

자동차용 철강재료의 수요현황 및 개발동향



정 윤 철

(KIMM 재료기술연구부)

- '84 - '91 동아대학교 금속공학과(학사)
- '91 - '92 일본 愛媛 대학교 재료공학과(연구생)
- '92 - '94 일본 愛媛 대학교 재료공학과(석사)
- '94 - '97 일본 愛媛 대학교 재료공학과(박사)
- '97 - 현재 한국기계연구원 객원연구원



김 창 주

(KIMM 재료기술연구부)

- '67 - '70 성균관대학교 금속공학과(학사)
- '73 - '76 서울기계공고 금속과 교사
- '76 - '78 연세대학교 산업대학원 재료공학과(석사)
- '78 - '79 포항제철 기술연구소 주임연구원
- '82 - '86 부산대학교 대학원 금속공학과(박사)
- '79 - 현재 한국기계연구원 책임연구원



김 성 준

(KIMM 재료기술연구부)

- '76 - '80 서울대학교 금속공학과(학사)
- '80 - '82 한국과학기술원 재료공학과(석사)
- '85 - '90 미국 Univ. of Illinois at Urbana-Champaign 금속공학과(박사)
- '94 - '95 일본금속재료기술연구소 STA Fellow
- '82 - 현재 한국기계연구원 책임연구원

1. 서론

현대사회에 있어서 자동차는 생활필수품의 하나로 자리를 굳혀가고 있다. 시대변화에 따라 자동차에 대한 요구도 보다 다양화되고 그에 따라 자동차용 강재의 요구도 변화되고 있다. 보통·소형승용차의 원재료 구성비에 있어서 철강재료의 비율은 매년 약간씩 감소하는 추세에 있지만 여전히 60% 이상의 높은 비율을 차지한다.(그림 1.) 요구되는 특성도 기계적 성질, 방청성능, 성형성, 용접성, 도장성 및 내진성을 동시에 만족해야만 하는 보다 엄격한 상황에 놓여 있다. 그리고 최근에는 스포츠카와 같은 일부 한정된 차종이긴 하지만 AI의 대폭적인 사용으로 철강재료의 비율이 50% 까지 감소하여 철강재료 관계자를 매우 당혹하게 하였다. 금후 이러한 경향은 일부 한정된 차종만이 아닌 거의 모든 차종에서 철강재료와 경합을 이룰 것으로 예상된다. 본 고에서는 주로 자동차에 사용되는 철강재료의 수요현황과 개발상황 등에 관해 살펴보고자 한다.

2. 자동차용 철강재료의 개발동향

자동차용 강재개발에 커다란 방향전환의 계기를 부여한 것은 연비규제에 관한 미국의 CAFE (Corporational Average of Fuel Economy) 법안이라 할 수 있다. 자동차의 경량화는 연비개선이나 배기가스 규제 등에는 매우 유효한 대책이지만, 안전대책과 쾌적성 요구에 의한 치장품의 증가 등은 경량화와는 상반되는 것이다. 이들에 의

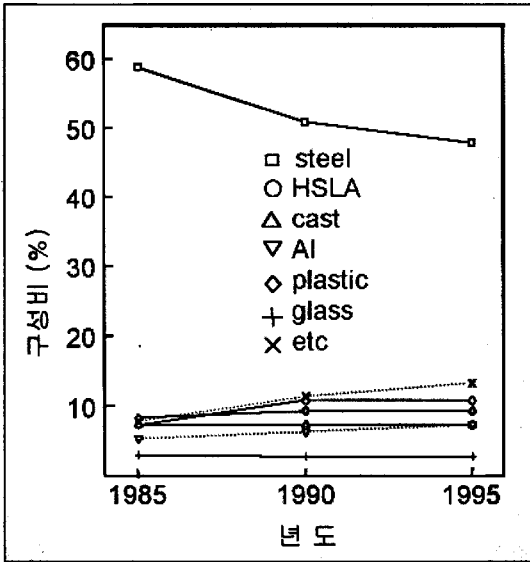


그림 1. 승용차의 재료구성비 변화

한 중량증가를 차체의 경량화로써 해결하기 위해서는 각각의 부위를 구성하는 철강재료의 고강도화가 이뤄져야만 한다.

2.1 차체 및 새시용 강재

차체에는 냉연강판이 샤시에는 열연강판이 주로 이용되며, 이들 강판에 있어서도 개발목표는 주로 고강도화에 있었지만 이미 고강도화의 한계에 접근한듯 하여 현재는 종래의 강도를 유지하면서 다양한 가공성과 그 외의 특성을 겸비한 강판개발이 지향되고 있다. 이들 중에서 초딥드로잉용 IF 연강판은 탄소함유량을 상당히 감소시키면서도 r값을 더욱 상승시킨 대표적인 예이며, 높은 r값과 약 450MPa의 강도를 갖는 고강도 IF강과 베이킹 경화성(BH성)을 겸비한 IF강 등도 개발되었다. 또한 최근에는 TRIP 효과를 실용화에 결부시킨 잔류오스테나이트 강판도 개발되었으며, 특히 안전성에 관련하여 범퍼후방보강재(bumper rear inforcement)와 도어가드바(door guard bar) 등의 용도로 1,470MPa이나 되는 초고장력 강판도 사용되었다.

2.2 언더플로어(underfloor)용 강재

언더플로어, 디스크휠(disk wheel), 프레임멤버(frame members)용 강재에는 주로 열연강판이 사용된다. 이들 부위에 사용되는 강판으로는 고연신형의 490~780MPa의 복합조직 강판이 실용화 되었고, 종래의 페라이트와 마르텐사이트 외에 베이나이트를 도입하여 연신후랜지성(λ값)을 개선한 것과 베이나이트 단상의 490~580MPa의 고λ값 강판이 개발되었다. 특히 Cu를 1.5% 정도 첨가하여 성형 후 550°C 부근에서 짧은 시간 가열함으로써 200MPa 정도의 강도상승이 얻어지는 석출강화형 고강도강판도 개발되었다. 조강류에 있어서는 기계구조용 비조질강의 강증과 적용범위가 확대된, 즉 V를 첨가하여 석출강화하던 종래의 페라이트·퍼알라이트형으로부터 페라이트 입내 핵생성으로 조직을 미세화하여 인성을 개선한 비조질강과 저탄소 베이나이트 또는 마르텐사이트형의 고강도·고인성 비조질강이 개발되어 그 용도도 커넥팅로드 등의 엔진부품과 더욱 인성이 요구되는 언더플로어용 등에도 확대되었다. 서스펜션용으로는 1,000MPa을 넘는 현가스프링과 1,400MPa의 다중판스프링 등이 개발되어 경량화에 기여했다. 자동차용 강재 중에서 고강도화의 선두라 할 수 있는 타이어보강용의 스틸코드는 종래의 2,840MPa을 초과하여 3,300MPa이 실용화 되었으며 한층 더 나아가 3,600MPa을 실용화 하기 위한 연구 그리고 4,000MPa의 고강도화의 한계에 도전하는 연구가 지속되고 있다.

2.3 엔진, 구동, 배기계용 강재

엔진의 저연비화, 고출력화 및 CO₂ 감소에 따른 배기온도의 고온화 등의 영향으로 엔진 구성부재에 대한 연구도 활발히 진행되었다. 변스프링에 있어서는 Si-Cr 오일템퍼션을 기본으로하여 내함몰성과 부식피로성을 개선함으로써 2,060

MPa을 넘는 고강도강이 실용화 되었으며, 커넥팅로드 볼트와 실린더헤드 볼트에 대한 고강도화도 크게 진전되어 1,200MPa의 강이 개발되었다. 이들 강재의 고강도화도 거의 한계강도에 접근한 듯하며 보다 고강도화를 위해서는 경년파괴 문제를 해결해만 되기 때문에 이런 관점으로 부터의 기초연구도 실시되고 있다. 구동계에 있어서는 미션기어의 저소음화와 고풍력화를 위해 담금질성의 협폭관리로 열처리 변형을 감소하고 치근피로강도 및 치면의 내피칭성을 개선함으로써 피로강도를 50%이상 향상시켰다. 배기계 재료에 있어어도 1,000°C 정도의 배기온도 상승에 대비하여 스테인레스강의 사용이 급증하였다.

2.4 표면처리 강판

차체에 있어 표면처리 강판의 사용비율은 70%를 초과하고 있다. 그러나 표면처리 강판은 생산비 면을 포함하여 적정화의 재검토 단계에 진입한 것으로 여겨지며 또한 Cu나 P 등을 첨가하여 모재 그 자체의 내식성을 향상시킨 모재 내식강판 등의 개발도 진행되고 있다.

3. 주요 강재의 개발현황

자동차에 사용되는 강재의 대부분은 강판류가 약 60%, 기계구조용강이나 선·봉류가 약 25%를 차지하고 있다. 다음은 이들 주요 강재 중에서 특히 최근 주목되고 있는 것들에 대해 개발상황 등을 살펴본다.

3.1 냉연강판

3.1.1 IF강

IF 강은 제강단계에서 탄소함유량을 가능한 적게하고 또한 잔류탄소나 질소를 Ti이나 Nb에 의해 탄질화물로 고정함으로써 실질적으로 고용원소를 없앤다는 개념아래 개발된 것이다. 프래

스 성형성 중에서도 특히 중요한 딥드로잉 특성을 나타내는 r값은 소둔 후 {111} 집합조직의 집적도를 상승시킴으로써 향상되며 어닐링 전의 고용탄소가 적을수록 좋다. 최근에는 진공 탈가스 기술로 탄소함유량을 50~20ppm 까지 조절 가능하게 되었으며 그에 따라 r값도 2.5~3.0까지 향상 할 수 있는 것으로 보고되고 있다. 더욱이 IF 강에 P를 첨가하거나 Mn과 Cr을 증가시켜 고용체 강화를 이용함으로써 450MPa의 고강도강이 제조되고 있다. IF화에 따른 본질적인 단점인 BH성의 감소에 대해서도 많은 연구개발이 실시되었으며 다음에 2가지 방법을 소개한다. 하나는 Ti, Nb 등과 같은 탄질화물 형성원소에 대하여 원자당량비로 10ppm 정도 탄소가 과잉되도록 제강단계에서 성분조정하는 것이며, 다른 하나는 연속어닐링시 고온영역을 통과함으로써 탄질화물의 일부를 분해시켜 고용탄소를 확보하려는 것으로서 어느 것이든 고도의 제어기술을 필요로 한다. 다른 하나는 연속어닐링로 중에서 침탄분위기를 통과함으로써 외부로부터 고용탄소를 보충하는 방법이다.

3.1.2 열처리 강화형 강판

BH는 도장 베이킹 온도인 170°C 부근에서의 시효경화이며 그 경화량은 50MPa 정도이다. 그러나 Cu를 약 1.5% 첨가하여 500~600°C에서 열처리하면 ϵ -Cu가 석출하여 150~200MPa의 강화가 얻어진다. 이 방법을 IF 강의 냉연강판에 적용하여 출하전에 열처리함으로써 590MPa의 고강도와 높은 r값을 갖는 냉연강판이 얻어진다. 또한 후열처리를 행하면 성형시에는 연질로서 높은 r값을 가지며 성형 후 간단한 열처리로 강화 할 수 있는 강판이 된다. 그리고 열연강판에 적용하면 부품성형 후의 강화로써 종래의 연질화처리를 생략한 강판으로서 사용될 수 있다.

3.1.3 잔류오스테나이트형 강판

0.1~0.2C에 1%이상의 Si과 Mn을 첨가하여

탄화물석출을 억제함으로써 10~20%의 오스테나이트를 잔류시킨 강이 개발되어 냉간 및 열연강판으로 제조되고 있다. 잔류오스테나이트가 존재하면 내킹부위의 변형집중을 막는 TRIP 효과에 의해 매우 높은 균일연신이 얻어진다. 이 강은 그림 2에 나타낸 바와 같이 인장강도와 연신률 사이에 종래의 강에서는 볼 수 없는 우수한 조합을 나타내지만 열연강판으로 사용될 경우 요구되는 구멍확산성(λ)이 반드시 좋은 것만은 아니며, 또한 냉연강판으로 사용될 경우의 r값도 그다지 높지는 않다. 그러나 유기변태의 발생방법이 변형양식에 따라 다르므로 압축변형 보다는 인장변형시에 TRIP 효과가 강하게 작용되기 때문에 결과적으로 우수한 딥드로잉성이 얻어진다는 보고도 있다.

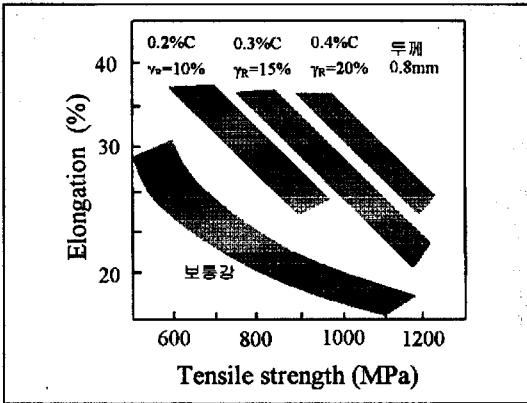


그림 2. 보통강과 잔류 오스테나이트강에 있어서 인장강도와 연신률의 관계

3.1.4 초고강도 강판

자동차의 충돌안전성에 대한 고객의 요구가 증가함에 따라 범퍼 후방보강재와 도어가드비용으로 1,000MPa를 능가하는 강판개발이 실시되었다. 특히 도어가드바의 경우 전봉(電縫)강판을 사용한 것은 1,470MPa 까지 실용화가 진행되고 있다. 이들 초고강도강에 대해서는 가공성 외에 용접성 및 경면파괴 특성도 중요한 특성이므로 연구개발이 진행되고 있다.

3.2. 열연강판

3.2.1 복합조직(Dual Phase) 강판

이 강판은 가공이 어려운 부품에 가공성을 높이고 동시에 강도향상을 꾀함으로써 경량화할 목적으로 개발된 것이다. 복합조직 강판은 압연종료 후 α/γ 2상 영역에서 유지하여 α 상을 석출시키고 잔류 γ 상으로 탄소를 농축시킨 후 급냉함으로써 γ 를 마르텐사이트로 변태시킨 일종의 복합강재이다. 그림 3은 복합조직 강판의 금속조직을 도시한 것이다. γ 상의 담금질성을 향상시켜 마르텐사이트 형성을 용이하게 하기 위해 Mn, Cr 등을 약간 첨가하여 γ 에 농축시키면 α 상은 합금원소의 결핍상태로 급냉되어 매우 연한 α 상이 된다. 이 때문에 복합조직 강판의 강도는 저탄소임에도 불구하고 비교적 높고 연성도 크지만 항복비가 낮고 항복연신도 작다. 또한 가공경화를 n값이 크기 때문에 소성가공이 양호한, 즉 복합조직 강판에 외력이 가해지면 이 강의 대부분을 차지하는 α 상에서 전위가 즉시 활동하여 소성변형이 시작되므로 비교적 양호한 균일연신을 나타내고 마르텐사이트 생성시의 체적팽창에 의한 변형으로 주위에 도입되는 가동전위 때문에 항복강도가 낮고 성형시의 형상동결성이 우

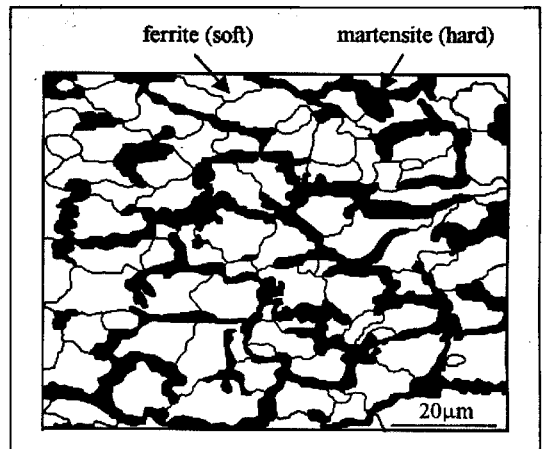


그림 3. 복합조직 강판에서 관찰되는 금속조직의 모식도

수한 것이 특징이다. 그러나 변형이 진행된다면 경도차이가 큰 페라이트와 마르텐사이트의 계면에 변형이 집중되기 때문에 극부연신은 반드시 좋은 것 만은 아니며 값이 낮은 단점이 있다. 최근에는 복합조직 강판 보다도 합금원소량이 적고 보다 저가의 연성이 우수한 as-rolled형 열연 복합조직 고강도 강판도 개발되고 있다.

3.3 기계구조용강

3.3.1 기계구조용 비조질강

비조질강은 0.4% C 전후의 중탄소강을 열간단조 후 담금질한 다음 템퍼링하던 종래의 조질처리를 생략하여 열간단조의 여열을 이용하여 열처리하는 것이다. 초기에는 조질생략에 따른 강도저하를 V첨가에 의한 석출강화로 690~780MPa의 페라이트·퍼얼라이트계 비조질강이 제조되어 크랭크 및 커넥팅로드 등의 엔진부품에 주로 적용되었다. 그 후 MnS를 미세하게 분산하여 페라이트의 입내생성으로 조직을 미세화한 인성 중시형의 690~780MPa의 페라이트·퍼얼라이트계 비조질강이 제조되어 강도 뿐만 아니라 인성이 요구되는 arm류 등에 적용되었다. 비조질강은 열처리 생략에 따른 에너지 절약효과 뿐만 아니라 공정생략에 따른 생산시간 단축과 작업환경 개선, 열처리 변형감소 등의 효과도 크며 더욱이 고강도 및 고인성이 필요한 부분에도 적용을 확대하려는 경향이 높아지고 있다. 이에 부응하여 0.05% C 이하의 극저탄소계와 0.2% C 정도의 저탄소계 베이나이트 또는 마르텐사이트 비조질강이 개발되었다. 이들 강은 열간단조 후 가속냉각과 템퍼링을 필요로 하는 것도 있지만 1,000MPa의 강도와 상온인성 100J/cm² 이상의 우수한 특성을 가지며 너클스핀들 등에 실용화 되고 있다. 비조질강을 사용하는 제품의 제조공정에서는 기계가공이 차지하는 단가비율이 높고 피삭성 개선이 중요하므로 Pb 또는 S를 첨가한 쾌삭성 비조질강이 개발 되었다.

3.3.2 기어용강

미션기어에 대한 요구는 정속성(소음저하)과 고출력에 대응할 고강도화(치근 굽힘 피로강도와 치면 내피칭성의 향상)이다. 저소음화는 담금 질성의 협폭관리 등에 의한 열처리 변형감소로, 고강도화는 SCR 및 SCM계의 기계구조용강을 기본으로 Ni, Mo, Nb, B등의 첨가에 의한 모재 강도, 인성향상이 검토되었다. 기어의 특성에는 침탄 등의 열처리, 쇼트피닝 등의 표면가공의 영향도 크므로 이들에 대한 기술개발도 진행되고 있다. 이들 중에서 플라즈마 침탄에 의한 고농도 침탄으로 내피칭성을 개선하려는 시도와 보통의 가스침탄에서도 처리 사이클을 제어하여 잔류오스테나이트 분포를 최적화하여 피로강도를 증가시키려는 시도도 보고되었다.

3.4 선재류

높은 신뢰성이 요구되는 변스프링용 강재로는 현재 1,870MPa(직경 3.5mm)의 Si-Cr강 오일템퍼선이 주류이지만 Mo, V첨가, 쇼트피닝과 침탄 질화처리 기술개선 등에 의해 2,060MPa 또는 그 이상의 고강도가 실용화되고 있다. 변스프링의 강도가 높게 되면 비금속 개재물이나 표면결함에 의해 피로강도가 크게 저하한다. 금후 보다 고강도화를 위해서는 강재 그 자체의 개발과 함께 초정정강을 얻는 정련기술, 표면결함을 발생시키지 않는 열처리 분위기 제어기술 등 관련기술의 진보도 기대된다. 코일스프링, 다중판스프링, 토션바와 같은 현가스프링에 요구되는 특성은 내함몰성과 피로강도이다. 내함몰성 향상은 종래의 Si-Mn 강에 Si 함량을 늘리고 V 석출강화를 이용한 Si-Cr-V 강이 개발되어 최대 설계 전단응력이 수년전의 880MPa 보다 훨씬 높은 1,080MPa의 것이 실용화 되고 있다. 더욱이 최근에는 부식피로강도의 향상이 요구되어 저C-Si-Mn-Ni-Cr-Mo-V-N강, 저C-Si-Ni-Cr-Mo-V-N강 등의 새로운 강종이 점차 개발되고 있다.

타이어의 보강재에 사용되는 스틸코드는 직경이 0.2mm 정도의 가는 세선이며 실용되는 철강재료 중에서 고강도화의 선두를 달리고 있다. 현재 직경 0.2mm 정도에서 2,740MPa를 나타내는 일반재와 3,200MPa를 나타내는 하이텐재가 주류이지만 3,650MPa의 슈퍼하이텐재가 양산화 단계에 돌입하였고 4,000MPa의 울트라하이텐재 개발도 진행되고 있다. 기본적으로 스틸코드 선재에는 고탄소강 선재가 사용되며, 종래의 0.7% C 강으로부터 탄소량을 과공석 영역까지 확대하거나 Cr과 Si 등을 증량하여 파텐팅 강도를 증가시키거나 또는 냉간 신선한계를 높이는 등의 방법으로 강화를 모색하고 있다. 이들의 개발에는 모재뿐만 아니라 강 중의 개재물, 중심편석 및 표면 흠 등과 같은 제강과 압연요인도 중요하기 때문에 이러한 요인을 고려한 개발도 진행되고 있다.

3.5 자동차용 표면처리 강판

주로 자동차에 사용되는 표면처리 강판에는 아연계 도금의 차체용 방청강판, Pb-Sn계 도금을 주로하는 연료탱크용재 및 Al 도금계의 배기계용 강판이 있다. 차체용 방청강판은 크게 2개의 계통으로 분리하여 발전하였다. 하나는 도장 후의 내식성을 증시킨 Zn-Fe 계통의 합금도금으로, 외면 방청성능 향상을 위해 양면도금을 실시함과 아울러 표면품질 및 가공성이 양호한 전기 2층 Zn-Fe 합금 도금이 채용되고 또한 내구명확산성 성능향상의 요구에 대응하여 보다 두꺼운 도금의 2층 합금화 용융 아연도금으로 전개되었다. 다른 하나는 도장전의 내식성을 증시킨 강판으로 내식성이 우수한 Zn-Ni 합금 도금강판(EZN)과 도장강판의 장점을 조합한 박막유기복합 도금강판으로 발전하였다. 연료탱크용 표면처리 강판으로는 용융 Pb-Sn 합금 도금강판이 주류이다. 배기계 특히 저온부분인 머플러에는 용융 Al-Si 합금 도금강판(용융 Al 도금강판)이 주로 사용되어 왔지만 배기가스 규제 강화에

따라 주요부분은 Cr계의 스테인레스 강판으로 대체 되었다. 다음은 자동차용 도금강판 중에서 특히 최근 주목되고 있는 것에 대해 살펴본다.

3.5.1 2층형 합금화 용융 Zn도금 강판

용융 Zn도금 후 가열처리로 철을 도금층 속으로 확산시킨 합금화 용융 Zn도금은 Zn의 방식효과를 다소 감소되지만 도막 부풀림(bristering) 발생을 크게 개선하고 도장 후 내식성이 매우 우수하다. 또한 합금화로 인해 도금층의 용점이 높아지기 때문에 연속용접성도 개선된다. 이 합금화 용융 Zn도금 강판은 철함유량이 낮고 Γ 상의 존재량이 많을 때는 프레스가공시 도금층이 박리하는 경향이 있으며, 이에반해 Fe 함유량이 많고 Γ 상의 존재량이 많으면 파우더링 발생이 일어나기 쉽다. 이들 도금층의 박리분은 프레스금형을 오염시킬 뿐만아니라 성형품에 핏플(pimple) 등의 표면결함을 만든다. 또한 전착도장시 크레이터(crater)를 발생하기 쉽고 도장 완성도가 떨어지므로 차체 외부에는 사용하기 어려운 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 초기에는 차체 외판용에는 단면 합금화 용융 Zn도금 강판이 사용되었지만 차체 방청에 대한 관심이 고조됨에 따라 차체 외면의 내식성도 고려하여 외판 양면도금화가 실시되었다. 이때 필요하게된 전착도장성의 문제를 해결하기 위해 2층형 전기 Zn합금도금강판에서 많이 사용되었던 Fe가 풍부한 박막도금(Fe-Zn, Fe-P)이 적용되었다. 즉 합금화 용융 Zn도금의 상층에 Fe가 풍부한 박막도금층을 생성하고 화성처리시 철분을 함유한 미세한 포스터라이트 피막을 형성시켜 3코트 후의 내수 2차 밀착성과 내bristering성을 향상시킴과 아울러 전착도장시의 크레이터 발생을 방지하는 2층형 합금화 용융 Zn도금 강판이 개발 되었다. 그림 4에 나타낸 바와 같이 약 $3g/m^2$ 의 Fe가 풍부한 상층 도금을 실시하면 내크레이터성이 현저하게 향상된다. Fe가 풍부한 상층 도금은 합금화 용융 Zn도금의 도장성을 개선할 뿐만 아니라 경

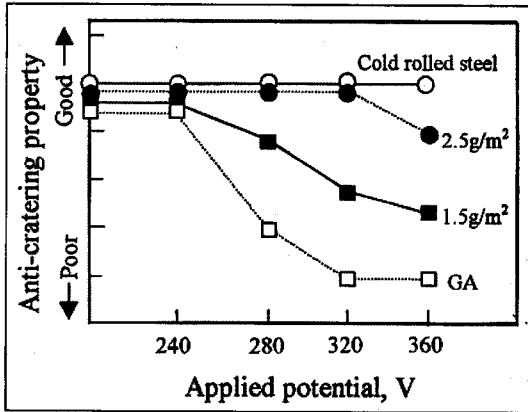


그림 4. 2층형 합금화 용융아연 도금강판에 있어서 크레이터 발생억제에 미치는 Fe-rich 상층의 영향

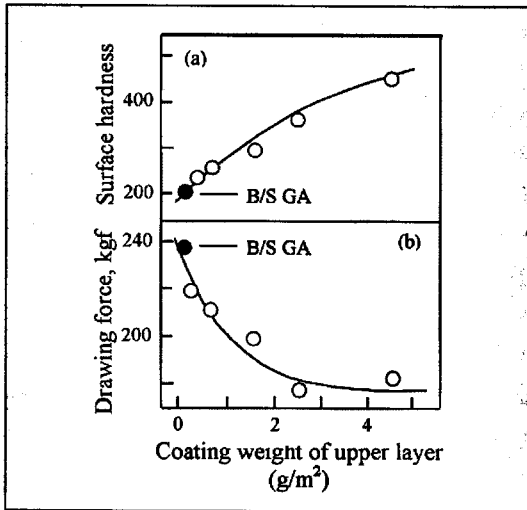


그림 5. 합금화 용융아연 도금강판의 프레스가공성과 표면경도에 미치는 Fe-rich 상층의 도금부착량 효과

도가 높기 때문에 마찰계수를 감소시키며 그림 5.에 나타낸 바와 같이 프레스가공성을 현저하게 향상시키는 효과도 있다. 이와 같은 이유로 난성형 부품에서는 차체 내판에도 2층형 합금화 용융 Zn도금 강판의 사용이 전개 되었다. 용융 도금계 강판은 생산비면에 있어서 유리하기 때문에 자동차용 표면처리 강판으로서 금후도 주류의 위치를 차지할 것으로 생각된다.

3.5.2 Al도금 스테인레스 강판

자동차의 배기계 장치는 매우 혹독한 부식 환경에 노출된다. 머플러 외면은 차체용 강판과 마찬가지로 한냉지에서 살포되는 제설염에 기인하는 혹독한 염해부식에 대한 내식성이 요구된다. 내면부는 고온의 배기가스에 노출될 뿐만 아니라 배기가스 규제로 사용된 촉매 컨버터에 의해 배기가스 성분은 NH_4^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , 할로젠이나 산소 등의 유기화합물로 변화하여 응결수 증으로 용해하기 때문에 외면부와는 다른 부식환경에 놓여진다. 배기계 재료로서는 고온 내산화성이 우수한 Ti 첨가 극저탄소 강판을 모재로 하는 용융 Al도금 강판이 주로 이용되고 있었다. 배기가스 정화시스템의 변경에 따른 내면부식의 확보와 차체 수명연장을 요구하는 움직임으로 내식성이 양호한 5%Cr강, 11%Cr 페라이트계 스테인레스 강판 위에 용융 Al도금을 실시한 재료가 사용되게 되었다. 극저탄소 강판 기지의 경우 Al도금층이 구멍부식을 일으키지만 스테인레스강 기지에서는 Al도금층, 합금층, 강의 순으로 도금층의 희생방식이 작용하여 구멍부식을 제어한다. 그림 6.에 대표적인 배기계 재료의 내구멍부식성을 정리하였다. 용융 Al도금 강판은 용융 Zn도금과 마찬가지로 연속도금 라인에서 제조되지만 스테인레스 소재의 경우에는 환원어닐링시 생성한 Cr이나 Si의 산화물이 표면의 누

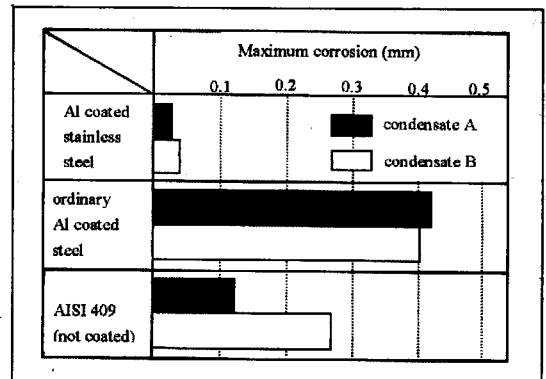


그림 6. 머플러 응축부식시험에서 30사이클 후의 Al도금 스테인레스강판의 부식깊이

설성을 저해하고 부도금이나 핀홀의 발생 원인이 되므로 Fe-B 등을 전도금하여 어닐링시의 표면농화를 제어하는 방법도 실용화 되었다.

3.5.3 박막 유기복합 피막 강판

자동차용 방청 도장강판은 가공성·용접성에 취약점을 가진 후막형(15 μ m)의 Zn-rich 페인트 도장강판으로부터 Zn-Ni 합금 도금과의 조합으로 유기피막층의 막두께를 감소시킨 2종류의 개량형으로 발전했다.(그림 7.) 하나는 유기피막층의 금속분말을 함유하는 중막형(5-7 μ m)의 방청 도장 강판이고, 다른 하나는 유기피막층에 금속분말을 전혀 함유하지 않고 실리커를 함유하는 박막(1 μ m) 유기복합 피막강판이다. 차체 경량화의 요구로 이들 방청도장 강판에도 BH 경화성이 요구되었지만 어느 것이든 250 $^{\circ}$ C 정도의 고온 베이킹을 필요로 하기 때문에 BH성의 확보가 곤란하였다. 이러한 상황에 대처하기 위해 우수한 특성을 가진 박막 유기복합 피막기술을 기초로하여 저온 베이킹형의 유기복합 피막강판에 대한 연구개발이 활발히 진행 되었다. 그 피막층

은 강판 위에 Zn-Ni 합금 도금피막, 크로메이트 피막, 150 $^{\circ}$ C 이하의 온도영역에서 베이킹 가능한 박막(약 1 μ m)의 실리커 함유 유기복합 피막을 순서로 형성한 3층 구조를 가진다. 성능면에서 이 강판은 BH성 외에 두꺼운 도금과 동등한 고내식성, 얇은 도금 수준의 양호한 가공성·용접성을 겸비하여 자동차용 방청 강판에 요구되는 모든 성질을 매우 높은 수준으로 만족한다.

신유기 복합피막 강판개발의 요점은 ① 150 $^{\circ}$ C 이하의 베이킹 조건에서 유기복합 피막의 가교·조막성 확보, ② 크로메이트 피막으로부터 Cr⁶⁺ 이온의 용출방지, ③ 고내식성 박막 개발이다. 저온에서 가교·조막성은 에폭시계 수지와 저온 가교제를 공존시킨 조성물, 열에 의한 가교반응을 필요로 하지 않는 고분자수지 등을 적용함으로써 확보되었다. 크롬메이트 층으로부터의 Cr⁶⁺ 이온의 용출방지는 처리액 중의 Cr⁶⁺/Cr³⁺ 비의 감소와 질화 방지제(무기산) 등의 적용으로 그리고 고내식성화는 내식성이 우수한 에폭시계 수지를 실리커와 복합시킴으로써 각각 실현 되었다. 보다 내식화를 겨냥하여 위의 성분에

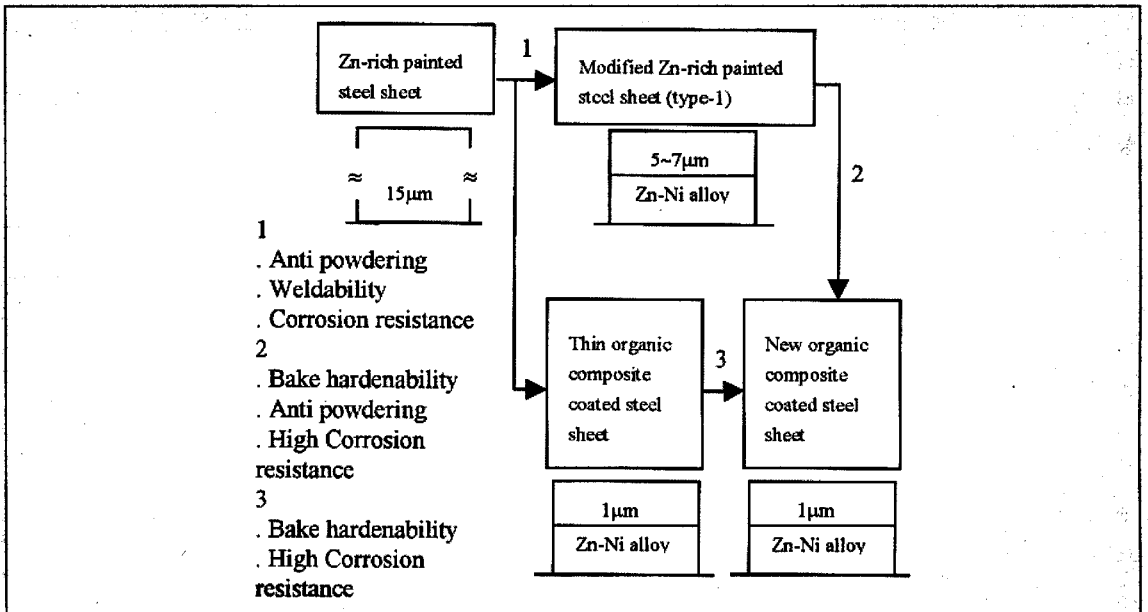


그림 7. BH성을 겸비한 신유기 복합피막강판의 개발 개략도

크롬산 바리움을 첨가한 피막도 개발되었다.

3.5.4 도장 턴도금 강판

연료탱크 외면의 염해대책을 위해 미국의 Magni 공업에 의해 개발된 이 강판은 양면 턴도금 강판을 기반으로 탱크 외면부에 Zn-rich 열가소성 에폭시 수지를 약 11 μ m, 탱크 내면부에 Al-rich 열가소성 에폭시 수지를 약 8 μ m 도장한다. 다음 고체 윤활제를 얇게 도포한 것이다. 수지는 롤코트 되어 220~250 $^{\circ}$ C에서 베이킹 된다. 금속 분말 함유 수지층의 기능은 성형성·용접성을 확보하고 탱크 내·외면에서의 내식성을 향상시키는 것에 있다. 금속층은 내·외면 환경에서의 내식성을 고려하여 제철염에 노출되는 외면용에는 Zn이, 연료에 접하는 내면용에는 Al이 선택되고 있다. 턴도금 단층에 비해 이 강판의 Al-rich 수지면과 Zn-rich 수지면은 각각 메탈함유 연료 중에서의 내식성, 칩핑후의 내식성에 있어서 매우 우수한 것이 확인되어 있다. 최표면층의 윤활피막은 이 강판의 윤활성을 현저하게 개선하며 탱크재료에 요구되는 딥드로잉을 주체로 한 과혹한 프레스 성형을 가능하게 한다. 도장 턴도금 강판은 GM 등의 미국 자동차 회사와 우리나라의 일부 자동차 회사가 채용하고 있지만 현지점에서는 주로 일반 가솔린 연료탱크에 적용되고 있다.

3.6 특수 용도의 강판

3.6.1 고선영성 강판

자동차용 강판에는 프레스가공시 파단과 주름을 발생시키는 일 없이 목적하는 자동차 차체의 기계적 강도를 얻음과 동시에 장시간 사용할 때의 방청성이 요구되어 왔다. 또한 사용자에게 매우 중요한 요소인 자동차 차체의 디자인, 색채, 표면미려 등의 미적 감각에도 관여하는 강판이 고선영성 강판으로서 실용화 되었다. 일반의 쇼트 롤(shot dull roll)은 소정 입경의 grid 입자

를 롤표면에 랜덤하게 투사하여 요철을 부여하여 제조되기 때문에 그리드 입자경의 산포, 롤표면의 경도 차이 등으로 평탄도의 확보는 불가능하다. 이에 반해 레이저덜(laser dull) 강판은 펄스화한 레이저빔을 일정간격으로 롤표면에 투사하여 그 부분에 크레이터를 작성한 레이저 덜를 사용하여 강판을 조질 압연하여 강판 표면에 크레이터를 전사한 것이다. 이 레이저덜 강판은 평탄도 면적률을 크게함으로써 우수한 도장선영성을 확보할 수 있는 것으로부터 차체 외판용 강판으로 실용화 되고 있다. 전기도금의 경우 강판표면 형상은 도금층 외면에까지 거의 유지되기 때문에 이 고선영성 강판은 전기 Zn-Ni 합금 도금 등의 원판으로도 사용되고 있다. 레이저덜 형상의 최적화에 의해 프레스가공성의 향상도 인정되는 것으로부터 합금화 용융 Zn도금 강판 등으로의 전개가 금후의 과제로 될 것으로 생각된다.

3.6.2 제진강판

자동차 소음규제 강화와 정숙성의 요구가 고조됨에 따라 수지복합형 제진강판(이후 제진강판)이 개발되었다. 이는 2장의 얇은 강판(두께 약 0.15~1.6mm)의 중간에 수지층(두께 약 50~100 μ m)를 삽입한 것으로 제진재료 중에서 가장 높은 제진성을 나타낸다(진동에너지 손실계수, η =0.1~0.5, 그림 8). 그 제진기구는 진동에 따른 급립변형으로 수지층에 변형으로 전파되는진동

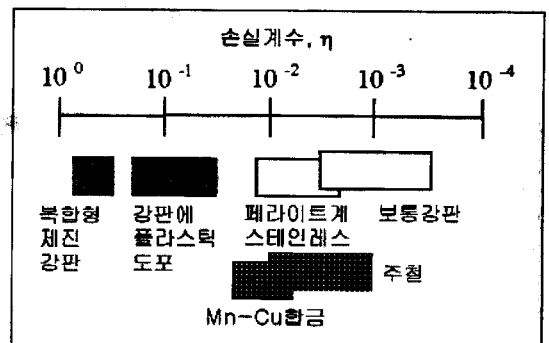


그림 8. 실온에 있어서 각종 재료의 손실계수

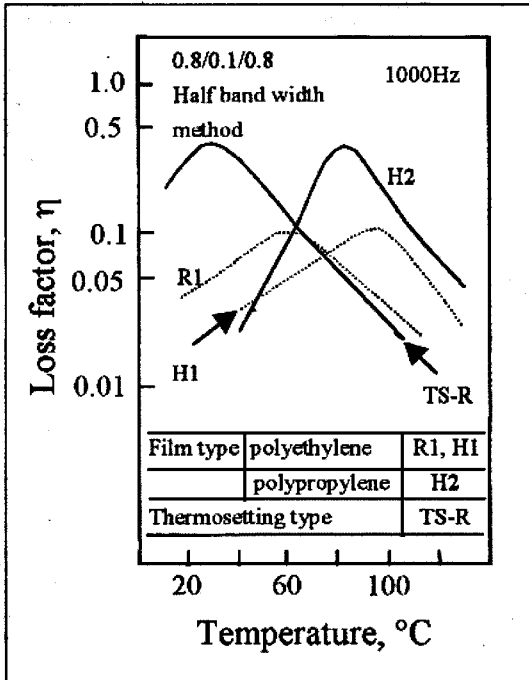


그림 9. 제진강판에 있어서 손실계수의 온도의존성

에너지가 수지의 점탄성특성(내부마찰)에 의해 열에너지로 변환되어 진동을 감쇄시키는 것이다. 따라서 제진성은 수지물성에 의해 커다란 영향을 받는다. 제진성을 향상하기 위한 수지물성의 요점은 ①수지의 손실점성(= 동적손실/동적탄성률)이 크고 동시에 동적탄성률도 적당히 클 것, ②수지의 유리 전이온도 영역을 사용온도 범위에 맞추는 것이다. 수지로서는 오래핀계, 에스테르계, 아크릴계, 고무계 등이 사용된다. 수지의 점탄성은 온도의존성을 가지므로 이 강판의 제진성은 유리 전이온도 영역을 피크로 온도의존성을 나타낸다.(그림 9) 이 때문에 위의 ②의 조건이 필요하게 되지만 보통 사용온도에 따라 상온용(약 0~60°C)과 고온용(약 60~120°C)로 구분되어 사용된다. 제진성 외에도 프레스성형성과 용접성이 주요 특성으로 요구된다. 프레스 성형성은 일반강판의 그것에 가깝지만 드로잉 가공시 주름을, 굽힘가공시 절곡을 발생하기 쉬운 경향이 있다. 제진강판의 자동차에의 적

용은 이제까지 오일팬, 타이밍 벨트커버, 실린더 헤드 커버 등의 엔진부위의 부품을 중심으로 전개되어 왔다. 수요확대에 대비하여 금후는 사용용이성 향상에 초점을 둔 특성개선, 이용기술 향상 및 생산비 절감 등이 요구된다.

4. 자동차용 철강재료 개발의 금후 전망

연비규제에 관한 미국의 CAFE 법안을 계기로 자동차용 철강재료는 매우 고강도화 되어 현재 부재에 따라서는 고강도화의 한계도 나타나기 시작하며 또한 보다 고강도화의 의미도 재검토되고 있다. 따라서 금후는 이미 개발되어 있는 고강도 강판을 저가로 안정하게 제조하고 현재의 강도를 유지하면서 프레스성형이나 BH 특성 등의 부가적 특성을 개선하는 방향으로 진행되어야 할 것으로 사료된다.

외부판넬용 고장력 강판의 사용비율은 점점 증가되는 추세에 있으며 이러한 경향은 금후 계속 지속될 것으로 생각된다. 엔진부위의 소재는 가공비가 차지하는 비율이 크기 때문에 다른 특성과 전체 생산비와의 균형을 고려한 고강도화가 추구될 것이다. 배기계 강재에 있어서는 지구온난화 문제 때문에 배기가스 온도가 1,000°C 까지 상승될 것으로 예측되어 스테인레스 강의 사용비율이 점점 증가될 것으로 생각된다. 배기계에는 주로 페라이트계 스테인레스강이 사용되며 금후 고온강도, 가공성, 내고온산화성, 열피로 및 고온 고주기피로 등의 특성향상에 중점을 둔 개발이 진행될 것으로 생각된다. 마지막으로 자동차를 구성하는 재료에 대한 리사이클 문제가 제기되는데 이는 오히려 플라스틱계 재료에 대한 문제가 크지만 철강재료에 있어서도 폐차해체와 리사이클을 고려한 재료개발이 요구될 것이다. 또한 재생재의 특성에 영향을 끼치는 P, Cu, Sn, As 등의 불순물 원소와 재정련시 환경문제를 유발할 가능성이 있는 Zn, Pb 등의 사용제한도 중요한 문제로서 금후 과제로 될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 豊田技術, 40, p.124, 1990.
- [2] SAE Tech. Pep., No. 900509, 1990.
- [3] Proc. Galvatech '89, p.80, 1989.
- [4] CAMP-ISIJ, 2, p.1684, 1989.
- [5] NKK Tech. Rep., (1989), No. 127, p. 7.
- [6] メカトロ・エンジニアリング(2), 先端材料, 泉 舊司, パワ-社.
- [7] 機能材料入門(下), 本間基文, 非田正弘, アグネ.