

\*이 글은 日本 “熱處理” 제 50권 4호, p. 368-376에 게재된 내용을 번역 정리한 것임.

## W-Eco 향상을 위한 고주파 열처리의 고성능화

지 태 구

홍익대학교 재료공학부

### Toward the High Performance Induction Heat-treatment Accompanied with W-Eco (Ecological&Economical) Effect

#### 1. 서 언

고주파 열처리가 미국에서 표면 켈칭에 이용 된지 약 100년, 일본에서 크랭크샤프트 켈칭 장치로 도입 된지 약 70년이 되어 결코 새로운 기술은 아니다.

그러나 지금까지 고주파 열처리에 관련된 업계, 학회의 여러 선배·관계자의 끈임 없는 노력으로 지금도 한결같이 지속적으로 발전을 계속 하고 있어 우선 제 선배와 현역에 있는 여러분께 감사드립니다.

고주파 열처리는 고주파 유도가열에 의해 급속가열, 표면가열, 부분가열을 활용하여 가장 많이 적용되고 있는 켈칭을 위해서 템퍼링, 어닐링, 용해, 가공 전 가열, 수지와와의 접착이나 도장건조(저온) 가열 등에 이용되고 있다.

고주파 열처리는 전기를 에너지원으로 하는 유도가열을 이용하기 때문에 Fig. 1과 같이 CO<sub>2</sub> 배출량이 적어 환경에도 우수하고(Ecological), 또 켈칭, 템퍼링의 연속처리에 의해 안정된 품질을 고효율로 얻을

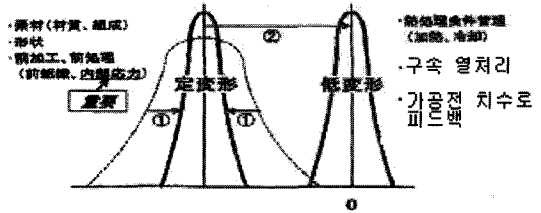


Fig. 2. W-T(점·저) 변형개념.

수 있다. 또 Fig. 2와 같이 W-T(저·정) 변형 실현으로 후 가공 공정 감소가 가능하여 경제적(Economical) 이어서, 지구 환경을 중시하는 시대 조류에도 합치되는 W-Eco(Ecological & Economical) 열처리로서 주목되고 있다.

본 원고는 2010년 5월 11일에 개최된 (사)일본 열처리 기술협회 창립 50주년 기념대회에서 「열처리 로드맵」에 관한 심포지움 양케이트에서 고주파 열처리에 대한 회답을 기초로한 내용을 참고로 해서 최근 동향과 전망을 기술하였다.

#### 2. 고주파 열처리 기술의 현상과 앞으로의 과제

상기의 「열처리 로드맵」 작성시 협회 회원으로부터 받은 양케이트 회답을 저자 나름대로 정리한 결과를 Fig. 3(a) (특징·특장) Fig. 3(b) (결과·문제점)에 나타내었다. 고주파 열처리 관계자의 문제의식, 기대감을 강하게 읽을 수 있었다.

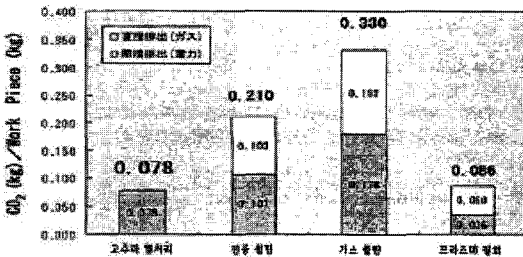


Fig. 1. 각종 열처리에서 CO<sub>2</sub> 배출량 (계산 값).

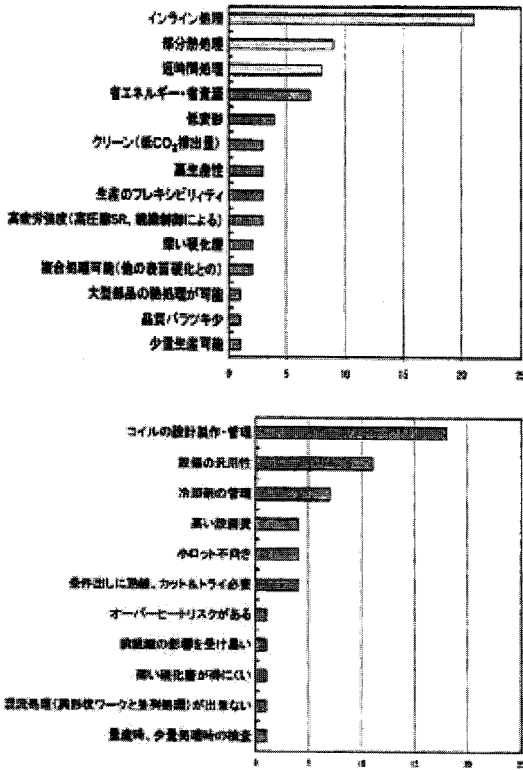


Fig. 3. (a) 로드 맵 앙케이트에서의 고주파 퀴칭 특징, (b) 로드 맵 앙케이트에서의 고주파 도입 과제·문제점.

2.1 특징

2.1.1 인라인화

인라인화는 특징 중에서도 가장 많이 지적 되었다. 인라인화의 대상으로는 ①퀴칭 템퍼링, ②열처리 전후의 가공 공정이 있으나 어느 경우도 급속 단시간 가열을 활용한 하나의 흐름이 가능하기 때문에 안정된 품질을 얻을 수 있으며, 또 플렉시블한 생산 효율을 잘 할 수 있는 것으로 평가되어, 양산라인에서 실용화가 이루어 지고 있다. 폐사에서는 표면가열 뿐만 아니라 전체 가열 퀴칭, 템퍼링 하는 PC강봉이나 냉간 성형 코일 스프링용 강선 ITW의 고주파 연속 열처리를 하고 있어 이것이 인라인처리의 사례이다[2-6].

2.1.2 부분가열

부분가열은 다음으로 지적 많은 것으로 특징으로 단순히 높은 경도가 필요한 부분을 퀴칭하는 것 뿐만 아니라 변형이나 잔류응력도 검사 활용 되고있는 예가 증가하여, 고주파 열처리 시뮬레이션에 의해 마

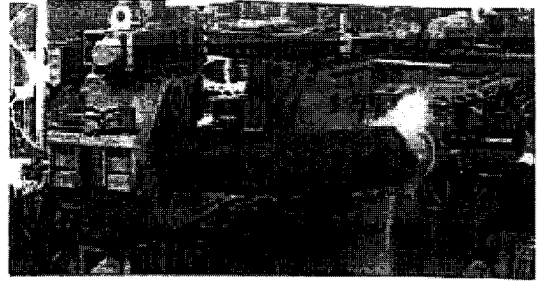


Fig. 4. 파이프 유도가열 벤딩 가공.

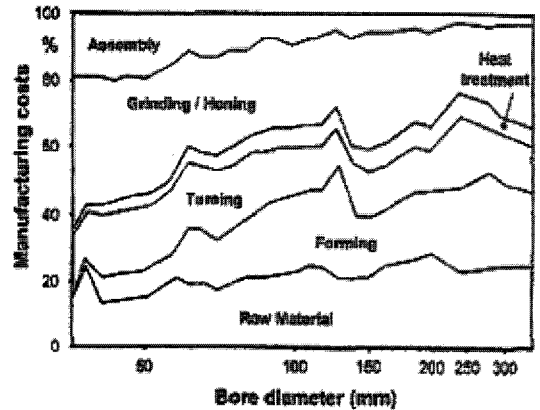


Fig. 5. 2005년 IDE/열처리 변형에 관한 국제 회의에서의 Dr.H-W Zoch 기조강연.

크로 패턴, 변형, 잔류응력도 예측한다.

Fig. 4는 제일고주파 산업에서의 파이프 유도가열 벤딩가공 상황으로 실적이 풍부한 부분가열 활용 예이다[8].

2.1.3 에너지 절약 (그린)

에너지 절약 그린에 있어서는 의외로 지적이 적었으나 저변형과 같이 열처리 결과를 나타내는 내용으로 언급된 것도 포함하면 주목도가 높다. Fig. 5는 2005년에 독일 블레멘에서 개최되어 시작된 “IDE/열처리 변형에 관한 국제회의”에서 대회 위원장 Dr.H-WZoch가 한 기조연설 “From Single Production Step Entire Process Chain-the Global Approach of Distortion Engineering” 중에서 나타낸 그림으로 베어링 부품을 예를 들어 소재에서 전가공, 열처리, 후(마무리) 가공, 어셈블리의 비용의 비를 나타내었다. 고주파 열처리 품에 한정된 것만 아니라 여기

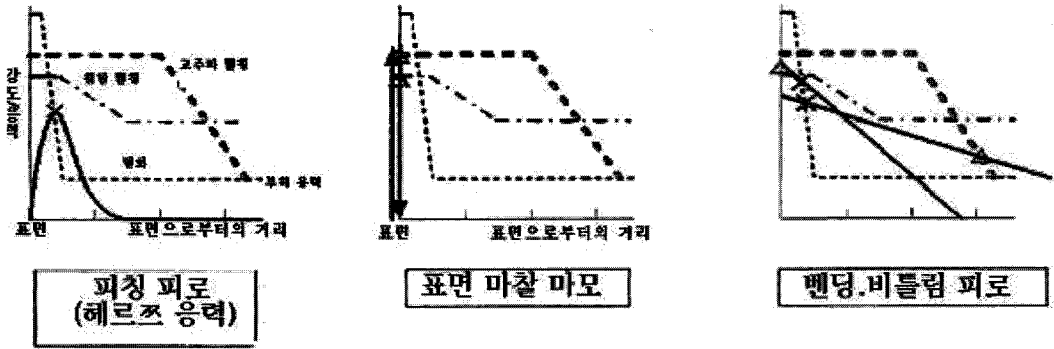


Fig. 6. 부재 길이방향의 반복 부하상태와 각종 표면처리재의 강도와와의 관계 개념.

서 문제점은 다ms 부품도 포함한 후 가공(Grinding/Honing)에서 그 비용은 당시 EU 전체에서 연간 약 1200억엔 이라는 것이다[9]. 이 자원과 에너지 허비를 줄이기 위해 독일을 중심으로 EU전체 프로젝트가 소재에서 제품까지 전 공정에 관한 변형 저감책의 기술 개발을 활발히 진행하여 다음 2008년 대회에서 더욱 유효한 성과가 많이 보고 되었다[10].

기조강연 타이틀의 주 의미는 가격뿐만 아니라 품질면 에서도 중요하여 저자 등도 오랫동안 같은 주제의 “W-T 변형”을 실천해 오고 있으며 여러 가지 Work에서 성과를 가져오고 있다. 단지 본래 열처리 기술에 관한 기업 전체의 공통 중요과제는 열처리 기술 협회가 중심이 되어 기업의 Work을 초월한 산·관·학 협동을 맞는 것이 테마의 하나라고 생각한다.

2.1.4 고 피로강도. 우수한 마찰 마모 특성

반복하여 사용되는 (피로) 부품은 부하상태에서 벤딩피로, 회전피로, 피칭피로(헤르쯔 응력부하)가 있어 더욱이 표면 마찰 마모가 생겨 표면경화의 기여는 각각 조금씩 다르다. Fig. 6은 각종 부하응력 상태와 고주파 퀴칭, 침탄퀴칭, 질화한 소재의 깊이 방향의 피로강도(경화층의 경도와 잔류응력 효과)와의 관계 개념도로, 약간 독단적이나 고주파 퀴칭은 경화층 깊이가 용이하고 높은 압축 잔류응력과 퀴칭시 미세 결정립이라는 특징이 있어 어떠한 부하에 대해서도 우수한 피로강도, 마찰 마모 특성을 갖는다고 생각한다. 미세조직 및 높은 압축 잔류응력 효과에 대해서는 오래전부터 많은 데이터가 보고되어 있

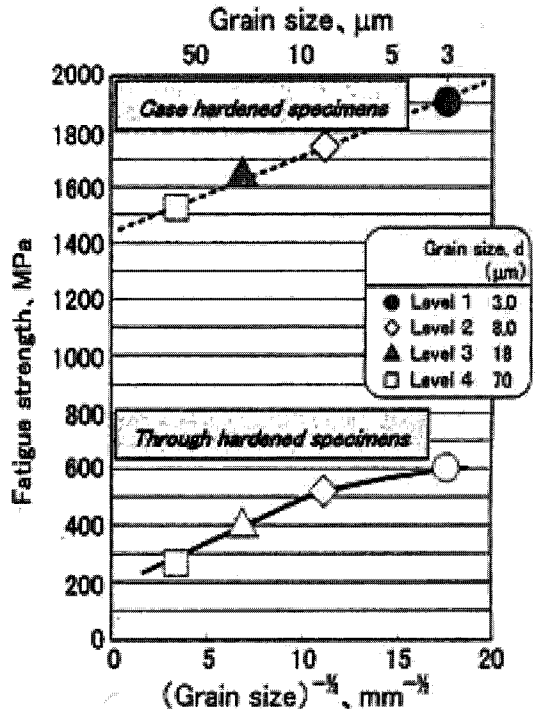


Fig. 7. 고주파 퀴칭재의 피로 강도에 미치는 초미세화 효과.

으니 각 문헌을 참고 하기 바란다.

Fig. 7은 고주파 퀴칭한 SCM440에서 미세화의 가능성을 포함한 결정립의 크기와 벤딩 피로강도와의 관계를 나타낸 것으로 상단이 표면 퀴칭해서 압축 잔류응력의 효과가 있는 경우이고 하단이 전체가열 퀴칭하여 압축 잔류응력이 거의 0인 경우의 피로강도를 나타낸 것이다. 초 급속 단시간 퀴칭(SRIQ : Super Rapid Induction heating and Quenching)을 하게 되면 평균 입경이 약 3μm까지 초미세화가 가

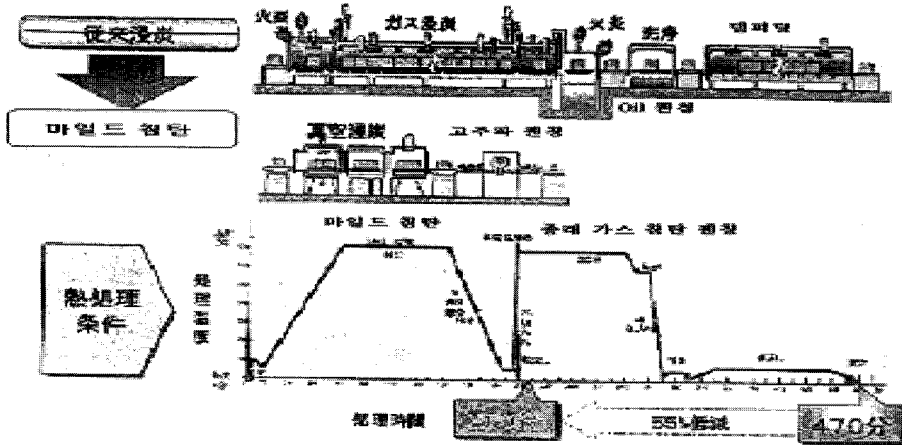


Fig. 8. 복합처리 사례 「마일드 침탄 : 진공침탄 강냉 + 고주파 켈칭」.

능하다. 또 높은 압축 잔류응력을 갖는 3 μm 정도까지의 초미세 표면 켈칭 재는 Hall-Petch형 피로강도의 향상을 나타낸다. 한편 압축 잔류응력이 없는 경우는 10 μm보다 미세한 영역에서 피로강도 향상이 서서히 한계점에 도달하는 것이 뚜렷하게 나타났다[11]. 따라서 실용적으로는 결정립 성장 시간이 극히 작은 SRIQ에서 얻어진 1~3 μm 정도가 단시간 가열에 의한 미세화 한계라 생각된다. 합금원소나 가공의 최적화에 의한 서브 마이크론까지 미세화 한 경우 피로거동은 매우 흥미 있고 실용성도 향상된 높은 피로강도를 기대한다.

2.1.5 복합처리

오래전부터 침탄(켈칭) + 고주파 켈칭, 질화 + 고주파 켈칭, 고주파 가열 + 침탄 켈칭 등의 복합처리가 연구개발 되었으나 복수 프로세스화에 의한 비용증가 때문에 실용화가 상당히 늦어지게 되었다. 그러나 최근 관점을 바꿔 새로운 발상으로 비용, 품질 면에서 실용 가능한 복합처리가 개발되었다.

Fig. 8은 「아이신. A. W」가 개발한 마일드 침탄(진공침탄 냉각 + 고주파 켈칭)으로 처리라인 길이나 처리시간 뿐만 아니고 CO<sub>2</sub> 배출량도 반감하여 경비 감축은 물론, 한번에 품질 안정화, 플렉시블 생산, 저변형화, 환경개선, 안정성 향상(침탄 켈칭시 화염이 없어)등 많은 이점이 있었다[12].

Fig. 9는 페사와 일본 파카라이징이 협동 개발한 염욕연질화와 앞에 언급한 SRIQ을 조합한

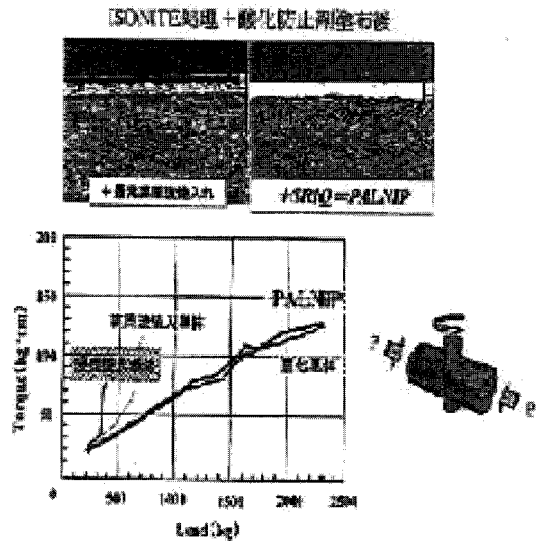


Fig. 9. 복합처리 사례 「PALNIP처리 : 염욕 질화 + 고주파 켈칭」.

“PALNIP” 처리로 염욕질화 후에 일본 파카라이징이 개발한 산화 방지제를 도포함으로써 SRIQ 후에도 염화, 산화가 적은 균일한 화합물 층이 남아 연질화(화합물층)에 의한 우수한 내마모 마찰 특성과 SRIQ 경화층에 의한 높은 내 피칭피로 특성을 모두 갖추게 되었다[13].

열처리 + 전·후 가공과의 복합은 기술적이나 사업적으로도 부가 가치 향상을 위해 중요한 요소이다. 페사에서는 Fig. 10과 같이 자동차 파워 스티어링용 공중 록바(냉간순차 치형 성형가공)나 Fig. 11과 같

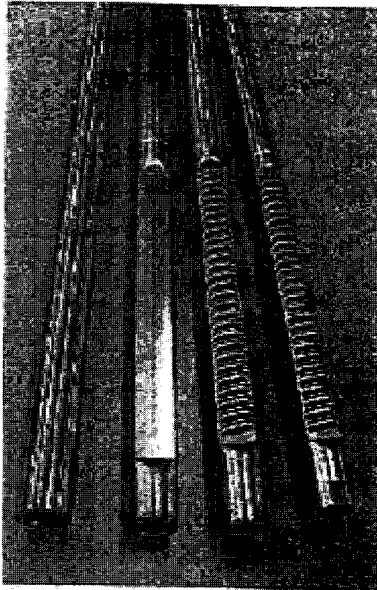


Fig. 10. 가공 + 고주파 열처리 한 중공 록바.

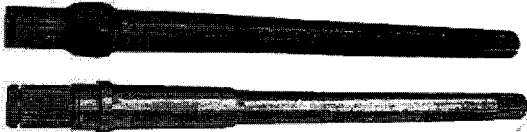


Fig. 11. 축 비대가공(위 · 좌 · 확대경부)와 기계가공 + 고주파 열처리 품(아래).

이 축부품(축내대 확대가공)에 가공 + 고주파 열처리를 적용하여 제품화 하고 있다.

2.1.6 대형 부품의 열처리

유도가열 특징인 부분가열, 이동가열을 크기 면에서 크게 활용한 것이 초대형 축, 링 형태 부품으로 Fig. 12에 제지 기계용 가열롤 퀴칭 상황을 나타낸 것이다. 이들 초대형 부품을 가열로에서 전체를 가열하려면 크거나 가격 면에서 투자도 초대형으로 되기 때문에 고주파 열처리 설비 보유가 필요조건이 특징이다. 앞으로 적용 확대가 기대되고 있으나 현실적으로는 대형초대형 등의 대상 Work가 많지 않고 단 초대형품의 수송 수단에 어려움이 있다.

대형 링 부품에 대해서는 단번에 퀴칭하는 기술, 장치가 개발되어 동시가열, 동시냉각에 의한 전체 균일한 특성, 저변형, 단시간 처리시간이 가능하나 나뭇대로 초대형 고주파 전원이 필요하다.

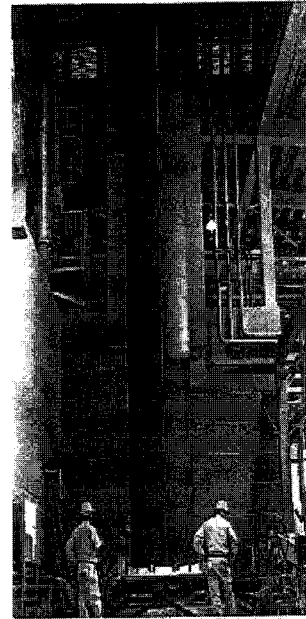


Fig. 12. 초대형 히드 롤(직경 1.3 m, 길이 9 m) 부분 가열 이동 퀴칭.

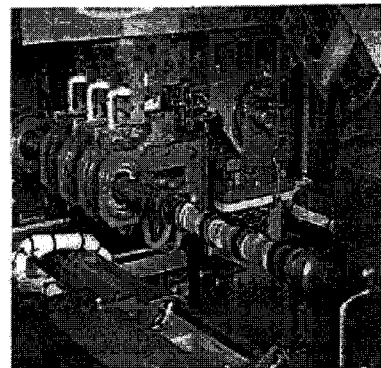
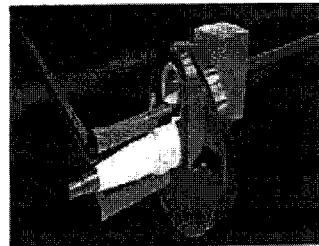


Fig. 13. 반 개방형 코일을 활용한 2곳 동시 퀴칭 개념도(위), 캠축의 15곳 퀴칭(아래).

2.2 문제 · 문제점

2.2.1 가열 코일

고주파 열처리로 급속가열, 표면가열, 부분가열이

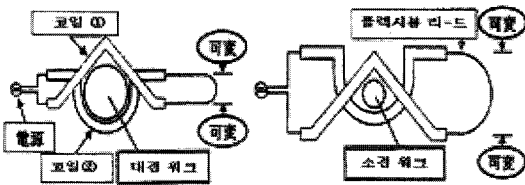


Fig. 14. 직경이 다른 축부품가열용의 내경 가변형 가열 코일.

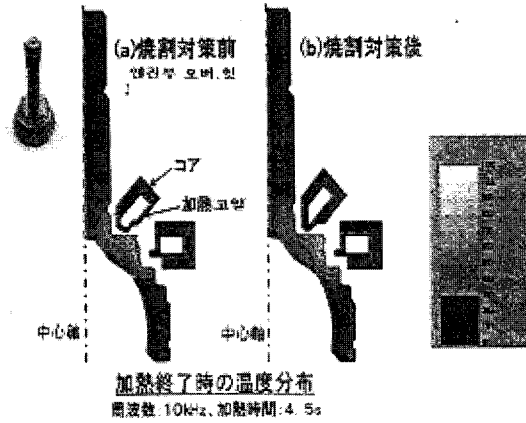


Fig. 15. 가열 코일과 가열온도의 시뮬레이션.

가능한 것은 고주파 전원과 피 가열물(Work piece)을 가두어 가열하는 인터페이스 인 가열 코일에 의한 것이지만 그 설계 제작이 현장의 일상 업무에서 큰 어려움이고, 사용 수명 향상도 품질, 코스트에 직접 영향을 미치는 큰 과제이다. 이 해결을 위해서 저문 메이커 각 사에서는 여러 가지 연구를 하여 개선을 하고 있다. 후지 전자공업에서는 납땀이 없는 반 개방형 One shot 퀘칭용 가열 코일을 기본으로 하여 크랭크 샤프트나 축 부품의 고효율 가열 퀘칭에서 큰 특징을 발휘하고 더욱 발전하여 Fig. 13과 같이 그 곳을 동시 퀘칭 하거나 2개소 이상 여러 곳을 동시에 퀘칭하는 것을 실현 하고 있다.

Fig. 14는 전기공업에서 개발한 내경 「가변」형 가열 코일로 2종류의 가열 코일과 플렉시블 리드(전원과 코일을 구속하여 전력을 공급하는 도체)을 이용하는, 예를 들면 직경이 다른 축 부품을 가열코일 교환 없이 열처리 하고 부분적으로 직경이 다른 축 부품을 같은 가열 코일로 내경을 변화 시켜서 열처리 할 수 있어 작업 시간이 단축되고 코일 재고 삭감 효과가 있다. 도 각 회사에서는 가열 코일설계에

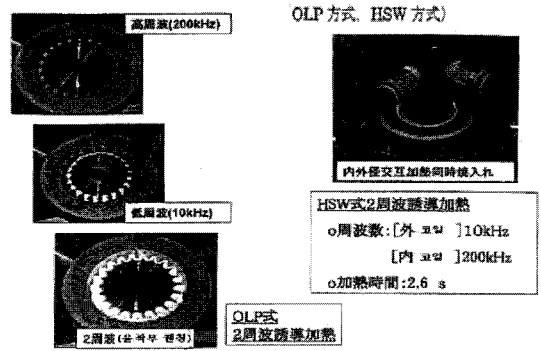


Fig. 16. 고주파 가열 사례.

고주파 열처리 시뮬레이션을 활용하여 실제 열처리 결과와 맞춰 보면서 기술 축적과 개발을 시도하여 대기업, 사용자 각 사의 관심을 높이고 일부에서는 자사 개발도 발전 하였다.

Fig. 15는 폐사에서 가열 코일 형상과 Work(캠 부착 등속축)의 가열 상황의 시뮬레이션 사례인데 실제로 열처리 하기 전에 가열 코일 형상 치수나 Core(자속을 집중시키기 위해 가열 코일에 부착한 자성재료)의 영향을 계산으로 구하여 가열 코일의 최적화와 제작 공정 감소에 도움이 되고 있다. 전원에 대해서는 각 사에서 2주파 전원 개발이 이루어지고 있다. Fig. 16은 폐사의 사례로[18] 좌측 그림은 저주파에 고주파를 중첩한 OLP(OverLaP) 방식으로 치차에 적용한 예로 고주파(200 kHz)만이라면 톱니가 먼저 가열되고 저주파(10 kHz)만이라면 치저가 가열되나 2주파를 중첩하면 치차 전체가 균일한 윤곽 퀘칭이 되는 것을 알 수 있다. 각 그림은 고주파와 저주파를 연결한 폐사에서 독자 개발한 HSW(Hot SWching)방식의 링 상 부품에 적용한 예이다.

또 폐사에서는 종래 기계보다 고주파에 의한 주위 환경이나 전원파형에 영향이 적은 PWM(펄스 폭 제어)방식의 트랜지스터 인버터를 실용화 하는 등 환경에 우수한 전원 개발을 해 나가고 있다.

### 2.2.2 퀘칭 냉각

고주파 퀘칭에서의 냉각은 거의가 분사 냉각으로 퀘칭 정도에 있어서는 상당히 급냉이 가능하며 시뮬레이션을 포함해서 냉각에 대한 연구가 진행되고 있다. 후지전자공업에서는 대기 중에서 가열 한 후 내각제에 침적 냉각 퀘칭하는 2단 퀘칭에 의해 마르

퀵칭/마르템퍼링을 실용화해서 저변형화에 도움이 되고 있다[16].

별로 주목되지는 않으나 셀프 템퍼, 예를 들면 큰 (열용량을 갖는) 부품은 냉각을 제어하여 가열시의 잔열을 잘 온도 관리하여 템퍼링에 이용하면 에너지 절약 및 공정 단축에 효과가 있다.

고주파 퀵칭에서는 고분자계 퀵칭 냉각제가 이용되고 있다. 이 냉각능 관리와 폐액 관리에 의외로 어려움이 있어 폐사에서는 500~150°C의 냉각 시간을 직접 측정하는 독자 냉각능(속도) 측정 장치를 개발하여[19] 일상관리에 활용하고 있다. 앞으로 분사냉각을 포함해서 냉각에 관한 데이터를 모아 해석, 및 냉각 시뮬레이션이 개선하여 냉각과정이 과학화 되고 이것을 활용한 냉각조직, 마크로 패턴, 잔류 응력, 변형 등의 적극적으로 더욱 정밀한 제어가 가능하게 되어 고주파 열처리 품의 성능과 품질 안정성이 향상되어 더욱더 적용 확대가 기대된다.

### 2.2.3 설비 코스트

설비 코스트에 대해서는 설비 메이커로서는 일상적인 개선 노력을 하고 있으나 고주파 열처리 설비는 다 기종 소량 제작으로 부품조달이 쉽지 않기 때문에 저 코스트화는 상당히 어려운 문제이다. 단지 인버터 장치 제어기술이 더욱 다양화 하여 확대되면 관련기술이나 부품이 발전하여 메이커로서는 항상 기술 혁신을 해 나가지 않으면 안 된다.

Fig. 17은 폐사에서 소형화한 축 부품의 퀵칭기로 공간을 효과적으로 활용하여 작업 핸들링을 콤팩트화 하고 사양도 줄여 심플화 해서 종래 기계에 비해 스페이스를 1/2 이하로 실현 하였다. 전기공업에서도 범용 중형 퀵칭기를 실용화 하여 스페이스를 줄이고 저손실 정합회로를 채용하여 효율 향상으로 손쉬운 유지 관리를 실현하였다[20].

어려운 국제화 속에서 계속하여 장비, 기기 표준화에 의한 조달 코스트 저감이나 설계 제작 공정 삭감을 위한 노력으로 기술 경쟁력, 가격 경쟁력을 강화할 필요가 있다.

## 2.3 공통과제

### 2.3.1 고주파 퀵칭용 강제(소재)

고주파 퀵칭용 강제에 관해서는 전술한 「열처리

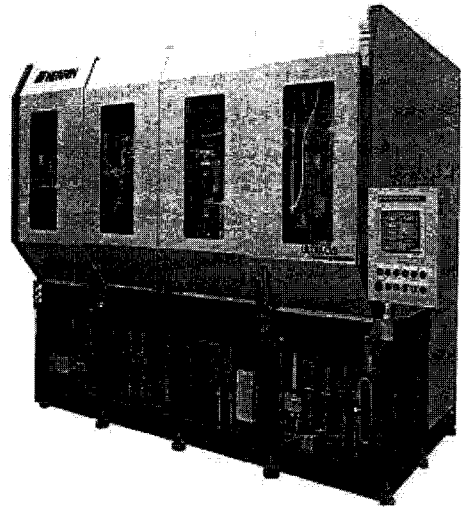


Fig. 17. 축부품 소형 콤팩트한 전용 퀵칭기.

로드맵」에 관한 심포지움에서 WG2로부터 보고된 「혁신 재료 개발을 위한 열처리 기술중」에서

(3.2) 에너지 절약형 표면 경화강의 개발

(4.1) 침탄 대체 고강도 고주파 퀵칭용 강

(4.2) 초미세 결정립 고강도 고주파 퀵칭용 강에 상세히 기술 하였으니[21] 참고 하기 바랍니다.

현장의 고주파 퀵칭에서의 안전한 품질확보를 위해 문제점으로 소재 전 조직의 「강한 편석」 「페라이트 밴드」 「시멘타이트의 구상화 조직」은 초 단위 짧은 시간 가열 중에는 균질화는 어렵기 때문에 고주파 퀵칭의 특징인 미세조직과 높은 압축 잔류 응력을 살리려면 가능한 한 피해야 한다[22, 23]. 단지 페라이트 면적을 적게 하게 되면 가공성과 상반되므로 문제가 된다. 어찌 되었든 같은 철 강종을 동일한 열처리 사이클로 고주파 퀵칭 하면 동일한 경화 패턴이나 조직이 얻어지지 않기 때문에 강재의 룯드나 차지 대신에 품질 코스트 관점에서 전(前) 조직 확인을 추천하고 싶다.

또 소재로부터 후 가공·열처리 공정에서 발생한 보이지 않은 내부응력이 가열 시에 생각지도 않은 개방형 변형의 원인이 되기 때문에 얇은 부품, 작은 직경 부품에서는 특히 주의가 필요하다[24].



Fig. 18. 고주파 열처리 시뮬레이션 사례.

### 2.3.2 고주파 열처리 시뮬레이션

고주파 열처리 시뮬레이션은 각종 소프트 하드의 고성능화 및 실용 예에 확대로 근년에 큰 발전이 계속 되고 있다. 또 Fig. 18과 같이 3차원 해석이나 애니메이션화도 진행 되고 있어 그림에서 캠샤프트는 캠이 회전 하면서 가열된 모습이 애니메이션화 되고 있지만 지면상에서 보여줄 수 없어 유감이다.

또 온도와 마르텐사이트 조직 뿐만아니고 변형, 잔류응력도 계산 가능하여 실제 부품에서의 각 특성과 잘 들어맞고, 계산조건이나 물리 상수, 특성(비 투자율, 열 전도율, 각 온도에서 변형속도 의존성을 반영한 인장, 압축강도 등)을 보다 정확하게 제공함으로써 고정밀도화, 실용화가 스파이럴업 하게 진행되고 있다.

침탄 경화나 질화 시뮬레이션도 진전이 있으나, 고주파 퀴칭 양상에 대한 계산 실적 확대 및 고정밀도가 과제이다. 일본 열처리 기술 협회에서는 열처리 시뮬레이션을 연구부회 테마로 계속 채택하여 현재 「퀴칭 잔류응력 수치 시뮬레이션 연구부회」가 활발히 활동하고 있고 그 중에서 고주파 열처리 시뮬레이션 데이터 베이스 작성도 이루어 지고 있다.

### 2.3.3 고주파 템퍼링

#### (1) 저온 템퍼링

고주파 퀴칭제는 200°C 전·후의 로 가열로 저온

템퍼링 되는 경우가 많아 인-라인화의 일환으로 고주파 템퍼링(비교적 낮은 1~10 kHz가 많다.)도 증가하고 있다. 주요 목적으로 연마 균열의 회피, 절결 강수성 저감, 인성·파괴인성 개선·항복강도 향상에 의한 피로강도 향상 등이 지적되고 있으나 공표된 데이터는 의외로 적어 그 정비가 앞으로의 과제이다. 또한 표피효과에 의한 표면 템퍼링 때문에, 약간이나마 최 표면 부근에서 경도 저하와 압축 잔류응력의 감소를 초래하여 피로강도도 약간 저하 하는 것을 인식해서 활용 했으면 한다[28].

#### (2) 고온 템퍼링

폐사의 PC강봉이나 스프링 강선은 저온 템퍼링 취성 구역에서 고온측인 500°C 전후의 고온에서 고주파 템퍼링 하고 있어 필자 등은, 스프링강 SAE 9254(SUP12)의 고온 단시간 템퍼링 거동에 대하여 연구하여 같은 정도의 로 가열 템퍼링 재에 비해 높은 인성, 연성, 파괴특성, 피로강도를 나타내는 것을 명확히 하였다[29].

또 조직으로는 템퍼링시 석출 탄화물이 미세분산된 입계에서의 석출량이 적은 것을 명확히 하였다. 단순히 Fig. 19와 같이 「의자 쟁취 게임설」로 나타내면, 고주파 짧은시간 가열이 퀴칭시 결정립에 가해져 석출된 탄화물 미세화에도 효과적이어서 조직 제어로서



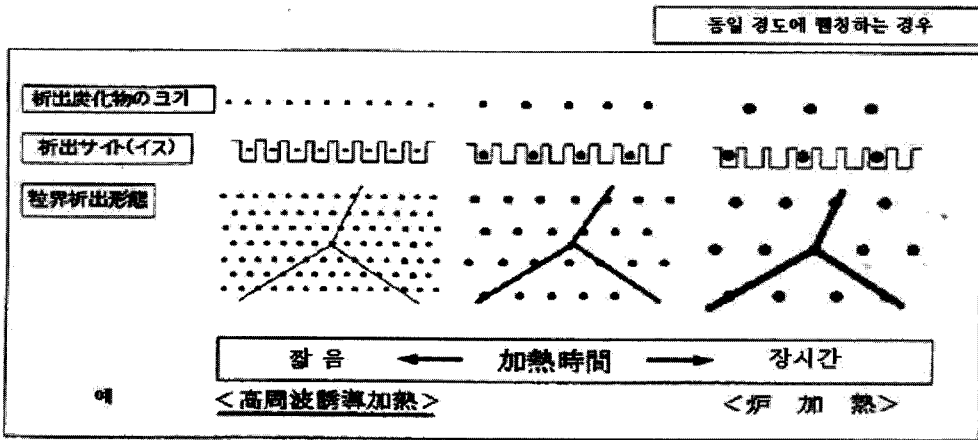


Fig. 19. 단시간 가열 고주파 템퍼링에서의 탄화물 석출 거동에 관한 「의자 쟁취 게임 실」.

이용 가능한 가열 방법이라는 것을 나타내고 있다 [30, 31].

### 2.3.4 품질관리 시스템

고주파 열처리에 있어서도 확실한 품질관리 품질보증이 필요하다. 앙케이트에서도 열처리 조건 감시 시스템이나 비파괴 검사 기술 확립, 실용화를 바라는 바가 크다. 열처리 조건에 있어서는 직접 온도 감시가 좋으나 온도 측정이 어려우므로 실질적으로는 불가능한 경우가 있다. 폐사에서는 2차적인 전원·전기 특성을 계측하는 방법이나 인파런스 측정으로 특화해서 미소변동을 검출하는 감시 시스템을 개발하고 있다. 또 열처리 후 경도, 마크로 파단, 균열, 흠집 검사·검출을 위해 여러 가지 비파괴 검사 방법이 개발되어 확실성·범용성에 과제가 남아있어 충실한 실사용 데이터 축적에 의한 검사검출의 확실성 향상을 도모하고 있다.

앞으로 글로벌 생산 체계가 확대 되는 속에서 열처리 조건감시나 비파괴 검사 시스템의 중요성과 기대도가 더욱 높아지고 있어 정밀도, 안정성 향상에 의한 실용화 확대를 기대한다.

## 3. 일본 자료로부터 본 고주파 열처리 기술의 최근 동향

### 3.1 공업 소유권 동향

1997~2008년의 약 12년간에 일본에 출원된 고주

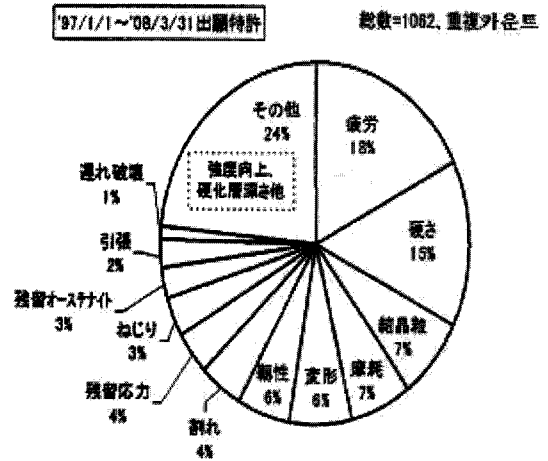


Fig. 20. 과거 약 12년간 고주파 열처리에 관한 공업 소유권에서의 특성 내역.

파 열처리 관련 특허에서의 키워드 동향을 조사한 결과 기술적 주제에서 가장 많았던 「특성」 내용은 Fig. 20과 같이 피로나 경도에 관한 출원이 많았다. 출원자(사)로는 전문 메이커뿐만 아니라 부품 메이커나 자동차, 건설기계 메이커, 제강 메이커도 많았고 전문 업자로서도 잇따라서 공업 소유권 권리화를 강화할 필요가 있다.

### 3.2 국내외에서의 학협회 발표, 기사 동향

열처리 관련 학회 발표, 게재논문, 기사 등에 있어서 일본에서는 매년 상세히 조사 정리해서 열처리지에 동향을 정리하고 있고[32] 이를 포함한 각종 자

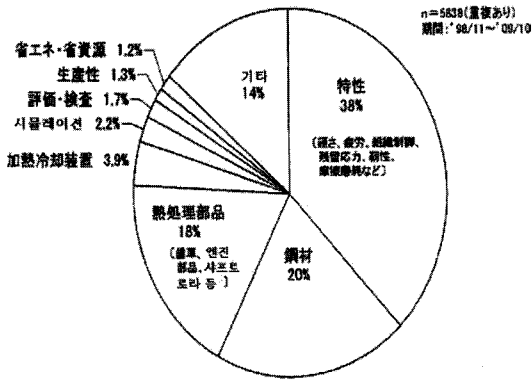


Fig. 21. 과거 약 12년간 관련 학회에서의 고주파 열처리에 관한 발표 기사에서의 기술 주제.

료를 참고한 1998~2009년의 약 12년간의 일본 열처리 관계 학·협회에서의 발표나 학회지에 게재한 기사 타이틀 중의 고주파 열처리 관련 키워드 동향을 조사한 결과 Fig. 21과 같이 가장 많았던 것은 특성(조각제어, 경도, 피로, 잔류응력, 마찰마모 등)으로 계속 강재, 열처리품(치차, 엔진부품, 샤프트 등), 가열 냉각장치, 시뮬레이션, 평가 검사 방법이다.

#### 4. 맺음말

철강재료 열처리와 그 고성능, 고기능화는 더욱더 소형, 경량화를 요구하고 있는 작금 기계부품·제품을 만드는데 있어서 점점 중요하며 급속한 세계화 속에서 강한 기술력과 가격 경쟁력을 요구하고 있다. 그 중에서 고주파 열처리는 CO<sub>2</sub> 배출량이 작고 부품성능에서도 생산성에서도 많은 특징을 가지고 있어 로드 맵에서도 나타난 바와 같이

- ① 현 기술의 「숙련과 발달」을 강력하고 신속하게 추진한다.
- ② 코스트 경감 뿐만 아니라 기술, 품질면에서 「Japan as No.1 only one」을 명확히 하여 계속 세계의 선두주자가 된다.
- ③ 소재에서 전가공, 열처리 후 후가공 기계부품사용에 이르기 까지 「일괄제조」를 위해 「공정간 협력」에 의해 성능뿐 아니고 품질안정화나 가격 저감을 추구한다.
- ④ 철강 이외의 재료를 대상으로 퀴칭, 템퍼링에 국한하지 않고 고주파 가열도 시야에 넣어 「새

로운 기능성 부여, 고부가가치화」에의 적용 확대에도 시야를 넓힌다.

이것이 앞으로 더욱 중요한 필수 과제라 생각한다. 본 원고가 고주파 열처리 현상 및 앞으로의 방향성 인식에 조금이라도 도움이 되었으면 합니다.

#### 참고문헌

1. 川崎一博. 日本熱處理技術協會：熱處理技術入門, 4.1 高周波熱處理作業, p. 272, 大河出版 (1988).
2. 川崎一博：淺田賞受賞記念講演. 解説 10, 7, (2005) 27.
3. 川崎一博：日本熱處理技術協會第62回講演大會講演論文集, 河上. 赤見記念講演 (2006) 57.
4. 川崎一博：第28回本出光熱興産主催/熱處理研究會. (2005-3).
5. 川崎一博：第259回塑性加工심포지움. (2007-9).
6. 川崎一博：第271回塑性加工심포지움. (2008-12).
7. 奥宮正洋, 川崎一博, 内田 聰：熱處理50周年特輯/熱處理로드맵 表面熱處理. 表面改質, 熱處理, 50(2) (2010) 90.
8. 第一高周波工業 (株).
9. H-W Zoch：1st International conference on Distortion Engineering (2005) 3.
10. H-W Zoch：2nd International conference on Distortion Engineering (2008) 3.
11. K. Fukazawa, Y. Misaka and K. Kawasaki：IFHTSE2008/Kobe (2008) 97.
12. 大林巧治：제13회IMS사론 (2009.2).
13. Y. Misaka, K. Fukazawa, K. Kawasaki, Y. Ikeda, M. Beppu, T. Konisi and A. Suda：IFHTSE 2008/ Kobe (2008) 335.
14. 井浦 忠, 岡部永年, 朱 霞：Journal of the JSTP, 44, 514 (2003) 1115.
15. 桑原義孝, 岡部永年, 朱 霞, 生田文昭, 黄木景二：塑性加工, 51, 592 (2010) 455&460.
16. 富士電子工業(株) HP 및 技術資料.
17. 佐夕木寛, 片沼秀明, 岡田邦裕：工業加熱, 44(6) (2007) 18.
18. 楊 躍, 小柳研次, 生田文昭：工業加熱, 44(6) (2007) 33.
19. 三阪佳孝, 川崎一博, 山崎隆雄：日本熱處理技術協會第44回講演大會講演論文集 (1997) 71.
20. 電氣興業(株) HP 및 技術資料.
21. 古君 修, 小林一博, 越智捷朗, 土山聰宏, 宮本吾郎：熱處理50周年特輯/熱處理로드맵, 革新 材料及 熱處理技術, 熱處理, 50(2) (2010) 99.
22. 三阪佳孝, 川崎一博, 山崎隆雄：日本熱處理技術協會第35回講演大會講演論文集 (2003) 17.
23. 三阪佳孝, 高岡憲久, 川崎一博, 山崎隆雄：日本熱處理技術協會第56回講演大會 (2003) 53.

24. 清澤 裕, 三阪佳孝, 古賀久喜, 川崎一博 : 日本熱處理技術協會第53回講演大會講演論文集 (2001) 59.
25. T. Horino, F. Inoue, and T. Inoue : ASM International Congress/Proceedings (1999) 243.
26. 堀野 孝, 生田文昭 : 일렉트로 힐, 141 (2005) 47.
27. T. Horino, F. Ikuta and K. Kawasaki : IFHTSE2008/Kobe (2008) 737.
28. 三阪佳孝, 川崎一博, 生田文昭, 森田辰郎 : 日本機械學會論文集(A編), 67, 659 (2001) 1173.
29. 川崎一博, 千葉貴世, 山崎隆雄 : 鐵 鋼, 73 (1987) 136, 74 (1988) 136.
30. 川崎一博, 高岡德義, 平尾 正, 山崎隆雄 : 석출제어 metallurgy 研究會/最終報告書 (2003) 64.
31. 岡德義, 稻葉智一, 平尾 正, 川崎一博 : 日本熱處理技術協會第56回講演大會概要集 (2003) 5.
32. 藤木 榮 : 2008年度 分, 熱處理, 49(6) (2009) 310.