

고분자재료의 다중파쇄 분쇄기 개발

정효상*(경기공업대학)

Pulverizer Development for multiple cracking of polymer materials

H. S. Jung(Mech. Eng. Dept., KINST)

ABSTRACT

Vulcanized natural rubber was pulverized using a single screw extruder in a non-cryogenic Solid Shear Extrusion process where rubber granulates were subjected to high compressive and shear stresses. The produced particles had diameters ranging from 40 to 1200 μ m. A principle used in this paper was developed in Russia. The development method for producing a polymeric material powder consists in compressing said material by shearing the material during a pressure increase and cooling. Consecutive breakdown is carried out by shearing the material during the pressure decrease and cooling.

Key Words : English Key Word: Pulverizer(분쇄기), polymer(중합체), screw & barrel(스크루&배럴).

1. 서론

탄성중합체와 열가소성 중합체의 재생은 환경 분야에 오랫동안 연구의 대상이었다. 많은 열가소성 중합체들은 버려지는 재료를 작게 해서 녹여서 압출 압출하는 방법으로 성형을 했다. 고분자재료는 고무의 교차결합 때문에 녹일 수가 없다. 다른 어려움은 다양한 타이어에 포함된 카본, 오일 먼지 등 이물질 때문에 재생에 어려움이 있다. 고무를 재생하기 위한 첫 번째 단계는 탈황 과정으로 보통 크기를 줄이는 것이다. 타이어에서 연료를 추출하는데 응용되는 것도 크기를 줄여 표면적을 크게 하는 것이 이용된다. 버려지는 고무의 크기를 줄이는 것은 저온 또는 상온에서 일을 수도 있다. 실온 분쇄는 일반적으로 흙이 있는 흙 분쇄로 단지 0.5~1.5mm 정도의 작은 입자를 생산하기 위해 실온에서 고무 스크랩의 크기를 줄이는 것을 의미한다. 저온 분쇄는 고무재료가 부서지기 쉬게 저온으로 냉동을 시켜 분쇄 시키는 것을 말하고 결과적으로 높은 변형비의 고무 파쇄를 의미한다. 지름 75 μ m 만큼 작은 입자는 고무 kg당 대략 액화열소 1.5kg에 비용의 두배와 소비용의 저온도 시설을 이용해야 한다. 그러므로 상온에서 좋은 고무 분쇄 입자를 생산하기 위한 방법의 개발이 최근의 연구 과제가 되고 있다. 새로운 고무 탈황의

원리는 러시아에서 개발되었다[1]

고분자 분말 생산 과정은 선택된 온도에서 고분자 재료의 압축진단을 위한 두개의 스크루 압출기가 필요하다[2]. 따라서 본 연구에서는 위의 연구들 바탕으로 1개의 스크루와 배럴을 갖는 분쇄기를 설계 및 제작을 하고자 한다. 설계에서는 설계에 필요한 구성요소를 규정하고 제작에서는 설계 데이터를 근간으로 실제 제작을 하여 고무제품의 분쇄 품질을 검증 한다.

2. 배경기술

압력을 증가시키면서 진단 작용을 통해서 냉각과 동시에 중합체 재료를 압축시키는 단계를 포함하여 중합체 재료로부터 분말을 제조하는 방법 압축단계에 있어서, 압력을 감소시키면서 냉각과 동시에 진단이 일어나고 있는동안 배럴내로의 속도를 $3 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-1}$ ms로 하여 0.01 ~ 0.15MPa의 압력으로 스크루에 의해 재료를 교축(Throttling)시킴으로써 재료를 분쇄하는 단계를 수행한다. 예를 들면 고무부스러기, 스크랩(scrap) 및 고체 형태로 된 천연 및 합성 중합체 재료, 탄성계수(Modulus)가 높은 중합체를 연마하는데 적용될 수 있다.

기존의 중합체 재료로부터 분말을 제조하는 방법으로는 상당히 느슨한 구조를 가진 기타 고강도 중

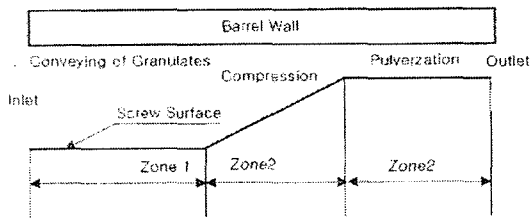


Fig. 1 Geometry of the extruder channel

합체와 같은 재료를 분쇄할 때는 기존 방법[3]이 알맞지 않은데, 그 이유는 이러한 재료들이 강도가 높을 뿐 아니라 탄성도 커서 압력과 전단의 동시에 작용할 때에 이 재료들을 분쇄하고 연마하기가 어렵기 때문이다. Fig. 1은 일반적 스크랩 고무인 중합체 재료로부터 분말을 제조하는 장치로 Zone1은 공급 Zone2는 압축 Zone3 분쇄로 구성되어 있으며, 초기 Zone1에는 압력을 0.1 ~ 0.5 MPa에서 3~ 100MPa로 증가시키면서 온도가 올라가고 이후 Zone2에는 등압 조건에서 0.3 ~ 10MPa의 전단력으로 올라간다. 분쇄단계는 냉각 조건 Zone3에서 압력을 0.1 ~ 0.5MPa로 감소시키면서 전단력이 0.5 ~ 50MPa로 분쇄된다. Fig. 2에서 이 장치는 구체적으로 원통형 케이스(배럴), 감속기, 모터, 냉각장치, 커플링 등을 포함하는데, 상기 케이스 내부에는 압축 스크루와 분쇄 치형 곡선이 동축에 직렬식으로 장착되어 있다. 이때 상기 연마 수단은 2개의 분쇄 스크루가 연결되어 있고, 이 2개의 분쇄 스크루는 서로 다른 표면 형상을 갖고 있으며 스크루를 외부는 배럴 원통이 있으며 내부 표면 역시 형상을 갖고 있으며 스크루가 회전할 수 있도록 배치되어 있으며, 배럴은 고정되어 있고 스크루가 회전하면서 마찰에 의해 분쇄할 수 있도록 간격이 있다.

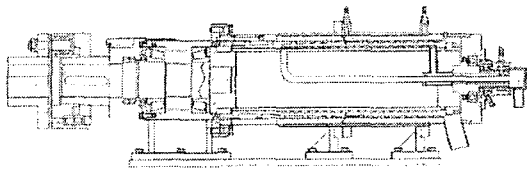


Fig. 2 Schematic of the single screw extruder

3.설계

스크루와 배럴 사이의 고무 마찰로 인해 고온이 되므로 적절한 냉각 장치를 사용함으로써 장치가 전체적으로 복잡해질 뿐만 아니라 마찰 분쇄를 위한 치형의 기술적 공정도 복잡해진다. 또한 마찰(표면) 분쇄를 하기 때문에 장치의 가공의 어려움 때문에 생산량도 줄어든다. 그러나 중합체 재료가 고온상태에서 분쇄단계로 이송하는데, 재료의 온도가 필요 온도 이상으로 높을 수가 있다. 이와 같은 특별한 경

우에는 분쇄 공정이 재료의 과열 조건하에서 진행되는데, 이 경우에는 제조된 분말의 품질에 나쁜 영향을 미칠 수 있다.

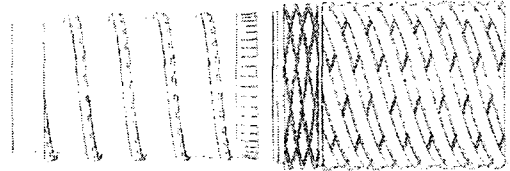


Fig. 3 Shape of screws

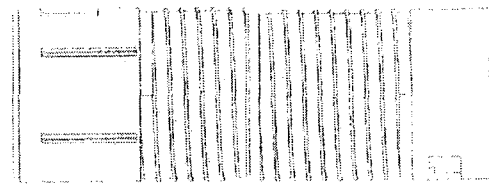


Fig. 4 Shape of barrels

Fig. 3,4에서 주입구와 배출구를 구비한 원통형 케이스를 포함하여 중합체 재료로부터 분말을 제조하는 장치가 있다. 원통 내부에는 Fig. 3과 같이 압축 스크루와 분쇄 스크루가 일직선상에 장착되어 있다. 상기 압축 스크루 내부에는 압축 유닛이 배치되어 있는데, 여기서 압축 유닛은 표면에 나선형 홈이 있는 압축 스크루로서 제작되어 있고, 이 홈은 배출구를 향해서 그 깊이가 점차로 감소하도록 되어 있는 반면에, 상기 분쇄 스크루 내부에는 회전체의 형태를 갖는 연마 회전자로서 제작된 분쇄 유닛이 원통의 내면에 대하여 환형의 공간을 형성하도록 회전 가능하게 같은 축 방향으로 장착되어 있다. 상기 압축 스크루의 표면과, 분쇄 스크루에 인접한 단부 및 또는 분쇄 회전체의 표면과 압축 스크루에 인접한 단부에는 깊이 8mm인 환형 홈이 절삭 되어 있다. 분쇄 회전체 및 분쇄 스크루의 원통을 냉각시키기 위한 냉각 수단을 장치한다. 분쇄 스크루에만 장착된 냉각 수단이 재료를 처리하는 도중에 그 재료를 적당히 효율적으로 냉각시킬 수 없으며 이로 말미암아 재료를 일정한 속도로 연속적으로 공급하는 조건하에서 처리할 경우에는 일시적으로 연마 공정의 온도 불안정성이 나타날 수 있다. 이외에도 상기 공지의 장치에 있어서는 연마 부재가 케이스 내면을 따라 긴 운송 공간을 형성하는데, 이 공간에서는 재료가 일단 분쇄된 다음에도 재료의 압축과 심지어는 응고가 발생할 수 있다. 이러한 특징을 갖는 장치에 있어서는 추가로 에너지를 소모해야 하며, 상기 공간에서는 추가로 열이 방출되는 현상이 수반된다. 결과적으로, 배럴에서 스크루에 같은 방법으로 냉각 장치를 설치해야 한다.

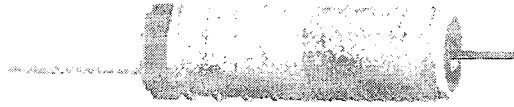


Fig. 5 Screw shape designed by Pro/Engineer

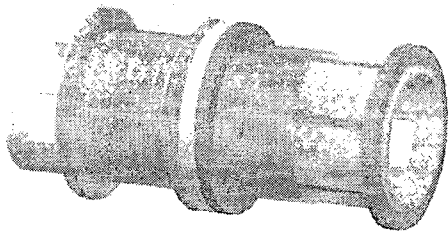


Fig. 6 Barrel shape designed by Pro/Engineer

4.제작

중합체 재료(예를 들면 크기 5×10 mm인 고무 폐기물)를 케이스의 공급구내로 정류 상태에서 공급한다. 이때 드라이브는 압력 스크루와 회전 샤프트를 일정한 속도로 회전시킨다. 재료의 냉각은 압력 스크루, 케이스, 회전축을 냉각시키기 위해 액상 냉매 흐름, 예를 들면 물을 공급함으로써 수행한다. 주입된 재료는 압축 스크루로 이송되는데, 여기에서 재료는 압력 스크루의 나선형 홈에 의해 포착되어 점차로 압축 처리되고, 이어서 연마스크루내로 환형 공간을 향해 운반된다. 환형 공간은 연마 스크루의 내면에 존재하는 환형 돌출부의 형태로 된 트로틀

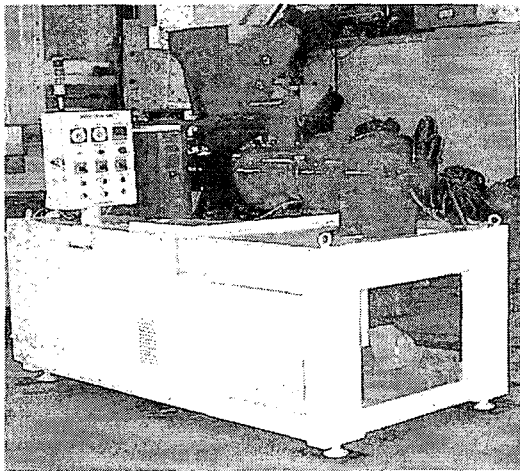


Fig. 7 Pulverizer manufactured totally

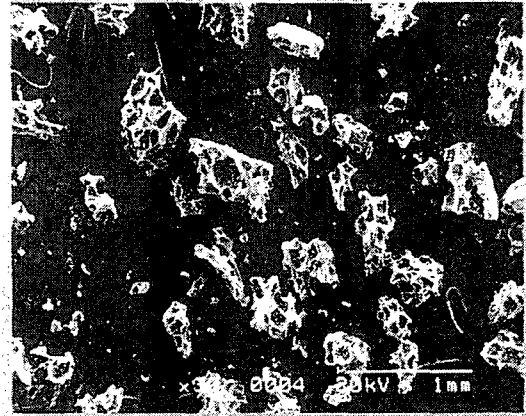


Fig. 8 Cryogenic grinding particles

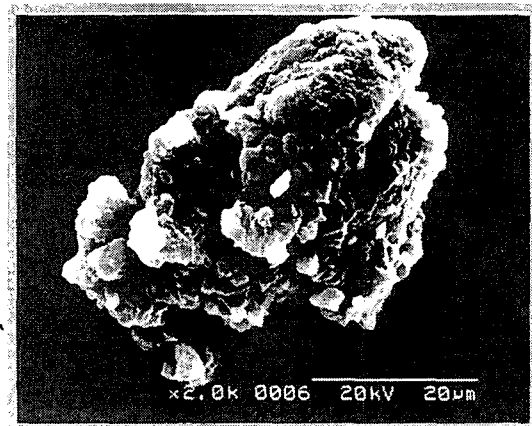


Fig. 9 Compression shearing grinding particles

밸브로서 제작된 연마재와 회전 샤프트에 의해 형성된 것이다. 트로틀 밸브를 향해 운반되는 동안에, 재료의 단편들이 압축되어 트로틀 밸브의 전면면에 압축된 층을 형성하고, 이 층에서 집중적으로 전단 처리가 이루어진다. 따라서, 이 층에서는 열이 고도로 방출되기 시작하므로, 케이스, 압력 스크루, 회전 샤프트의 냉각을 통해서 순환하는 냉매에 의해 연속적으로 냉각시킴에도 불구하고 재료의 온도는 증가하기 시작한다. 환형 공간에서 전단이 가장 고도하게 이루어지고 재료의 온도도 최고 온도에 이르는데, 여기에서는 재료의 교축이 고속으로 진행된다. 트로틀 밸브에 의하여 유발되는 저장을 거슬러 통과하면서, 재료에는 전단, 감압, 냉각 및 교축(주입)이 작용되며 그리고 즉시 압력이 해제된 저온 영역의 매질, 예를 들면 기체상 매질내로 투입된다. 이러한 모든 결과로서, 환형 공간 내부에서 재료가 여러 차례 분해되고 분쇄되어 미세 분말로 전환된다. 고품질의 극미

Table 2 Test result

재료	압축		분쇄						생산성 (kg/h)	고유 에너지 소비량 (kwh/kg)	분말의 특징		
	전단 가	압력 범위 (MPa)	온도	전단 가	스루 속도 (m/s)	스크 각도 (°)	스크 루메 질	메 질 압력 (MPa)			배출구내 분말온도 (°C)	체분류 메쉬크 기(mm)	체분류잔류 물(중량g)
에틸렌-프로필렌 고무폐기물 크기2~5mm	35	0.1~2	225	20	7×10^{-2}	1.5	공기	0.1	75	0.42	55	0.63	12
고무폐기물(타이어) 10×10×10mm	230	0.1~18	158	1000	5×10^{-2}	10	공기	0.01	54	1.3	43	1.0	15-wire 35-고무
고무폐기물(합성수지)20~30mm	60	0.4~20	170	300	3×10^{-2}	60	공기	0.3	31	0.67	38	1.0	50-합성수지 5-고무

세한 분말은 배출된다.

5.결론

상기 Table 2에 주어진 결과로부터 알 수 있는 바와 같이, 러시아 원천기술을 이용하여 다중 분쇄장치를 개발 하였고 개발 방법에 따라 분말을 제조할 경우에는, 생산성이 증가하고, 제조된 분말의 품질이 향상되며, 고유 에너지 소비량도 감소함과 더불어, 연다 가능한 중합체 재료의 적용 범위도 확대되는 결과를 얻을 수 있다.

후기

본 논문은 2004년 중소기업기술혁신개발사업의 일부이며 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 나콜스키 바딤 젠나디에비치, "중합체 재료로부터 분말을 제조하는 방법 및 그 방법을 수행하기 위한 장치". 출원번호 10-2003-7002690
2. A. N. Kryuchkov, M. I. Knunyants, S. A. Pershin, I. Ya. Dorfman, E. V. Prut, N. S. Enikolopian. Dokl. Akad. Nauk SSSR 295, 1167, 1987
3. V. M. Makarov, V. F. Drozdovski, "Reprocessing of Tyres and Rubber Wastes," Ellis Hoewood. New York, 1991