

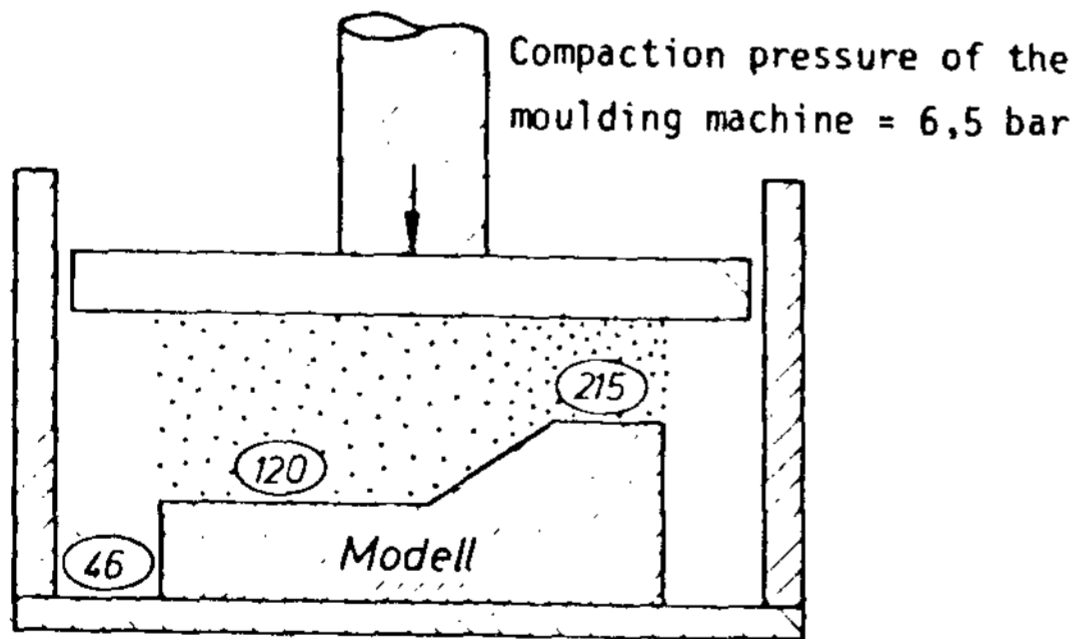
生型の Impact Compaction의 特徵

이 완 *

다음 글은 1982년 4월 美國 Chicago에서 개최된 제 49차 International Foundry Congress에서 西獨 Aachen 工大의 D·Boenish 교수가 발표한 논문을 주로하고 AFS Exhibition에 전시된 Impact Molding Machine의 기능에 대해서 입수한 자료를 첨가하여 요약 정리한 것입니다. 현재 Impact Molding Machine은 Europe 지역에 10여대가 제작공급되어 주물품을 시험생산단계에 있는 것으로 알려지고 있습니다. (편집자 註)

1. 序 言

Green Sand Mold에서 일반적으로 널리 쓰이는 방식은 [그림 1]과 같이 Pattern 위에 Sand를 넣고 squeeze하여 Sand의 강도를 갖게 하는 것이다. 이 방법의 결점은 Pattern의 형상에 따라 Mold의 모래층이 얇으면 Mold Strength가 크고 두꺼우면 약하게 다져진다. 이



① "Effective" compaction pressure

••• Areas of high "effective" compaction pressure

[그림 1] "Effective" compaction pressures inside a Squeezed green sand mould

런 결점을 보완하기 위한 방식이 소위 Multi-Head jolt squeeze machine이다. 이것은 여러개의 Squeeze Foot [사진 1]을 갖고있어 주물사의 두께에 따라 상대적으로 필요한 힘을 분산해서 Squeeze 해주어 어느정도 균일한 강도를 얻을 수 있다. 그러나 완전한 상태는 아니며 이런 결점을 거의 해결해준 방식이 바로 Impact Molding Technique이다.

이것은 연소실에 Gas를 투입 연소시켜 순간적인 폭발압력을 이용 주물사를 다지는 방식이다.



[사진 1] Multiple Head Jolt Squeeze Molding Machine

* 대우중공업 (주) 이사

Effective Compaction Pressure [그림1] 과 같이 엔진 Block을 조형한후 Mold의 강도를 보면 위치에 따라 전부 다른값을 갖고있다. 즉 6.5 bar로 압력을 가했을때 실제로 금형표면부위에서 나타나는 Effective Pressure는 46~215 N/cm²으로 부위에 따라 몇배의 차이가 있다. 같은 주형에서 過壓力을 받는곳은 Spring Back현상을 일으킬 것이고 壓力을 덜받아 強度가 미달되는 곳이 있을경우 정확한 치수의 주물 제품을 생산할 수는 없을 것이다.

2. Impact Molding Process 개발

Impact Molding Machine은 加速力을 이용하는 방식이다. 순간적인 壓力波는 Sand상면에서부터 높은 速度로 작용한다. 즉 주물사는 Mold상면에서부터 순간적으로 加速되어 금형표면에서 충격을 받으면서 다져진다. 이때 다져지는 힘은 Newton 법칙에 따라 (힘=질량×가속도) Sand立子の 가속도에 비례하여 커진다. Impact Molding의 장점은 금형에 가까울 수록 힘이 더 크게 작용하므로 더욱 단단히 다져진다는 것이다. 폭발에서 생긴 Gas 압력을 직접받은 상면의 모래입자는 자체가 받은 가속력을 다음층에 있는 모래에 전달하여 理想的으로 배열된 Multi-Head 방식과 같은 효과를 나타내는 것이다

Impact Molding은 3 단계로 개발되어왔다. 1953년에 압축공기를 직접 주물사에 加壓하여 조형하는 방식에서

1962년에 개발된 기계는 연소실에서 착화 폭발하여 팽창하는 Gas의 압력파를 이용하는 방식이었으며 이것을 Explosion Molding Ma-



[사진 2] Impact Molding Machine
위의 둥근 원통이 Gas연소실이다.

[Table 1] Einteilung der Formmaschinen

Preßformmaschinen (Verdichtung unter Lasteinwirkung)

Hydraulische Preßformmaschinen

Schieß-Preßformmaschinen

Vakuum-Preßformmaschinen

Rüttel-Preßformmaschinen

Gasdruckformmaschinen (Verdichtung nach Beschleunigung)

Preßluftimpuls-Formmaschinen

Verbrennungskraft-Formmaschinen

a. Niederdruckformmaschinen (sog. "+GF+ Gasdruck-Formverfahren")

Kennzeichen: Beschleunigte Verbrennungsfront

Brennkammer vor Zündung ohne wesentlichem Überdruck

Verbrennungsdruck 4 - 5 bar (Erdgas - Luft)

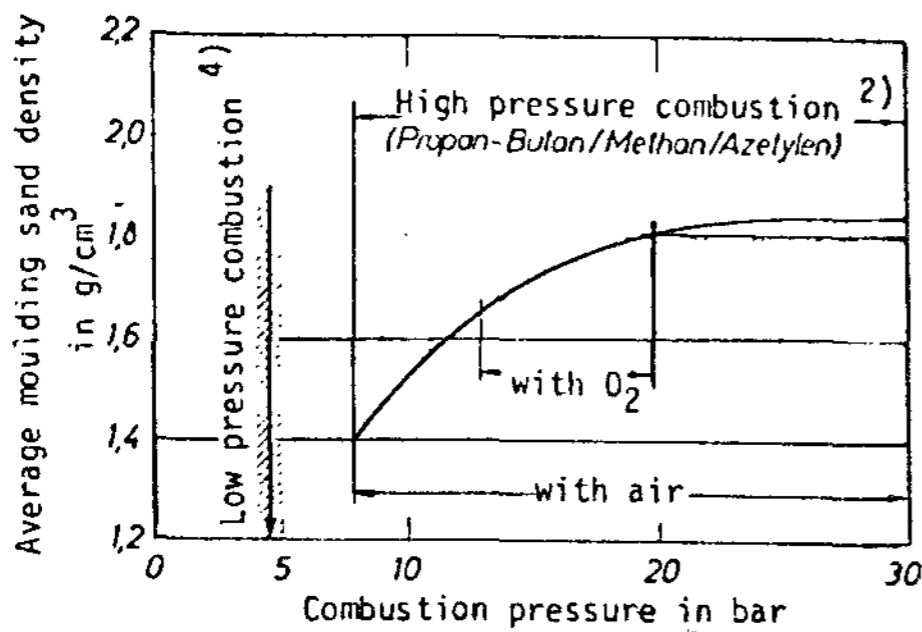
b. Hochdruckformmaschinen

Kennzeichen: Zündung in vorkomprimierter Brennkammer

Verbrennungsdruck höher ca. 10 bar

chine라하여 10 ~ 30 bar의 압력으로 조형하였다 [그림 2]. 이 때 Gas는 연소전에 적어도 1atm이상으로 예비압축을 해야하므로 기밀문제 등 기계장치가 복잡해진다.

1978년부터 개발시작된 Impact Molding은 착화전에 연소실에서 Fan으로 Gas와 Air를 혼합하여 발열반응의 강도와 연소가 진행되는 속도를 조절하는 장치를 부가한것이다. 따라서 이 방식은 低壓에서 기능을 발휘한다는것이 새로운 사항이며 최고 4 ~ 5 bar에서 충분한 강도를 갖는것을 [그림 2]는 보여준다.



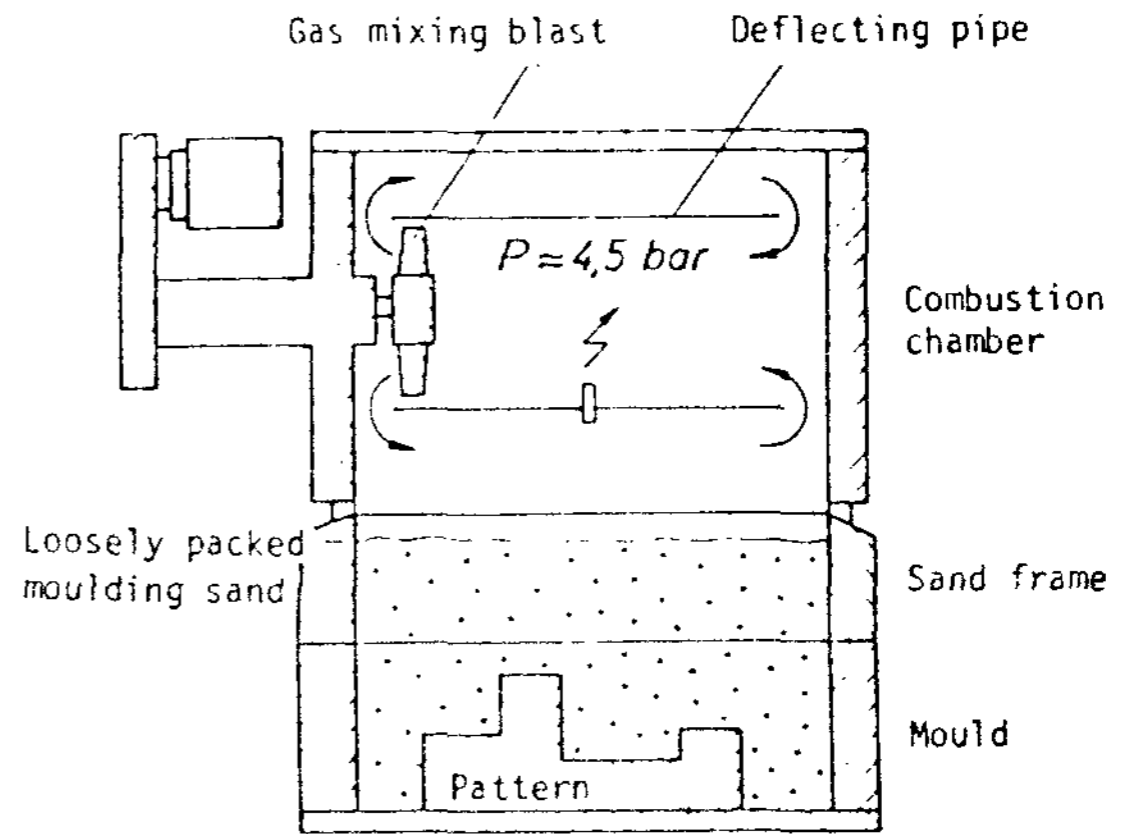
[그림 2] Classification of impact moulding processes

여러가지 조형기를 Energy Source별로 구분표로 나타낸것이 [Table 1]이다.

o Combustion Energy-Impact Molding Machine of Low Pressure Type

Low Pressure Type의 Impact Molding Machine의 구조를 [그림 3]에 표시하였다. 이는 [사진 2]의 GF社가 제작 Chicago 전시장에 출품한것과 같이 별개의 연소실이 붙어있어 연소실 내벽과 조형사윳면이 한공간을 이루고 여기서 Natural Gas와 공기가 혼합되는데 Gas가 들어가므로써의 압력상승은 0.1 bar 정도이므로 氣密문제라든가 Gas의 손실문제등은 발생하지 않는다.

이론적으로 가능한 연소압력의 최대치는 7.2 bar이나 실제 Sand를 다지는데 필요한 압력은 4 ~ 5 bar로 충분하다. 또 희망하는 압력은



[그림 3] Combustion energy impact moulding machine of low pressure type

Fan의 회전수조정으로 변경시킬 수 있게 되어 있고 연속작업에서도 기계장치가 過熱될 우려는 없다. 연소실벽의 온도는 약 140°C pipe의 온도가 165°C 정도로 Natural Gas 발화점보다 훨씬 낮아 안전하다. Impact Molding Machine의 가장 큰 장점은 4.5 bar의 낮은 압력으로 100 N/cm (1 bar = 10 N/cm ≈ 14 psi) 이상의 효과를 얻을 수 있으며 가속력이 다져지는 효과로 나타나기 때문에 금형표면에서 가장 세게 다져지고 상면으로 갈수록 약해진다. Gas 압력으로 성형하는 작업이 주형의 강도, 경도, 밀도등에 어떻게 영향을 주는가를 밝혀내기는 어렵다. 물론 이들 자료는 주물사의 배합 (Bentonite Water Content, 첨가제, Mixing Condition) 및 Sand의 탄성을 bulk density 등과 깊은 관계가 있다. 영성하게 담겨진 Sand가 가속력을 더 잘 받기때문에 더 잘 다져진다. 오히려 어느정도 미리 다진후에 압력을 가하면 가속력을 잘 받지못해 주형강도는 떨어진다.

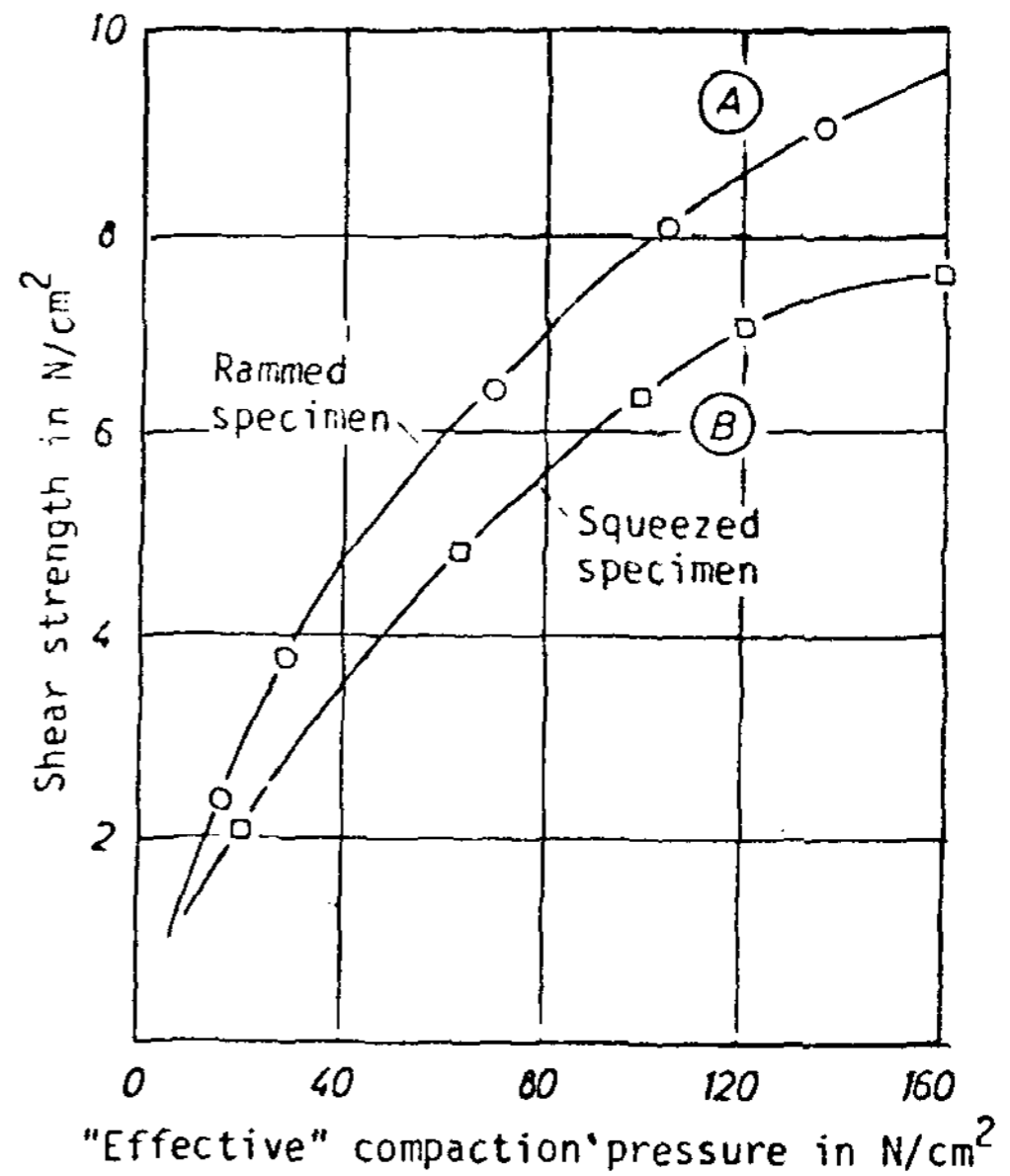
Ramming이 Squeeze보다 효과적이다.

습윤상태의 Bentonite가 Sand 입자를 서로 연결시켜 단단한 Sand Mold를 만든다. Bentonite의 결합력이 높은 주형강도를 갖게 하지만 주물사의 다짐효과에는 방해요소가 된다. 따라서 높은 효율의 압력과 적절한 조형기계의 힘

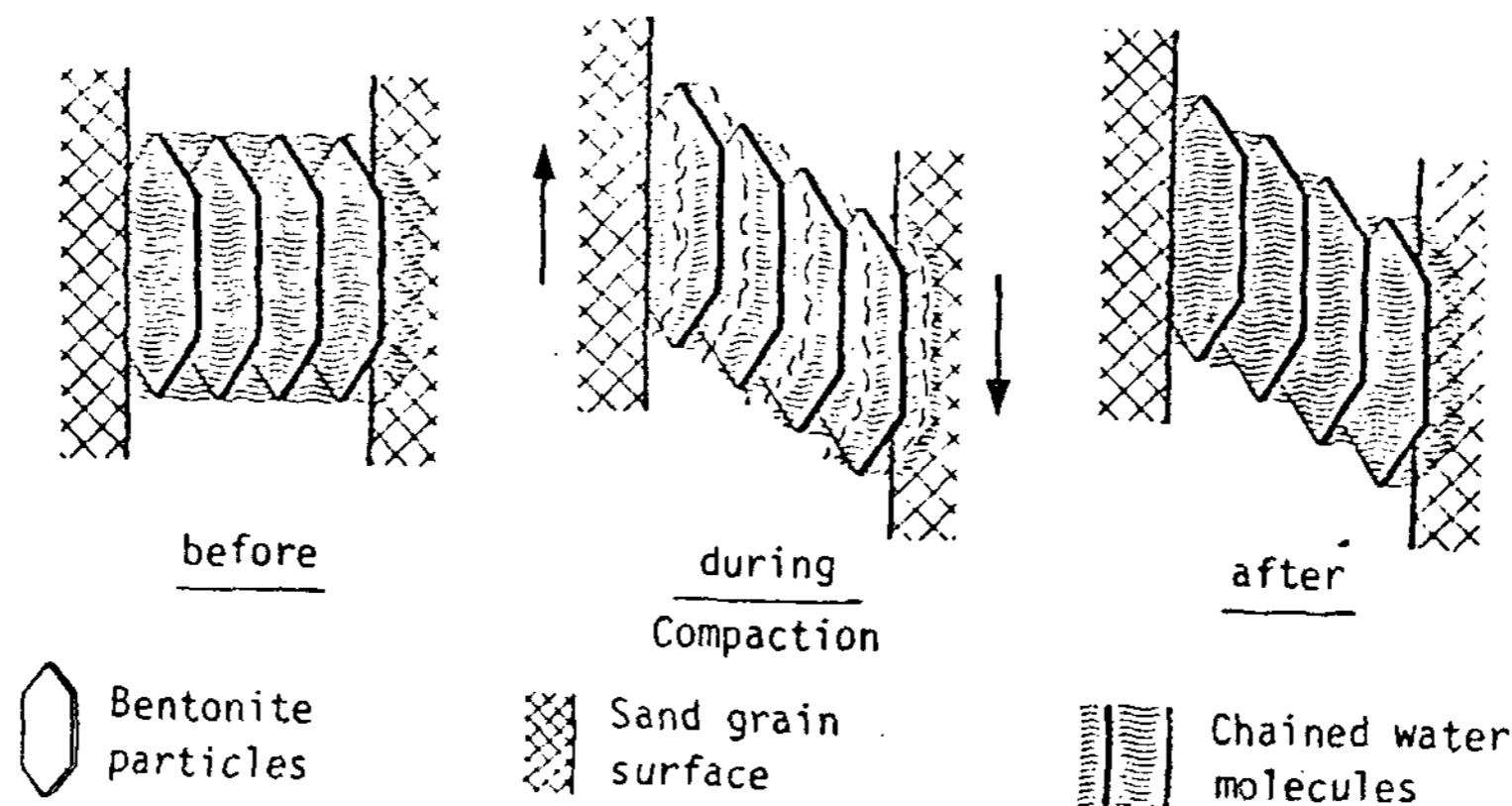
이 필요하다. 결합력이나 주형강도는 양극성의 물분자와 결합한 Bentonite 입자간에서 생기는 것이다. 다음에 다시 재론하겠지만 Compaction Velocity가 큰 역할을 하게 된다. 따라서 Ramming方法이 Squeeze方法보다 훨씬 효과적이다.

Ceramic 또는 Colloid Chemistrge에서 점토의 역할을 Thixotrophie로 설명한다. Thixotrophie가 Na-Bentonite에서 가장 큰 이유는 특히 미세한 Montmorillonite 입자로 되어 있고 물과 결합력이 매우 강력하기 때문이다. 오늘날에도 확실히 규명되지 않고있는것으로 주물사의 수분함량은 Thixotrophie에서 말하는 점토의 필요량보다 훨씬 적다는 것이다. 50mm 높이의 주물사시험편을 Ramming 회수를 늘려가면서 또 Squeeze 압력을 늘려가면서 측정하였다.

[그림 4 Curve A와 B] 원인 (Effective Pressure) 과 결과 (Strength) 를 직접 비교하기 위한 것으로 여기서 같은 Effective Pressure에서 Ramming 한것이 Squeeze 한것보다 강도가 높음을 확인할 수 있다. Ramming 한것은 같은 강도에서 Squeeze 한것의 60% 정



[그림 4] Ramming compaction results in higher strength
10 parts by weight of sodium bentonite, compactability 40%



[그림 5] Thixotropy reduces bonding action of water dipoles between bentonite particles temporarily during high speed compaction

도의 힘이 필요하다.

[그림 5] 는 간단하게 표현한 주물사의 Thixotrophie적 결합상태의 모델이다.

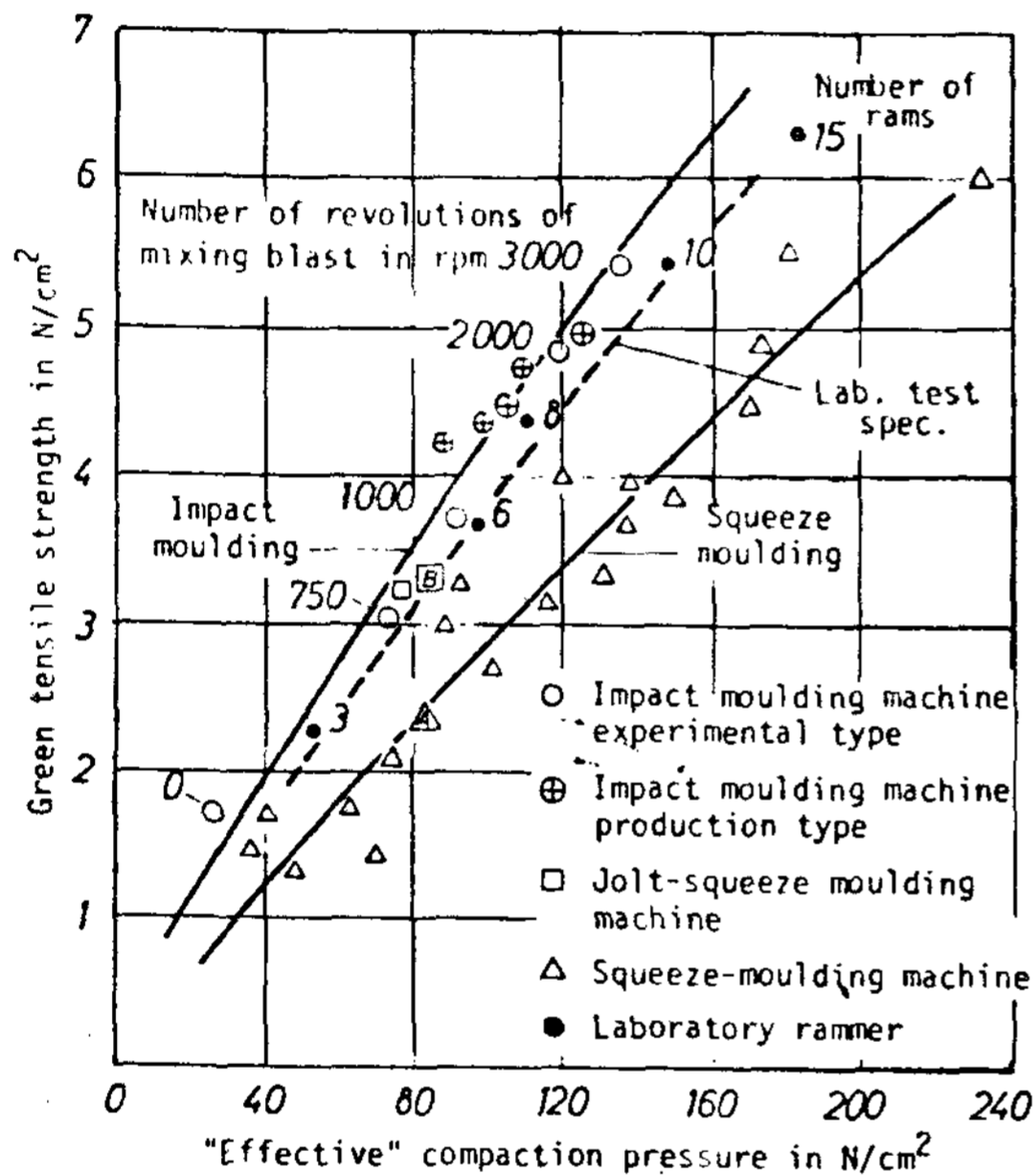
좌측은 Bentonite 입자 사이에 있는 물의 양극

성에 의한 결합상태이고 중간 그림은 Ramming 등 외력에 의해 결합력을 잃어버리는 순간으로 非流動의 물입자가 流動性을 갖고 흐를 수 있게 되어 결합력이 약화되는 것이다. 그다음 우측과

같이 물분자는 다시 이전상태로 되돌아가 결합력을 갖게 되는것이다.

Impact Molding Machine은 다짐속도가 Ramming보다 더욱 빠르다. 따라서 Impact Molding한 주물사가 더욱 좋은 물리적성질을 갖는것을 짐작할 수 있으며 앞으로 이문제에 대해서 전개해 나가기로 한다.

o Impact Molding의 높은 효율성



[그림 6] Impact moulding machines achieve high mould strength with relatively low compaction pressures by action of thixotropy (production sand from an iron foundry)

[그림 6]의 윗 Curve는 Impactmolding machine의 것이고 아래 Curve는 Joltless Squeeze Molding Machine의 것이다. 그외에도 Multi-Head Squeeze 및 시험실의 Ramming 등의 DATA를 보여준다. [그림 4]에서 이미 확인된 바와같이 가속력으로 다지는 방식이 Squeeze 방식보다 효율이 우수함을 확실히 보여주고 있다. 대형 Mold (1400 × 100 × 400 주조 Vol. 2, No. 3 (1982)

mm) 인 Ramming DATA가 거의 같은 값을 보여준다.

o 연소속도의 영향

[그림 6]에서 Impact Molding Machine의 Fan 회전속도가 클수록 주물사상면에 연소압이 빨리 다달아 주물사는 더 큰 가속력을 받는다. 이때 연소압력이 약 4.5 bar 이다.

강한 가속력이 Effective Pressure로 나타나 생형인장강도에 영향을 준다. 즉 Fan의 회전속도가 증가할수록 강도가 커진다. 그림에서 Fan의 회전수 0일때는 Fan이 정지하고 있음을 말하며 Curve 맨 아래에 나타나 있다.

실제로 시험한 주물사는 아래와 같다.

Sand Grain Size	AFS No. 60
Wafer Content	4 ~ 4.4 %
Compactability	40 ~ 45 %
Green Compression Strength	24 N/cm ²
Wet Tensile Strength	0.4 N/cm ²
Pearmlability	60
Moldability Index	85 ~ 95 %
Active Bentonite Content	≈ 10 %
Clay Content	≈ 15 %

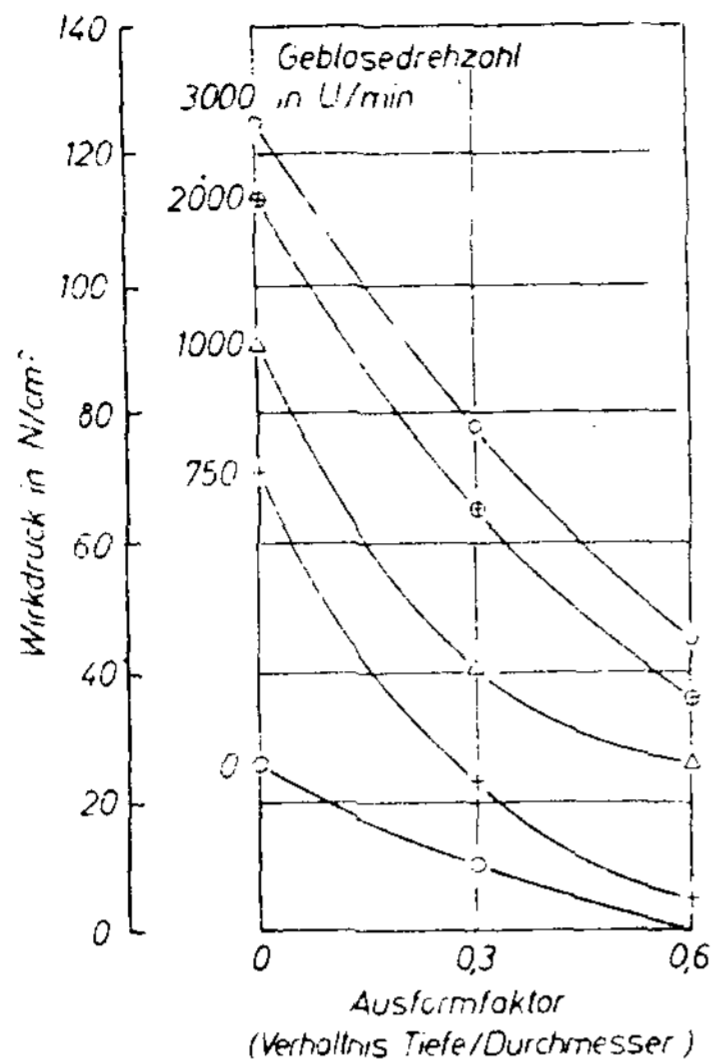
Impact molding Machine은 앞에 말한바대로 Mold Size 1400 × 1000 × 400 mm이다.

“ Ausformen ”의 의미.

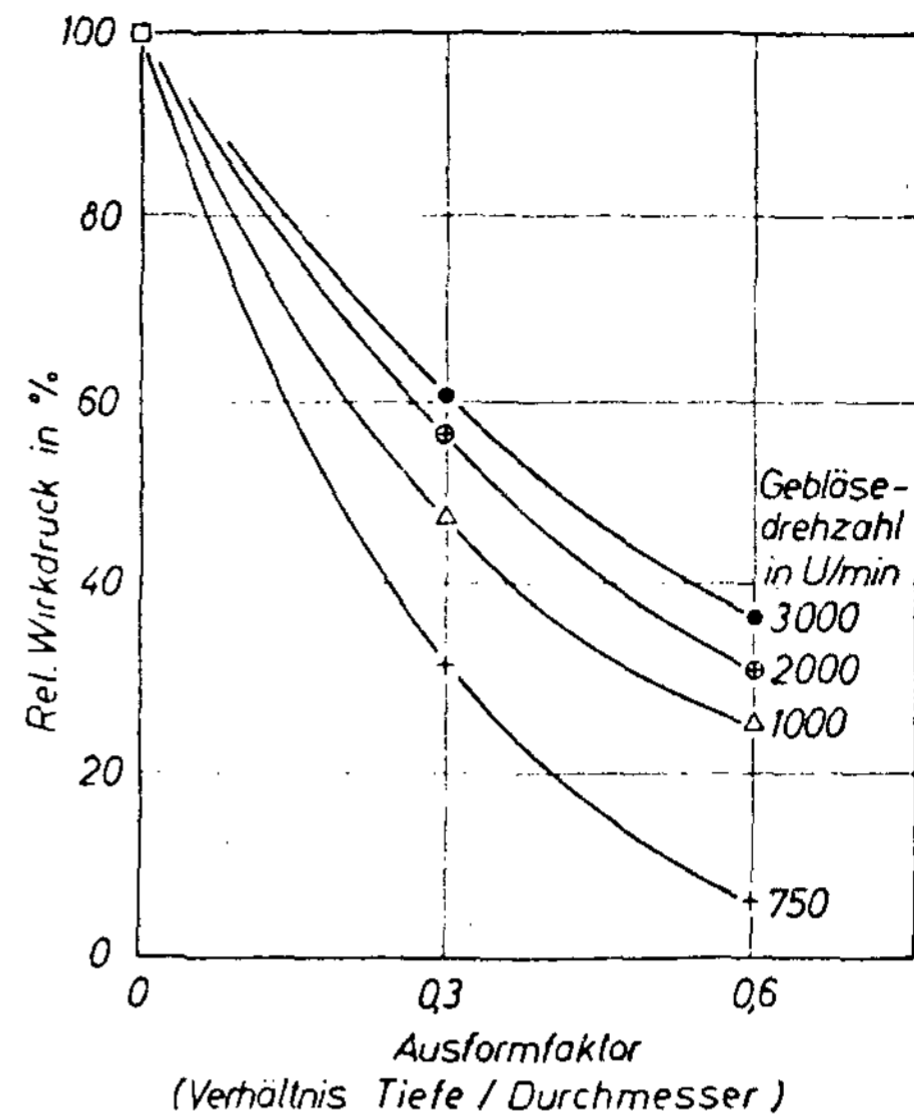
좁고 깊은 모양일수록 조형하기가 어렵다. 좁고 깊은 주형을 어떻게 잘 성형할 수가 있느냐 하는 개념에서 “ Ausformen ”이라는 용어를 도입하였다.

주형의 모양에서 깊이와 직경의 비를 Ausformfaktor라 하여 이 수치가 클수록 Effective Pressure가 떨어진다. 대신 Fan의 회전속도가 어느정도 보상하게 되며 예를 들어 Fan회전속도가 2,000 rpm에서 Ausformfaktor가 0.6이면 35 N/cm²의 Effective Pressure를 받게됨을 알 수 있다.

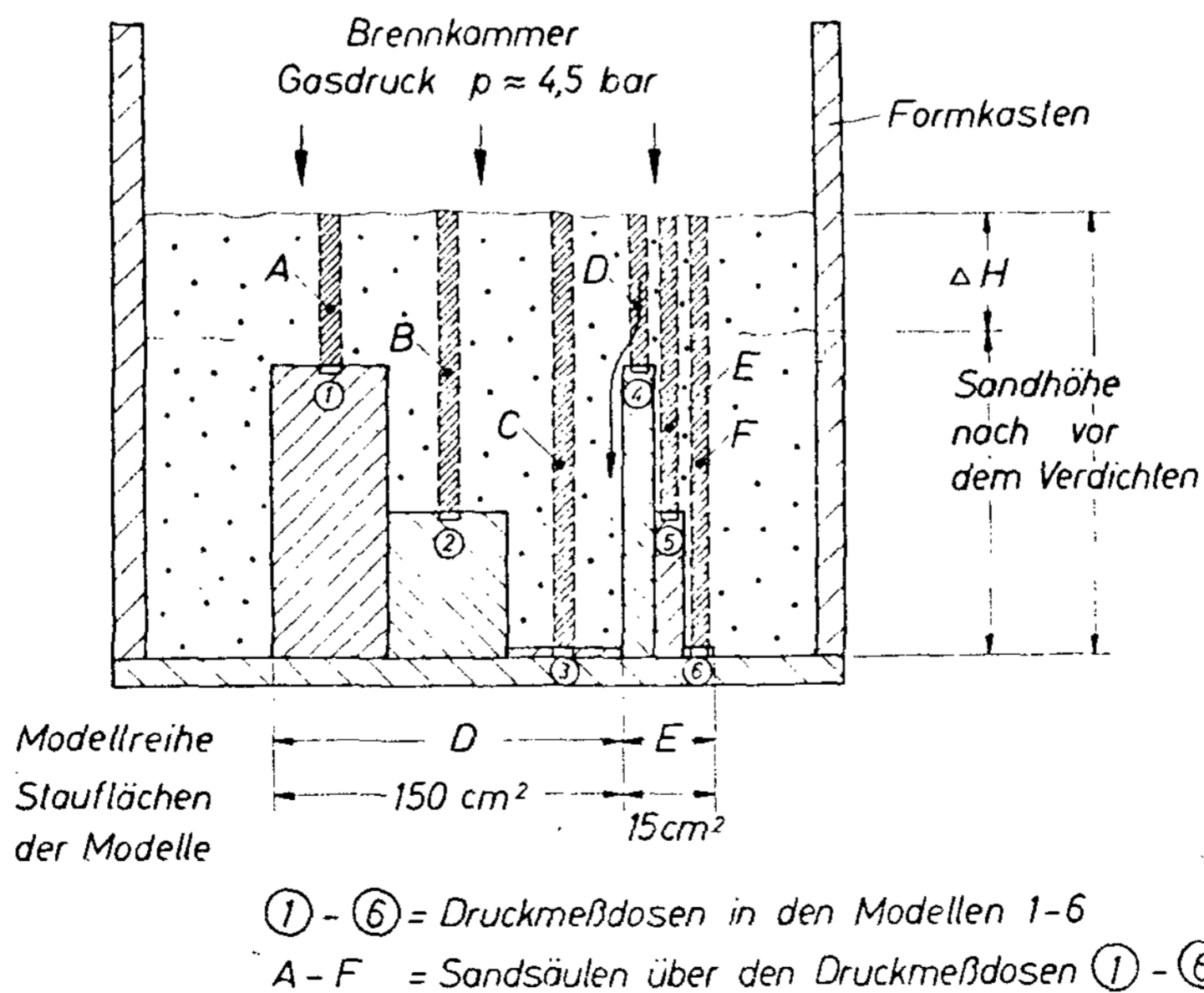
Effective Pressure를 百分率로 해서 relative Effective Pressure로 나타낸 것이 [그림 8]이다. 이와같이 표현하면 Fan의 회전속도가 클수록 성형성이 좋다는것을 명확히 알 수 있다.



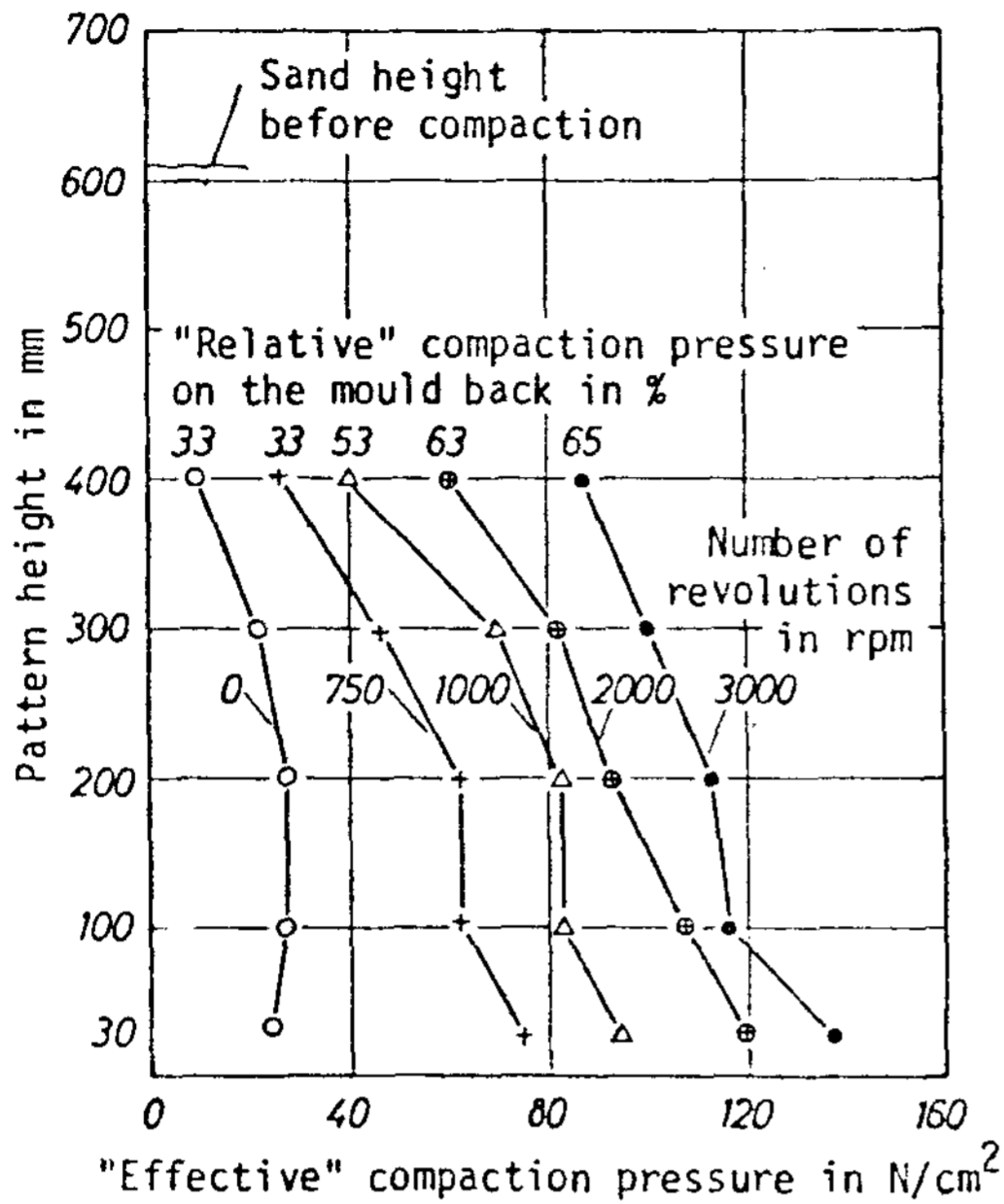
[그림 7] Höhere Verdichtungsgeschwindigkeiten verstärken den Ausformdruck in tiefen und engen Modelltaschen.



[그림 8] Das Ausformvermögen der Gasdruckformmaschine wird an den Werten der "relativen Wirkdrucke" besonders deutlich.



[그림 9] Masse und Beschleunigung der auf den Modellen lastenden Sandsäulen sind für die Stärke der Wirkdrucke verantwortlich. Die Stauwirkung der Modelloberflächen ist wichtig.



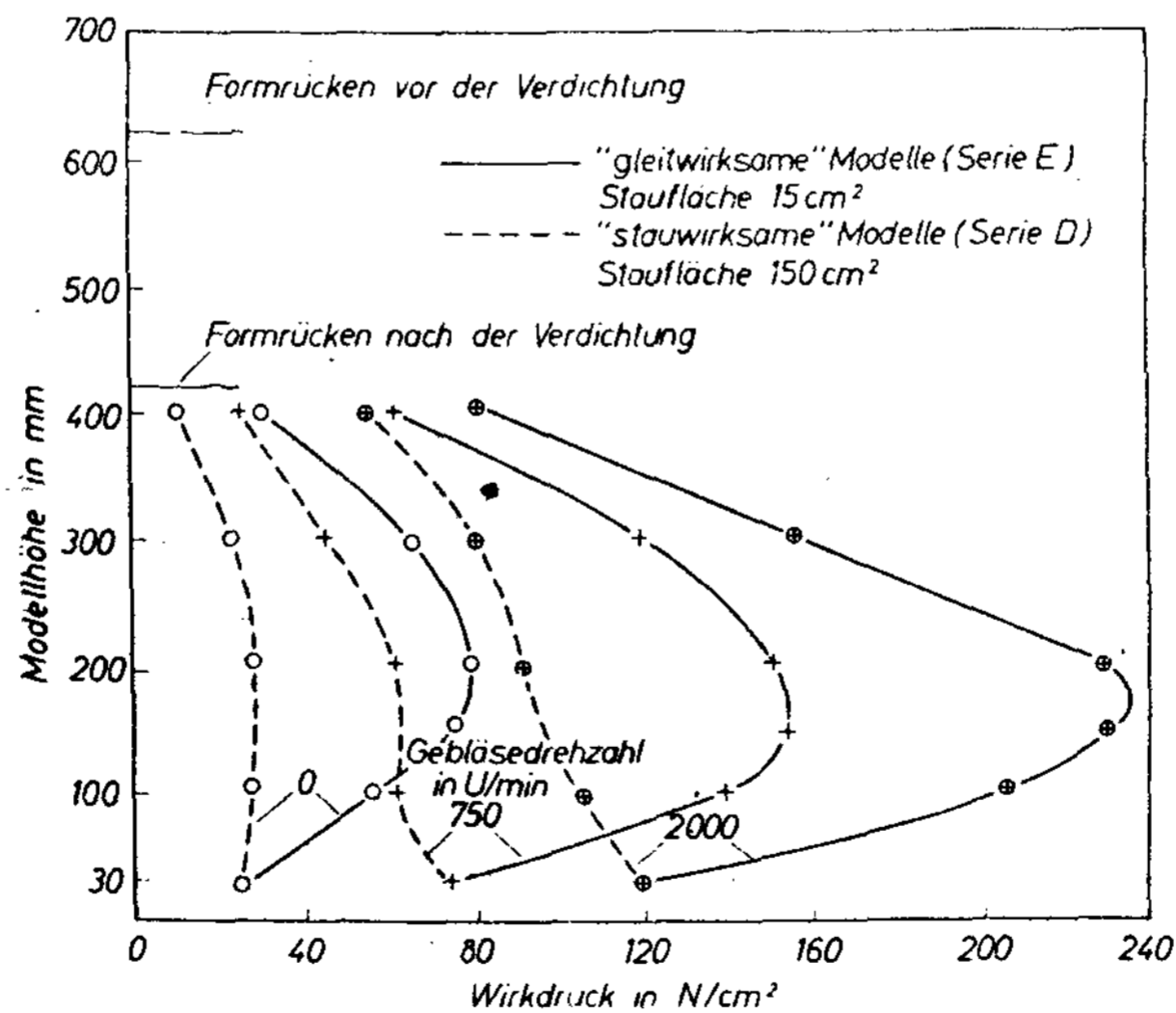
[그림 10] Impact compaction causes advantageous pressure gradients inside the mould wall

Maximum Effective Pressure

이제부터는 금형표면에서 상부로 올라가면서 주물사의 강도가 어떻게 변하는가를 알아보기로 한다.

[그림 9]에서 ①②③은 표면적 150 cm²의 비교적 넓은 평면을 갖는 것이고 ④⑤⑥은 표면적 15 cm²의 좁은 층을 만들어 각각 100, 200, 300, 400 mm 높이에서 Effective Pressure를 측정하여 그 결과를 [그림 10], [그림 11]에 표시하였다.

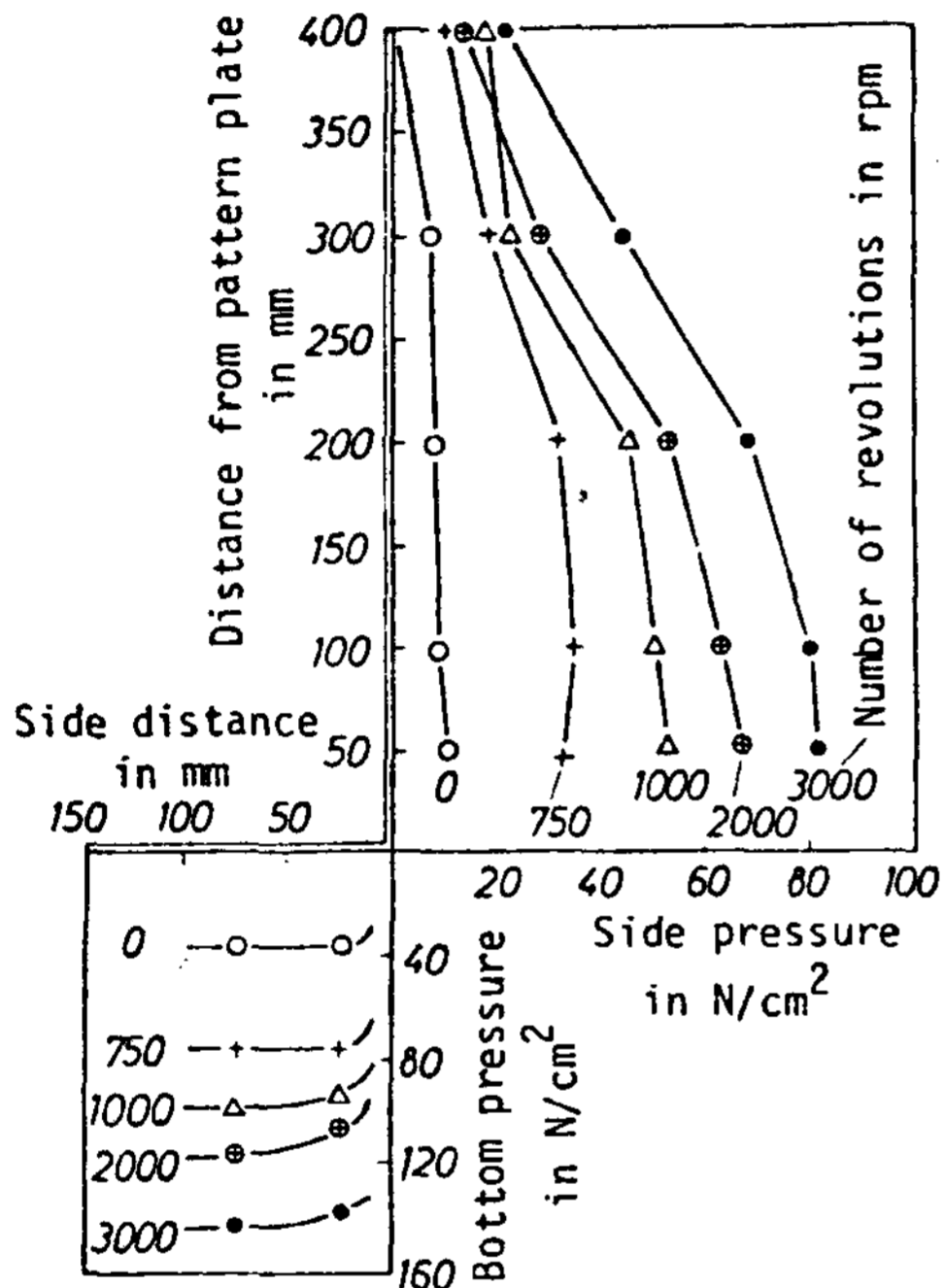
[그림 10]은 금형 D (표면적 150 cm²) 부위의 유효압력을 나타낸 것이다. Gas의 연소압력은 주물사상면에는 똑같이 작용하나 가속력은 Sand의 量 즉 높이에 따라 달라져서 [그림 9]의 C부위는 A부위 보다 훨씬 강하게 작용한다. 즉 앞에 말한 바와같이 힘=질량×가속력에 따라 Effective Pressure가 나타나는 것이다. 그림에서 2000 rpm의 Fan회전속도에서 주형상면인 400 mm 높이에서 60 N/cm²의 유효압력을 받지만 금형표면에서는 그 배가 되는 120 N/cm²에 달한다.



[그림 11] Die auf Modellen wirkenden Drucke hängen von der Größe ihrer dem Sandstrom entgegenschlanken, "gleitwirksamen" Mngerichteten Flächen ab. Auf odellen werden nahe der Sandformmitte besonders hohe Drucke gemessen.

역시 Fan의 회전수가 커지면 Sand의 가속력은 커지고 유효압력이 커져서 그림에서 우측으로 갈수록 더 큰 값을 갖게 되는 것이다.

좁은 D부위 (15 mm)에서의 유효압력곡선은 색다르게 나타나서 중간층 높이에서 매우 큰 압력을 받게 된다. [그림 11]에 D와 D부위의 유효



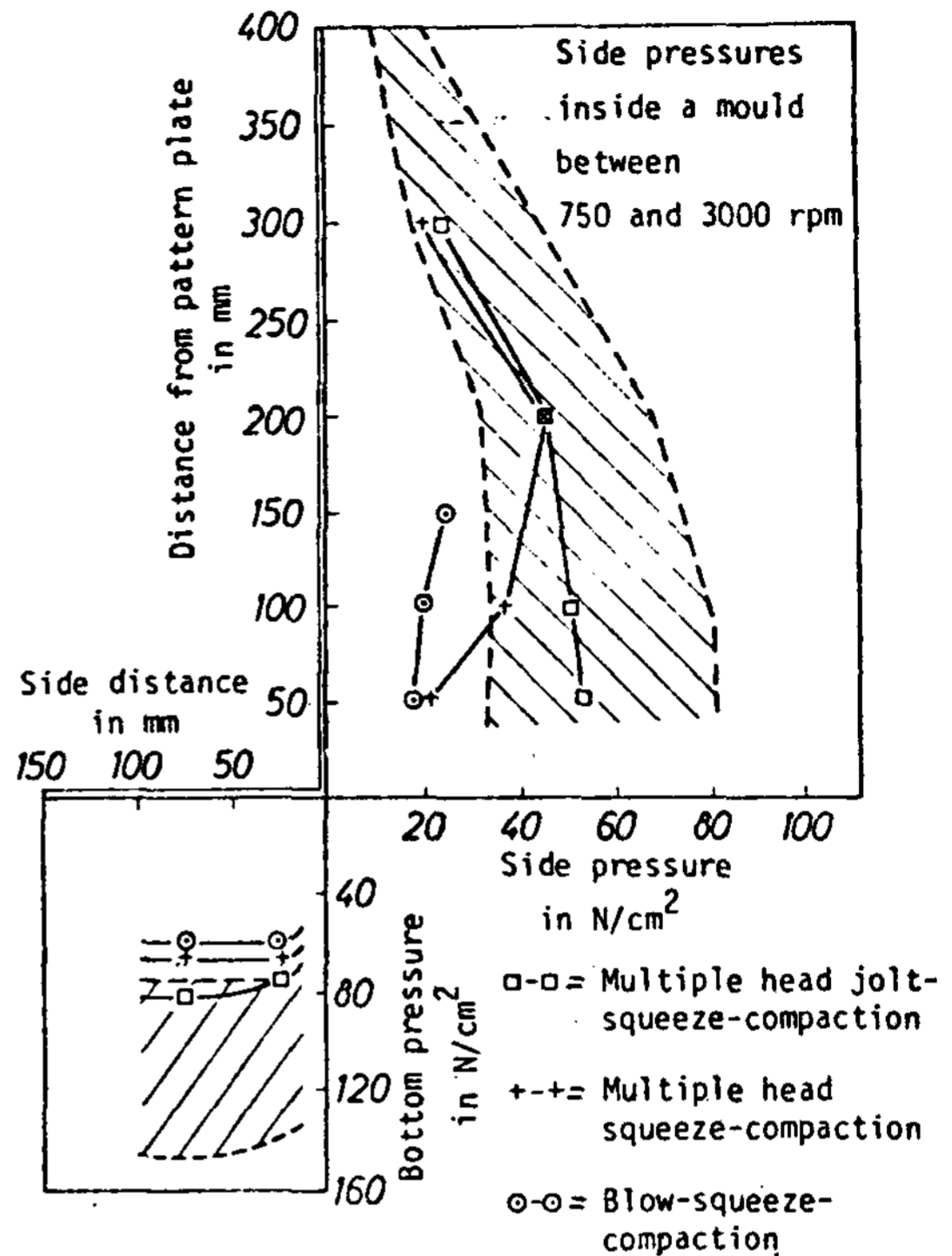
[그림 12] Side pressures inside a mould increase superproportionally with compaction speed

유효압력곡선을 Fan 회전속도 0, 750, 2000 rpm 일때의 값을 나타내었다.

좁고 긴 금형은 마치 화살로 표시한바와 같이 Sand의 흐름을 잘라놓아 미끄러져 다져지게 한다. D부위에서의 Sand는 주위의 Sand 粒子로부터 Energy를 받아서 A부위보다 더욱 강력하게 다져지는 것이다.

Side Pressure

금형의 옆면과 Flask 안벽에 작용하는 Side Pressure는 통상적으로 바닥면에 작용하는 Bottom Pressure 훨씬 낮다. Side Pressure가 주물제품에 큰 영향을 미치면서도 비교적 낮



[그림 13] Jolt ramming well as impact compaction cause advantageous high side pressures especially near the pattern plate

은압력때문에 주물사조형시 문제점으로 되어있다. 따라서 Side Pressure와 관련하여 금형의 수직구배를 정해야하고 Flask를 얼마나 튼튼히 해야하는가를 비롯하여 주물제품의 정밀도, Recovery, 체적공차 (Blowhole에 의한) Sand의 열팽창 결합, 주물표면거칠기 사흔입 소착 등과 모두 관계가 깊다. 또한 Side Pressure DATA는 금형재료를 선정하는데도 중요한 요소가 된다.

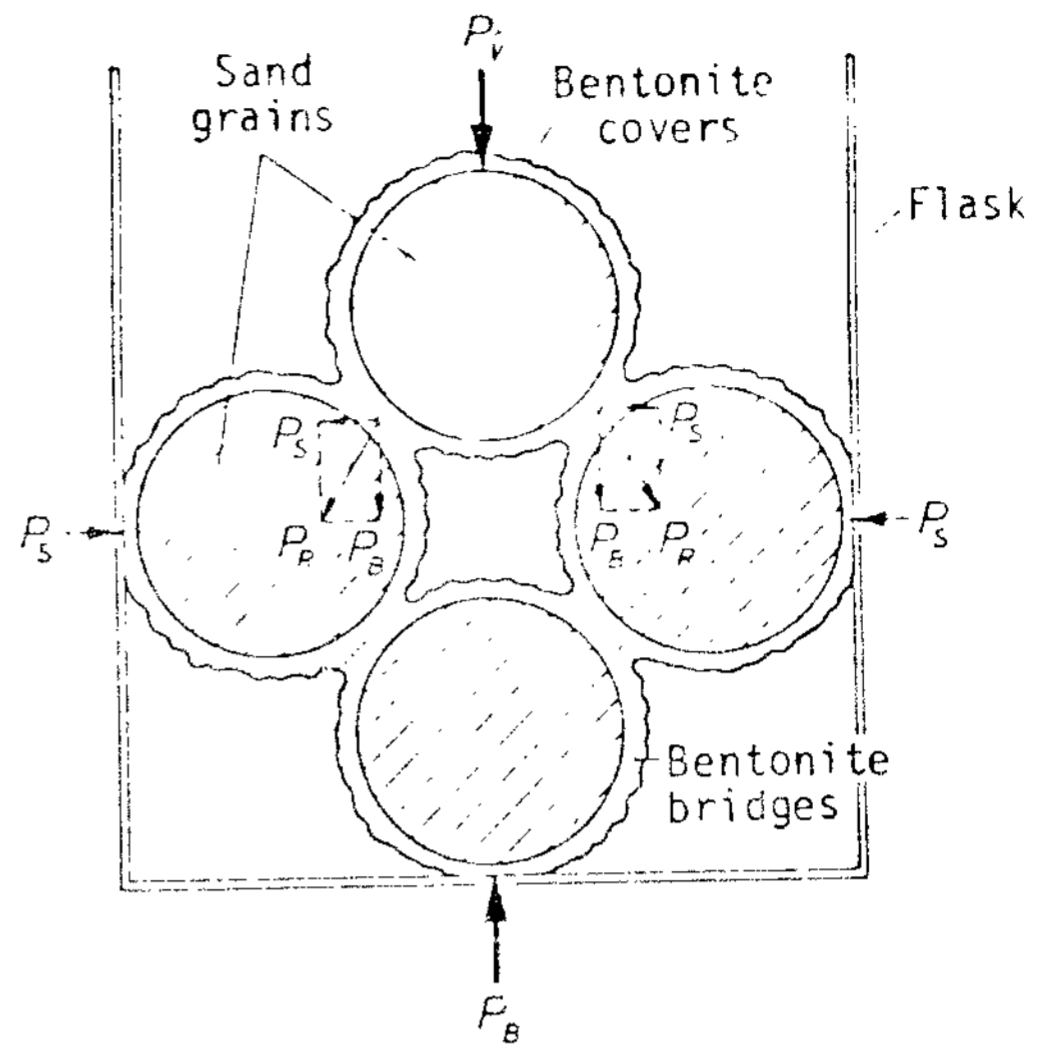
[그림 12]와 [그림 13]이 Side Pressure를 측정된 DATA이다. Side Pressure Ps는 조형기의 Compaction Pressure Pr와 주물사 배합에 따라 변한다. [그림 17]에서 보는바와 같이 Side Pressure를 모래입자간에 형성된

Side Pressure Ps는 모래입자의 운동과정에서 상호마찰 등으로 Bottom Pressure 보다는

훨씬 작아진다. 또한 P_s 는 Binder의 접착력에서도 영향을 받아 결합력이 클수록 작아진다. Impact Molding Machine에서 Sand의 가속 압력의 수평분력으로 표시하였다.

력이 클수록 강력하게 다져진다는것은 Side Pressure [그림 12]와 Bottom Pressure 모두 값이 크다는것을 의미한다. [그림 10]에서 본 바와같이 연소실 바로 밑의 Sand가 가장 약하게 다져지는 바와같이 Side Pressure도 역시 약하다 [그림 12의 윗부분 해당]. 마찬가지로 금형표면에서 Bottom Pressure도 Side Pressure도 모두 크다.

Side Pressure와 Bottom Pressure를 비교해보면 Compaction은 방향성을 갖고있다고 표현할 수 있다. 즉 Fan을 돌리지않은 상태에서 연소시킨것은 Bottom Pressure 35 N/cm^2 Green Tensile Strength 1.8 N/cm^2 정도이다 [그림 6]. 다짐을 가하는 방향으로는 비교적 쉽게 충분한 강도를 얻은 것이다. 그러나 수직벽면에 작용하는 Side Pressure는 겨우 10 N/cm^2 정도로 이것은 너무 약해서 Mold가 Flask에 지탱해 있을 수도 없는 정도이다. 충분한 Side Pressure는 어떤 기준이상의 조건에서라야 얻어질 수 있는 것이다. Effective Pressure의 방향성문제는 앞으로 더 연구검토 할 과제이다.



[그림 14] Relation between side pressure P_s and bottom pressure P_B depends on bentonite strength during compaction

Relative Side Pressure

Table II에 여러 조형방법에서 Relative Side Pressure를 기술하였다. 이것은 [그림 12]와 [그림 13]에서 Side Pressure와 Bottom Pressure의 값을 도출하여 그 비례를 %로 표시한 것이며 이는 금형표면에서의 값으로 계산

[Table 2] Relativer Seitendruck bei verschiedenen Formverfahren

Formverfahren	Seitendruck P_s am Modelltrager (N/cm^2)	Bodendruck P_B (N/cm^2)	rel. Seitendruck P_{Srel} $P_s/P_B \cdot 100$ (%)
SchieBpressen	20	60	33
Vielstempelpressen	22	65	34
Ruttelpressen (Vielstempel)	50	85	58
Gasdruckverdichten			
0 U/min	10	35	28
750 "	35	75	47
1000 "	50	95	52
2000 "	65	110	59
3000 "	80	135	59

한 것이다. 표에서 보면 가속력이 클수록 (Fan 회전속도가 클수록) Relative Side Pressure도 크며 3000 rpm의 값은 0 rpm값의 약 2배에 달한다. 즉 Impact Molding에서 Fan의 회전속도가 0일때 Relative Side Pressure에 비해서 훨씬 작다는것을 말하는것이다. Impact Molding Machine과 鑄造作業 Impact Molding과 Multipul Head Jolt-Squeeze 조형방법은 類似點이 많다. 이 방식들은 모두 Sand를 큰속력으로 가속시켜 금형표면에서 급정지하면서 다져지며 특히 주물사 상면쪽에서부터 금형표면으로 갈수록 강도가 크다는 것 [그림 14]이 공통점이다. 작동이 느린 Squeeze Compaction에서는 Bottom Pressure는 상당한 강도를 갖지만 Side Pressure가 약하다. Impact Molding에서는 금형이나 Flask 옆면에도 강력하게 작용하여 수평적으로도 매우 잘 다져지게 된다. 따라서 주물사의 측면벽도 용탕주입후 열변형을 받지않아 주물제품의 치수가 정확하고 recovery가 좋으며 Blow hole이 적은 장점을 갖는것이다. Multi-Head Jolt-Squeeze 외의 기타 재래식 조형방법은 특히 Side Pressure가 작다는것이 결점이며 Impact Molding에서는 특히 Fan의 속도를 조절하여 금형이나 주물제품에 맞게 신속히 대처할 수 있는 특징이 있다.

3. 結 論

새로 개발된 Impact Molding Machine은

Gas와 Air를 혼합연소시켜 그 압력을 이용 Green Sand를 Molding하는 방법이다. 연소 후 압력 5 bar에서 Mold의 강도는 충분하였으며 또 Gas-Air Mixing Fan의 RPM조절로 다짐강도를 조정할 수가 있다. 주물사의 강도와 균질성은 Compaction Speed에 비례하여 상승하며 이것이 Impaction Molding의 가장 큰 장점이다.

주물사 시편을 Ramming한것과 Squeezing한것의 Mold Strenght는 Ramming한것이 높다는 것에서 Impact Molding을 착상할 수 있었다. 어떤 일정한 Tensile Strenght에 도달하기 위해서 Impact Molding은 Squeeze Molding의 60%의 Compaction Pressure만으로 충분하였다.

Impact Molding에서는 금형이 좁고 길며 복잡한 형상에서도 Bottom Pressure나 Side Pressure 모두 Thixotrophy효과를 충분히 이용할 수 있었다. 따라서 주물제품은 치수정밀도가 높고 표면결함이 없는 우수한 제품을 얻을수가 있는 것이다.

Compaction Speed를 증가시킬수록

- 1) 금형이 좁고 깊은곳의 조형압력이 이상적으로 향상되며
- 2) 조형후 상부면과 금형부위간의 Compaction Pressure의 차이가 줄어들고
- 3) Side Pressure가 커지는데 이는 금형면으로 내려갈수록 그 효과가 크다.