

## 자동차부품 표면경화기술 현황

남기석 · 이구현 · 권식철  
한국기계연구원 표면기술연구부

### Current Status on the Surface Hardening Technology of Automobile Parts

K. S. Nam, K. H. Lee and S.C. Kwon  
Department of Surface Engineering KIMM

#### 1. 머리말

최근 자동차 기술은 연료 소비 및 배기 가스를 줄이고, 안전성 및 승차감을 향상시키는 등 수많은 발전을 거듭하여 경제적이며, 쾌적한 교통 수단으로 발돋움하였다. 그러나, 배기 가스 유해 성분 규제, 폐차의 리사이클화, 온난화 방지 등 지구 환경 보존 기술 개발을 요구받고 있으며, 또한 자원절약 및 환경보존 등으로 인

한 무역마찰로 정치적 문제점을 낳고 있다.

엔진은 그 요구에 대응 4WD화, DOHC화, 터보차저 장착 및 가변 밸브 타이밍 기구 채택에 의해 고속회전 및 고출력화를 도모하고 있다. 그리고 연소개선, 경량화 및 마찰 손실을 적게하여 연료소비를 줄이고 있으며, 또한 소음을 줄이고 유지관리를 용이하게 함은 물론 수명을 연장하고 있다.

클러치, 미션, 대우, 구동축, 서스펜션, 등의 각종 구

**Table 1.** 엔진 주요 부품의 트라이볼로지 기술 과제.

분류	부품명	목적	과제
엔진계	피스톤계	피스톤	연비 향상, 고온고부하 대책 ○스커트부 저마찰화, ○경량화, ○링구의 내열내마모성향상
		피스톤링	연비 향상, 고온고부하 대책 ○저마찰화(저장력, 2본링) ○내스커핑성, 내마모성 향상
		실린더보어	경량화디젤EGR ○알루미늄 보어용 표면처리 ○내식성 향상 재료
	크랭크계	크랭크축	연비 향상 ○저마찰화, ○고강성화
		베어링	연비 향상, 고온고부하 대책 ○저마찰화(폭줄임)(고면압 베어링 재료)
		커넥팅로드	연비 향상 ○경량화
	밸브계	흡배기밸브	연비 향상, 고온고부하 대책 ○경량화, ○내마모, ○내산화 특성 향상
		캠 축	신뢰성 향상 ○내마모성 향상 ○내스커핑성 향상 ○내피팅성 향상
		펠로어	연비 향상신뢰성 향상 ○경량화, ○저마찰화, ○내마모, ○내스커핑성향상
구동계	수동변속기	싱크로나이즈링	신뢰성 향상고성능, 고기능 ○안정한 고마찰 특성 ○소형, 고흡량화
		클러치, 마찰판	신뢰성 향상비석면화 ○비석면재료
		기어	연비 향상 ○넓은 wide ratio화
		체인지 레버	신뢰성 향상 ○내소착성 향상
	자동변속기	습식마찰판	신뢰성 향상 ○안정한 고마찰 특성
	무단변속기	벨트식 폴리/플러그	연비 향상 ○내마모성 향상 ○고마찰 특성
	동속조인트	볼/베이스	연비 향상 ○소형, 고흡량화
LSD	주감속기	파이오이드기어	신뢰성 향상 ○소착, 마모 방지
	마찰판	마찰판	신뢰성 향상 ○마찰판 진동 방지
		웜기어	신뢰성 향상 ○소착방지 성능 향상
		비스커스 플레이트	신뢰성 향상 ○소착방지 성능 향상

성 부품의 기능과 특성도 차량의 성능면에서 매우 중요한 위치를 차지하므로서 적합한 재료 개발은 물론, 표면기술을 도입하고 있다. 특히 최근에는 각 부품의 요구특성 정도가 더욱 커짐으로 인해 한 표면기술로 해결할 수 없으며, 여러 기술을 함께 적용하여 기능을 향상시키는 경우가 많다. 여기에서는 자동차 부품의 요구특성 및 표면기술 적용 현황을 살펴보고자 한다.

2. 엔진부품

엔진은 경량화와 함께 연료소모율을 줄이고 있으며, 이를 위해 알루미늄을 다량 사용하고, 연소개선 및 마찰손실을 줄이고 있다. 알루미늄을 이용하기 위해서는 마모 및 소착특성 개선을 위한 표면경화기술이 요구된다. 마찰손실은 연료소비에 큰 영향을 미치며, 10 모드 주행시 손실비율중 차량중량이 28.7%, 엔진 마찰이 40.6%를 차지한다. Table 1은 엔진 및 구동계 주요 부품의 트라이볼로지 특성을 나타내며, 이들 특성 개선을 위해 표면기술의 도입이 필요하다.

2.1. 실린더 및 피스톤계

엔진 실린더의 경우 대부분 철주물이 이용되어 왔으나 경량화 요구가 높아짐에 따라 알루미늄합금이 많이 사용되고 있다. 일체형 실린더 블록에는 고실리콘 합금이, 그리고, 라이너 방식에서는 주철, 강관 등이 쓰이고 있다. 그러나, 경량화를 도모하고 가혹한 조건에서 사용되는 경주용차 등의 라이너에는 질화규소 등을 분산시킨 Ni-SiC 또는 Ni-P기 복합 도금 기술이 적용되고 있다.

피스톤과 피스톤링의 재료는 엔진의 성능과 수명에 대단히 큰 영향을 미치며, 그 재료 및 표면기술은 매우 다양하다. 마찰 손실을 줄이기 위해 피스톤을 경량화하거나 실린더와의 상대운동 면적을 줄이고, 마찰이 적은 재료를 사용하며, 스카트(scart)부를 짧게 한다. 그리고 고성능, 고속화, 고온연소화 등으로 인해 사용조건이 가혹해짐에 따라 스카트부에 Pb, Zn, Fe, Fe-P, 수지 및 복합수지 등을 코팅한다. 한편, 피스톤 로드에는 산질화의 일종인 나이트로텍 처리가 이용된다.

피스톤링에 의한 마찰 손실은 피스톤계의 50~80%를 차지하고 있으며, 마찰 손실을 줄이기 위해 피스톤링의 수 및 두께를 줄이고 테이퍼지게 하여 접촉면적을 줄이고 있다. 피스톤링의 재료는 주철에 크롬도금을 하는 것이 일반적이거나 저합금강이나 스테인레스강을 사용하는 경우가 많아지고 있으며, 내소착 및 내마모 특성을 향상시키기 위해 경질 크롬도금, Mo, 또는 Fe-Cr계 합금 용사, 가스 혹은 염욕 연질화 및 특수질화 방법이 쓰이고 있다. 최근에는 물리증착법에 의한 TiN, 혹은 흑연이나 MoS<sub>2</sub>을 복합한 고체 윤활 피막을 피복하고 있다. 그림 1은 피스톤링의 표면처리 방법에 따른 내마모 특성을 나타낸다.

고온, 고압 및 윤활불량 등으로 인해 피스톤링구는 응착마모를 일으키는 경우가 있으며, 이를 방지하기 위해 디젤엔진용 피스톤링구에는 고니켈 주물을 사용하거나 피스톤 상부를 세라믹섬유로 강화한 금속기 복합재료를 이용하고 있다.

2.2. 크랭크 및 커넥팅계

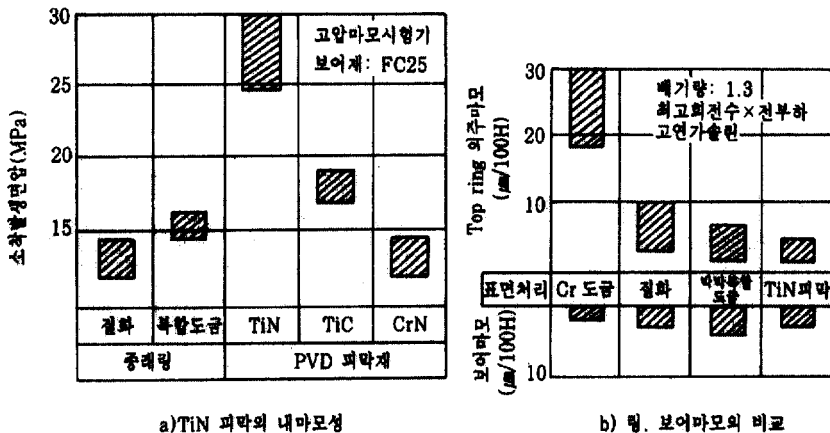


그림 1. 피스톤링의 표면경화방법과 내마모특성.

매우 큰 면압을 받는 크랭크축은 주철주물 제품이나 단조 및 조질제품이 사용되나 필렛부의 피로강도를 향상시키기 위해 롤가공이나 고주파 켈칭하며, 축부의 내마모 특성을 향상시키기 위해 고주파 켈칭이나 연질화하는 경우가 많다. 미끄럼 베어링은 오래전부터 켈멧이나 바벳메탈을 사용하여 왔으나 최근에는 알루미늄 합금, 오버레이(overlay) 알루미늄 합금 및 납청동 합금이 쓰이고 있다. 엔진의 경량화, 고성능화 등에 따라 베어링의 단위 면적당 하중의 증가와 함께 마찰력 감소가 뛰어난 저점도 오일을 사용하므로써 내소착성이 우수한 재료가 필요하며, Al-Sn-Si 합금 등을 사용한다.

2.3. 구동밸브계

엔진의 흡기 및 배기밸브는 그 부분마다 요구되는 특성이 다르며, 축부는 내마모성 및 내소착성, 그리고 축끝은 내마모. 내피팅성이 그리고 밸브면은 내마모 및 내식성을 필요로 한다. 이러한 요구를 만족시키기 위해 일반적으로 자동차 밸브는 페라이트계 및 오스테나이트계 내열강을 단독, 혹은 축에 접합시켜 사용한다. 내마모 및 내피팅성 확보를 위해 축끝을 고주파 켈칭하거나, 공구강 혹은 초경합금을 접합시켜 사용하고, 축과 가이드와의 내소착 및 내마모성 향상을 위해 염욕, 혹은 가스연질화 및 산질화 방법이 쓰이고 있다. 가장 사용조건이 가혹한 밸브면은 배기가스에 대한 내식 및 내산화, 그리고 밸브시트와의 내마모성을 고려하여야 하며, 각종 표면기술이 사용되고 있다. 현재 가스화염, 아-크, 용사 외에 레이저빔을 이용한 육성방법이 가장 많이 쓰이고 있으며, 그 재료로는 티타늄합금, 세라믹 혹은 알루미늄 복합재료가 활용되고 있다.

밸브를 구동시키는 동윤계의 캠, 로커아암, 리프터 등의 구성 부품은 새로운 설계에 따라 필요로하는 부품수도 완전히 다르고 각 설계에 적합한 표면 처리 방법이 쓰이고 있다. 캠은 단조 조질강, 칠주물 등을 고주파 켈칭 및 연질화하여 왔으나 최근에는 경량의 소결접합 캠축, 또는 합금주철의 캠프로필을 TIG로 재용융하여 고경도층을 얻는 방법이 사용되어 우수한 성과를 얻고 있다. 리프터에는 침탄켈칭된 저합금 표면경화강이 많이 사용되고 있으나 알루미늄합금을 이용하여 그 외부에 Fe-Cr계 합금을 용사하여 우수한 내마모 및 경량화 효과를 얻는 방법도 있다. 최근에는 직타식 캠 프로어에 심(seam)의 내마모성이나 접촉부의 유막확보가 중요한 문제로 대두되므로써 침탄켈칭한 다음 터프트라이트 처리

하거나 보로나이징하는 경우가 있다. 표 2는 밸브구동계의 표면기술을 나타낸다.

2.4. 오일펌프계

엔진에 윤활유를 공급하는 오일펌프는 엔진의 성능 및 내구성을 좌우하는 중요한 기능 부품으로 종래의 오일 펌프는 직교축으로 부터 회전력을 얻어 구동하는 방식을 채택하였다. 따라서 미끄럼이 큰 기어를 사용하여야 하므로 인해 터프트라이트와 각종 표면처리 방법이 쓰이고 있다. 미끄러짐이 크고 온도가 상승하기 쉬운 조건에서는 기어 표면층의 내열성이나 마찰계수가 극히 중요하다. 그림2에 오일펌프 기어의 마모특성 시험 결과를 나타내었으며, 염욕질화의 특징인 N, C, O가 혼합

표 2. 밸브계의 표면기술.

캠축(일체형, 접합형, 조합형)	
표면 처리 기술	재 료
고주파. 화염. 레이저 켈칭	탄소.합금강
침탄. 침탄질화 켈칭	탄소.합금강
연질화. 침류	칠드주철, 합금강
TiG. 레이저 재용융칠	주철, 칠드주철
인산 화성 피막	소결, 상기 각 기술 추가
로커아암(헤드 체형, 주물형, 롤러형)	
인산 화성 피막	주철, 합금주철, 합금주강, 소결 세라믹스
리프터(일체형, 접합형, 직타형, 스페이서형)	
연질화. 침탄	주철. 칠드주철
침탄. 침탄질화 켈칭	탄소. 저합금강
용사(플라즈마,아-크)	알루미늄. 탄소. 저합금강
인산 화성 피막	주철, 칠드주철, 기타기술

그림 2. 오일펌프기어의 내마모특성.

된 질화물이 내마모에 크게 효과가 있음을 볼 수 있다.

### 3. 구동부품

#### 3.1. 트랜스미션계

구동 변속기는 다단수동, 자동무단식이 있으며 소형 및 가격이 낮은 차의 수동식에는 싱크로나이징링의 내마모성, 그리고 자동식에는 다판식 클러치 페이싱의 마찰계수 안정성과 수명이 문제가 되며, 영국 루커스사는 그림 3과 같이 연결화한 다음 산화하는 나이트로텍(Nitrotec) 기술을 이용하여 자동변속기의 비스커스 커플링을 제작하고 있다. 한편 수동 및 자동 모두 변속기오일의 저점도화와 고속회전화, 그리고 엔진의 고성능화를 위해 각 기어나 부품의 고강도화가 요구된다. 그 대책중의 하나로 침탄경화한 다음 강력한 쇼트피닝을 실시하는 즉 하드쇼트피닝 방법이 있으며, 그림 4는 기어의 강도에 미치는 하드쇼트피닝 효과를 나타낸다. 진공침탄과 그림 5와 같은 침탄질화, 그리고 표면이상층의 발생이 적은 강재를 사용 표면이상층을 줄이고, 표면 이상층 저감강+하드쇼트피닝, 침탄질화+하드쇼트피닝, 고강도 질화강 사용 등에 의해 기어의 피로강도를 크게 향상시키고 있다.

#### 3.2. 프로펠라. 동축조인트계

뒷축 구동 방식에서는 프로펠라축이 이용되어 왔으나 점차 전륜구동 및 4WD가 증가됨에 그 구성 부품의 설계, 재료 및 표면기술이 다양화되고 있다. 프로펠라 방식의 경우 비교적 단순한 유니버설 조인트인데 반해 동축 조인트의 트라이블로지는 설계, 가공도 및 윤활제 등에 따라 고도의 재료 및 기술이 요구되고 있다. 모두 단조 혹은 냉간 및 온간 성형과 침탄용강을 이용한 침탄경화, 혹은 중탄소강을 이용한 고주파 퀸칭이 이용되고 있다. 구성 부품중 초기순염이나 내소착성을 필요로 하는 부품의 경우 인산제화성 피막처리를 하는 경우가 많다. 퀸칭시 흑색 윤활 피막이 형성되는 퀸칭오일이 개발됨으로써 자원절약, 공정단축은 물론 처리비용을 절

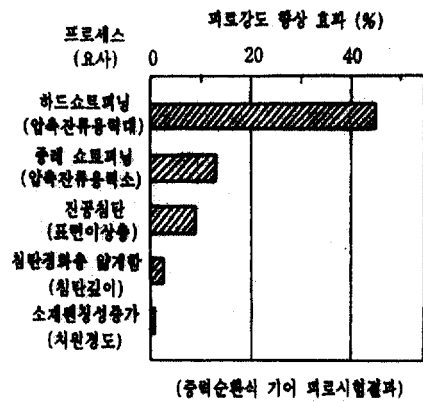


그림 4. 기어강도에 미치는 하드쇼트 피닝 효과.

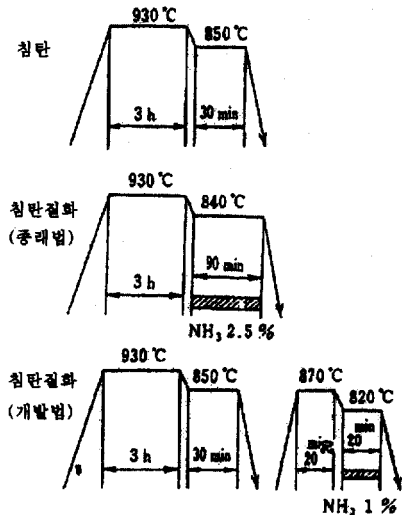


그림 3. 오일펌프기어의 내마모특성.

그림 5. 표면 이상층이 적은 침탄질화 방법.

감할 수 있게 되었다. 그림 6은 표면피막 켈칭에 의한 등속조인트의 특성 개선 예를 나타낸다.

### 3.3. 대우

구동계 기어도 FR차의 디프렌셜기어는 미끄러짐 정도가 높은 설계나 차동기구의 작동시 피니언 배면의 윤활 등의 문제를 해결하기 위해 인산계 화성, 침류질화, 염욕 또는 가스 연질화 등의 표면처리 기술이 사용된다. 최근 전류화됨에 따라 차동감속기와 트랜스미션이 엔진과 일체화됨에 따라 트라이블로지의 요소도 크게 변하고 있다. 고속화 및 저소음 등과 관련된 기술이 필요하고 회전 슬립 부분의 허용공차가 작아지고 내마모성이 더욱더 요구되고 있으며, 이를 위해 각종 침류질화나 고체윤활 복합피막 제조법이 도입되고 있다.

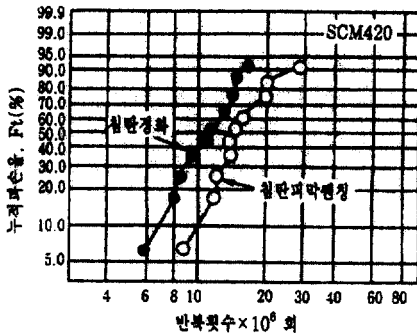
### 4. 기타부품

보통 제동장치에는 유압이 이용되고 있으며, 각 유압 실린더의 내마모성 및 내식성과 더불어 유지관리가 필요없어야 한다. 이를 위해 피스톤랩이나 실(seal) 등에 사용되는 고무 또는 엘라스토머(elastomer)의 내구성 향상이 불가피하고 그것을 달성하기 위해 상대 재료와의 적합성을 고려한 재료와 표면처리기술의 개발, 가공

정밀도 및 면조도의 향상이 필요하다. 그 예로 각 냉각수 및 유압배관에 내식성을 갖는 Zn계 도금, 각종 실린더류에는 연질화 및 산질화, 혹은 오일실린더에는 니켈기 도금에 의한 내식성과 내마모성을 높이고 있다. 브레이크 보조부품을 비롯하여 속압쇼바, 라디에터 챔 및 쉘, 윈도우 와이퍼, 타이로드 등 각종 부식, 마모 방지부품에는 산질화의 일종으로 영국 루커스사에 의해 개발된 나이트로텍기술이 쓰이고 있다.

볼트 너트는 각 부위 구성부품의 조립성능유지를 위해 빼놓을 수 없는 중요한 부품으로 최근 경량화 요구로 인해 수지가 사용되고 있으나 강도상 필요한 부위에는 저합금강의 조질재가, 그리고 내식성과 외관을 요구하는 경우 스테인레스 볼트 등이 이용된다. 강도상 중요한 부위에는 그 체결토크의 관리가 매우 중요하며, 볼트 표면의 마찰계수도 크게 영향을 미친다. 켈칭오일을 개량 볼트 표면에 피막을 형성하는 방법을 산업화하고 있으며, 그림 7에 그 예를 나타내었다. 또한 내식성이나 내소착성을 요구하는 경우 아연계 피막처리가 많이 활용된다. 자동차에는 강재외에 알루미늄이나 마그네슘 합금이 많이 사용되게 되었으며, 내식성과 내마모성을 확보하기 위해 각종 표면처리 방법이 사용되고 있다.

또한 최근 전기, 자기, 열, 광, 물, 가스 등과 직접 반응, 혹은 촉매작용을 하거나 이것을 감지하는 부품에도 표면처리기술이 직간접적으로 쓰이고 있다. 산소센서 보호막 제조에 용사기술이 활용되고 있으며, 도어유리의 열선반사를 위해 금속 및 금속간화합물을 스퍼터링 방법을 이용 피복하고 있다. 또한 산소 및 NOX 센서 등



Herz 음력 533 kgf/mm<sup>2</sup>, 윤활 SEA 30 oil

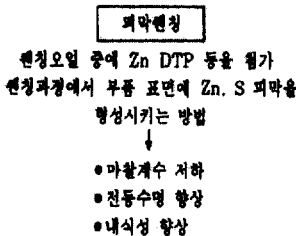


그림 6. 등속조인트의 표면피막 효과.

그림 7. 피막 켈칭 볼트의 마찰특성.

Table 3. 자동차 부품에 적용되는 주요 표면기술.

처리방법		부품	가공공구
표면 가공	쇼트피닝	트랜스미션기어, 커넥팅로드, 로커아암, 밸브리프터, 밸브스프링, 커넥팅로드(Ti)	
	블링	크랭크축	
표면 켈칭	전자빔	캠플로어, 타펫트, 싱크로	
	레이저빔	타펫트, 기어하우징	
	고주파	각종 부품	
확산	침탄, 고농도침탄	기어, 밸브리프터, 커넥팅로드, 베어링 조향장치, 볼조인트, 드라이브샤프트, 캠샤프트, 트래쉬, 타펫트, 유압장치, 피니언링기어	
	질화, 연질화	피스톤링의 각종 부품	
	침투	디프렌셜 피니언기어, 트랜스미션기어, 트러스트와셔, 시스터슬리브, 밸브리프터	
	침투질화	로커암 푸셔, 흡기밸브, 대우 피니언축	
	산화	캠축, AT용 로터리캠링, 오토바이 커넥터로드(Ti)	
	산질화	캠축, 속압쇼버, 라디에이터캡, 서스펜션, 타이 로드, 브레이크 보조부품, 베어링슬리브, 크러 치레버, 베어링하우징, 윈도우슬라이드, 본넷라 쳇, 스트라이크플레이트, 와이퍼, 등 다수	
	보로나이징	컴프레셔베인, 타이밍체인	
	VC 피복	각종 체인	
증착	CVD	TiC, Tin	
		WO <sub>3</sub>	백미러
	PVD	CrN	커넥팅로드(Ti), 콤프레서, 피스톤링
		TiN	피스톤링(질화), 커넥팅로드(Ti), 에어백 센서트리거
PVD (스퍼터)	Ag	윈도우글래스	
침적	메틸시로키산..	도어미러	
도금	크롬	밸브리프터(Al), 피스톤링, 피스톤핀, 로터하우징	금형, 차공구
	Ni-P	펌푸베인(Al), 밸브리프터, 피스톤링(질화)	금형
	Ni-SiC	로터하우징	
	Ni-P-SiC	오토바이 실린더(Al)	
	Ni-P-BN	오토바이 실린더(Al)	
양극산화	브레이크(Al), 스티어링너클(Al), 리어액슬 하우징		
화성처리	캠축, 기어, 실린더 라이너		
코팅	MoS <sub>2</sub>	브레이크 부품, 트랜스미션 부품, 엔진 부품 차동제한부 디프렌셜	
	Al 합금	PTC 히터 전극	
	Mo	피스톤링, 사이드하우징, 커넥팅로드(Ti), 싱크로나이저링(Cu), 코너셀, 오일펌프케이스(Al), 피니언축	
	Cu	밸브리프터(Al), 사이드하우징, 드라이브폴리(Al), 디스크 브레이크	
	WC	로터하우징	
	탄화물 써멧	피스톤링	
	(NiAl)+(Al-Si+플리에스틸)	터보차저 하우징	
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , ZrO <sub>2</sub> , MgO,	산소센서	
	Cu <sub>2</sub> O	디스트리뷰터, 로터	

Table 3. continued.

국부용용	Tig 아크	캠축, 실린더헤드(Al), 로커아암	
	전자빔	샤프	
	플라즈마	캠축	
육 성	플라즈마	Co합금	밸브시트, 밸브, 부연소챔버, 캠축
	레이저	Co합금	밸브
		Cu합금	밸브시트(Al)
	아크가스	Co합금	밸브
	Mig아크	Co합금	피스톤

에도 스퍼터링에 의한  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ,  $\text{ZnO}$  피복이 검토되었다. Table 3은 최근 자동차 부품에 적용되는 주요 표면기술을 나타낸다.

#### 4. 맺음말

최근 자동차 산업 환경은 고성능화, 저연비화, 저공해화 및 생산성 극대화로 집약된다. 이에 대응하기 위해 자동차는 더욱더 경량화되고 마찰손실을 최소화 할 것이다. 따라서 자동차 구조 설계는 물론 트라이블로지로 대표되는 부품의 기능 및 특성을 만족시키기 위한 재료의 변화가 반드시 요구된다. 그것은 각종 표면기술의 도입

으로 해결할 수 있으며, 끊임없는 기술개발이 필요하다.

#### 참고문헌

1. 脇谷清可, 表面技術, 43(6), P543(1992).
2. 新井 透, 表面技術, 43(6), P. 2(1992).
3. 三宅讓治, 不破良雄, 中小原武, 自動車技術, 45(6), P.72 (1991).
4. 山田治樹, 熱處理, 34(2), P.80(1995).
5. 中田一博, 溶接學會誌, 63(4), P41(1994).
6. 日本ナイトロテック社 catalogue.
7. Surface Engineering, 1(3), P.168(1985).
8. 紫田伸他, 自動車技術, 47(5), P.17(1993).