

건설 중장비에 적용가능한 내마모 강판

김기열, 이범주, 조정환, 류영석*, 이동욱*

대우중공업(주) 중앙연구소

* 긴기본부 연구개발3팀

Wear Resistant Steel Plate for Heavy Duty Vehicle

K.Y. Kim, B.J Lee, J.W Cho, Y.S Ryou*, D.W. Lee*

Deawoo Heavy Industries Central R&D Center

* Construction Equipment R&D Center.

ABSTRACT- To apply the wear resistant steel plate for heavy duty vehicle, the wear characteristics of various kinds of commercial steel plates were investigated by dry sand/rubber wheel tester which was tested under scratch abrasion mode. The wear tested materials were boron steels which were manufactured by thermo mechanical control process (TMCP) in order to achieve higher hardness. As the result of the test, wear resistance of steel plate increases with the hardness and carbon content. The wear loss of wear resistance steel plate (Hv440) is a half times than that of SWS490A (Hv160) steel plate in dry sand-rubber wheel test and the result in field test is similar to this dry sand/rubber wheel test result. Therefore, dry sand/rubber wheel tester can be used to predict the scratch abrasion life of the parts for heavy duty vehicle.

1. 서론

건설 중장비란 건설공사에 사용되는 산업 차량을 통칭하는 것으로 예를 들면 굴삭기, 지게차, 크레인, 덤프트럭, 콘크리트 펌프카 등 건설작업 현장에서 볼수 있는 모든 장비를 말한다. 건설 중장비에 가장 많이 사용되는 소재로는 역시 철강재료이며, 일부 비금속 소재와 산업용 플라스틱등을 사용하기는 하나 아직까지 사용량은 자동차에 비하여 미

미하다. 철강재료는 강판(철판)을 절단하고 용접하여 제작하는 제관품이 많으며 이러한 강판은 용접성의 확보가 또한 중요함으로 용접구조용 철판 (SWS490A)을 사용하고 있다.

건설 중장비는 사용하는 목적에 따라 특히 토사와 접촉이 심한 부위가 있으며 이러한 부위에서 발생하는 토사마모는 일반 금속 마모에 비하여 마모량이 많아 상대적으로 부품의 수명이 짧은 것이 문제이다. 예를 들어 굴삭기와 로다의 버켓부위 마모가 그러하며,

덤프트럭의 토사를 담은 적재함의 마모, 그리고 콘크리트 믹서트럭과 펌프카의 세멘트 슬러리를 담고 이송하는 부위의 마모등이 여기에 해당된다. 토사 마모 발생부분은 장비의 수명을 줄이며, 잦은 교환으로 장비의 효율성을 감소시키므로 따라서 이러한 부위에 내마모성이 있는 철판을 사용하는 것이 바람직하며 또한 마모 조건에 따라 고강도의 철판이 요구되기도 한다.

국내외적으로 생산되고 있는 내마모 강판의 종류는 다양하며, 이러한 내마모 강판만을 전문적으로 생산하는 업체도 있다. 하지만 아직까지 토사마모에 대한 구체적 마모 mode와 내마모 평가방법의 자료들이 많지 않아 강판들에 대한 내마모 특성을 정확히 평가하지 못하고 있다. 여기서는 이러한 건설 중장비의 토사마모의 특성 및 주요 인자를 파악해 보고 중장비에 적용가능한 내마모 강판의 토사마모 특성을 확인하여 보고자 하였다.

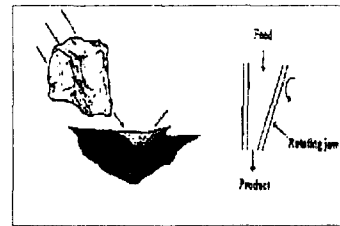
2. 본론

2.1 토사마모의 특성

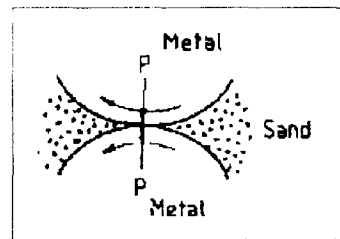
내마모 강재의 요구 특성은 적용부위에 따라 다른 것이 일반적이며 상대 마모재가 무엇이냐에 따라 필요한 특성이 다르다. 일반적으로 금속과 금속의 마모에서 가장 중요한 요소는 윤활상태 여부이며 그외 소재의 경도, 강도, 열처리 여부에 따른 조직등이 있으며, 마모환경 즉, 구름마모, 미끄럼 마모, 충격마모, 회전마모등도 중요한 요소이다. 반면에 토사마모는 일차적으로 무윤활 상태이며 상대 마모재가 경도가 무척높은 규사가 대부분이라는 점과 마모환경은 미끄럼 마모와 충격마모가 복합적으로 작용하는 경우에 해당한다. 또한 토사는 항상 습윤상태이므로 부식을 고려하여야 하며 따라서 앞서의 마모

현상과 더불어 corrosion이 있는 화학적 마모 현상을 동반한다.

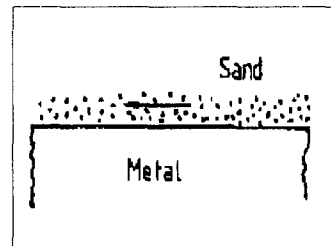
토사마모에서 발생하는 주요한 마모 mode는 abrasion wear로 알려져 있으며,¹⁾ Avery는 Gouging abrasion, Grinding abrasion, Scratch abrasion으로 구분하고 있고 Scratch abrasion을 다시 Ploughing mode, cutting mode로 구분한다.^{2,3)}



(a) Gouging wear



(b) Grinding wear



(c) Scratching wear

Fig.1 Wear modes in abrasion wear

Fig.1은 마모현상에 대한 개략도로써, Gouging abrasion은 금속이 날카로운 암석등에 의하여 각여나가는 상태의 마모이며 Grinding abrasion은 금속과 금속사이에 토사가 끼여들어 3상마모 현상을 일으키는 것

으로 bush류들 사이에 토사가 끼여드는 경우나, 분쇄기의 분쇄물등이 여기에 해당된다.³⁾

향을 주는 탄소량과 탄화물의 형태등에 대하여서는 고려하지 않았다.⁷⁾

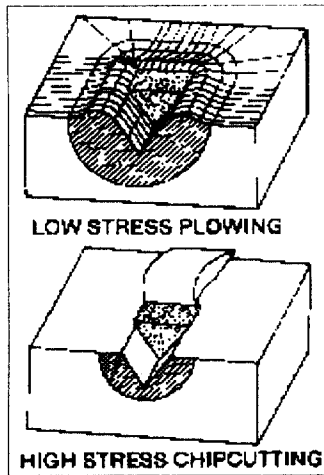


Fig.2 Cutting mode와 Ploughing mode

Scratch abrasion은 토사가 밀려나가면서 금속표면을 마모시키는 것으로 Gouging abrasion과는 떨어져 나가는 마모분의 크기에 따라 구분할 수 있고 건설 중장비에서 발생하는 대부분의 토사마모는 이러한 scratch abrasion에 해당된다고 생각된다. Fig.2(a)는 Scratching abrasion중에서 cutting mode를 나타내는 것으로 토사가 금속표면에서 금속을 깎아내는 현상에 해당하며, Ploughing mode(b)는 금속이 떨어져 나가지 않은 상태에서 파헤쳐지는 현상에 해당된다.^{4,5)} 마모분 발생량은 전자의 경우가 2-3배 심한 것으로 알려져 있으며 두가지 모드의 구분은 사용하는 토사와 모재의 경도에 좌우하는 것으로 알려져 있다. 식(1)은 이러한 정도비를 나타낸 것으로 정도비가 0.6이하의 경우는 Cutting mode로, 이상인 경우는 Plough mode로 볼 수 있다.⁶⁾

하지만 이같은 주장은 단지 모재의 마모를 정도값만으로 구분한 경우이므로 정도 이외의 다른 변수 즉, 토사마모에 절대적인 영

$$\text{정도비} = \frac{\text{금속모재의 Hv경도}}{\text{토사의 Hv경도}} \quad \text{--- (식1)}$$

2.2 내마모 강재의 선정

내마모 강재로써 국내외적으로 알려진 소재는 표1에서 나타낸 바와 같이 다양한 종류가 있으며, 이번 평가에는 스웨덴의 A series, 벨기에의 B series, 국내에서 생산하는 D series, 그리고 사용자가 열처리하여 사용하는 강종인 Boron steel (SAE J1268, 이후 E-steel로 사용) 소재를 사용하였으며 열처리는 840℃에서 2Hr후 유냉하고 450℃에서 2시간 공냉처리하여 사용하였다.

대부분의 내마모 강종은 Boron을 미량(0.0015-0.005) 첨가한 보론강종이며 E-steel을 제외하고는 열가공제어(TMCP)를 통하여 정도를 확보하며 강도도 100kgf/mm²이상으로 매우 높다.

Table 1. Commercial wear resistance steel plate

steel model	manufacturer	characteristic
A serie	Korea posco	TMCP
E-steel	Korea posco	user heat treatment
C series	Japan NSC	TMCP
A series	Sweden SSAB	TMCP
B series	Belgium FAFER	TMCP (920℃ Q/T)

2.3. 내마모성의 평가

앞서 언급한 내마모 소재를 기준으로 당사에서 보유하고 있는 토사마모시험기

(ASTM G65)를 통하여 건식 토사 마모 시험을 실시하고 내마모 강재의 내마모성을 평가하였다.

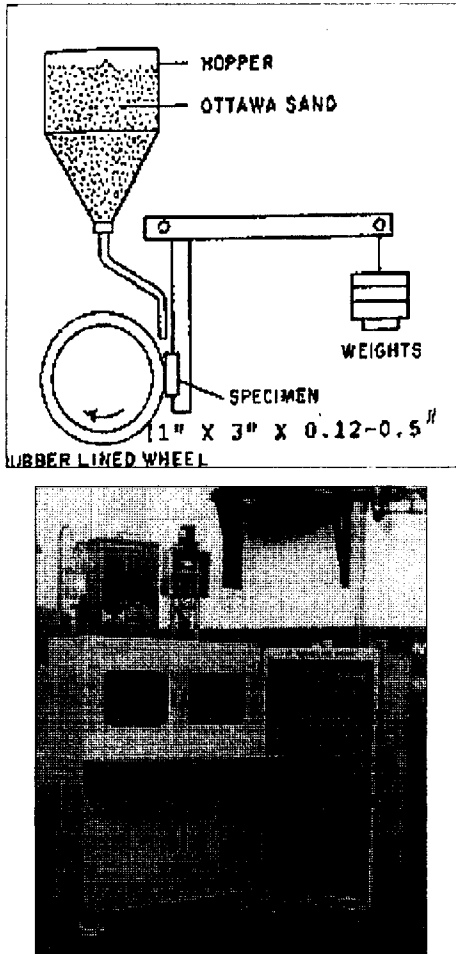


Fig.3. Schematic diagram and photograph of dry sand/rubber wheel tester

Fig.3은 토사 마모시험기의 개략도로써, 시험장치는 크게 3부분으로 구분할 수 있는데 먼저 회전하는 rubber 휠부분과 시편을 장착하여 일정압력으로 압착시키는 하중부와 건조된 모래를 회전하는 휠과 압착된 시편 사이에 공급하는 분사노즐부이다. 이시험기는 토사마모의 scratch abrasion을 평가할 수 있는 장비로 건설 중장비에 적용가능한 내마모 강판을 선정하기에 가장 적합한 것으로 판단

2.3.1 시편의 준비

시편은 가로,세로 25.4x76.2mm 인 직사각형판으로 두께는 3-13mm까지 할 수 있으며, rubber휠의 반경은 228.6mm로 steel 휠에 12.5mm의 Chlorobutyl rubber를 붙여서 사용하였고 이때 rubber의 경도는 Durometer A scale 60 수준으로 하였다. 사용하는 모래는 호주사 E grade로써 Si함량이 99%이상이며 주물사 입도 규격 AFS60을 사용하였으며 이때 모래의 평균 입경은 300um이고 모래 분사 속도는 210±10g/min 로 하였다. 시험 규격은 300-400g/min을 추천하고 있으나, 한번 사용한 모래의 재사용이 불가능하며, 모래 분사량과 금속마모량의 차이가 거의 없는 것으로 확인된 바, 210g/min을 본시험에서 사용하였다.

2.3.2 시험방법

토사마모 시험은 ASTM G65의 시험 code A를 사용하였다. 이것은 내마모 특성이 있는 소재에 대한 마모시험 code로써 휠 rpm은 200±5이며 접촉하중은 15kgf로 하고, 전체 6,000회전까지 시험한후 시험 전후의 무게를 mg 단위로 측정하여 무게 감소량을 측정하였다. 각 시편의 마모량은 3회를 실시한 후 그 평균값으로 표현하였다. 한편, 시편 밀도에 따라 마모 무게량의 오차를 줄이기 위하여 무게 감소량에 시편밀도를 나누어 줌으로 식(2)와 같이 마모 부피를 환산하여 표기하는 방법을 사용하였다.

$$\text{마모부피 (mm}^3\text{)} = \frac{\text{시험전} \cdot \text{후 무게차}}{\text{밀도}} \times 100 \text{ -- (식2)}$$

2.3.3 시험결과

토사 마모 시험을 실시한 시편들의 화학성분을 표2에 나타내었으며, 건식 토사마모 시험 결과는 표3에 나타내었다. 강종별 마모부피는 경도가 가장 높은 B-500가 가장 낮았고, A-400, Q/T한 E-steel, D-320, 순으로 점차 증가 하였으며, SS400이 가장 마모가 많으며, 그다음이 SWS490A이다. 즉 경도가 높을수록 내마모성이 높다는 것을 알 수 있다.

하지만 몇가지 경우에는 앞서 언급한 경도비에 따른 내마모 특성의 평가와는 다른 것을 알 수 있는데, SS400과 SWS490A의 경우는 SS400의 경도가 높지만 마모는 오히려 SS400이 많은 것으로 나타났으며, E-steel의 경우는 열처리전 경도가 Hv190 수준으로 경도비가 0.29로 SWS490A 정도이지만 마모부피는 47mm³로써 D-320 수준으로 볼 수 있다. 또한 열처리후 경도값이 2배이상 향상하였으나 마모부피의 감소는 약 7mm³이었다.

Table 2. Chemical composition of wear resistance steel plate used.

specimen	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
SWS490A	0.16	0.35	1.4	0.05	0.008	-	-	-
SS400	0.07	0.09	1.36	0.018	0.009	-	-	-
A-400	0.17	0.22	1.40	0.013	0.004	0.23	-	0.55
B-500	0.16	0.18	1.37	0.015	0.006	0.98	0.36	0.45
D-320	0.14	0.28	0.96	0.015	0.005	0.50	0.36	0.48
E-steel	0.32	0.25	1.30	0.016	0.003	0.25	-	-

이것은 앞서 식(1)의 경도비에 따라 마모는 좌우된다는 주장과는 상반된 결과이다. 이것은 오히려 Kotecki가 주장한 것과 같이 경도보다는 소재에 포함되어 있는 Carbon량이 토사 마모에 더 큰 영향을 주는 것으로 보인다.⁵⁾ 향후 이 문제는 좀더 많은 실험과

관찰이 진행되어야 할 것으로 보이며, 지금까지 토사마모를 단지 경도만으로 평가하는 것은 곤란하다는 사실을 확인할 수 있다.

Table 3. Result of dry sand/rubber wheel test

강종별	SS400	SWS490A	D-320	A-400	B-500	E-steel	
Carbon량	0.07	0.16	0.14	0.18	0.20	0.32	0.32
Hv경도	175	160	410	440	530	190	460 ^{tz}
마모량 (g)	0.787	0.630	0.370	0.315	0.268	0.369	0.324
마모부피 (mm ³)	100	80	47	40	34	47	41
경도비 ^{*)}	0.32	0.24	0.63	0.68	0.82	0.29	0.71

- 주* 1. The assumption hardness of abrasion material is Hv 650.
 2. The hardness of E-steel after heat-treatment

지금까지 시험한 결과로는 건설 중장비용 내마모 소재로써 앞서의 내마모 강판을 사용할 경우, 용접구조용 철판에 비하여 약 2배의 내마모 효과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

2.4.4. 중장비 적용시험

중장비에 적용하기 위해서는 내마모 특성의 용접성 또한 우수하여야 함으로 용접성 평가 시험을 실시하였다. 그결과 E-steel 소재에서는 용접균열이 발생하여 사용이 불가능하였다. 따라서 중장비 적용시험은 Hv460 수준의 A-400강판을 이용하여 굴삭기 버켓의 장삼부를 제작한 후 Field test를 실시하였다. Fig.4는 실험에 사용한 버켓을 나타낸 것으로 장삼의 오른쪽 반은 SWS490A 철판을 사용하였으며, 왼쪽반은 A-400을 사용하였다. 약 120시간 작업후 장삼부위 마모를 비교한 결과 마모량은 A-400보다 SWS490A

이 약 2배의 마모가 발생한 것으로 관찰되었다. 이것은 토사마모 시험결과와 일치하는 것으로 중장비에서 발생하는 토사 마모현상을 dry sand/rubber wheel 시험기로 구현할 수 있으며, 굴삭기 버켓의 마모 mode는 scratch abrasion으로 미루어 짐작할 수 있다.

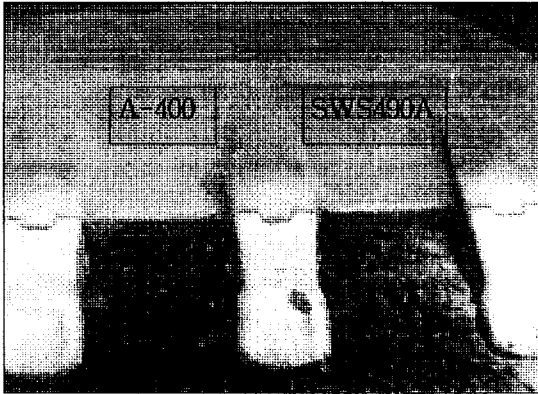


Fig.4 The Bucket of Excavator under Field Test

3. 결론

당사에서 제작하는 건설 중장비에 적용하고자, 국내외적으로 생산되는 내마모 강판의 내마모성을 자체 제작한 dry sand/rubber wheel 시험기를 통하여 분석 평가하였다. 그 결과 일반적으로 건설중장비에서 발생하는 토사마모에 대한 내마모성의 향상은 모재 경도 향상으로 확보할 수 있으며 비록 미량의 변화라고 할지라도 모재의 카본량 또한 중요한 변수가 됨을 확인하였다.

또한 버켓의 장삽을 이용한 Field test 결과 dry sand/rubber wheel 시험기의 결과와도 잘일치 되는 것으로 보아 건설 중장비에서 발생하는 토사접촉 마모는 scratch abrasion으로 평가되었다.

4. 참고문헌

1. H.V. Davies and L.A.Bolton, "Weld surfacing and hardfacing", The Weld Institute Abington Hall Abington Cambridge, 1981, pp2-10
2. Avery, Wear, Vol.4, 1961, pp427-449
3. 김충명외2, "산업기계용 내마모 강재의 용접성에 미치는 합금원소의 영향" RIST 연구논문, 제7권, 제1호, 1993, pp94
4. K.G.Budinski, "Surface Engineering for wear Resistance", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1988, pp18-20
5. Metal Handbook, 9th Edn, 1983, ASM, USA.
6. 백용률, "고크롬계 육성합금의 굽힘마모 및 파괴현상", 포항공과대학교 박사학위논문, 1997, pp8-24
7. D.J.Kotecki and J.S.Ogborn "Abrasion Resistance of Iron-Based Hardfacing Alloys", Welding Research Supplement, 1995. August, pp269-278