

함마의 재질이 규석의 분쇄에 미치는 영향

Effect of Hammer Material on Crushing of Silica

이재장* 장상건** 장광택** 박종력***
Lee, Jae-Jang Chang, Sang-Geun Chang Kwang-Teak Park Jong-Ryok

Abstract

In Kwangjin industrial company, mill is operating for the foundry sand production at the rate of 25t/hr from quartzite. Foundry sands fall into four distinct categories: silica sand, lake sand, bank sand, and natural molding sand. Silica sand is a general term used to describe crushed, washed, graded, dried, and cooled clay-free sands. This study was conducted for the investigation of the foundry sand productivity and the life span of the hammer according to the material quality. The life time of hammer from several manufacturer were compared in order to find out the grinding efficiency of the various hammer material. In the result of tests, the life time of high-Mn hammer was 10.5 hours while that of high-Cr was 19.5 hours. The life time in case of typical worn shape hammers was about 12 hours and the average time of a blowhole hammer was about 6.5 hours.

Keyword : *foundry sand, hammer crusher, blowhole hammer*

1. 머리말

자연상태에서 SiO₂를 화학조성으로 하는 결정질 광물은 거의 대부분이 석영이며 성상에 따라서는 편입상 규사와 규석으로 명명되기도 한다. 우리나라 규석의 매장량은 약 20억톤이고, 가채량은 약 10.6억톤으로 타 비금속 광물에 비하여 많은 매장량을 보유하고 있지만 SiO₂ 99.0% 이상의 고품위 규석은 고갈된 상태이고 저품위의 규석이 주종을 이루고 있다.[1] 규석은 순도에 따라 고품위의 규석과 저품위의 규석으로 나뉘어 지는데 고품위일 때 광학용 유리, 초사, 도자기, 실리콘철합금용 그리고 급속실리콘과 탄화실리콘 등의 원료로 사용

되고 저품위 규석은 주물사용, 내화물용, 제철용 및 일반적인 화학공업용 등으로 다양하게 쓰이고 있다. 위와 같이 용도가 매우 광범위하게 쓰이고 있지만 고품위 규석의 고갈과 미립화의 기술부족으로 부가가치가 높은 규석관련 제품은 거의 수입에 의존하고 있는 실정이다. 부가성이 있는 고품위의 규석을 제조하자면 양질의 규석을 건식이나 습식공정으로 파,분쇄 한 후 분급하는 것이 일반적이거나 물을 사용하여 이로 인한 탈수 및 건조공정의 비용의 과다와 환경오염의 문제가 있으므로 집진시설의 설치로 먼지를 억제할 수 있는 시설만 확보 될 수 있다면 공정이 단순하고 경제성이 있는 건식방법이 필요하 다 할 것이다. 규석을 건식에 의한 방법으로 분쇄할 때 분쇄용기와 분쇄용기를 보호하는 매개물의 마모가 심하여 규석을 제조하는 업체에서는 적지 않은 비용의 어려움이 있다. 따라서 규석을 효율적으로 분쇄하는데 적당한 분쇄매개물을 사용하는 것은 분쇄 운전 에 있어 아주 중

* 강원대학교 지구환경공학부 교수
** 강원대학교 산업대학원 석사과정
*** 청주대학교 지구환경시스템공학부
**** 한국지질자원연구원

Table 1. Chemical compositions of the sample

Chemical consistuent	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	CaO (ppm)	MgO (ppm)	Ig-Loss (%)
rate	96.68	0.84	1.55	0.38	0.03	-	-	0.52

요한 사항이며 분쇄매개물을 선정 시 여러 가지의 조건을 면밀히 고려하지 않을 수 없다.

분쇄물질의 성질에 따라 재질, 경도, 무게, 사용 시간 등의 특성을 면밀히 살펴보아야 하겠으며 규석은 타 암석보다 모스경도가 7로서 매우 단단한 암석으로 분류되기 때문에 분쇄매개물의 재질에 따라 분쇄효과에 영향을 나타낸다.[2] 이 번 조사는 주물사용 규석의 생산과정에서 발생하는 기술적인 측면에서 조사하고자 하였다. 주물사의 제조 공정 중 분쇄기인 합마 크러셔의 합마 재질에 따른 규석의 분쇄 효과에서 합마 크러셔로 투입되는 급광입도 및 입도에 따른 급광량의 변화를 조사하였다. 또한, 합마 크러셔의 합마 재질을 달리하여 합마를 장착 후 마모성에 따른 사용시간을 비교 조사하였다. 재질 특성에 있어 합마를 제작하는 업체의 합마 시료를 채취하여 제조업체별 합마의 사용수명과 그에 따른 생산량의 변화에 어떠한 영향을 미치는가에 대하여 조사하였다. 합마의 마모성 및 사용수명에 막대한 영향을 미치는 원인이 합마의 제작에서부터 불량 발생이 나타나는 등의 여러 가지 요인을 찾아내고자 하였다. 본 연구는 주물사용으로 생산되는 규석을 효율적으로 분쇄하는데 분쇄매개물의 효과에 대하여 조사하였으며 적절한 분쇄매개물을 사용, 합리적인 운전조건으로 내마모제의 투입량 감소로 비용 절감, 사용수명 증가 및 부동시간 감소로 인한 생산량 증가, 교체시간의 절약으로 노동력 절감 및 집약화 등 주물사를 생산하는데 필요한 여러 가지의 제반조건의 확립을 위한 기초 자료에 이용하고자 본 연구를 실시하였다.

2. 시료 및 실험방법

2. 1. 시 료

본 연구에 사용된 시료는 강원도 춘천시 서면 안보리에 위치한 광진산업에서 산출되는 저품위 규석으로, 본 광산 부근 일대의 지질은 선캄브리아기의 장락층 군에 속하는 장락산 규암층으로 삼산 현층과 용두리 편마암 복합체의 상부층에 해당하는 전기석, 석류석, 우백질 편마암으로 약 900만톤이 확보되어 있으며 광진산업이 보유하고 있는 109호 및 119호 2개의 광구권의 가채광량은 약 250만톤이다.

주물사용으로 생산되고 있는 규석은 저품위의 규석으로 입도에 따라서 다양한 용도로 사용되고 있다. 입도에 따라 특1호사에서부터 분말상태의 SP까지 9가지의 입도로 구분하여 생산되는데 특1호사(-8.000~+3.327mm)와 1호사(-3.327~+1.168mm)는 고급샌딩용이나 바닥타일 및 각종 내화재로 이용되고, 4호사(+1.000~-0.833mm), 5호사(-0.833~-0.600mm), 6호사(-0.600~+0.288mm)는 대형 주강제품, 타일시멘트, 각종 내화재 용으로 쓰이고 7호사(-0.288~+0.170mm), 8호사(-0.170~+0.074mm)는 모르타르, 타일 시멘트, 특수강제품으로, SP(분말)는 페인트 혼합제, 방수제 등에 이용된다.

본 연구에 사용된 시료는 광진산업의 Hammer crusher를 통과한 규석시료를 2분기를 이용하여 실험시료를 축분 후 성분분석 실시하였으며, 기타 불순물들의 조성을 확인하기 위하여 화학분석을 실시하고 그 결과를 Table 1에 나타내었다. Table.1에서 알 수 있듯이 SiO₂의 함량이 96.68%로 비교적 낮고 Fe₂O₃, Al₂O₃는 상대적으로 높았다.

Fig.1은 시료에 대한 XRD 분석 결과로 석영 이외의 다른 불순물이 미세하게 포함되어 있으며 품위에 있어 약간의 영향을 미칠 것이라 판단되지만 이곳의 최종 제품인 규사의 절반이상의 제품이 주로 주물사용으로 판매되고 그 나머지의 절반 역시 타일시멘트 및 모르타르용으로 판매되기 때문에 품위 향상에 따른 문제점은 그다지 크지 않다. 하지만 분쇄효과에 있어서는 Fe₂O₃ 및 Al₂O₃는 내마모제인 합마에 있어서 마모율, 강도 등 적지 않은 영향을 미칠 것이라 생각된다.

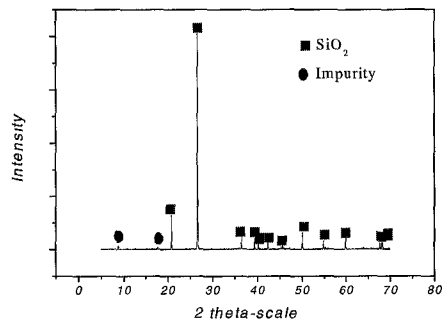


Fig. 1 X-ray diffraction pattern of the sample from Kwangjin mine.

2. 2. 실험장치

본 실험에 사용된 기기는 함마 크러셔로서 일반적으로 충격식 분쇄기 라고 하며 투입된 원료가 충격판과 회전하는 함마 사이에서 분쇄되는 장치로 Fig.2와 같다. Crushing chamber의 Diameter 503mm, Width 450mm로 1,200rpm일 때 처리용량은 2.5~7.5톤/hr이며 Grizzly plate는 내마모성이 있어야 하고 하부에 산물의 크기를 규정하는 격자가 있다.

497*70mm*13mm로 8mm의 격자 간격을 유지시켜 함마 크러셔 내부의 1차 분쇄된 규석을 반복하여 분쇄하고 배출시키는 역할로 장착되는 수량은 65개이다. Rotar는 광석을 직접 분쇄시키는 Hammer가 장착되어 있고 함마 크러셔의 운전조건에 따라 다르며 함마의 무게는 약 3.4kg/ea로 장착되는 함마의 수량은 24개이다. Hammer는 1,050℃에서 3시간의 열처리를 하여 제작되며 원소 구성비는 Mn 12.31%, C 1.299%, Cr 1.75%로 Mn의 화학구성비가 타 원소에 비하여 높다는 것을 알 수 있다. Table. 2에 함마의 화학조성에 대한 분석표를 나타내었다.

Table 2. Chemical composition of abrasion resistance hammer

unit : percentage

Composition	C	Si	Mn	P	S	Cr
High - Mn	1.219	0.65	12.81	0.03	0.011	1.75
High - Cr	2.511	0.89	0.92	0.03	0.01	15.4

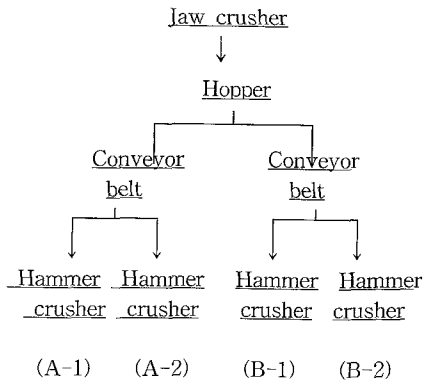


Fig. 3 Hammer crusher setting

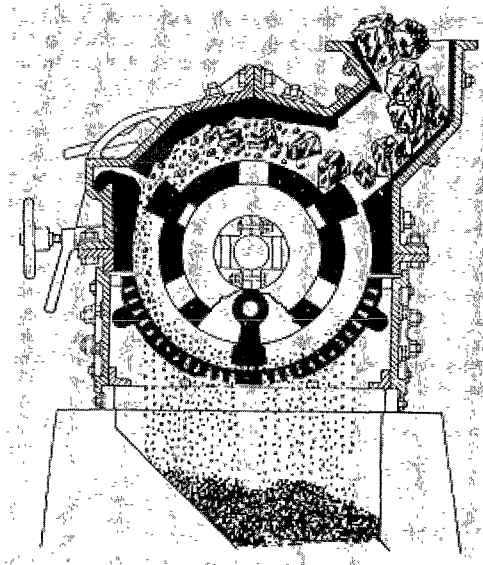


Fig. 2. Hammer crusher

Hammer crusher로 투입되어지는 규석은 -90.0~+3.3mm, 시간당 10~20톤의 투입량이 투입되는데 Hammer crusher의 분쇄효율, 운전조건, 규석 투입 입도에 따라 다르며 항상 일정하지 않다.

Jaw crusher에서 발생되는 규석의 입도 산물은 10~90mm이지만 1차 스크린을 통과하면서 +3.327mm의 Return되는 산물이 발생되어 Jaw crusher 및 Screen 상단에서 발생되는 산물과 Hopper에서 혼합되어 함마크러셔로 투입되며 Fig.4의 규사 제조 공정을 간략하게 나타내었다.

함마 크러셔의 분쇄효율에 있어 급광되는 규석의 입도와 급광량은 생산에 직접적인 역할을 하는 아주 중요한 요소이다

이러한 급광 에서의 최적조건을 찾기 위하여 규석의 급광입도가 분쇄에 어떠한 영향을 미치는가 살펴 보았으며 이에 따른 급광량 변화를 조사하였다.

2. 3. 실험방법

Jaw crusher를 통과한 규석은 Conveyor Belt로 Hopper에 저장된 뒤 2개 Line의 Conveyor Belt에 의해 4개의 Hammer crusher로 투입되어 지는데 Fig.3에 간략하게 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

3. 1. 급광입도가 분쇄에 미치는 영향

규석의 급광량이 증가하면 기계 또한 그 만큼의 처리용량이 증가하기 때문에 가장 적절한 급광량을 조사하고자 하였다.

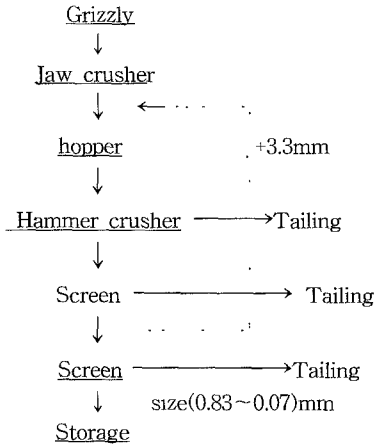


Fig. 4 Plant for sand production

실험이 행하여진 곳에서는 함마 크러셔에 투입시키는 급광량을 변속기의 회전속도로 투입량을 조절하였고 회전속도의 Roll 게이지 수치는 100~1,200rpm까지 표시 되어있다. 회전속도를 500~1,200rpm 범위에서 규석을 급광시킨후 그 결과를 조사하였다.

또한, 함마크러셔의 처리능력에 가장 중요한 것은 투입시키고자 하는 급광 입도가 어떠한가에 따라서 급광량이 결정되어 지는데 -90.0~+3.3mm의 시료를 급광시킨결과 함마 크러셔의 4기가 처리할 수 있는 최대량은 24톤/hr, 적정량은 18~22톤/hr의 수치를 보여주었으며 -45.0~+3.3mm의 시료를 급광시 최대량 29.5톤/hr, 적정량은 22~27톤/hr의 수치 결과를 나타내었다.

-45.0~+3.3mm의 입도 급광시 -90.0~+3.3mm보다 1.2~1.3배 정도 많은 급광을 할 수 있었다. 급광입도를 2가지 종류로 구분하여 급광시 함마 크러셔가 처리 할 수 있는 급광량을 조사하였다. 함마 크러셔의 운전 조건에 따라서도 급광량에 영향이 있겠지만 가장 우선시 되는 것은 급광되는 규석의 입도의 범위, 평균입도의 차이가 적을수록 급광량에는 큰 차이를 보였다.

함마 크러셔를 통과한 규석중 1차 스크린에서 체가름을 실시하며 필요하지 않는 입도는 재순환되고 재분쇄를 거치는데 이 때 발생하는 입도는 약 +3.3mm에서 최대 Top size -15mm까지 범위가 다양하다. -15.0~+3.3mm 범위의 입도를 다른 투입시설로 대치하여 급광시키고 실질적인 -45.0~+15.0mm의 범위내의 입도만 급광한다면 최대 30톤/hr 이상의 량을 급광할 수 있을 것이다.

그러나 이 실험의 경우 2가지의 입도의 시료만

을 가지고 급광하여 분쇄능력을 관찰하였으므로 분쇄효율을 정확히 판단하기는 어렵지만 급광입도의 평균분포도가 큰것보다는 적은 것이, 급광입도가. 작은 것 또는 너무 큰 것은 분쇄효율에 있어 나쁜 영향을 보여주었고 효율적이지 못하였다.

본 실험에서와 같이 급광입도의 평균분포도 범위 -45.0~+15.0mm의 급광시 함마 크러셔의 분쇄 효율에 있어 가장 이상적인 운전방법이 되리라 판단된다.

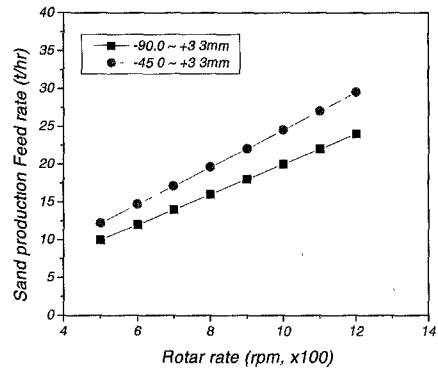


Fig 5. Relationship between rotar rate and feed size

3. 2. 함마 재질이 분쇄에 미치는 영향

함마 크러셔의 분쇄 매개물인 함마 재질의 종류 (하이망간, 하이크롬)를 달리하여 실험하였으며, 이 결과 동일한 조건하에서 3회의 걸쳐 균등한 급광량을 투입시켜 실험한 결과 기존 많이 사용하고 있는 하이망간의 경우 8~10, 12~13, 11~12hr의 사용시간을 보였고, 하이크롬강의 경우 각 18~20, 20~22, 17hr의 사용수명을 나타내었다.

즉, 하이망간 8~13hr, 하이크롬강 17~22hr으로 하이크롬강이 하이망간보다 1.7 ~ 2.1배 정도의 사용수명을 나타내었다.

따라서 크롬강을 사용했을 때는 마모도 역시 하이망간보다 우월하였고 함마의 교체 타임 역시 증가시켜 생산량의 증가 및 노동력의 절감을 보여졌다. 함마의 교체타임은 3~4회정도 이루어지며 1회 교체시 걸리는 시간은 약 30분 정도가 소요된다. 그러므로 분쇄매개물인 함마의 마모율이 강한 특성을 가지고 있는 재질을 사용 할 때 사용수명 및 교체타임의 횟수를 절약할 수 있고 생산량의 증가를 나타내었다. 마모율은 하이크롬의 경우 20~50g/ton-cement로 같이 낮고 경도에 있어서는

Table 3. Relationship between Lifetime of hammer and maker

Company	Number of hammer used (ea)	Lifetime (hr)	Sand production (t)	Lifetime of hammer (hr/ea)	Production per hammer (t/ea)
A	408	55	812	0.13	1.99
B	528	74	1,006	0.14	1.91
C	336	49	725	0.15	2.16
D	600	82	1,079	0.14	1.80

40~45, Hammer부 HRC 50 ~ 62 정도로 높으며 제품 두께에 대한 품질의 변화가 매우 적고 내열성 역시 높다. 따라서 마모율, 경도, 품질 변화, 내열성에 있어서는 극히 양호한 편이나 파손율의 변화가 심하여 합마의 체결부와 합마부 사이가 절단되는 현상이 자주 발생하며 체결부위와 합마의 합금 접촉부위가 떨어져 나가는 현상이 발생하기도 한다. 비용적 측면에서 볼 때 하이크롬이 하이망간보다 고가인 편이지만 분쇄산물의 분쇄효율을 증대시키고 제품 생산량의 증가 차원에서 판단해 볼 때 사용의 권장을 고려할 만하다. 또한, 하이망간의 재질로 대표되는 현 상황에서 재질의 고급화 및 대체품 연구가 절실히 요구된다.

3. 3. 제조업체별 Hammer가 분쇄에 미치는 영향

4개사의 Hammer 시료를 구입하여 합마 크러셔에 장착시켜 시험해 본 결과 다음과 같이 Table 3.에 나타내었다. 합마 투입수량을 일정하게 정하여 시험을 하지 못하였으며 가동시간, 생산량 역시 일정하지 못하다. A사에서 D사까지 시험한 결과를 사동시간 및 생산량의 비교로 추이해 본 결과 사동시간 비교시 합마 1개가 사용한 시간은 어떠한가라는 결과치는 0.13~0.15hr/ea 즉, 8.1~8.8min/ea까지 차이를 보여 주었으며, 합마 1개가 가동되어 생산한 량은 어떠한가하는 실험 결과치는 1.80~2.16t/ea까지 제조회사별로 많은 차이를 보이고 있으며 Fig.6., Fig.7.에 그래프로 나타내었다.

가동시간 및 생산량대비에서 나타나듯이 각 제조회사별 결과치는 A사의 경우 0.13, 1.99, B사 0.14, 1.91, C사 0.15, 2.16, D사 0.14, 1.80의 수치 결과를 보여 주었으며 가동시간 및 생산량의 대비에서 보여주었듯이 C사의 제품이 가동시간 및 생산량대비에서 가장 양호한 결과를 보여 주었다.

이것을 토대로 살펴보면 가동시간의 수치가 높으면 높을수록 합마의 마모가 적게 진행되기 때문에 합마의 사용수명의 연장을 의미하고, 생산량의

수치 역시 높을수록 생산량의 발생이 증가한다. 이유는 합마의 사용이 연장됨에 따라서 합마의 교체횟수가 감소하여 결국 부동시간 단축의 효과를 이루기 때문이다.

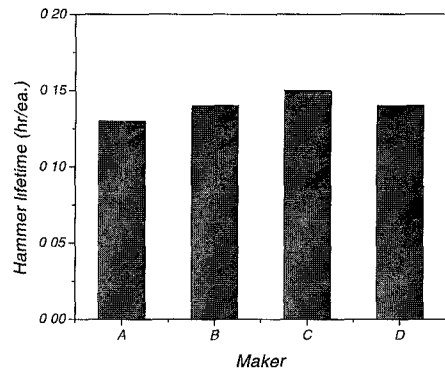


Fig. 6. Relationship between Lifetime of hammer and maker

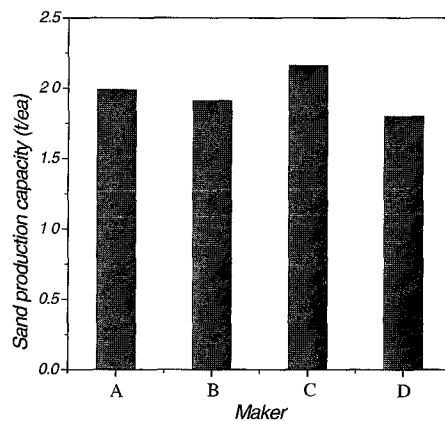


Fig. 7. Relationship between sand production capacity and maker

3. 4. 함마의 사용시간에 따른 마모가 분쇄에 미치는 영향

내마모 함금강제품인 함마는 규석을 분쇄하고자 할 때 없어서는 안될 중요한 분쇄매개물이다. 함마 마모가 급격히 진행되는 것에 따라 사용시간이 천 차만별로 나타난다. 함마 크러셔가 가동되면서 함 마는 마모가 발생되고 마모도에 따라 교체시간이 달라진다. 일별 함마의 교체주기는 정확하지 않지 만 일일 3~4회의 교체주기를 반복하고, 1회 교체 주기는 약 3시간마다 이루어지는데 이 때 교체주 기란 함마를 교체하기도 하지만 함마를 반복하여 뒤집어 줌으로써 골고루 전면의 마모가 진행될 수 있도록 하기 위함이다. 그러므로 함마를 완전 교체 하는 기준 및 시기는 운전하는 방법에 따라 다르 다.

이 조사에서는 함마의 분쇄와 관련된 시간의 경 과에 따라서 함마의 마모가 진행되는 현상 및 원 인을 찾아 보려고 하였다. 마모에 있어 크게 3가지 유형으로 구분하여 보면 첫 번째는 전형적인 마모 이다. 이러한 마모는 생산활동 중에 발생하는 일반 적인 마모로 함마 제철 및 제조시 아무런 문제가 나타나지 않은 것으로 사용시간은 약 10~14hr을 사용할 수 있었으며, 생산량 역시 16~19톤/hr이 발생하여 가동시간 및 생산량의 증대에 크게 기여 하는 것으로 나타났으며 함마 마모의 상태를 Fig.8 에 나타내었다.

두 번째는 함마의 제조단계에서 나타나는 버블 현상으로 그 마모형태를 살펴보면 함마 장착 후 급속하게 함마의 마모가 진행되어 5~8시간이 지 나면 교체주기가 이루어질 정도로 마모의 진행이 가속화된다. 이러한 유형은 함마 자체내에 여러개 의 큰 기포구멍이 있어 마모의 진행을 가속화 시 키면서 진행이 급격화 되면 기포의 부위가 조각으 로 떨어져 나가 광석과 혼합 후 함마 크러셔내 회 전하는 함마와 grizzly plate 간격에 끼여 함마 크 러셔를 고장나게 하는 원인을 제공한다. 사용시간 은 약 5~8hr 사용하는 것으로 나타났으며 생산량 은 11~14톤/hr으로 저조하였다. 그러므로 이러한 형태의 함마 상태는 함마 사용량을 2배로 증가시 킬 뿐 아니라 교체주기를 자주 가져오기 때문에 부동시간에도 많은 영향을 미쳐 생산량 감소로 이 어진다. 이러한 상태를 Fig.9에 나타내었다.

세 번째는 함마의 열처리 과정에서의 미흡 및 기타조건에서 발생되는 마모형태로 함마 Arm의 중간 및 끝 부분이 절단되거나 함마와 Arm부의 접촉면이 빠져버리는 현상이 발생하기도 한다. 이 러한 원인이 발생하는 것은 열처리를 실시하지 않 았거나 원가를 절약하기 위하여 열처리의 기본 과 정인 온도 및 시간을 준수하지 않았기 때문이라고 판단된다. 이것을 검수과정에서 생략하고 함마를 장착시 1~4hr내에 함마의 절반이상이 절단되어

1~4hr밖에 사용하지 못하는 것으로 나타났다

또한, 함마 크러셔내에서 엄청난 소리를 동반하 며 함마의 부러짐이 발생하는 현상이 발생하게 되어 함마 크러셔의 그리즈리 프레임의 파손 및 Shaft 와 Motor를 연결하여 구동시키는 V-belt의 절단, 심지어는 Shaft 의 휨 발생 및 Motor가 소 손되기도 한다. 부동시간의 증가로 인하여 생산량 은 7~12t/hr으로 저조하다. 이러한 마모의 상태를 Fig.10에서 나타내었다.

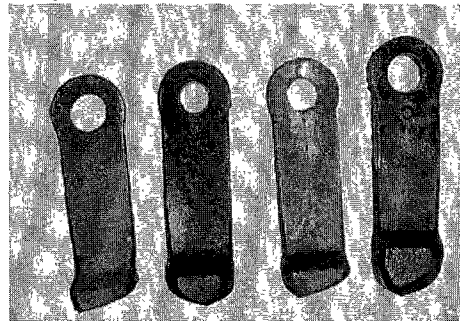


Fig. 8. Typical worn shape of hammer head

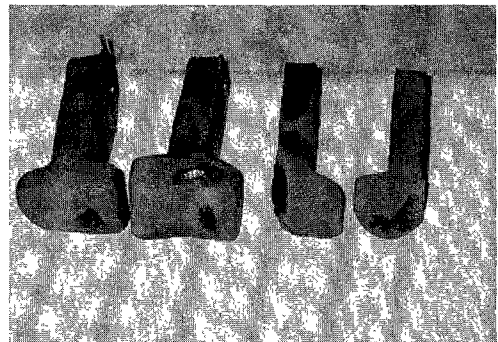


Fig. 9 Worn shape of blowhole hammer

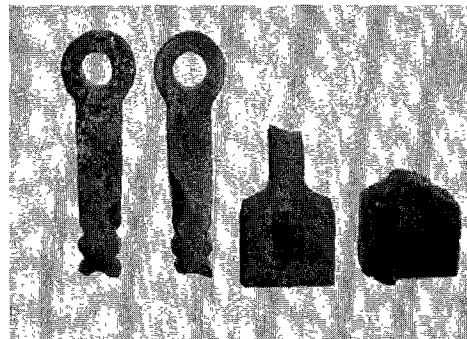


Fig. 10. Broken hammer

따라서 함마의 마모 상태를 3가지 유형으로 구분하여 종합하여 보면 전형적인 마모상태에서는 10~14hr의 사용시간을 16~19톤/hr의 생산량을 보였으며, 버블현상으로 인한 마모상태에서는 사용시간이 5~8hr, 생산량은 11~14톤/hr이 발생하였다. 열처리 및 기타 마모 상태에 있어서는 1~4hr 정도의 사용시간을 7~12톤/hr의 생산량이 발생하였다. 그러므로, 함마 크리셔를 이용하여 규석을 분쇄하는데 있어서 함마 크리셔의 분쇄매개물인 함마 및 그에 대한 마모도가 중요한 만큼 전형적인 마모상태를 보이는 함마를 선택하여 가동시간의 증가와 그와 더불어 생산량의 증가를 보이는 적절한 함마를 사용하여야 하겠으며 마모 상태에 따른 사용시간 및 생산량의 결과치를 Table 4.에 나타내었다

Table 4. Relationship between abrasion type and sand production

Abrasion type	Lifetime of hammer (hr)	Sand production (t/hr)
Typical	10~14	16~19
Blowhole	5~8	11~14
Others	1~4	7~12

4. 결론

함마 크리셔의 재질에 따른 규석의 분쇄효과에 관한 특성들을 알아보기 위하여 강원 춘천시에 소재한 광진산업(주)의 광산에서 생산하는 규석을 시료로 현장 실험을 행하여 얻은 결과들을 종합하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 함마 크리셔의 급광입도에 따른 크리셔의 처리능력을 확인하고자 시험한 결과 -90.0~+3.3mm의 입도 급광시 최대량 24톤/hr, 적정량 18~22톤/hr 이었으며 -45.0~+3.3mm 입도 급광시 최대량 29.5톤/hr, 적정량 22~27톤/hr으로 나타났다. 처리능력의 적정 급광량의 틀 게이지 회전수는 900~1,100rpm 정도가 적당한 것으로 나타났으며 급광입도 -45.0~+15.0mm 투입시 최대의 분쇄효과가 나타났다.
2. 함마크리셔의 분쇄매개물인 함마 재질의 종류(하이망간, 하이크롬)를 달리하여 분쇄시 분쇄효과의 사용시간을 측정하여 본 결과 하이망간의 경우 8~13hr, 하이크롬강의 경우 17~22hr으로 측정되어 하이크롬의 재질이 하이망간의 재질에 비하여 1.7~2.1배 만큼 사용시간의 연장을 증대시키는 것으로 나타났다.
3. 동일한 함마 재질(하이망간)을 이용하여 제작한 4개사의 함마에 대하여 사용시간 및 생산량을

비교하여 수치로 나타내었다. 그 결과 A사 0.13, 1.99, B사 0.14, 1.91, C사 0.15, 2.16, D사 0.14, 1.80의 측정 결과치를 알 수 있었다. 함마를 장착시켜 함마 1개가 사용되는 시간을 환산시 0.13~0.15hr 즉, 8.1~8.8mm/ea 사용하였고, 함마 1개가 사용해서 1.80~2.16톤/ea의 생산량이 발생되었다.

4. 함마의 마모가 진행되는 현상 및 원인을 3가지 유형으로 구분하여 보면 전형적인 마모, 버블현상으로 인한 마모, 열처리 미흡 및 타조건에서의 마모로 구분할 수 있다. 함마의 전형적인 마모시 생산량은 16~19t/hr, 사용시간은 10~14hr을 사용하였으며, 버블(기포)현상으로 인한 마모시 11~14t/hr, 5~8hr이 열처리 미흡 및 기타 조건에서의 마모시에는 7~12t/hr, 1~4hr을 사용하는 것으로 나타났다

참고문헌

1. 이재장, 최수용, 노범식, “병천지역산 질석의 품위향상에 관한 연구”, 과학기술연구, 제31권, pp. 1992.
2. 이재장, 노범식, 문영매. “주물사 부산물의 경제에 관한 연구”, 석재연논문집, 제6권, pp.13, 9~147, 2001.
3. 정수현, “교반형 불 밀에 의한 규석의 건식 분쇄 특성 연구”, 강원대학교 석사학위 논문, 1998.
4. 광업진흥공사, 전국 석산 및 석가공업체 폐기물 현황 조사 및 활용방안 연구, 광진98-2, 1998.
5. 광업진흥공사, 광업진흥, 제96호, 2000.
6. 최상근, 김병곤, 정종희, 정현생, 고기능성 충전제용 고순도 미립 실리카 분체 제조 연구에 관한 중간보고서(1차년도), 통산산업부, 1996.
7. 최경수, 이수영, 제오라이트광물의 Attrition 분쇄특성, 한국자원공학회지, 29권, pp.1992.
8. B.A.Wills, Mineral processing technology, fourth, Maxwell, 1987.