

## 압출성형용 소지의 가소성과 연신율의 정량화

배원태<sup>†</sup> · 신동우\*

경상대학교 세라믹전공

\*(주)나노

(2002년 8월 29일 접수; 2002년 10월 15일 승인)

## Quantitative Evaluation of Plasticity and Extension for Extruding Body

Won Tae Bae<sup>†</sup> and Dong Woo Shin\*

Department of Ceramic Engineering, Gyeongsang National University, Chinju 660-701, Korea

\*NANO Corporation, Chinju 660-882, Korea

(Received August 29, 2002; Accepted October 15, 2002)

### 초 록

가소성 소지를 이용하여 세라믹을 성형하는 경우에 소지의 가소성 평가뿐만 아니라 이를 범위 내에서 제어하기 위하여도 가소성을 정량적으로 시험할 필요가 있다. 비록 많은 가소성 측정 장치들이 소개되기는 하였으나, 간편하게 정량적으로 측정할 수 있는 장치는 아직 없다. 본 연구에서는 바이카 침을 변형하여 허니컴 압출성형용 소지의 가소성을 간편하게 정량적으로 비교할 수 있는 장치를 만들었다. 이 장치를 사용하여 3가지 소지의 가소성을 조사하였다. 변형에 대한 저항의 측정에는 직경 2 mm 원주형 침을 사용하였고, 균열이 일어나기 전까지의 변형 량의 측정에는 직경 9.5 mm 구형의 침을 사용하였다. 측정결과 이 소지들의 가소성을 정량적으로 구분할 수 있었으며, 작업성을 평가하는데 유용하였다. 만약 적당한 직경의 원주형 및 구형의 침을 선택한다면 이 장치로 다양한 세라믹 소지의 가소성을 평가할 수 있을 것으로 보인다.

### ABSTRACT

When forming the ceramic body with plastic mass, it is needed that a quantitative testing method for plasticity, not only to evaluate the plasticity of a body, but also to control it within limits. Although many testing instruments were introduced, but no handy testing instrument for the plasticity quantitatively has been developed. In this study, modified vicat needle was designed to handily evaluate the plasticity of extruding bodies for honeycomb. The plasticity of three plastic masses was tested with this equipment. Columned needle with 2 mm diameter was adopted to measure the resistance for deformation and spherical needle with 9.5 mm diameter was adopted to measure the amount of deformation before cracking. The plasticity of three tested bodies were clearly distinguished quantitatively each other and the testing results were helpful to evaluate the workability of these bodies. Probably, it is possible to evaluate the plasticity of various ceramic bodies with this apparatus, if suitable diameters of columns and spheres are selected.

**Key words :** Quantitative evaluation, Plasticity, Extension, Extruding body

### 1. 서 론

압출성형에 사용하는 가소성 소지의 작업성, 보형성 및 연신율을 정량적으로 측정할 수 있다면 소지의 표준화에 매우 유용하다. 본 연구에서는 소지의 가소성과 연신율을 측정할 수 있는 방법을 모색하고, 이 방법에 적절한 장치를 개발하고자 한다. 가소성을 정량적으로 측정하기 위한 여러 가지 장치가 개발되었으나, 아직 만족할만한 측정

장치는 없으며, 표준화된 방법도 없다. 구조가 단순하면서도 정량적으로 소지의 가소성을 비교할 수 있는 장치를 개발함으로써 현장에서 쉽게 사용할 수 있도록 하고자 하였다.

소성흐름의 특성은 일반적인 stress-strain diagram<sup>1)</sup>에서 보는바와 같이 항복점과 최대신장을 나타내며, 전단응력에 대한 저항을 가지고 있다. 점토와 같이 가소성이 높은 천연광물의 stress-strain diagram은 소성흐름과 유사한 거동<sup>1)</sup>을 보여준다.

가소성이 큰 광물의 stress-strain diagram을 보면 ① 변형에 대한 저항은 stress가 있어도 strain이 0일 때이고 ② 항복점에 이를 때까지는 stress에 대한 strain이 일정하게 나

<sup>†</sup>Corresponding author : Won Tae Bae  
E-mail : wntaebae@gsnu.ac.kr  
Tel : +82-55-751-5328 Fax : +82-55-758-1987

타나며 ③ 최대신장은 균열이 일어나기 전까지의 strain임을 알 수 있다.

가소성의 크기<sup>1)</sup>는 변형에 대한 저항과 변형이 시작된 후 균열이 일어나기 전까지의 변형량의 합이다. 변형에 대한 저항은 성형 후 기물이 자중에 의하여 변형되지 않을 정도의 보형성을 가질 수 있는 높은 값을 가져야 하며, 균열이 일어나기 전까지의 변형량이 클수록 성형이 용이한 것으로 생각할 수 있다.

현재까지 알려진 가소성을 측정하기 위하여 사용하는 방법<sup>2-5)</sup>은 압축 시험, 인장 시험, 비틀림 시험이다. 이 중에서 가장 효과적인 시험방법은 비틀림 시험이지만 장치가 복잡하고 시판되는 장치도 없다.

따라서 본 연구에서는 가장 단순한 압축시험 장치인 바 이카 침을 변형하여 원주형 침과 구형 침을 장착한 장치를 만들어 소지의 가소성 측정에 적용시키고자 하였다. 가소성이 높은 점토와 같은 재료는 항복점까지는 응력에 대하여 일정한 변형성을 보인다. 시험하고자 하는 소지도 점토와 같은 거동을 보일 것으로 예상하여 원주형 침을 이용하여 하중에 따른 침입도를 측정하고, 하중과 침입도가 비례하여 증가하는 최고 하중을 구하여 가상항복점으로 하고 변형에 대한 저항성으로 하였다. 균열이 일어나기 전까지의 변형량과 연신율은 구형 침을 이용하여 하중을 가하고, 구형 침에 의해 생겨난 압흔의 주위에 동심원의 균열이 발생하기 전까지의 하중과 압흔의 체적을 측정하여 구하였다. 이 방법으로 얻어진 결과가 소지의 가소성을 정량적으로 비교할 수 있는 자료로 활용할 수 있는지의 여부를 검토하였다.

## 2. 실험방법

가소성의 크기는 변형에 대한 저항과 변형이 시작된 후 균열이 일어나기 전까지의 변형량의 합<sup>1)</sup>으로 나타낼 수 있다. 본 실험에서는 변형에 대한 저항(항복점)과 변형이 시작된 후 균열이 일어나기 전까지의 변형량(최대신장)을 측정하기 위한 장치를 구분하여 개발하고 이 장치가 현장에서 소지의 가소성을 정량적으로 비교하는데 활용될 수 있는지를 검토하였다.

### 2.1. 변형에 대한 저항성 측정

변형에 대한 저항성은 외력에 의하여 변형이 없는 최대하중과 하중에 의하여 일정비례의 변형을 나타내는 최대값을 측정하여야 한다. 그러나 실제로 이 값들을 동일한 장치로 측정하는 것은 어렵다.

하중을 변화시키면서 원주형 침을 압인하면 하중에 의하여 나타나는 침입도는 달라진다. 각 하중에서의 침입도를 측정하여 일정비례의 침입도를 나타내는 최대하중을 찾아 가장적인 항복점으로 하였다. 침입도가 0 mm인 하

중은 침입도를 측정한 결과를 도표로 작성한 후 외삽하여 계산하였다. 대조실험결과 직경 10 mm의 침으로 500 g 정도의 하중을 주면 시편의 표면에 거의 흔적을 남기지 않는 것으로 미루어 볼 때 실제로 변형이 전혀 일어나지 않는 하중은 매우 낮아 거의 원점에 가까운 것을 알

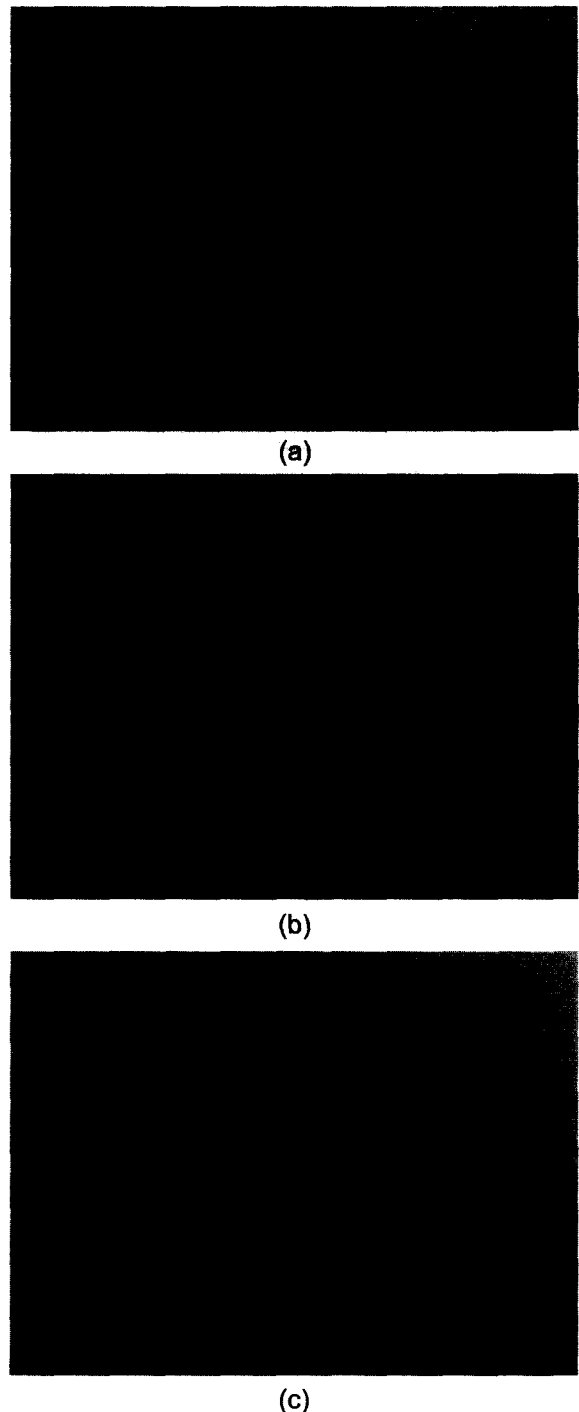


Fig. 1. Photographs of modified vicat apparatus and needles; (a) modified vicat apparatus, (b) columns, (c) spheres.

수 있었다. 따라서 외삽하여 얻은 결과는 실측값과는 많은 오차가 있지만 소지의 변형에 대한 저항성을 비교하기에는 무리가 없을 것으로 판단하였다. Fig. 1은 바이카 침을 변형하여 제작한 시험기의 사진이다.

**2.2. 균열이 일어나기 전까지의 변형량과 연신율**

외부응력에 대하여 침입도가 일정한 비율로 증가하다가 외부응력이 항복점을 넘으면 stress-strain 곡선에서 연신이 일어나는 영역에 속하게 되므로 침입도는 급속히 증가하게 될 것이다.

외부에서 응력을 주면 소지에 변형에 의한 압흔이 남게 된다. 균열이 생성되지 않는 최대하중에서의 압흔의 체적이 응력에 의한 변형량이다. 균열이 일어나기 전까지의 외력에 의한 변형량이 클수록 가소성은 높다. 시편에 하중을 가할 때 균열이 발생하는 것을 쉽게 확인할 수 있는 방법을 조사하기 위하여 원주, 원추 및 구를 압자로 사용하여 균열의 생성여부를 조사하였다(Fig. 1참조).

원주 및 원추형 침을 시편에 수직으로 침투시킨 결과 변형에 의한 균열의 발생을 확인하기 어려워 적용할 수 없었다. 시편을 45°로 절단하여 사면에 원추형 침을 침투시키면 하중에 의해 균열이 생성되는 순간을 확인할 수는 있으나, 압흔의 변형량을 구하기가 어려웠다. 구형의 침을 이용하여 하중을 가한 결과 하중이 높아짐에 따라 변형량이 커지면 압흔의 주위에 균열이 생성됨을 확인할 수 있었으며, 그때의 압흔의 부피도 쉽게 계산할 수 있었다.

연신율은 균열이 일어나기 전까지의 늘어난 길이를 측정하는 것이므로 압흔의 길이변화를 측정하면 가능하다. 이때 변형은 압축력에 의하여 발생된 것이므로 변형량과 연신율은 다른 측정방법(인장이나 비틀림)에 비하여 크게 나타날 것으로 생각되나 소지의 특성을 비교하기에는 문제가 없을 것으로 생각된다.

하중에 의한 구의 압흔을 간략하게 Fig. 2에 나타내었다.

반경, r의 구에 의하여 깊이, h의 압흔이 생기면 압흔의 체적

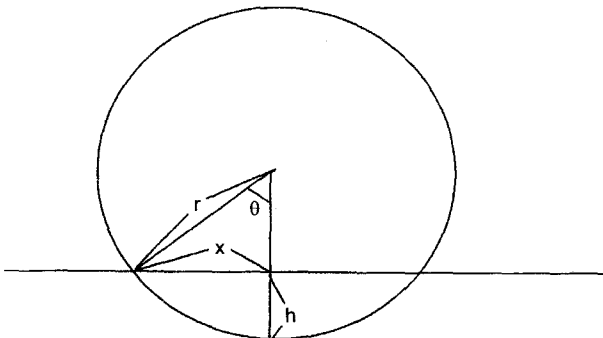


Fig. 2. Schematic diagram of indentation test.

$$V = \frac{1}{3}\pi h^2(3r-h) \tag{1}$$

이다.

압흔에 의하여 원의 직경 2x는 호의 길이로 늘어나므로 연신율

$$E = \frac{r\theta - x}{x} \times 100(\%) \tag{2}$$

로 나타낼 수 있다.

Fig. 1에 나타낸 장치는 압흔의 체적을 쉽게 계산할 수 있도록 압흔의 깊이를 0.01 mm 단위로 직접 측정할 수 있도록 제작된 것이다. 만약 소지의 유동성이 크다면 압흔의 주변이 솟아오를 수도 있으며, 이때는 압흔의 직경을 측정하기 어려우므로 깊이를 직접 측정하도록 개선하였다. 본 실험에서 사용한 소지는 유동성이 작아 이러한 문제는 발생하지 않았으며, 압흔의 직경을 측정하여 변형량을 계산하였다.

**3. 결과 및 고찰**

**3.1. 변형에 대한 저항성 측정 : 침입도시험**

가소성 소지들의 stress-strain diagram<sup>1)</sup>을 보면 변형이 일어나지 않는 응력은 0이거나 이보다 약간 크다. 따라서 응력에 대한 저항성은 넓은 면적에 걸쳐 적은 하중으로 측정하여야 한다. 그러기 위해서는 시료의 표면이 평활하여 균일한 하중을 받아야 하며, 하중에 의한 변형의 흔적이 균일하여야 한다. 실제 실험결과 직경 1 cm의 원주에 하중을 가하여 시편의 표면에 흔적이 남지 않는 하중의 크기는 현재 사용하고 있는 소지에서는 1 kg을 넘지 않으며, 시편의 표면이 완전하게 평활하지 않으므로 하중의 흔적도 균일하게 생기기 어렵다. 하중을 주는 단면적을 좁히면 하중도 함께 줄어들어야하므로 측정 장치가 가지는 축의 하중만으로도 과도한 하중이 될 수 있다. 따라서 이 변형에 대한 저항을 상대적으로 측정하고자 하였다.

바이카 장치를 변형하여 제작한 침입도 시험기에 직경 1 mm의 침을 장착하고 분동으로 하중을 가하여 10초간 침투한 거리를 측정하였다. 하중의 크기에 따라 침투거리는 변화하며, 하중에 대하여 일정한 비례로 침투깊이를 유지하는 최대하중이 변형에 대한 저항 값이라 볼 수 있다.

이 방법으로 변형에 대한 저항을 측정할 수 있는지를 실험하였다. Fig. 3은 직경 1 mm의 침을 사용하여 SHT-44(SHT-44는 시편을 제공한 회사의 표기이다) 시편에 하중을 100 g씩 늘리면서 10초간 침투한 깊이를 측정한 결과이다. 500 g까지는 일정한 침투깊이를 나타내지만 600 g이 되면 침투깊이가 늘어나기 시작한다. 이 실험에서는 시편의 가상항복점이 500 g인 것으로 볼 수 있으며 가상항복점은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

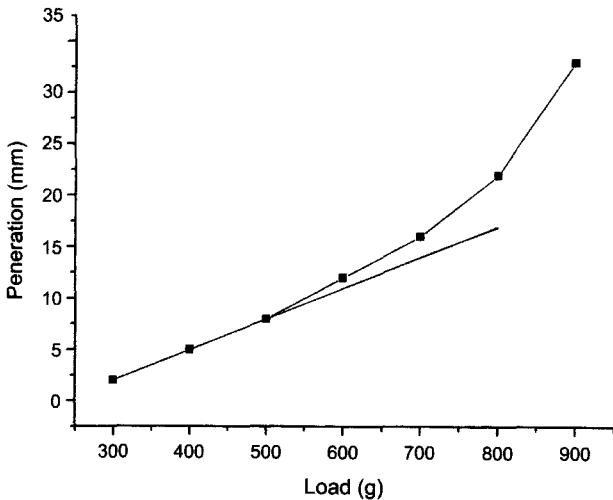


Fig. 3. Vicat penetration test of SHT-44 specimen with 1 mm diameter needle under various loading weight.

$$\begin{aligned} \text{가상 항복점} &= 500 \text{ g}/(\pi \times 1 \text{ mm}^2/4) = 636.6 \text{ g/mm}^2 \\ &= 63.7 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

추의 하중을 100g씩 증가시켰으므로 침투깊이가 비례적으로 나타나는 가상항복점은 500 g과 600 g 사이의 측정하지 않은 영역에 존재할 수도 있으므로 최대의 오차는 100 g의 하중에 해당하는 약 12.7 kg/cm<sup>2</sup>으로 비교적 크다. 이때의 침투깊이의 기울기는 6 mm/200 g이므로 30 mm/kg으로 나타낼 수 있다. 침투깊이 0 mm로 외삽한 하중은 233.3 g이므로 변형이 없는 최대하중은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{변형이 없는 최대하중} &= 233.3 \text{ g}/(\pi \times 1 \text{ mm}^2/4) = 297 \text{ g/mm}^2 \\ &= 29.7 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

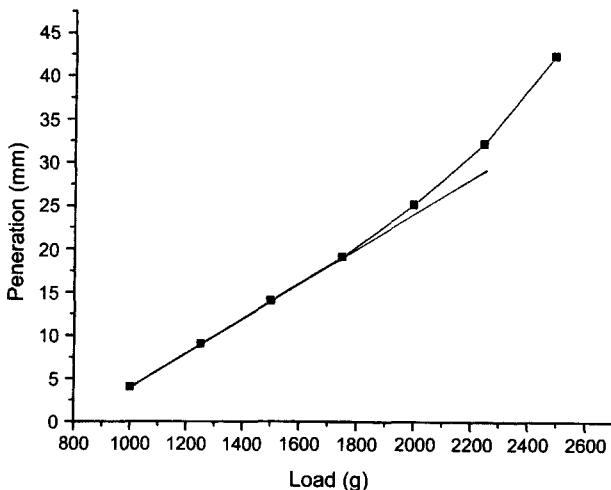


Fig. 4. Vicat penetration test of SHT-44 specimen with 2 mm diameter needle under various loading weight.

이다.

침의 직경을 증가시키면 하중을 받는 단면적을 증가시켜 오차를 줄일 수 있을 것으로 생각하여 직경 2 mm의 침을 장착하여 동일한 실험을 한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 그러나 이 경우에는 하중의 간격을 100 g으로 측정하기 어려워 250 g 간격으로 측정하였다.

앞서와 동일한 방법으로 계산하면

$$\begin{aligned} \text{가상 항복점} &= 1750 \text{ g}/(\pi \times 2 \text{ mm}^2/4) = 557 \text{ g/mm}^2 \\ &= 55.7 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

이때의 침투깊이의 기울기는 15 mm/750 g이므로 20 mm/kg으로 나타낼 수 있다. x축의 절편은 하중이 800 g일 때 침투깊이 0 mm이므로 변형이 없는 최대하중은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{변형이 없는 최대하중} &= 800 \text{ g}/(\pi \times 2 \text{ mm}^2/4) = 254.6 \text{ g/mm}^2 \\ &= 25.4 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

이다.

가상항복점은 측정하지 않은 1750 g과 2000 g 사이에 존재할 수도 있으므로 최대의 오차는 약 8 kg/cm<sup>2</sup>으로 앞서의 결과에 비하여는 약간 줄었으며, 가상항복점이나 변형에 대한 저항 값도 약간 적어졌음을 알 수 있다.

침투실험으로부터 외삽하여 구한 변형에 대한 저항 값(25.4 kg/cm<sup>2</sup>)은 실측값(1 kg/cm<sup>2</sup> 이하)과 많은 차이가 있음을 알 수 있다. 위의 결과를 보면 침의 직경이 커질수록 측정값이 감소함을 알 수 있으며, 침의 직경을 계속 증가시키면서 침투실험으로 얻은 변형에 대한 저항 값이 실제 침투깊이가 0 mm인 최대하중 값과 일치할 때까지 장치를 계속 확대한다면 외삽한 값과 실측값을 같게 할 수 있을 것이다. 그러나 침의 직경이 2배가 되면 침투깊이를 측정하는데 필요한 하중은 4배가 되므로 외력에 의한 변형이 없는 최대하중을 실측하기 위하여 침의 직경을 증가시킨다면 침투깊이를 측정하기 위해서는 매우 큰 하중을 줄 수 있는 장치가 필요하다. 따라서 현장에서 손쉽게 시편의 가소성을 정량적으로 비교하기에는 직경 2 mm 침을 사용하여도 무리는 없을 것으로 판단된다.

위의 실험결과를 요약하면 변형이 없는 최대하중은 침투깊이 0 mm에서의 하중값을 나타내는 것이며, 가상항복점은 침투깊이가 일정하게 늘어나는 최대하중을 나타내며, 일정비례의 침투깊이는 stress-strain diagram에서의 원점에서 항복점에 이르는 기울기의 역수를 나타낸다.

이 장치가 현장에서 유용하게 사용될 수 있는지를 알기 위하여 3종의 시편에 대하여 직경 2 mm 침으로 실험한 결과를 Figs. 5와 6 및 Table 1에 나타내었다. SHT49와 SHT50-1은 조성은 다르지만 첨가한 물의 양이 동일하며, SHT50-1과 SHT50-2는 동일한 조성에 첨가한 물의 양만 달랐던 것이다.

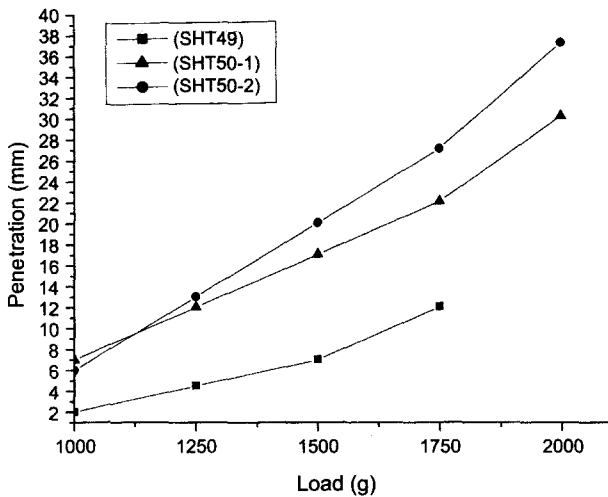


Fig. 5. Vicat penetration test of specimens with 2 mm diameter needle under various loading weight.

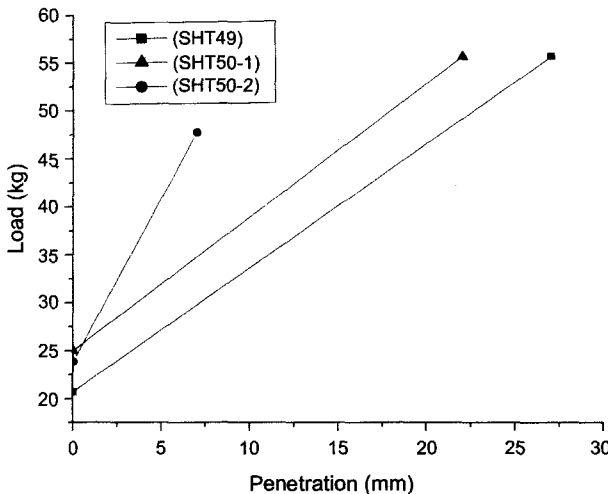


Fig. 6. Load(stress)-penetration(strain) diagram of linearly changed part of vicat penetration test of specimens with 2 mm diameter needle.

Table 1. Summary of Vicat Penetration Test of Specimens with 2 mm Diameter Needle under Various Loading Weight

Specimen No.	Resistance to Deformation (kg/cm <sup>2</sup> )	Peneration Length pre unit Load (mm/kg)	Hypothetical Yield Point (kg/cm <sup>2</sup> )
SHT49	23.87	10	47.8
SHT50-1	20.69	20	55.7
SHT50-2	24.99	28	55.7

Fig. 5의 각 선을 외삽하여 얻은 x축의 절편의 하중을 침의 단위면적으로 나눈 값으로 변형이 없는 최대응력 (Table 1의 변형에 대한 저항성 참조)이며, 그 결과는 SHT50-2, SHT49, SHT50-1의 순으로 나타났다. 그러나 이

값은 앞서 언급한 바와 같이 실측치와는 큰 차이를 보이며, 실험에서 얻은 결과도 약 20 kg/cm<sup>2</sup> 정도로 유사하므로 소지간의 차이는 별로 없는 것으로 판단된다. 낮은 하중에서의 침투깊이는 시편의 표면 경도와 연관되므로 시편의 표면이 건조되면 침투거리가 짧아진다. 따라서 시편의 보관 및 측정조건을 동일하게 유지하는 것이 중요하다.

항복점에 도달할 때까지의 하중에 따른 침투깊이(Fig. 5의 직선부의 기울기 및 Table 1의 단위하중당의 침투깊이 참조)는 SHT50-2, SHT50-1, SHT49의 순으로 나타나며, 특히 SHT49는 SHT50 계열의 소지에 비하여 단위하중당의 침입도가 낮아 비교적 유동성이 작은 소지임을 알 수 있다. SHT50-2는 SHT50-1에 함수량을 증가시킨 소지이다. 함수율이 높아짐에 따라 침입도는 증가하는 것으로 나타나며, 함수율이 높아지면 소지의 유동성이 커지는 것을 알 수 있다.

가상 항복점(Table 1의 가상항복점 계산치 참조)은 SHT50-1과 SHT50-2는 같고 SHT49가 조금 낮게 나타났다. 그러나 이 값들은 50 kg/cm<sup>2</sup> 내외로 나타나 성형후의 보형성은 유사할 것으로 판단된다.

### 3.2. 외력에 의한 변형량과 연신율 : 압흔실험

균열이 일어나기 전까지의 외력에 의한 변형량이 클수록 연신율은 크게 나타나며 가소성은 높다. 그러나 높은 하중에서 변형량이 크다면 성형하는데 큰 힘이 소요된다. 작업성은 작은 하중에서 변형량이 클수록 좋다.

이 실험으로 변형량과 연신율의 측정이 가능한지를 알기 위하여 SHT44 시편에 직경 6.5 mm의 구형 침을 사용하여 압인실험을 하였다. 실험결과 3 kg의 하중에서 10초 압인하면 압흔과 동심원을 이루면서 균열이 발생함을 확인할 수 있었다. 이때 압인된 흔적의 직경을 측정하면 5.5 mm이고 구의 직경이 6.5 mm이므로 피타고라스 정리에 따라 h=1.518 mm이다.

식(2)에 따라 변형된 체적을 계산하면 V = 19.86 mm<sup>3</sup>이다.

단위하중당의 변형량은

$$\frac{V}{P} = 19.86 \text{ mm}^3 / 3 \text{ kg} = 6.62 \text{ mm}^3 / \text{kg}$$

연신율은

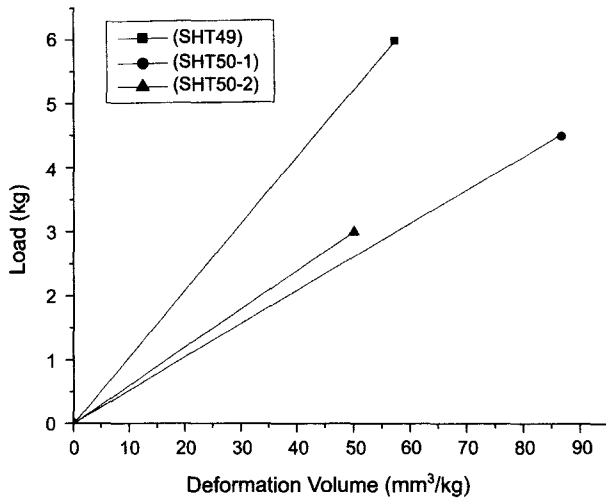
$$E = [(3.25 \times 0.322\pi - 2.75) / 2.75] \times 100 = 19.6\%$$

이다.

이러한 값들은 하중을 500 g씩 증가시켰기 때문에 오차가 있을 것으로 판단된다. 특히 연신율은 압축응력 하에서 구해진 값이므로 인장응력 하에서 구해진 값보다 크게 나타날 것으로 생각되지만 소지의 가소성을 비교하기에는 무리가 없을 것으로 판단된다.

**Table 2.** Summary of Indentation Test of Specimens with 9.5 mm Diameter Spherical Needle under Various Loading Weight

Specimen No.	Load for creation of crack (kg)	Diameter of Indentation Mark 2×(mm)	Depth of Indentation Mark h (mm)	Volume of Indentation Mark (mm <sup>3</sup> )	Indentation Volume per unit Load (mm <sup>3</sup> /kg)	Maximum Extension (%)
SHT49	6	8.5	2.63	84.16	14.03	37.6
SHT50-1	4.5	8.55	2.67	86.45	19.21	38.1
SHT50-2	3	7.7	1.97	49.90	16.64	29.6



**Fig. 7.** Stress(load)-strain(deformation volume) diagram of indentation test of specimens with 9.5 mm diameter spherical needle under various loading weight.

압흔의 주위에 균열을 생성시킬 수 있는 구의 크기는 압흔의 주변부는 구에 의하여 꺾임이 발생하며 꺾이는 각은 구의 침입도에 따른 곡율이 되므로 구의 직경과는 무관하다. 그러나 실험결과 구의 직경이 클수록 균열을 관찰하기가 용이함을 알 수 있었다.

이 실험의 결과로 나타나는 압흔의 부피는 최대 변형량, 단위 질량당의 체적변화율은 stress-strain 곡선에서 연신의 기울기를 나타내는 것으로 생각할 수 있다.

이 장치가 소지의 변형량을 정량적으로 구분할 수 있는지를 알기 위하여 앞서 침입도를 시험한 3종의 시편에 대하여 직경 9.5 mm 구형 침으로 압인 실험한 결과를 Table 2와 Fig. 7에 나타내었다.

Table 2의 압인실험 결과를 보면 SHT49는 6 kg의 하중으로 직경 8.5 mm의 압흔을 남기며, SHT50-1은 4.5 kg의 하중에서 직경 8.55 mm의 압흔을 남기고, SHT50-2는 3 kg의 하중에서 직경 7.7 mm의 압흔을 남긴다.

SHT49는 단위하중에 의한 변형량은 작지만 전체 변형량은 크기 때문에 성형성은 좋을 것으로 생각되나 성형에 많은 동력이 필요함을 알 수 있다. SHT50-1은 SHT49에 비하여 단위하중에 의한 변형량이 크고 전체 변형량도 크기 때문에 SHT49에 비하여 낮은 동력으로도 성형

이 가능함을 알 수 있다.

SHT50-2는 3가지 시편 중에서 가장 낮은 하중에서 변형이 일어나지만 적은 변형에서 균열이 생겨나므로 성형하기 가장 어려움을 알 수 있다. SHT50-1에 비하여 많은 물을 함유하므로 단위하중당의 변형량도 높게 나타날 것으로 생각되지만 오히려 낮게 나타난 것은 균열이 생성된 후 압흔을 측정하였기 때문에 생겨난 오차인 것으로 판단되며, 압흔은 균열이 생성되기 직전에 측정하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

압인실험 결과를 도시하면 Fig. 7과 같다. 직선의 기울기가 클수록 성형에 많은 동력이 필요하며, 기울기가 낮을수록 그 반대이다. 낮은 하중에서 가장 큰 변형량을 보이는 SHT50-1 시편의 성형성이 가장 양호할 것으로 판단된다. SHT50-2의 경우는 함수량이 과다하여 유동성이 상대적으로 크고 쉽게 변형되지만 적은 변형이 일어나도 균열이 생길 수 있음을 보여준다. 따라서 이 시편은 성형성과 보형성을 관찰하여 이 조건에서도 성형이 가능하고 성형 후 기물이 자중에 의하여 변형되지 않는다면 SHT50-1에 비하여 유리한 성형조건을 가지는 것으로 생각할 수 있으나, 그렇지 못하다면 함수량을 조금씩 줄여가야 할 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

바이카 장치를 변형하여 압출성형용 소지에 대하여 침입도와 압인 실험을 행하여 소지의 가소성과 연신율을 정량적으로 측정하여 보았다. 침입도와 압인 시험에 사용하는 침의 직경에 따라 변형에 대한 저항, 가상 항복점, 변형량 및 연신율의 측정값은 달라지지만 그 경향은 같이 나타나므로 소지의 상대적인 가소성을 정량적으로 비교할 수 있었다.

본 실험에 사용한 소지의 경우 원주형 침의 직경은 2 mm, 구형 침의 직경은 10 mm 정도가 적합하며, 이보다 큰 침을 사용하면 하중이 커져야 하므로 측정 장치가 커지게 되어 적합하지 않다. 압출성형용 소지의 가소성은 그리 높지 않으므로 가소성이 높지 않은 원료를 사용하는 소지에 응용하기에는 문제가 없을 것으로 판단된다. 현장에서 사용하는 소지에 대하여 이 장치로 측정한 결과를 수집하고 실제 작업성과 대조한다면 성형을 위한 소지의 제어조건을 확립할 수 있을 것으로 기대된다.

### 감사의 글

이 논문은 2002년 (주)나노의 연구비 지원에 의하여 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

### REFERENCES

1. F. H. Norton, *Fine Ceramics*; pp. 132-39, McGraw-Hill, New York, 1970.
2. E. O. Wilson, "Plasticity of Finely Ground Minerals with Water," *J. Am. Ceram. Soc.*, **19** [4] 115-20 (1936).
3. F. H. Norton, *Element of Ceramics*; pp. 77-80, Addison-Wesley Press, Cambridge, Massachusetts, 1952.
4. H. H. Greger and M. Breg, "Instrument for Measuring Workability of Clay-water Systems," *J. Am. Ceram. Soc.*, **39** [3] 98-103 (1956).
5. Ceramic Society of Japan, *Ceramic Engineering Handbook (in Jpn.)* pp. 1409-13. Gihodo Shuppan Co., Ltd., Tokyo, 1989.