

용사처리에 의한 자동차 브레이크용 마찰재료의 마찰성능개선에 관한 연구

김윤해* · 배창원** · 손태관***

A Study on the Improvement of Frictional Performance
of Friction Material for Automobile Brake by Spray Treatment

Y. H. Kim, C. W. Bae, T. K. Shon

Key words : 마찰재료(Friction material), 브레이크 라이닝(Brake lining), 용사처리(Spray treatment), 마찰계수(Frictional coefficient), 부식전위(Corrosion potential), 부식전류밀도(Corrosion current density), 페이드(Fade), 리커버리(Recovery)

Abstract

Friction materials for brake linings and clutches have severe performance requirements. The principal function of such frictional elements is to convert kinetic energy to heat, and then either to absorb or to dissipate heat. In order to achieve these objectives, the coefficient of friction must be as high as possible, independent of variations in operating conditions, and the necessary energy conversion must be accomplished with a minimum of wear on the contacting parts.

In this study, Al powder, Al bronze powder and Mo powder used in general for automobile brake was sprayed on automobile brake disc to restrain rust and to maintain friction performance. Dynamo and corrosion tests have been carried out. It is concluded that the sprayed disc with Al-bronze powder has the most improved frictional performance and anti-corrosive characteristics. The main results obtained can be summarized as follows ;

1. From the corrosion current density test for gray cast iron and sprayed disc with powders of Al, Al bronze and Mo, it was cleared that the spray treatment with Al bronze powder showed the most superior anti-corrosive characteristics than other powders.
2. By anode polarization toward the noble direction from corrosion potential, corrosion current density with sprayed brake disc by Al-bronze powder was the lowest.
3. Mean frictional coefficients obtained from dynamo test are as follows : the sprayed disc with Al(99.99%) powder was 0.190 ; the sprayed disc with Al-bronze powder was 0.312 ; the

* 한국해양대학교 재료공학과 (원고접수일 : 97년 4월)

** 한국해양대학교 대학원

*** (주)상신브레이크

sprayed disc with Mo powder was 0.257 ; the non-sprayed disc of gray cast iron was 0.331. In the case of the sprayed disc Al-bronze powder showed the most excellent frictional characteristics.

4.Amount of burnish quantity obtained from burnish test by dynamometer is as follows : the sprayed disc with Al-powder was 1.079 mm : the sprayed disc with Al-bronze powder was 0.155 mm : the sprayed disc with Mo powder was 0.253 mm : the non-sprayed disc of gray cast iron was 0.241 mm. Al-bronze powder also showed the most excellent burnish characteristics.

1. 서 론

자동차 브레이크용 마찰재료는 가혹한 조건하에서 사용되며 큰 토오크(Torque)를 전달하면서 반복적인 미끄럼마찰에 견디지 않으면 안된다. 최근에는 엔진의 기술, 서스펜션기술의 진보, 도로의 환경, 차량속도의 고속화 등에 따라 브레이크에 요구되는 성능은 보다 엄격해질 뿐만 아니라 차량의 고급화에 수반하여 브레이크의 소음이나 조작감 등에 대한 요구도 엄격해지고 있다.

이러한 요구성능 중에서 가장 중요한 성질은 마찰계수이며 대략 0.2~0.6정도의 범위이다. 그러나 우천시 또는 습도가 높은 환경하에서는 마찰계수의 변화가 심하고, 더구나 물 또는 습도에 의한 녹의 발생은 자동차를 운행하지 않는 상태에서도 마찰계수의 변화를 초래할 수 있을 뿐만 아니라 브레이크의 소음을 초래할 수 있다. 더욱이 최근에는 자동차의 고성능화나 소비자의 요구가 다양화됨에 따라 마찰재료에 대한 요구성능이 고수준화, 다양화되고 있다. 특히 수출용 자동차의 경우 부두에서 선적대기중 해수성분으로 인한 초기의 녹발생으로 많은 문제점이 발생하고 있다.

본 연구는 일반적으로 사용되고 있는 자동차용 마찰재료의 상대면인 브레이크 디스크에 마찰성

능을 개선하고자 용사처리를 하여 용사처리한 브레이크 디스크의 마찰특성을 평가함과 더불어 용사처리를 행한 브레이크 디스크에 대한 부식시험을 행하여 초기 녹발생 억제를 목적으로 행했다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 용사

용사는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 재료를 용융 입자의 형태로 모재에 내뿜어 고착 적층하여 피막을 형성하는 것이다.²⁾ 용사는 긴 수명을 목적으로 하기 때문에 초기비용은 높다 하더라도 수리를 위한 설비의 정지시에 수반하는 손실이나 교환공사비 등이 삭감되는 점을 고려하면 표면개질 기술로서 그 효과가 우수하며 세라믹이나 서메트, 고경도 합금을 폭넓게 선택할 수 있기 때문에 내마모의 분야에 많이 사용되고, 특히 고온영역에서의 내열과 내마모 분야에 많이 연구되고 있다.³⁾

본 연구에 이용한 용사장치는 산소-아세틸렌 가스를 이용하는 분말 프레임 가스 용사장치(일본 Eutectic사의 Terodyn system 2000)를 사용하였다. Fig. 2에 용사장치의 기본적인 접속방법을 나타내었다. 산소-아세틸렌 가스는 압력조절기에 의

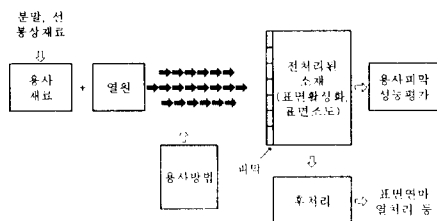


Fig. 1 Schematic illustration of spray process

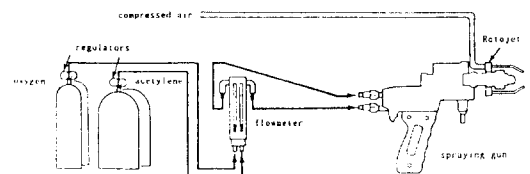


Fig. 2 Schematic illustration of flame spraying apparatus

해 적절한 압력으로 조절되어 유량계를 통하여 용사건(spray gun)으로 공급되어 진다. 공급된 산소-아세틸렌 가스는 용사건의 내부에서 혼합되며 노즐건(nozzle gun)을 통하여 외부로 분사되어 화염을 형성한다. 용사건의 노즐 주위에 가압송급장치인 로토제트(ROTOJET)가 부착되어 분사시 이를 통하여 적절한 압력으로 조절된 압축가스가 화염주위로 공급된다. 이 압축가스는 분사시 화염을 집중시키고, 용사입자를 가속화시키며, 또한 모재를 냉각시키는 역할을 한다.⁴⁾ 용사용 분말은 용사건의 상부로부터 이송가스에 의해 화염 속으로 송급되며, 그 양은 송급밸브에 의해 조절된다. 분말의 이송가스로서는 용사건에 송급된 압축공기를 사용하였다.⁵⁾ Table 1에 용사분말의 용사조건을 나타내었다.

Table 1. Spray conditions

| Condition | Spray powder | | |
|--|--------------|------------------|-----------|
| | Al powder | Al-bronze powder | Mo powder |
| Spray distance(mm) | 200 | 200 | 200 |
| Flow ratio (Oxygen/Acetylene, ft ³ /min) | 30/40 | 40/60 | 40/60 |
| Pressure (Oxygen/Acetylene, kg/cm ²) | 3.5/0.84 | 3.5/1 | 3.5/1 |
| Air pressure(kg/cm ²) | 1 | 3 | 3 |

2. 2 실험재료

1) 디스크(disc)

일반적으로 디스크 브레이크는 방열성이 좋고 페이드(fade)현상이 작을 뿐만 아니라 디스크 패드(pad)의 교환이 쉽고 간극이 자동 조정되는⁶⁾ 등의 장점이 있어 대부분 승용차의 전륜에 사용되고 있으며 ABS(anti-lock braking system)를 장착한 승용차는 후륜에도 사용되고 있다. 디스크 브레이크의 디스크 재료로는 회주철이 이용되고 있으며, 본 연구에 이용한 드림 디스크는 ABS를 장착한 실차의 후륜 브레이크 디스크를 사용하였다. Fig. 3에 브레이크 디스크의 취부도를 나타낸 것이다.

2) 용사분말재료

본 연구에서는 마찰재의 상대재인 브레이크 디스크의 초기 내식성을 유지하면서 마찰특성이 우

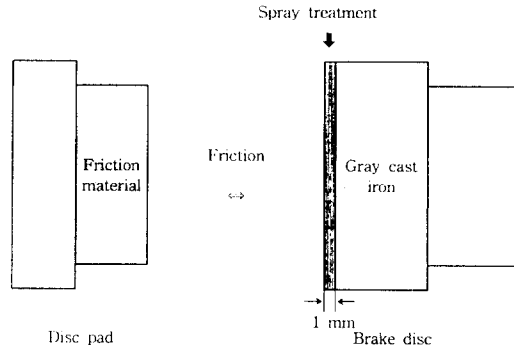


Fig. 3 Schematic illustration of test specimen

수한 제품의 개발에 그 목적이 있으므로 내식성이 우수한 용사분말중 알루미늄(99.99%)분말(Al-powder), 알루미늄 브론즈분말(Al-bronze powder), 몰리브덴분말(Mo-powder)을 이용하였다.⁷⁾

2. 3 실험방법

1) 다이نام모 시험(dynamo test)

실제 자동차에서의 속도, 압력, 온도 및 관성 등을 부여하여 시험할 수 있는 다이نام모미터(dynamometer)를 이용하여 마찰·마멸시험을 행하였다. 마찰·마멸시험은 회주철 브레이크 디스크에 여러 재료를 이용하여 용사처리한 브레이크 디스크를 다이نام모 시험기를 이용하여 효력시험(effectiveness test), 페이드 및 리커버리 시험(fade & recovery test) 및 마멸시험(burnish test)을 행하였다. 그리고 실차에 사용되고 있는 회주철의 브레이크 디스크를 용사처리한 것과 비교 검토하기 위해 동일한 시험을 행하였다. 본 연구에 이용한 다이نام모 시험기의 사양은 Table 2와 같고, 다이نام모의 시험조건은 Table 3에 나타내었으며 기타 시험방법은 JASO C 406⁸⁾에 따라 행하였다.

2) 부식시험(corrosion test)

부식측정 시험편은 회주철의 브레이크 디스크와 내식성 분말을 용사 처리한 디스크들을 절단하여 부식 시험편을 만들었다. 이들 시험편은 모두 측정단자를 전도성 접착제로 취부한 후에 시험편을 1.0cm²만 남기고 모두 에폭시 수지로 절연 피복하였다.

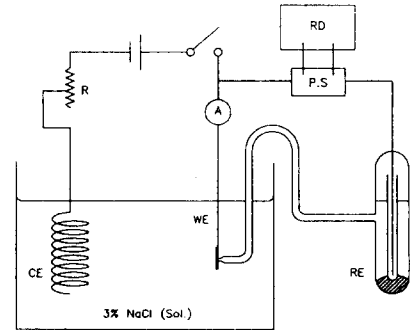
Table 2 The specification of dynamo testing machine

| | |
|-----------------|----------------------------------|
| Type | Single |
| Max. torque | 250kgf × M |
| Max. pressure | 200 kg/cm ² |
| Max. revolution | 1,800rpm |
| Operation | automatic |
| Testing | Hydraulic pressure, torqu const. |
| Momentum | 6.6kg · m ² |

Table 3 Test condition of dynamo testing machine

| | |
|---------------|---------------------------------|
| Test inertia | 1.50 kgf · m · sec ² |
| Test mode | JASO C 406 - P2 |
| Cylinder area | 9.35 cm ² |
| Rotor radius | 111.00 mm |
| Tire radius | 305.00 mm |

부식시험은 Fig. 4에서 보이는 바와 같은 전기화학장치(Potentiostat set)를 이용하였고,⁹⁾ 천연해수(25° C, ρ= 25.5 Ω · cm, pH= 7.8)중 시험편을 침지시켜 안정된 부식전위(E_{cor})에서 5mV/sec의 주사속도로 정전위 양극분극곡선을 측정하여 분석하였다. 또한 이들 양극분극곡선 측정결과와 비교하기 위해 3% NaCl 용액중 침지시간에 따른 부



WE : Working electrode, CE : Counter electrode
RE : Reference electrode, P.S : Potentiostat, RD : X-Y Recorder
Fig. 4 Experimental apparatus for corrosion test

식전위의 변화를 측정하여 녹의 발생과정을 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 마찰마모시험

Table 4에 여러 재료를 이용하여 용사처리한 브레이크 디스크의 다이내모시험의 결과를 나타내었다. 다이내모 시험결과에서 평균 마찰계수를 관찰해보면 용사처리하지 않은 회주철 브레이크 디

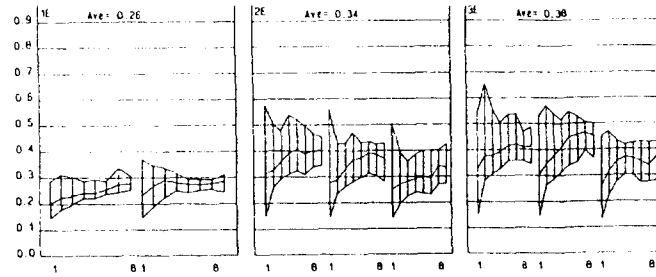
Table 4 Frictional coefficient obtained from dynamo test

| Item | Gray cast iron (Non-treatment) | Aluminum powder spray | Aluminum bronze powder spray | Mo powder spray |
|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------|---------------------------------|--------------------|
| Preburnish check | 0.22 | 0.28 | 0.24 | 0.25 |
| First effectiveness | 0.26 | 0.27 | 0.27 | 0.26 |
| Burnish | 0.34 | 0.16 | 0.34 | 0.28 |
| Second effectiveness | 0.34 | 0.16 | 0.29 | 0.23 |
| First reburnish | 0.33 | 0.15 | 0.34 | 0.28 |
| Emergency brake test | 0.32 | 0.17 | 0.30 | 0.24 |
| First fade & recovery | 0.33 | 0.17 | 0.29 | 0.24 |
| Second reburnish | 0.36 | 0.22 | 0.34 | 0.24 |
| Second fade & recovery | 0.36 | 0.19 | 0.31 | 0.24 |
| Third reburnish | 0.37 | 0.19 | 0.35 | 0.28 |
| Third effectiveness | 0.38 | 0.18 | 0.31 | 0.24 |
| Fourth reburnish | 0.37 | 0.15 | 0.37 | 0.29 |
| Mean frictional coefficient | 0.331 | 0.190 | 0.312 | 0.257 |

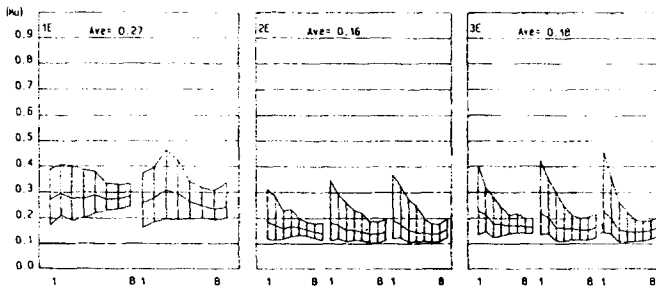
스크의 경우 마찰계수가 0.331이고, 알루미늄분말로 용사처리한 경우는 0.190, 알루미늄브론즈분말로 용사처리한 것은 0.312, 그리고 몰리브덴분말로 용사처리한 것은 0.257인 것을 알 수 있다. 따라

서 알루미늄브론즈 분말로 용사처리한 경우는 마찰계수가 회주철의 마찰계수와 비슷한 것을 알 수 있다.

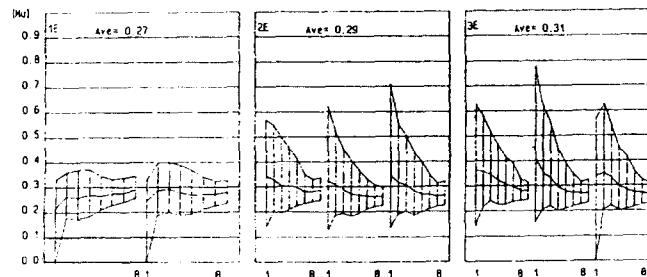
Fig. 5는 50KPH, 80KPH 및 100KPH에서의 효



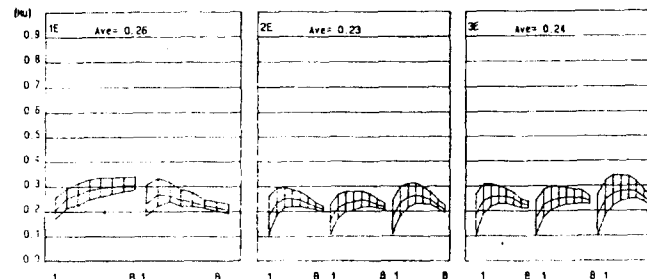
(a) Gray cast iron disc



(b) Al powder spray treatment



(c) Al-bronze powder spray treatment



(d) Mo powder spray treatment

Fig. 5 Results of effectiveness test

력시험의 결과를 나타낸 것으로써 (a)는 용사처리하지 않은 회주철의 결과이며 알루미늄 용사처리한 (b)의 경우는 2번째와 3번째의 마찰계수가 상당히 낮게 나타나므로 제동거리가 길어질 우려가 있는 것으로 사료된다. 알루미늄브론즈 분말을 용사처리한 (c)의 경우는 용사처리하지 않은 경우와 거의 같은 경향을 나타낼 뿐만 아니라 마찰계수도 거의 비슷하게 나타나고 있다. 그러나 첫번째의 효력시험에서 50KPH, 100KPH에서와 3번째 효력시험에서의 100KPH에서 초기에 마찰계수가 순간적으로 떨어지는 것은 초기의 미끄럼에 의한 것

으로 생각되나 즉시 회복되어 안정상태로 되어 문제되지 않으리라 생각된다. 몰리브덴분말로 용사처리한 (d)의 경우는 대체적으로 마찰계수가 낮게 나타나고 있다. 따라서 효력시험의 결과에 의해 기준인 회주철에 가장 근사한 것은 알루미늄 브론즈를 용사처리한 것임을 알 수 있다.

Fig. 6은 페이드 및 리커버리의 상태를 온도의 변화와 마찰계수의 변화를 그래프로 나타낸 것이다. (a)는 용사처리하지 않은 회주철의 시험결과이며 알루미늄 분말을 용사처리한 (b)의 경우는 온도의 변화는 양호한 편이나 마찰계수가 대체로 낮게

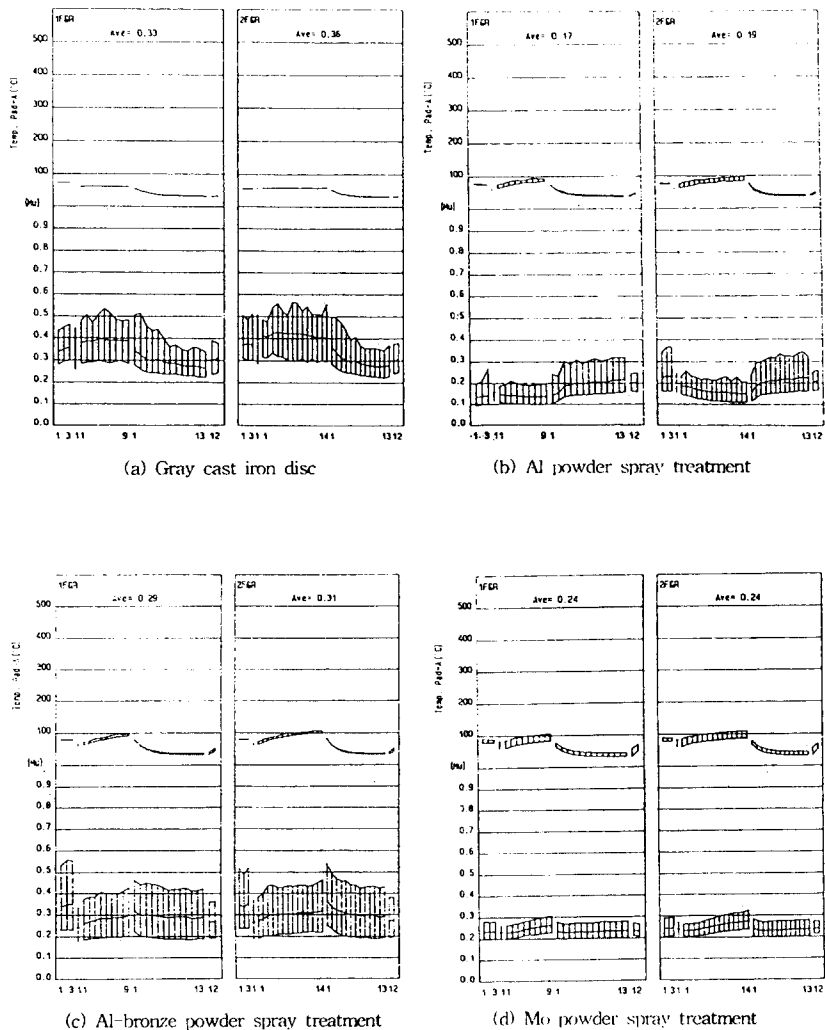
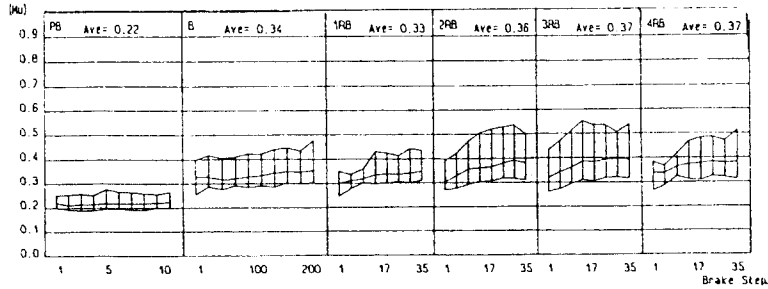


Fig. 6 Results of fade and recovery tests

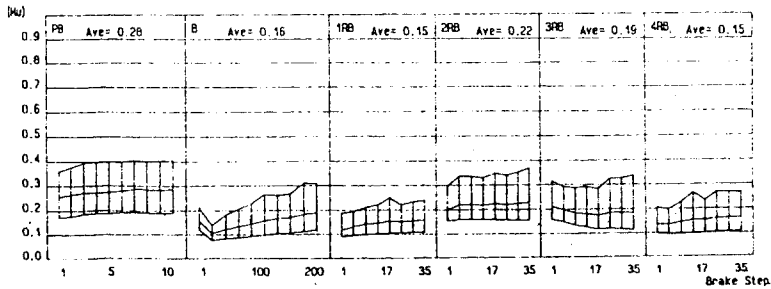
나타나고 있으며, 알루미늄 브론즈 분말을 용사처리한 (c)의 경우는 회주철의 경우보다 온도의 변동 폭은 약간 높게 나타나지만 마찰계수는 안정된 상태를 보이고 있어 알루미늄 브론즈를 용사처리한 것도 페이드 및 리카바리성이 좋은 것을 알 수 있으며, 몰리브덴으로 용사처리한 (d)의 경우는 대체

적으로 마찰계수가 낮게 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 페이드 및 리커버리 시험의 결과는 알루미늄 브론즈 분말 용사처리한 것이 회주철의 경우보다 더 안정됨을 알 수 있다.

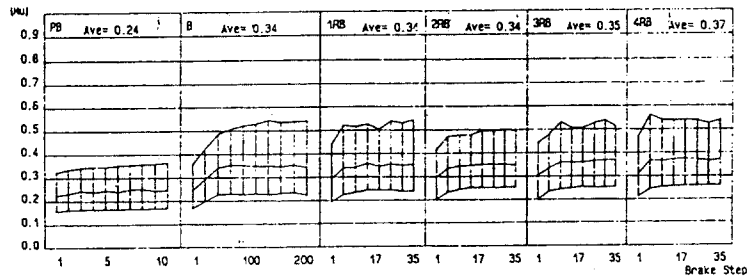
Fig. 7은 마멸시험의 결과에 대한 그래프이다. (a)는 용사처리하지 않은 회주철의 상태를 나타낸



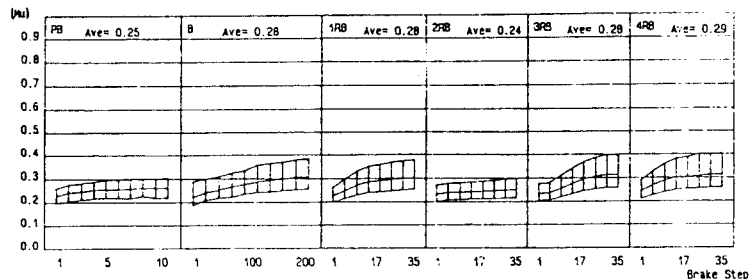
(a) Gray cast iron disc



(b) Al powder spray treatment



(c) Al-bronze powder spray treatment



(d) Mo powder spray treatment

Fig. 7 Results of burnish test

것이고, 알루미늄 분말을 용사처리한 (b)의 경우는 마찰계수가 서서히 떨어지는 것을 알 수 있으며 알루미늄 브론즈 분말을 용사처리한 (c)의 경우는 회주철의 경우와 비슷한 양상을 보이고 마찰계수도 안정하게 유지됨을 알 수 있다. 몰리브덴 분말로 용사처리한 (d)의 경우도 대체로 양호하나 전체적으로 마찰계수가 낮은 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한, Table 3의 다이노모 시험결과에서 보면 총마모량은 회주철의 경우 0.241mm, 알루미늄분말의 경우는 1.079mm, 알루미늄브론즈분말의 경우는 0.155mm, 몰리브덴 분말의 경우는 0.253mm인 것을 알 수 있다. 이 결과를 통해 알루미늄 브론즈를 용사처리하는 경우가 가장 마모량이 적은 것을 알 수 있다.

이상의 결과를 종합하면 알루미늄 브론즈를 용사처리한 브레이크 디스크의 경우가 가장 우수한 결과를 가져옴을 알 수 있다.

3.2 부식시험

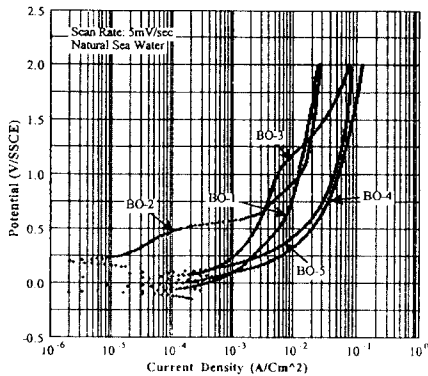
Fig. 8는 천연해수중 전기화학장치를 이용하여 측정된 각 시험편에 대한 양극분극곡선 결과를 나타내고 있다. 이들 측정결과에 의하면, 부식전위 (E_{cor})에서 귀(貴)한 방향으로 양극분극시킴에 따라 부식전류밀도(Corrosion current density) 값은 알루미늄브론즈, 몰리브덴 및 순알루미늄순으로 패드나 회주철보다 현저하게 작은 경향을 보였다. 즉, 용사처리한 시험편들이 용사처리하지 않은 시

험편보다 좋은 내식성을 갖고 있음을 알 수 있다.

일반적으로 중성수용액중 금속의 부식은 산소 확산지배이므로 용액중의 용존산소에 의존한다. 그러나, 중성용액이라 할지라도 염류가 용존하면 물의 전도율이 증가하므로 부식전류밀도가 증가하고 부식속도를 강화시키지 못한다. 더구나 Cl⁻과 같은 할로젠이온이 존재하는 경우에는 피막의 파괴작용으로 양극분극의 감소에 기인한 음극지배로 변하게 되므로 그 정확한 부식속도는 음극분극 곡선도 추가하여 측정하여야 하나 그 상대적인 부식경향에 따른 평가는 가능하리라고 생각한다. 보통 해수의 Cl⁻농도는 대략 19×10³PPM(1.9%)이고 그 염분농도는 3.5%이므로 해수는 자연환경중에서 부식성이 강한 환경이라는 것을 알 수 있다.

용사처리한 시험편들 중 알루미늄으로 용사처리한 시험편의 분극측정 결과를 검토해 보면 다음과 같다. 알루미늄의 내식성은 그 부동태피막 (Al₂O₃)이 안정한 환경에서 대단히 좋다. 그러므로 중성부근의 수중이나 대기 중에서 알루미늄의 내식성은 양호하다.

그러나 Cl⁻나 OH⁻와 같은 음이온이 있으면 부동태피막을 불안정화시키며 공식이 발생한다. 즉, 부동태피막의 국부에 Cl⁻이 치환 침입해서 보호성을 악화하고 Cl⁻에 의해서 용해도가 큰 AlCl₃를 형성하면서 그 피막이 보호되지 못하므로 계속적으로 부식이 진행되는 것으로 생각된다. 또한, 몰리브덴으로 용사처리한 시험편은 순알루미늄으로 용사처리한 시험편보다 해수환경중 Cl⁻의 영향이 적은 경향을 나타내고 있고, 이들 용사처리한 시험편들 중 내식성이 가장 좋은 알루미늄브론즈의 경우를 생각해 보면 초기에는 알루미늄브론즈 용사처리에 의해 표면에 형성된 산화피막중 알루미늄피막부분이 Cl⁻에 의해 우선적으로 공식부식이 발생되기 시작한다. 또한 알루미늄은 중성해수용액중에서 -0.78V/SCE보다 비(卑)한 전위를 나타내고 브론즈보다 0.4V이상 전위가 낮기 때문에 주위에 있는 브론즈와의 전위차에 의해 선택적으로 희생양극 (Sacrificial Anode)으로 작용되면서 브론즈를 보호하는 역할을 한다. 그러므로 알루미늄브론즈로 용사처리한 막은 전체적으로 내식성이 우수하게 되는 것으로 생각된다. Fig. 8의 분극측정결과와



BO-1 : Al powder spray treatment, BO-1 : Al-bronze powder spray treatment
BO-3 : Mo powder spray treatment, BO-4 : Gray cast iron, BO-5 : Brake Pad
Fig. 8 Comparison of polarization test results

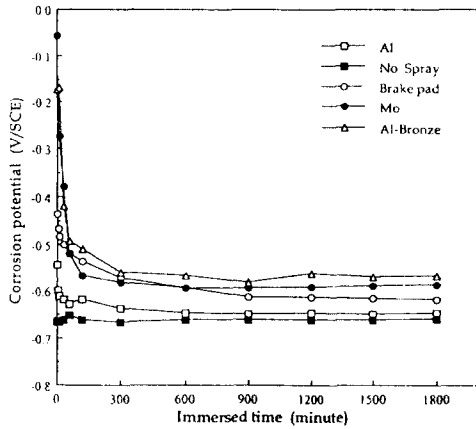
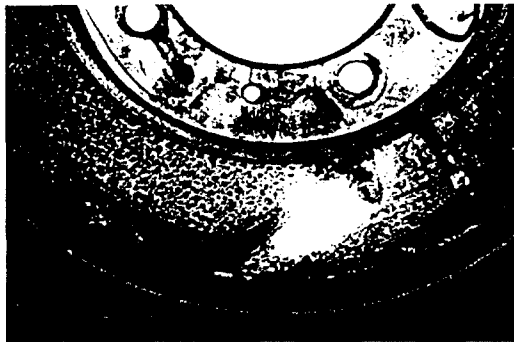
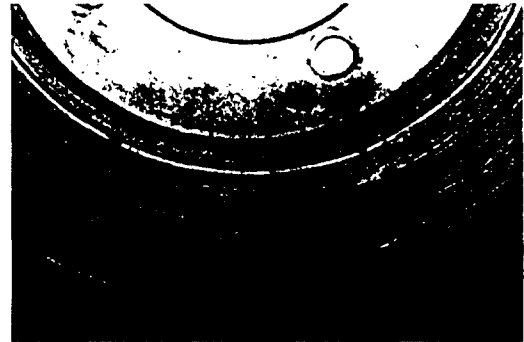


Fig. 9 Variation of corrosion potential as a function of immersed time in 3% NaCl solution

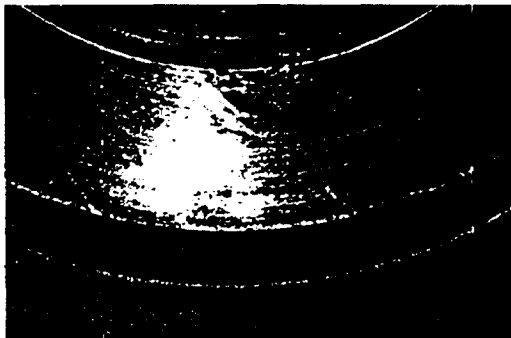
비교해 보기 위해 3%NaCl 용액중 침지시간에 따른 부식전위의 변화를 Fig. 9에서 나타내고 있다. 염화나트륨용액의 경우 부식전위는 시간적 변화와 함께 비(卑)한 방향으로 이동하며 동시에 부식 전류밀도(Corrosion current density)는 감소한다¹⁰⁾는 결과를 적용하여 분석하여 보면, Fig. 8의 측정결과와 비슷한 경향을 나타내었다. 즉, 알루미늄 브론즈의 부식전위가 가장 높게 나타나서 방식효과가 가장 높음을 알 수 있다. 또한 침지시간에 따른 부식전위 변화의 측정중 녹의 발생과정을 관찰하여 본 결과 이들 시험편의 대부분이 약6시간이 진행될 때까지는 거의 녹이 발생하지 않았으나 24시간이 경과 후에는 녹이 심하게 발생하기 시작하였다. 그중 알루미늄브론즈 분말로 용사처리한 것은 거의 부식이 진행되지 않았다.(Fig. 10)



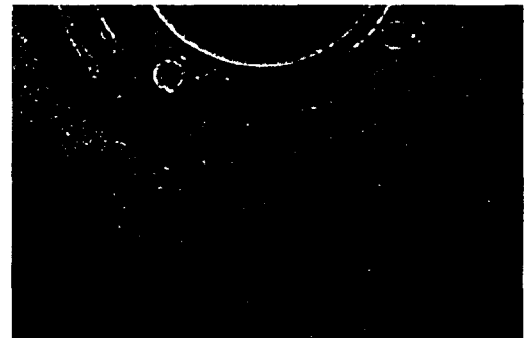
Gray cast iron disc



Al powder spray treatment



Al-bronze powder spray treatment



Mo powder spray treatment

Fig. 10 Results of dipping in sea water

4. 결 론

본 연구에서는 일반적으로 사용되고 있는 자동차의 브레이크 디스크에 용사처리를 행함으로써 초기의 녹발생을 억제함과 동시에 마찰성능을 유지할 수 있는 실험을 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 자동차의 회주철 브레이크 디스크와 알루미늄, 알루미늄브론즈 및 몰리브덴 등의 용사분말로 용사 처리한 디스크의 부식전류밀도 시험을 한 결과, 알루미늄 브론즈가 가장 우수함을 알 수 있었다.

2. 부식전위 (E_{cor})에서 귀(貴)한 방향으로 양극 분극시킴에 따라 부식전류밀도(corrosion current density) 값은 알루미늄브론즈, 몰리브덴 및 순알루미늄순으로 꽤드나 회주철보다 현저하게 작은 경향을 보였다. 즉, 용사처리한 시험편들이 용사처리하지 않은 시험편보다 좋은 내식성을 가지고 있었다.

3. 다이내모 시험을 행한 결과, 평균 마찰계수는 용사처리하지 않은 회주철 디스크의 경우 0.331이고, 알루미늄(99.99%)분말의 경우는 0.190, 알루미늄브론즈 분말의 경우 0.312, 몰리브덴 분말의 경우 0.257 이었다. 그리고 효력 시험 및 페이드, 리커버리 시험의 결과도 알루미늄 브론즈를 용사 처리한 경우가 가장 우수했다.

4. 다이내모시험의 마멸시험결과 용사처리하지

않은 회주철의 경우 총 마멸량이 0.241mm, 알루미늄(99.99%)분말의 경우는 1.079mm, 알루미늄 브론즈분말의 경우는 0.155mm, 몰리브덴 분말의 경우는 0.253mm로 나타나므로 알루미늄 브론즈를 용사처리한 것이 가장 양호했다.

* 이 논문은 1996년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었으며, 관계되는 여러분들께 감사드립니다.

참고문헌

- 1) 勝村 宗英, 溶接技術, Vol. 16, 3, pp 70~74, 1996.
- 2) 天田重庚, トライボロジスト, Vol. 40, 8, pp 621~626, 1995.
- 3) 相坂, 隆行, 坂元 鐵兵, 溶接技術, Vol. 13, 5, pp 69~75, 1993.
- 4) 蓮井 淳, 溶射工學, 養賢堂發行, pp 8~15, 1969.
- 5) TERODYN 新シリーズ2000 取扱説明書, 日本エテック株式會社.
- 6) 社團法人 自動車技術會, 自動車技術ハンドブック 設計編, pp 573~576, 1992.
- 7) 蓮井 淳, 溶射工學, 養賢堂發行, pp 75~108, 1969.
- 8) 日本自動車技術會, 日本自動車規格, pp 1~20, 1982.
- 9) 田大熙, 腐蝕과 防蝕의 管理, 太和出版社, pp 53~54, 1985.
- 10) 文慶萬, 韓國腐蝕學會誌, Vol. 18, 13, 1987.