화탄소의 배출량을 감소시키는 것에 대해서는 선진국간에 이론의 여지가 없다. 따라서 열처리업계에서도 빠르든 늦든 이 문제를 피하는 것은 불가능하다.

한편 1993년 7월 6일 일본 국무회의에서 결정된 「에너지사용의 합리화에 관한 기본방침」에 의하면 에너지를 사용하는 사람도 또 이것에 관계하는 설비를 제공하는 사람도 어떠한 조치를 취할수 있도록 하고 있다.

요약하면 지금까지의 제품을 만드는 것을 목적으로 하고 있던 수요자 개념에서 지구환경을 유지해 가기 위한 사회적 요청에 기인한 소비자 개념에 더욱 접근해 갈 것으로 추정된다. 그 결과 작업환경도 크게 개선되고 가까운 미래에 노동력 부족도 해소될 것이다.

## 7. 총 괄

지금까지 설명한 침탄용재료, 침탄설비 및 침탄 기술에 대하여 과거의 개발 경위와 가까운 장래의 4가지 단계로 시대를 구분하여 표 2에 나타낸다.

### (1) 제 1 세대

대개 1950년 이전을 대상으로 하고 있다. 고체침탄이 주류이고 작업환경은 결코 좋지 않았다. 재료는 고Ni소재이고 열처리기술이 충분히 갖추어지지 못한 것을 재료로서 보완했던 것으로 생각할 수 있다.

### (2) 제 2 세대

가스침탄로가 도입된 이후인 1975년경을 대상으로 하고 있다. 고도 경제성장을 이루었던 시기로 질적인 면과 양적인 면이 다같이 크게 발전하였다. 노분위기의 분위기 제어를 가능하게 하여 재료의 저급강화를 가능하게 하였고 품질 향상에 크게 기여했다.

(3) 제 3 세대

1975년~현재까지를 대상으로 하고 있다. 부하응력의 정량화와 재료강도의 정량화가 점점 명확히 되고 재료의 선택 및 그 열처리 방법이 분명한 목적을 가지고 이루어지도록 되었다. 또 제 2 세대와 기본적으로 다른 것은 양적 확대에서 오히려 안정 성장의 시대이고 말하자면 부품의 소형 경량화도도되었다. 그 결과 고강도 저비용인 것이 강조되고 있다.

(4) 제 4 세대

재료에 있어서는 저급강을 기본으로 하지만 고급강을 사용하여 더욱 고부가가치를 높이는 것도 선택될 수 있는 방법이다. 또 생산형태와 칩탄설비

가 지금보다 더욱 밀접한 관계를 가질 것이다.

열처리기술면에서는 필요한 위치에 필요한 만큼의 열처리를 실시하면 (복합열처리) 필요없는 에너지 소비를 피할 수 있을 것이다.

또 大家 등에 의하여 특허공고된 「표면경화강의 칩탄방법」은 A1변태점 이하에서 실시하는 칩탄법이 있다.<sup>15)</sup> 이와 같이 지금까지의 지식을 기초로하여 보다 더욱 발전한 신기술은 지금부터 기대되는 바이다.

8. 마무리하면서

지금까지 칩탄재료, 칩탄설비 및 칩탄열처리 기

표 2. 칩탄재료, 설비 및 칩탄기술의 변천.

| 시대의 흐름   |                                      |   |   |   |
|----------|--------------------------------------|---|---|---|
| 재료       | SNC815 (3.5%Ni)<br>SNCN815 (3%Ni)    |   | (S15CK)<br>(SMn-B)  | 이극화?<br>(1)저급강  |
|          | SNCM 420(1.8%Ni)<br>SNCM 420(1.8%Ni) |   | SCM 420<br>SCR 420  | (2)고급강에 의한<br>고부가가치화  |
| 칩탄로 (설비) | 고체칩탄로                                | 가스칩탄로   | ●요구제품의 명확화 (FEM)<br>●품질평가기술의 진보<br>(1) 프라즈마칩탄<br>(2) 직접칩탄법<br>(3) 냉각방법의 개선<br>(4) 개량 쇼트피닝 | ●컴퓨터에 의한 무인운전<br>●생산형태과 설비의 관계<br>●지구환경대응형설비<br>●열처리프로세스의 메뉴화 |
|          | 구상화로<br>재가열로                         | 배치형가스칩탄로<br>연속형가스칩탄로                                  |   | ↓<br>고강도화, 고정밀도화  |
| 기술 (방법)  | 고체칩탄로                                | 가스칩탄로   |   | ●복합열처리기술<br>(1)기존기술의 조합<br>(2)신표면처리기능<br>요구품질과의 매치            |
|          | 분위기제어없음                              | 로점측정<br>자외선CO <sub>2</sub> 측정<br>산소센서Poz측정<br>분위기제어가능 | 마르텐사이트의 이용, 칩탄물분산처리, 오스테나이트의 제어   |   |

술의 발전 경위를 설명하고 앞으로의 전망을 모색하였다. 과거와 비교하여 지금부터 고려해야 할 중요한 점은 환경문제와 열처리와의 관계가 될 것으로 생각된다. 또 지금까지처럼 열처리설비 메이커에 대한 최종 소비자 혹은 열처리가공 메이커에 대한 최종 소비자의 관계에 그치지 않고 재료제조 메이커도 참여하는 복선형동시진행(simultaneous or concurrent engineering)으로 서로 협력하여 혁신적인 “제품”, “기술”이 등장할 것으로 믿어 의심치 않는다.

참고문헌

(1) 田村今男 : 熱處理, 26, p.97 (1986)

(2) 新美格 : 熱處理, 34, p.53 (1994)

(3) 武智 弘:自動車用材料 심포지엄 텍스트, (社) 日本鐵鋼協會平成 11年 11月 4日, 於九州大學

(4) 素形材年鑑 1995 年, (財) 素形材센터 및 金屬熱處理加工統計 (月報), 日本金屬熱處理工業會

(5) 鋼의 熱處理, 改定 5版, 日本鐵鋼協會編, 丸善 (1985)

(6) 內藤武志 : 浸炭 퀴칭의 實際, 日刊工業新聞社 (1979)

(7) LOI THERMPROCESS GMBH 사 , Moltkeplatz 1 D-45138 Essen, Germany

(8) 久保田, 山本, 岩田, 石川 : 第43回 日本熱處理技術協會講演大會, 講演 概要集 (1996. 12.).

(9) W. Grafen : Heat Treatment of Metals, 23, p.87 (1996).

(10) T. Naito, K. Ogihara : 1995 Carburizing and Nitriding with Atmosheres, ASM, 6-8 December (1995)

(11) 內藤, 荻原, 川村, 若月, 中廣 : 第42回日本熱處理技術協會講演大會, 講演概要集 (1996. 6.).

(12) B. Edenhofer : (10)과 同一의 發表機關

(13) 四條, 藤井, 熊谷, 武本 : 第43回 日本熱處理技術協會講演大會, 講演概要集 (1996. 12.).

(14) 松本 隆 : 浸炭鋼에의 쇼트피닝 심포지엄 텍스트, 明治大學(1994. 9. 5.).

(15) 大塚岡田 : 特公平 8-30256