

PART
IV

식물성 대체식품의 품질분석의 이해

1. 식물성 대체육(TVP) 품질분석의 필요성
2. 식물성 원료 및 대체육(TVP) 품질분석법

IV

식물성 대체식품 품질분석의 이해

1. 식물성 대체육 품질분석의 필요성

식물성 대체육 제조 시에 주요 원료로 사용되는 식물성 단백질의 품질특성은 최종제품의 이화학적 및 기능적 품질에 중대한 영향을 미친다.

따라서, 고품질의 식물성 대체육을 제조하기 위해서는 사용하고자 하는 식물성 단백질 원료의 품질분석이 선행되어야 하며, 분석 결과를 기반으로 원료들의 최적 조합과 공정 변수를 확립하여야 한다.

식물성 단백질의 품질분석 항목으로는 수분함량, 수분 흡수력, 유지 흡수력, 기계적 색도, 유화 활성, 유화안정성이 등이 있다.

한편, 최종제품인 식물성 대체육의 품질지표는 수분함량, 기계적 색도, 총 가용성 물질, 조직감, 시각적 외관, 횡단 및 종단 절단 강도, 조직화 정도 등이 있다. 다음 장부터는 이러한 품질지표 분석법에 대해 소개하고자 한다.

2. 식물성 원료 및 대체육(TVP) 품질분석법

1. 수분함량

1) 분석대상

단백질 원료 및 저수분/고수분 TVP

2) 주요 원리

시료를 물의 끓는점(100°C)보다 약간 더 높은 온도인 105°C에서 상압 가열건조시켜 검체 내부의 수분을 열을 통해 증발시키는 원리를 기반으로 한다. 수분함량은 검체의 초기 무게와 건조 후의 무게 차이로 계산된다.

3) 기구 및 장비

(1) 기구: 시약스푼, 도가니, 도가니 집게

(2) 장비: 정밀저울, 데시케이터, 드라이 오븐

기구	시약스푼	도가니	도가니 집게
	 출처: 올포랩	 출처: 올포랩	 출처: 올포랩
장비	정밀저울	데시케이터	드라이오븐
	 출처: 올포랩	 출처: 올포랩	 출처: 올포랩

4) 실험방법

(1) 사전 준비사항

- ① 최소 6시간 전 드라이 오븐을 105°C로 셋팅하여 안정화시킨다.
- ② 데시케이터 밑부분에 실리카겔을 채워 넣는다.
- ③ 시료가 저수분/고수분 TVP일 경우, 원활한 건조를 위해 검체를 적당한 크기로 부수거나 자른다.

(2) 칭량접시 사전 준비

- ① 도가니에 네임펜으로 시료의 명칭을 기입한다.
- ② 도가니를 105°C의 드라이 오븐에 넣어 도가니 내부의 수분이 모두 증발할 때까지 충분히(최소 3시간 이상) 가열건조한다.
- ③ 건조시킨 도가니를 도가니 집계를 이용하여 꺼낸 후 데시케이터에 넣어 항량이 될 때까지 충분히(최소 30분 이상) 방냉한다.
- ④ 방냉이 완료된 후 데시케이터에서 도가니를 꺼내 이의 무게를 측정하여 기록한다.
- ⑤ 도가니를 다시 105°C 드라이 오븐에 넣어 1시간 정도 가열건조한다.
- ⑥ 건조시킨 도가니를 데시케이터에 넣어 항량이 될 때까지 충분히(최소 30분 이상) 방냉한다.
- ⑦ 방냉이 완료된 후 데시케이터에서 도가니를 꺼내 이의 무게를 측정하여 기록한다.
- ⑧ ④와 ⑤ 단계에서 측정한 도가니의 무게차가 ④ 단계에서 측정한 무게의 0.1% 이하가 될 때까지 ⑤~⑦ 단계를 반복한다.
- ⑨ 최종적으로 항량이 완료된 도가니의 무게를 기록한다.

(※ 주의사항: 항량된 도가니를 외부환경에서 보관하면 외부 공기의 습기를 흡수하여 도가니의 무게가 변하므로 실험 직전까지 도가니를 데시케이터 내부에 보관한다.)

(3) 수분함량 측정

- ① 정밀저울의 영점을 맞춘 후 항량시킨 도가니를 올린다.
- ② 도가니에 시료를 3g 정도 달아 도가니와 시료를 합친 무게를 기록한다.
- ③ 시료가 담긴 도가니를 105°C의 드라이 오븐에 넣어 시료 내부의 수분이 모두 증발할 때까지 충분히(최소 3시간 이상) 가열건조한다.

- ④ 시료가 들어있는 도가니를 꺼내 데시케이터에 넣어 항량이 될 때까지 충분히(최소 30분 이상) 방냉한다.
- ⑤ 방냉이 완료된 후 데시케이터에서 시료가 들어있는 도가니를 꺼내 이의 무게를 측정하여 기록한다.
- ⑥ 시료가 들어있는 도가니를 다시 105°C의 드라이 오븐에 넣어 1시간 정도 가열 건조한다.
- ⑦ 시료가 들어있는 도가니를 꺼내 데시케이터에 넣어 항량이 될 때까지 충분히(최소 30분 이상) 방냉한다.
- ⑧ 방냉이 완료된 후 데시케이터에서 시료가 들어있는 도가니를 꺼내 이의 무게를 측정하여 기록한다.
- ⑨ 시료가 들어있는 도가니 무게가 항량이 될 때까지 ⑥~⑧ 단계를 반복한다.
- ⑩ 최종적으로 항량이 완료된 시료가 들어있는 도가니의 무게를 기록한다.
- ⑪ 아래의 계산식을 이용하여 수분함량을 계산하고, 3반복 하여 평균값을 구한다.

5) 계산식

$$\text{수분함량 (\%, w/w)} = \frac{\text{건조 전 전체 무게(mg)} - \text{건조 후 전체 무게(mg)}}{\text{건조 전 전체 무게(mg)} - \text{도가니 무게(mg)}} \times 100$$

해당 식에서 '무게'란 모두 항량이 완료된 값을 의미한다. '전체 무게'란 시료가 들어있는 도가니의 총 무게로, 시료의 무게와 도가니의 무게를 합한 값이다. '건조 전 전체 무게-건조 후 전체 무게'는 건조 가열에 의해 시료에서 증발된 수분의 무게를, '건조 전 전체 무게-도가니 무게'는 건조 전 시료의 무게를 나타낸다. 이를 정리하면 아래와 같다.

전체 무게(mg)	시료가 들어있는 도가니의 무게로, 시료의 무게와 도가니의 무게를 합한 값
건조 전 전체 무게(mg)- 건조 후 전체 무게(mg)	건조가열에 의해 시료에서 증발된 수분의 무게
건조 전 전체 무게(mg)- 도가니 무게(mg)	건조 전 시료의 무게

2. 수분흡수력

1) 분석대상

단백질 원료 및 저수분/고수분 TVP

2) 주요 원리

수분 흡수력을 통해 단백질 원료의 수분 유지력과 단백질 겔을 형성할 수 있는 특성을 확인할 수 있다. 수분 흡수력은 단백질 분자의 구조적 특성, 단백질 분자내 아미노산의 친수성 및 소수성의 균형을 포함한 다양한 매개 변수에 영향을 받는다. 대안육(TVP)의 수분 흡수력이 높을수록 육즙이 많다고 해석할 수 있다.

3) 기구 및 장비

(1) 기구: 코니칼 튜브(50 mL, SPL 50150), 메스실린더(10 mL, 50 mL), 시약스푼, 비커, 마이크로피펫, 여과지, 칭량접시, 칭량접시(41×41 mm), 단면도(면도칼), 타이머, 증류수

(2) 장비: 원심분리기, 정밀저울, 볼텍스, 믹서기

	코니칼튜브	메스실린더	시약스푼	비커
기구				
	출처: 올포랩	출처: 올포랩	출처: 올포랩	출처: 올포랩
	마이크로피펫	여과지	칭량접시	단면도(면도칼)
				
출처: 올포랩	출처: 올포랩	출처: 올포랩	출처: 올포랩	
장비	정밀저울	원심분리기	볼텍스	믹서기
				
	출처: 올포랩	출처: 올포랩	출처: 올포랩	출처: 올포랩

4) 실험방법

(1) 사전 준비사항

- ① (저수분 TVP) 시료를 2 cm 정도의 길이로 잘라 준비한다
(※ 시료는 수화된 상태가 아닌 건조된 상태의 것을 이용한다).
- ② (고수분 TVP) 믹서기를 이용하여 시료를 잘게 분쇄한다
(※ 시료를 다지는 수준으로 적당히 분쇄해야 하며, 너무 오랜시간 동안 분쇄하여 한 덩어리로 뭉치는 일이 없도록 한다).

(2) 수분흡수력측정(단백질 원료)

- ① 코니칼 튜브에 시료들의 명칭과 반복수에 따른 순번을 기입한다.
- ② 정밀저울에 뚜껑을 제외한 빈 코니칼 튜브를 올린 후 영점을 잡는다. 이때, 사용되는 코니칼 튜브가 스탠딩 타입이 아닐 경우에는 코니칼을 세워둘 수 있는 코니칼 튜브 랙을 이용한다.
- ③ 빈 코니칼 튜브에 단백질 원료를 0.5 g 정도 넣은 후 정확한 무게를 기록한다.
- ④ 마이크로 피펫(5 mL 또는 10 mL 용량)을 이용하여 증류수 10 mL를 시료가 담긴 코니칼 튜브에 넣은 후 코니칼 튜브의 뚜껑을 닫는다.
- ⑤ 증류수와 시료가 들어있는 코니칼 튜브를 1분 동안 볼텍싱 하여 시료와 증류수를 균일하게 혼합하여 준다. 이때, 타이머를 이용하여 정확히 1분을 측정한다.
- ⑥ 볼텍싱 후, 상온에서 최소 30분 ~ 1시간 동안 방치한다. 방치 시간은 모든 시료가 동일해야 한다.
- ⑦ 원심분리기를 이용하여 8,000 rpm 및 상온 조건에서 30분간 원심분리한다.
- ⑧ 원심분리 후, 단백질 원료에 흡수되지 않은 증류수(상등액)는 비커에 부어 1차 제거한다. 이때, 원심분리를 완료한 직후 바로 상등액을 제거해야 함에 유의해야 한다. 만약 원심분리 후 상등액을 제거하지 않은 채로 시료를 이동시키거나 오랜 시간 방치한다면, 침전물의 상부와 상등액이 다시 혼합되는 문제가 발생할 수 있음에 주의한다.
- ⑨ 상등액 1차 제거 후, 30초 정도 방치한 뒤에 발생하는 잔여 상등액을 마이크로 피펫(1 mL 이하의 팁 사용을 추천)을 이용하여 2차 제거한다. 이때, 상등액을 피펫으로 너무 빠르게 흡입하면 침전물도 함께 흡입될 수 있으므로 조심스럽게 천천히 흡입하여야 함에 유의한다.

- ⑩ 정밀저울의 영점을 맞춘 후 내부의 시료가 원심분리된 코니칼 튜브(뚜껑제외)의 무게를 측정 후 기록한다.
- ⑪ 측정값을 기반으로 단백질 원료의 수분흡수력을 구하고 최소 3반복이상 실험하여 평균을 구한다.

(3) 수분흡수력 측정(저수분 TVP)

- ① 칭량접시에 시료들의 명칭과 반복수에 따른 순번을 네임펜으로 기입한다.
- ② 저수분 TVP 무게 측정을 위해 정밀저울에 시료의 명칭과 반복수가 기입된 빈 칭량 접시를 올려놓은 후 영점을 잡는다.
- ③ 칭량접시에 2 cm 크기로 잘라놓은 저수분 TVP 시료 1개를 올려놓은 후 무게를 기록한다.
- ④ 메스실린더 또는 피펫 컨트롤러를 이용하여 증류수 50 mL를 측정한 후 시료가 들어있는 칭량접시에 넣어, 증류수에 시료가 잠기게 한다.
- ⑤ 상온에서 최소 30분 이상 ~1시간 이내로 방치한다. 상온 방치 중, 시약스폰이나 핀셋을 활용하여 1~2번 뒤집어 시료에 증류수가 전체적으로 흡수될 수 있게 한다.
- ⑥ 저수분 TVP의 내부에 흡수되지 못하고 겉부분에 묻어있는 증류수를 제거하기 위해 1장의 여과지에 시료를 올려놓고 다른 여과지로 덮어 30초 동안 여과지에 증류수를 흡수시킨다. 이때, 여과지의 크기는 시료의 크기보다 커야 한다.
- ⑦ 정밀저울의 영점을 잡은 후 증류수가 흡수된 시료의 무게를 측정하여 기록한다.
- ⑧ 측정값을 기반으로 저수분 TVP의 수분흡수력을 구하고 최소 3반복이상 실험하여 평균을 구한다.

(4) 수분흡수력 측정(고수분 TVP)

- ① 코니칼 튜브에 시료들의 명칭과 반복수에 따른 순번을 기입한다.
- ② 정밀저울에 뚜껑을 제외한 빈 코니칼 튜브를 올린 후 영점을 잡는다. 이때, 사용되는 코니칼 튜브가 스탠딩 타입이 아닐 경우에는 코니칼을 세워둘 수 있는 코니칼 튜브 랙을 이용한다.

- ③ 빈 코니칼 튜브에 고수분 TVP를 0.5 g 정도 넣은 후 정확한 무게를 기록한다.
- ④ 마이크로 피펫(5 mL 또는 10 mL 용량)을 이용하여 증류수 10 mL를 시료가 담긴 코니칼 튜브에 넣은 후 코니칼 튜브의 뚜껑을 닫는다.
- ⑤ 증류수와 시료가 들어있는 코니칼 튜브를 1분 동안 볼텍싱 하여 시료와 증류수를 균일하게 혼합하여 준다. 이때, 타이머를 이용하여 정확히 1분을 측정한다.
- ⑥ 볼텍싱 후, 상온에서 최소 30분 ~ 1시간 동안 방치한다. 방치 시간은 모든 시료가 동일해야 한다.
- ⑦ 원심분리기를 이용하여 8,000 rpm 및 상온 조건에서 30분간 원심분리 한다.
- ⑧ 원심분리 후, 고수분 TVP에 흡수되지 않은 증류수(상등액)는 비커에 부어 1차 제거한다. 이때, 원심분리를 완료한 직후 바로 상등액을 제거해야 함에 유의해야 한다. 만약 원심분리 후 상등액을 제거하지 않은 채로 시료를 이동시키거나 오랜 시간 방치한다면, 침전물의 상부와 상등액이 다시 혼합되는 문제가 발생할 수 있음에 주의한다.
- ⑨ 상등액 1차 제거 후, 30초 정도 방치한 뒤에 발생하는 잔여 상등액을 마이크로 피펫 (1mL 이하의 팁 사용을 추천)을 이용하여 2차 제거한다. 이때, 상등액을 피펫으로 너무 빠르게 흡입하면 침전물도 함께 흡입될 수 있으므로 조심스럽게 천천히 흡입하여야 함에 유의한다.
- ⑩ 정밀저울의 영점을 맞춘 후 내부의 시료가 원심분리된 코니칼 튜브(뚜껑제외)의 무게를 측정 후 기록한다.
- ⑪ 측정값을 기반으로 고수분 TVP의 수분흡수력을 구하고 최소 3반복이상 실험하여 평균을 구한다.

5) 계산식

$$\text{수분흡수력(\%)} = \frac{a - b}{\text{시료무게(g)}} \times 100$$

※ 원심분리 후 코니칼 튜브 무게 - 빈 코니칼 튜브 무게 = 수분을 흡수한 시료의 무게

a : 원심분리후 코니칼튜브 무게(g)

b : 빈 코니칼튜브 무게(g)

3. 유지흡수력

1) 분석 대상

단백질 원료 및 저수분/고수분 TVP

2) 주요 원리

유지흡수력은 시료 내 친유성 아미노산과 유지와의 결합 정도를 측정하는 것으로, 식물성 단백질 원료의 유지흡수력은 소수성, 비공유결합과 같은 단백질 분자와 지질의 상호작용에 영향을 받으므로 친유성 아미노산의 함량이 높은 경우 높은 유지흡수력을 나타낼 수 있다. 또한, TVP의 유지흡수력은 지방함량과 관련된 고기의 식감, 풍미, 캐러멜화 등에 영향을 줄 수 있으며, 유지흡수력이 높으면 산패할 확률이 높아져 TVP 완제품 유통에 영향을 미칠 수 있다.

3) 기구 및 장비

(1) 기구: 코니칼튜브(50 mL, SPL 50150), 메스실린더(10 mL, 50 mL), 시약스폰, 비커, 마이크로피펫, 여과지, 칭량접시, 단면도(면도칼), 타이머, 오일(카놀라유)

(2) 장비: 원심분리기, 정밀저울, 볼텍스, 믹서기

	코니칼튜브	메스실린더	시약스폰	비커
기구				
	출처: 올포럼	출처: 올포럼	출처: 올포럼	출처: 올포럼
	마이크로피펫	여과지	칭량접시	단면도(면도칼)
				
	출처: 올포럼	출처: 올포럼	출처: 올포럼	출처: 올포럼
장비	정밀저울	원심분리기	볼텍스	믹서기
				
	출처: 올포럼	출처: 올포럼	출처: 올포럼	출처: 올포럼

4) 실험방법

(1) 사전 준비사항

- ① (저수분TVP) 시료를 2 cm 정도의 길이로 잘라 준비한다(※ 시료는 수화된 상태가 아닌 건조된 상태의 것을 이용한다).
- ② (고수분TVP) 믹서기를 이용하여 시료를 잘게 분쇄한다(※ 시료를 다지는 수준으로 적당히 분쇄해야 하며, 너무 오랜시간 동안 분쇄하여 한 덩어리로 뭉치는 일이 없도록 한다).

(2) 유지흡수력 측정(단백질 원료)

- ① 코니칼 튜브에 시료들의 명칭과 반복수에 따른 순번을 기입한다.
- ② 정밀저울에 뚜껑을 제외한 빈 코니칼 튜브를 올린 후 영점을 잡는다. 이때, 사용되는 코니칼 튜브가 스탠딩 타입이 아닐 경우에는 코니칼을 세워둘 수 있는 코니칼 튜브 랙을 이용한다.
- ③ 빈 코니칼 튜브에 단백질 원료를 0.5 g 정도 넣은 후 정확한 무게를 기록한다.
- ④ 마이크로 피펫(5 mL 또는 10 mL 용량)을 이용하여 오일 10 mL를 시료가 담긴 코니칼 튜브에 넣은 후 코니칼 튜브의 뚜껑을 닫는다.
- ⑤ 오일과 시료가 들어있는 코니칼 튜브를 1분 동안 볼텍싱 하여 시료와 오일을 균일하게 혼합하여 준다. 이때, 타이머를 이용하여 정확히 1분을 측정한다.
- ⑥ 볼텍싱 후, 상온에서 최소 30분 ~ 1시간 동안 방치한다. 방치 시간은 모든 시료가 동일해야 한다.
- ⑦ 원심분리기를 이용하여 8,000 rpm 및 상온 조건에서 30분간 원심분리 한다.
- ⑧ 원심분리 후, 단백질 원료에 흡수되지 않은 오일(상등액)은 비커에 부어 1차 제거한다. 이때, 원심분리를 완료한 직후 바로 상등액을 제거해야 함에 유의해야 한다. 만약 원심분리 후 상등액을 제거하지 않은 채로 시료를 이동시키거나 오랜 시간 방치 한다면, 침전물의 상부와 상등액이 다시 혼합되는 문제가 발생할 수 있음에 주의 한다.
- ⑨ 상등액 1차 제거 후, 30초 정도 방치한 뒤에 발생하는 잔여 상등액을 마이크로 피펫 (1mL 이하의 팁 사용을 추천)을 이용하여 2차 제거한다. 이때, 상등액을 피펫으로 너무 빠르게 흡입하면 침전물도 함께 흡입될 수 있으므로 조심스럽게 천천히 흡입 하여야 함에 유의한다.

- ⑩ 정밀저울의 영점을 맞춘 후 내부의 시료가 원심분리된 코니칼 튜브(뚜껑제외)의 무게를 측정 후 기록한다.
- ⑪ 측정값을 기반으로 단백질 원료의 유지흡수력을 구하고 최소 3반복이상 실험하여 평균을 구한다.

(3) 유지흡수력 측정(저수분 TVP)

- ① 칭량접시에 시료들의 명칭과 반복수에 따른 순번을 네임펜으로 기입한다.
- ② 저수분 TVP 무게 측정을 위해 정밀저울에 시료의 명칭과 반복수가 기입된 빈 칭량 접시를 올려놓은 후 영점을 잡는다.
- ③ 칭량접시에 2 cm 크기로 잘라놓은 저수분 TVP 시료 1개를 올려놓은 후 무게를 기록한다.
- ④ 메스실린더 또는 피펫 컨트롤러를 이용하여 오일 50 mL를 측정 후 시료가 들어 있는 칭량접시에 넣어, 오일에 시료가 잠기게 한다.
- ⑤ 상온에서 최소 30분 이상 ~1시간 이내로 방치한다. 상온 방치 중, 시약스폰이나 핀셋을 활용하여 1~2번 뒤집어 시료에 오일이 전체적으로 흡수될 수 있게 한다.
- ⑥ 저수분 TVP의 내부에 흡수되지 못하고 겉부분에 묻어있는 오일을 제거하기 위해 1장의 여과지에 시료를 올려놓고 다른 여과지로 덮어 30초 동안 여과지에 오일을 흡수시킨다. 이때, 여과지의 크기는 시료의 크기보다 커야 한다.
- ⑦ 정밀저울의 영점을 잡은 후 오일이 흡수된 시료의 무게를 측정하여 기록한다.

(4) 유지흡수력 측정(고수분 TVP)

- ① 코니칼 튜브에 시료들의 명칭과 반복수에 따른 순번을 기입한다.
- ② 정밀저울에 뚜껑을 제외한 빈 코니칼 튜브를 올린 후 영점을 잡는다. 이때, 사용되는 코니칼 튜브가 스탠딩 타입이 아닐 경우에는 코니칼을 세워둘 수 있는 코니칼 튜브 랙을 이용한다.
- ③ 빈 코니칼 튜브에 고수분 TVP를 0.5 g 정도 넣은 후 정확한 무게를 기록한다.
- ④ 마이크로 피펫(5 mL 또는 10 mL 용량)을 이용하여 오일 10 mL를 시료가 담긴 코니칼 튜브에 넣은 후 코니칼 튜브의 뚜껑을 닫는다.
- ⑤ 오일과 시료가 들어있는 코니칼 튜브를 1분 동안 볼텍싱 하여 시료와 오일을 균일 하게 혼합하여 준다. 이때, 타이머를 이용하여 정확히 1분을 측정한다.

- ⑥ 불텍싱 후, 상온에서 최소 30분 ~ 1시간 동안 방치한다. 방치 시간은 모든 시료가 동일해야 한다.
- ⑦ 원심분리기를 이용하여 8,000 rpm 및 상온 조건에서 30분간 원심분리 한다.
- ⑧ 원심분리 후, 고수분 TVP에 흡수되지 않은 오일(상등액)은 비커에 부어 1차 제거한다. 이때, 원심분리를 완료한 직후 바로 상등액을 제거해야 함에 유의해야 한다. 만약 원심분리 후 상등액을 제거하지 않은 채로 시료를 이동시키거나 오랜 시간 방치한다면, 침전물의 상부와 상등액이 다시 혼합되는 문제가 발생할 수 있음에 주의한다.
- ⑨ 상등액 1차 제거 후, 30초 정도 방치한 뒤에 발생하는 잔여 상등액을 마이크로 피펫 (1 mL 이하의 팁 사용을 추천)을 이용하여 2차 제거한다. 이때, 상등액을 피펫으로 너무 빠르게 흡입하면 침전물도 함께 흡입될 수 있으므로 조심스럽게 천천히 흡입하여야 함에 유의한다.
- ⑩ 정밀저울의 영점을 맞춘 후 내부의 시료가 원심분리된 코니칼 튜브(뚜껑제외)의 무게를 측정 후 기록한다.
- ⑪ 측정값을 기반으로 고수분 TVP의 유지흡수력을 구하고 최소 3반복이상 실험하여 평균을 구한다.

5) 계산식

$$\text{유지흡수력(\%)} = \frac{a - b}{\text{시료무게(g)}} \times 100$$

※ 원심분리 후 코니칼 튜브 무게 - 빈 코니칼 튜브 무게 = 오일을 흡수한 시료의 무게

a: 원심분리 후 코니칼 튜브 무게(g)

b: 빈 코니칼 튜브 무게(g)

4. 기계적 색도

1) 분석 대상

단백질 원료 및 저수분/고수분 TVP

2) 주요 원리

색도는 색차계(colorimeter)를 이용하여 시료의 품질 관리와 표면색 측정에 활용된다. 색차계 측정 원리는 시료의 특정 파장을 흡수 또는 반사하면서 발현되고 가시광선에 의해 빛이 반사되거나 투과되는 비율을 나타내는 것이며, 색의 수치를 통해 국제적으로 규격화된 값으로 표현할 수 있다.

일반적으로, 식품의 색도는 인간이 감지할 수 있는 색상 영역을 기반으로 만들어진 CIE $L^*a^*b^*$ 색 공간으로 표현되며, 그 값으로는 명도(lightness)를 나타내는 L^* 값, 적색도(redness)를 나타내는 a^* 값, 황색도(yellowness)를 나타내는 b^* 값이 존재한다.

L^* 값은 0~100 범위의 값을 가지며, $L^* = 0$ 이면 검은색, $L^* = 100$ 이면 흰색을 나타내므로, 그 값이 클수록 명도가 증가하는 것으로 평가된다. $a^* > 0$ 이면서 그 값이 클수록 빨간색과 가까운 것으로 평가되며, $a^* < 0$ 이면서 그 절댓값이 클수록 초록색과 가까운 것으로 평가된다.

한편, $b^* > 0$ 이면서 그 값이 클수록 노란색과 가까운 것으로 평가되며, $b^* < 0$ 이면서 그 절댓값이 클수록 파란색과 가까운 것으로 평가된다.

3) 기구 및 장비

(1) 기구: 표준체(No.60, 250 μm), 페트리디쉬(90 mm×90 mm), 랩, 시약스푼, 흰 용지

(2) 장비: 색차계, 믹서기(또는 막자사발)

	표준체	페트리디쉬	시약스푼	랩
기구				
	출처: 올포랩	출처: 올포랩	출처: 올포랩	출처: 올포랩
	색차계		믹서기	
장비				
	출처: 올포랩		출처: 올포랩	

4) 실험방법

(1) 사전 준비사항

① (저수분 TVP) 시료를 믹서기(또는 막자사발)로 분쇄한 뒤 표준체(60 mesh)에 걸러 직경이 250 μm 이하인 고운 입자들만을 얻는다. 얻은 분말은 페트리 디쉬에 가득 채운다.

② (고수분 TVP) 냉동보관(-40°C이하)된 시료를 실험 하루 전날 냉장온도(5°C내외)에서 자연해동시킨다. 시료의 표면적이 평평하고 넓을수록 색도 측정에 유리하다. 만약, 시료의 폭이 너무 좁거나, 시료에 평평한 면이 없을 경우에는 다져서 준비하는 편이 측정되는 색도 값의 균일성을 높일 수 있다.

③ 시료가 들어가 오염되지 않도록 색차계의 측정부를 랩으로 한 겹만 감싼다.

(2) 색도 측정* * 진흥원 색차계 작동법 유튜브 영상 참고

- ① 색차계와 미니 프린터의 전원 케이블 및 연동 케이블을 연결하고 전원을 누른다.
- ② 'Calibrate' 버튼을 누른다.
* 교정(Calibration): 값을 알고 있는 표준을 사용하여 측정 장치의 정밀도를 확인하고 조절하는 행위
- ③ 백색 교정판 중심부에 색차계 측정부를 밀착시킨 뒤, measure key(MEAS.)를 누른다.
- ④ 'Print' 버튼을 눌러 결과를 출력한 후, 보정 여부를 확인한다.
- ⑤ 준비된 시료를 흰 용지 10장 위에 올려놓은 후, 백색 교정판에 보정이 완료된 색차계의 측정부를 시료에 밀착시킨 뒤, measure key(MEAS.)를 누른다.
- ⑥ 'Print' 버튼을 눌러 출력한 후 결과를 확인한다.
- ⑦ 실험 결과를 기반으로 색도(L*, a*, b* 값)를 구하고 최소 10 반복 이상 측정하여 평균을 구한다.

5) 계산식

(1) 색차(Color difference, ΔE)

색차란 두 시료 간의 색상 차이를 정량적으로 나타내는 지표이다. 해당 값이 작을수록 두 시료는 비슷한 색상을 지니며, 값이 클수록 색상 차이가 큰 것으로 판단한다.

$$\text{색차}(\Delta E) = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

* ΔL^* , Δa^* , Δb^* : 비교하고자 하는 대조군 시료의 L^* , a^* , b^* 값과 시료의 L^* , a^* , b^* 값의 차이

(2) 갈색화 지표(Browning index, BI)

갈색화 지표란 시료의 색상을 갈색 색조로 표현하는 데 사용되는 지표이다. 일반적으로, 해당 지표 값이 클수록 시료의 색상이 갈색에 가까운 것으로 해석된다. 갈색화 지표 주로 식품의 신선도, 품질, 변질 정도, 또는 화학 반응의 진행 정도와 연관지을 수 있다.

$$\text{갈색화 지표(BI)} = \frac{100 \left[\left(\frac{a^* - 1.75L^*}{5.645L^* + a^* - 3.012b^*} \right) - 0.31 \right]}{0.17}$$

* L^* , a^* , b^* : 시료의 색차계 측정값

5. 총 가용성 물질

1) 분석 대상

저수분/고수분 TVP

2) 주요 원리

총 가용성 물질은 시료의 총 질량 중에서 물에 용해되는 부분의 비율을 나타낸다. 105°C에서 24시간 건조시켜 수분을 제거한 시료의 무게(A)를 측정한 뒤, 이를 물에 24시간 동안 침지시킨다.

이후, 침지된 시료를 건져내어 다시 105°C에서 24시간 동안 건조시킨 후 무게(B)를 측정한다. 물에 용해된 시료의 질량은 A-B로 계산되며, 해당 값이 클수록 총 가용성 물질의 함량이 높다고 해석된다.

반면, 총 가용성 물질 함량이 낮다는 것은 고온의 가열 압출 공정에 의한 원료들의 열변성으로 인해 수용성 물질의 불용화 비율이 높음을 의미한다.

이 불용화 비율이 높다는 것은 시료 내 원료들 사이의 결합력이 강하다는 것을 나타내며, 이러한 원료들 사이의 강한 결합력이 시료의 조직감을 단단하게 만든다고 해석할 수 있다.

3) 기구 및 장비

- (1) 기구: 코니칼튜브(50 mL), 메스실린더(50 mL 또는 100 mL), 칭량접시, 단면도(면도칼), 자, 핀셋, 증류수
- (2) 장비: 인큐베이터, 정밀저울, 드라이오븐

	코니칼튜브	메스실린더	핀셋	칭량접시
기구				
	출처: 올포랩	출처: 올포랩	출처: 올포랩	출처: 올포랩

	인큐베이터	정밀저울	드라이오븐
장비			
	출처: 올포랩	출처: 올포랩	출처: 올포랩

4) 실험방법

(1) 사전 준비사항

- ① (저수분TVP) 시료를 2 cm로 잘라 105°C에서 24시간 이상 건조시킨다.
- ② (고수분 TVP) 시료를 직사각형 모양(1cm×1cm)으로 잘라 105°C에서 24시간 이상 건조시킨다.
- ③ (추출준비) 코니칼 튜브에 시료들의 명칭과 반복수에 따른 순번을 기입한 후, 메스 실린더로 증류수 50 mL 측정하여 코니칼 튜브에 붓는다.

(2) 총 가용성 물질 측정(저수분/고수분 TVP)

- ① 정밀저울에 빈 칭량접시를 올려놓고 영점을 맞춘 후, 칭량접시에 시료를 올려 그 무게를 측정하고 기록한다.
- ② 증류수 50 mL가 담긴 코니컬 튜브에 무게를 측정한 시료를 넣어 침지시킨 후 튜브의 뚜껑을 닫는다.
- ③ 증류수와 시료가 들어있는 코니컬 튜브를 25°C로 설정된 인큐베이터(또는 기타 항온 장비)에 24시간 동안 정치시킨다. 시료가 증류수에 침지되는 동안 시료의 가용성 물질이 증류수에 용해된다. 상황에 따라 시료를 정치 용해하는 것이 아니라, 셰이킹 인큐베이터를 이용하여 진탕 용해하는 것도 가능하다.
- ④ 24시간 용해 후, 코니컬 튜브를 인큐베이터(또는 기타 항온 장비)에서 꺼낸다.
- ⑤ 최종적으로 항량이 완료된 도가니의 무게를 측정하여 기록한다.
- ⑥ 항량이 완료된 도가니에 시료를 담은 후 105°C 드라이 오븐에 넣어 시료 내부의 수분이 모두 증발할 때까지 충분히(최소 3시간 이상) 가열건조한다.
- ⑦ 시료가 들어있는 도가니를 꺼내 데시케이터에 넣어 항량이 될 때까지 충분히(최소 30분 이상) 방냉한다.
- ⑧ 방냉이 완료된 후 데시케이터에서 시료가 들어있는 도가니를 꺼내 이의 무게를 측정하여 기록한다.
- ⑨ 시료가 들어있는 도가니를 다시 105°C의 드라이 오븐에 넣어 1시간 정도 가열건조한다.
- ⑩ 시료가 들어있는 도가니를 꺼내 데시케이터에 넣어 항량이 될 때까지 충분히(최소 30분 이상) 방냉한다.
- ⑪ 방냉이 완료된 후 데시케이터에서 시료가 들어있는 도가니를 꺼내 이의 무게를 측정하여 기록한다.
- ⑫ 시료가 들어있는 도가니 무게가 항량이 될 때까지 ⑥~⑧ 단계를 반복한다.

- ⑬ 최종적으로 항량이 완료된 시료가 들어있는 도가니의 무게를 기록한다.
- ⑭ 추출 후의 시료 무게는 최종적으로 항량이 완료된 시료가 들어있는 도가니의 무게에서 처음 도가니의 무게를 빼서 얻는다.
- ⑮ 아래의 계산식을 이용하여 수분함량을 계산하고, 3반복 하여 평균값을 구한다.

$$\text{총 가용성 물질(\%, w/w)} = \frac{a - b}{\text{추출 전 TVP 무게(mg)}} \times 100$$

a 추출전 TVP 무게(mg): 건조된 저수분/고수분 TVP의 무게

b 추출후 TVP 무게(mg): 가용성 물질이 추출된 후 건조된 TVP의 무게

6. 조직감 양상 분석(Texture profile Analysis)

1) 주요 원리

식품의 조직감이란 사람이 식품을 입에 넣어 혀로 누르거나 치아로 저작할 때 느껴지는 종합적인 감각적 특성을 의미한다. 특히, 식품의 조직감은 식품의 구조와 밀접한 연관성을 지니기 때문에, 조직감 분석 결과를 통해 식품의 구조를 유추할 수 있다. 조직감 양상 분석은 식품의 조직감을 측정하는 데 사용되는 분석 기술 중 하나로, 시료를 한 번 압축한 후 다시 압축하는 조작을 통해 시료의 경도(hardness), 탄성(springiness), 씹힘성(chewiness), 점착성(gumminess), 응집성(cohesiveness) 등을 측정한다.

2) 기구 및 장비

(1) 기구: 단면도(면도칼), 비커, 분체망, 증류수

(2) 장비: 조직감측정기

	단면도(면도칼)	비커	분체망
기구	 <p>출처: 올포랩</p>	 <p>출처: 올포랩</p>	 <p>출처: 올포랩</p>
장비	<p>조직감측정기</p>  <p>출처: 식품진흥원</p>		

3) 실험방법

(1) 사전 준비사항

- ① (저수분TVP) 시료를 일정 시간 동안 충분히 수화시킨 후 체에 밭쳐 물기를 뺀다
재수화된 시료는 모두 일정한 크기를 갖도록 자르거나, 그 형태가 균일할 경우에는 자르지 않고 그대로 사용한다.

(※ 수화는 제품마다 모양, 크기, 부피, 밀도 등이 다양할 것이므로, 수화에 필요한 시간 또한 각기 다를 것이다. 따라서, 제품이 충분히 수화될 수 있는 적절한 수화 시간을 사전에 테스트하여 확립해야 한다).

- ② (고수분 TVP) 시료를 정사각형 모양(2 cm × 2 cm)으로 자른다.

(2) 조직감 측정기 설정

- ① 조직감 측정기 본체 뒤쪽에 위치한 전원을 키고 소프트웨어(Test Xpert® II)를 실행한다.
- ② 조직감 측정기 본체 앞쪽의 ON 버튼을 누른다. 버튼을 누르면 점등되며, 소프트웨어의 하단 창이 흰색으로 활성화됨을 확인한다.

③ Cross head 위치 및 무게 영점 설정

- Machine-> 열쇠를 왼쪽으로 돌려 set up 모드로 설정한다. 이후 Probe를 계측대에 맞닿도록 완전히 내린 뒤(↓ 버튼누름) 프로그램 툴바에서 Reference-> Setup standard -> Position -> Crosshead position에서 실제 cross head 위치와 프로그램상 일치 여부를 확인하여 조정한다.
- Machine-> 열쇠를 오른쪽으로 돌려 Test 모드로 설정한다. 프로그램 툴바에서 Machine 버튼-> Setup Standard -> Reference-> Option reference drive -> Reference 버튼을 눌러 자동으로 영점을 맞춘다.

④ 시험위치, 간격, 속도 설정

- Tool separation at start position: 시료와 probe 사이의 간격을 설정하는 것으로, 시료의 높이보다 높게 설정한다. (본 실험에서는 TVP의 높이를 고려해 20 mm설정)

- Speed, Start position: 시험이 끝난 후 start position으로 복귀하는 속도를 설정하는 것으로, 10 mm/s로 설정한다.

⑥ Pre-load 설정: 시험 측정이 시작될 수 있는 최소 하중을 설정하는 것이다. Trigger force라고도 하며 20 g으로 설정한다.

⑥ Pre-load의 Speed 설정: 측정하고자 하는 시료에 도달할 때까지의 속도를 설정하는 것으로, 일반적으로 2 mm/s 이하로 설정한다.

⑦ 시험조작

- Number of cycle: 시험 cycle(한 시험에서 시료를 찍는 횟수)을 설정하는 것으로, 일반적으로 1번으로 설정하며 TVP의 경우 2번으로 설정한다.

- Point of load application of the cycles: 하중을 가하는 방법과 정도를 설정하는 것이다. 시료 높이를 기준으로 제어할 경우 Strain, 원하는 하중 정도를 50%로 입력한다. 시료와 probe 사이의 간격으로 제어할 경우 Tool separation, 원하는 길이(mm)를 입력한다.

- Hold time at the point of load application of the cycles: 2번 이상의 cycle의 경우 다시 하중을 가할 때까지의 시간을 설정한다. 보통 2~5초로 설정한다.

⑧ Results(결과 항목) 설정: 구하고자 하는 결과값과 단위를 설정한다.

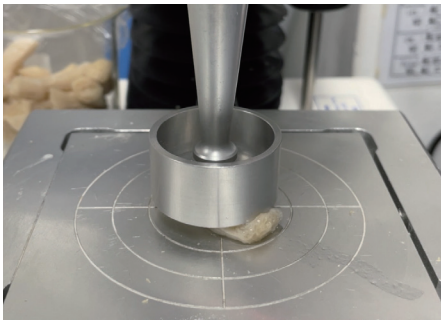
[표15] 조직감 항목별 설정 수치

번호	설정 항목	설정 조건명	조건 값
1	Start position	Tool separation at start position	20 mm
2		Speed, start position	10 mm/s
3	Test phase	Number of cycle	2
4		Point of load application of the cycles	Strain / 50%
5		Hold time at the point of load application of the cycles	3s

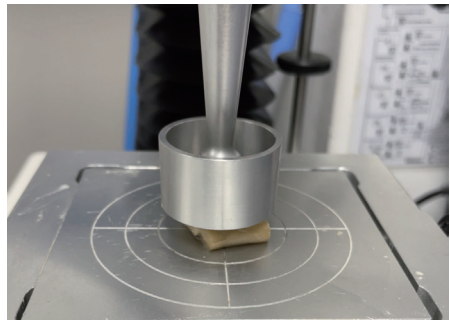
(3) 조직감 측정

- ① 기기조작 완료 후 Run test에 들어간다.
- ② 측정하고자 하는 시료 명칭 및 조건을 입력한 후 Force 0 버튼과 start position 버튼을 클릭한다.
- ③ probe와 기판 사이에 측정하고자 하는 샘플을 위치시키고 start 버튼을 눌러 측정을 시작한다.
- ④ 파일 저장 및 열기: 시험 결과를 저장할 프로그램과 시험조건 및 결과를 설정하여 저장한다. 반복 측정 종료 후, File▶Expert를 통해 데이터를 내보낸다.

[그림19] 저수분 및 고수분 TVP 조직감 측정 모습



저수분 TVP 조직감 측정



고수분 TVP 조직감

7. 시각적 외관

1) 분석대상

저수분/고수분 TVP

2) 주요 원리

수분/고수분 TVP의 앞면, 횡단면, 종단면, 개방형(고수분 TVP만 해당)을 사진으로 촬영하고, 이를 통해 시료들의 조직화 양상을 파악하고 서로 비교할 수 있다.

3) 기구 및 장비

(1) 기구: 단면도(면도칼), 자, 배경 용지(흰색 또는 검정색이 바람직함)

(2) 장비: 카메라

4) 실험방법

(1) 사전 준비사항

① (저수분 TVP) 균일한 모양과 크기를 갖는 시료들을 선택하여 준비한다. 시료의 길이가 길 경우, 적당한 길이로 잘라서 준비한다. 재수화 전·후의 시료의 시각적 외관을 비교하고자 할 경우, 재수화 전과 후의 시료를 모두 준비한다.

② (고수분 TVP) 시료를 적당한 길이로 잘라서 준비한다.

(2) 시각적 외관 측정

① (저수분 TVP) 앞면 촬영용 시료는 추가 처리가 필요하지 않다. 횡단면 촬영용 시료는 단면도를 이용하여 시료를 수평으로 자른다. 종단면 촬영용 시료는 단면도를 이용하여 시료를 수직으로 자른다. 재수화 이전의 저수분 TVP 시료의 경우, 조직이 단단하여 단면도로 자르다 시료가 부서지거나 손상될 수 있으므로 주의가 필요하다. 시료들을 배경 용지에 올리고 카메라로 촬영한다.

② (고수분 TVP) 앞면 촬영용 시료는 추가 처리가 필요하지 않다. 횡단면 촬영용 시료는 단면도를 이용하여 시료를 수평으로 자른다. 종단면 촬영용 시료는 단면도를 이용하여 시료를 수직으로 자른다. 개방형 촬영용 시료는 조직결 방향(압출 방향)으로 칼집을 넣은 후 양쪽으로 벌린다. 시료들을 배경 용지에 올리고 카메라로 촬영한다.

8. 진밀도(True Density)

1) 분석대상

저수분 TVP

2) 주요 원리

진밀도란 시료 내에 빈 공간이 없다고 가정할 때, 시료를 구성하는 고체 성분들이 이루는 밀도를 의미한다. 따라서, 저수분 TVP의 진밀도를 측정하기 위해서는 시료를 분쇄하여 고운 분말 상태로 만드는 전처리 작업이 필요하다.

3) 기구 및 장비

(1) 기구: 메스실린더(5 mL), 시약스푼, 표준체(No.60, 250 μ m)

(2) 장비: 정밀저울, 믹서기(또는 막자사발과 막자)

기구	메스실린더	시약스푼	분체망
			
	출처: 올포랩	출처: 올포랩	출처: 올포랩
장비	믹서기		정밀저울
			
	출처: 올포랩		출처: 올포랩

4) 실험방법

(1) 사전 준비사항

- ① (시료분쇄) 시료를 믹서기(또는 막자사발)로 분쇄한다.
- ② (시료분리) 분쇄한 시료를 표준체(60mesh)로 걸러 고운 분말 상태로 만든다.

(2) 진밀도 측정

- ① 정밀저울에 빈 5 mL 메스실린더를 올린 후, 무게를 기록한다.
- ② 무게를 기록한 5 mL 메스실린더에 저수분 TVP 분말 시료를 넣는다.
- ③ 분말 시료 입자 사이에 존재하는 빈 공간을 없애기 위해 편평한 실험대에 시료가 들어 있는 메스실린더의 바닥 부분을 여러 번 가볍게 탕탕 내려치며 분말 시료의 높이가 낮아지는 것을 확인한다. 시료의 높이가 더 이상 낮아지지 않을 때까지 메스실린더를 실험대에 내려치는 행위를 반복한다.
- ④ 분말 시료의 윗면이 정확히 5 mL 눈금에 도달할 때까지 분말 시료를 보충하면서
- ⑤ 단계를 반복한다.
- ⑥ 분말 시료를 채운 메스실린더의 무게를 정밀저울로 측정하여 기록한다.
- ⑦ 아래의 계산식을 이용하여 수분함량을 계산하고, 3반복 하여 평균값을 구한다.

5) 계산식

$$\text{진밀도} = \frac{a - b}{5 \text{ mL(시료의 부피)}} \times 100$$

a: 시료를 채운 후의 메스실린더 무게(g)

b: 빈 메스실린더의 무게(g)

시료를 채운 후의 메스실린더 무게(g) - 빈 메스실린더의 무게(g) = 분말 시료의 부피가 5 mL일 때 시료의 무게

9. 겉보기 밀도(Apparent Density)

1) 분석 대상

저수분 TVP

2) 주요 원리

겉보기 밀도란 시료 내에 존재하는 빈 공간부가 포함된 외부의 표면적인 부피를 이루는 밀도를 의미한다. 따라서, 진밀도를 측정하기 위한 시료와 달리, 시료를 분쇄하지 않고 원래의 형태 그대로 사용한다. 시료의 팽화율이 높을수록 시료 내부에 기공이 많이 형성되어 상대적으로 겉보기 밀도가 감소하는 특징이 있다. 일반적으로, 겉보기 밀도는 진밀도 보다 작다.

2) 기구 및 장비

- (1) 기구: 단면도(면도칼), 자, 칭량접시, 핀셋
- (2) 장비: 정밀저울

3) 실험방법

(1) 사전 준비사항 (※ 원통형 저수분 TVP를 기준으로 설명한다)

- ① (시료준비) 시료에서 균일한 두께를 갖는 부분을 2 cm 정도의 길이로 잘라 준비한다.
- ② (길이측정) 2 cm 길이로 자른 시료의 실제 길이를 자로 측정하여 높이를 기록한다.

(2) 겉보기 밀도 계산을 위한 부피 측정

- ① 2 cm 정도의 길이로 자른 시료의 정확한 실제 길이를 자로 측정하여 기록한다.
- ② 시료의 윗면 및 아랫면의 직경(단위: cm)을 자 또는 캘리퍼로 측정하여 기록한다.
시료의 직경이 원형이 아니라 타원형일 경우, 가로 직경과 세로 직경을 각각 측정하여 이의 평균 값을 시료 한 면의 직경 값으로 사용한다. 시료의 최종 직경 값은 윗면과 아랫면의 직경 값의 평균 값으로 한다.
- ③ 아래의 원기둥의 부피 계산식을 사용하여 시료의 부피를 계산한다. 이때, 반지름이란 시료의 최종 직경 값을 1/2로 나눈 값이다.

* 원기둥 부피 (cm³) = $\pi \times r^2 \times h = 3.14 \times \text{반지름}^2 \times \text{높이}$

5) 계산식

$$\text{진밀도} = \frac{\text{시료를 채운 후의 메스실린더 무게(g)} - \text{빈 메스실린더의 무게(g)}}{5 \text{ mL(시료의 부피)}} \times 100$$

10. 공극률(Porosity)

1) 분석대상

저수분 TVP

2) 주요 원리

공극률이란 고체의 내부 또는 표면에 다수의 작은 공극을 갖는 형태를 의미하는 것으로, 주어진 시료에 얼마나 많은 빈 공간이 있는지 설명하는데 사용된다. 즉, 저수분 TVP의 다공성을 통해 팽화가 일어나 공기층(air cell)이 형성된 정도를 알 수 있다.

2) 기구 및 장비

추가 실험 없이 진밀도와 겉보기 밀도 값을 기반으로 계산되므로, 이들의 실험 방법을 참조할 것

3) 실험방법

(1) 동일한 원료 및 압출성형 조건에서 생산한 저수분 TVP의 진밀도 및 겉보기밀도를 측정하여 기록한다.

(2) 아래의 계산식을 이용하여 공극률을 계산하고, 3반복 하여 평균값을 구한다.

4) 계산식

$$\text{공극률(\%)} = \frac{a - b}{\text{저수분 TVP의 진밀도(g/cm}^3\text{)}} \times 100$$

a: 저수분 TVP의 진밀도(g/cm³)

b: 저수분의 TVP 겉보기 밀도(g/cm³)

11. 팽창비(Expansion Ratio)

1) 분석 대상

저수분 TVP

2) 주요 원리

저수분 TVP가 압출성형기에서 압출될 때, 압출성형기의 내부와 외부의 온도 및 압력 차에 의하여 시료 내부의 수증기가 급격하게 기화되어 부피가 증가한다. 이에 따라 시료 내부에 수많은 기공이 형성되며 부피가 팽창한다. 팽창비는 시료의 직경에 대한 다이의 직경에 100을 곱한 값으로 계산되는 것이 일반적이다. 또한, 팽창비는 외관, 재수화 시간, 조직감 등의 저수분 TVP의 품질 특성과 밀접한 연관이 있다.

4) 실험방법

(1) 사전 준비사항 (※ 원통형 저수분 TVP를 기준으로 설명한다)

(시료준비) 시료에서 균일한 두께를 갖는 부분을 2 cm 정도의 길이로 잘라 준비한다.

(2) 팽창비 분석

① 시료의 윗면 및 아랫면의 직경(단위: cm)을 자 또는 캘리퍼로 측정하여 기록한다.

시료의 직경이 원형이 아니라 타원형일 경우, 가로 직경과 세로 직경을 각각 측정하여 이의 평균 값을 시료 한 면의 직경 값으로 사용한다. 시료의 최종 직경 값은 윗면과 아랫면의 직경 값의 평균 값으로 한다.

② 아래의 계산식을 이용하여 팽창비를 계산하고, 3반복 하여 평균값을 구한다.

5) 계산식

$$\text{팽창비 (\%)} = \frac{\text{저수분 TVP의 직경 (mm)}}{\text{압출성형기 다이의 직경 (mm)}} \times 100$$

12. 횡단 및 종단 절단 강도(Transversal and Longitudinal Cutting Strength)

1) 주요 원리

절단 강도란 시료가 압축 시험 중에 파쇄될 때까지 시료에 가해지는 최대 힘을 나타내며, 시료의 섬유상 구조를 절단하는데 필요한 면적당 힘으로도 정의될 수 있다. 저수분 TVP의 경우, 시료의 공극률이 증가할수록 절단 강도가 감소하며, 횡단 절단 강도나 종단 절단 강도 사이에 큰 차이가 없는 것이 일반적이다. 고수분 TVP의 경우, 압출 방향으로 섬유 구조가 형성되어 있다. 따라서, 섬유 구조의 방향과 동일한 방향으로 절단하는 종단 절단 강도는 섬유 구조의 방향과 수직의 방향으로 절단하는 횡단 절단 강도보다 그 크기가 더 작다.

2) 기구 및 장비

- (1) 기구: 단면도(면도칼), 비커, 증류수, 분체망
- (2) 장비: 조직감측정기

3) 실험방법

(1) 사전 준비사항

- ① (저수분TVP) 시료를 일정 시간 동안 충분히 수화시킨 후 체에 밟쳐 물기를 뺀다.

수화된 시료는 모두 일정한 크기를 갖도록 자르거나, 그 형태가 균일할 경우에는 자르지 않고 그대로 사용한다.

(※ 제품마다 모양, 크기, 부피, 밀도 등이 다양할 것이므로, 수화에 필요한 시간 또한 각기 다를 것이다. 따라서, 제품이 충분히 수화될 수 있는 적절한 수화 시간을 사전에 테스트하여 확립해야 한다).

- ② (고수분 TVP) 시료를 정사각형 모양(2 cm × 2 cm)으로 자른다.

(2) 조직감 측정기 설정

- ① 조직감 측정기 본체 뒤쪽에 위치한 전원을 키고 소프트웨어(test Xpert® II)를 실행한다.
- ② 조직감 측정기 본체 앞쪽의 ON 버튼을 누른다. 버튼을 누르면 점등되며, 소프트웨어의 하단 창이 흰색으로 활성화됨을 확인한다.
- ③ Cross head 위치 및 무게 영점 설정
 - Machine-> 열쇠를 왼쪽으로 돌려 set up 모드로 설정한다. 이후 Probe를 계측대에 맞닿도록 완전히 내린 뒤(↓ 버튼누름) 프로그램 툴바에서 Reference-> Setup standard -> Position -> Crosshead position에서 실제 cross head 위치와 프로그램 상 일치여부를 확인하여 조정한다.
 - Machine-> 열쇠를 오른쪽으로 돌려 Test 모드로 설정한다. 프로그램 툴바에서 Machine 버튼-> Setup Standard -> Reference-> Option reference drive -> Reference 버튼을 눌러 자동으로 영점을 맞춘다.
- ④ 시험위치, 높이, 간격 설정
 - Tool separation at start position: 시료와 probe 사이의 간격을 설정하는 것으로, 시료의 높이보다 높게 설정한다.(본 실험에서는 20mm설정한다.)
 - Speed, Start position: 시험이 끝난 후 start position으로 복귀하는 속도를 설정하는 것으로, 10mm/s로 설정한다.
- ⑤ Pre-load 설정: 시험 측정이 시작될 수 있는 최소 하중을 설정하는 것이다. 절단 강도 측정 시에는 미설정한다.
- ⑥ Pre-load의 Speed 설정: 측정하고자 하는 시료에 도달할 때까지의 속도를 설정하는 것으로, 1mm/s로 설정한다.
- ⑦ 시험조작
 - Number of cycle: 시험 cycle (한 시험에서 시료를 찍는 횟수)를 설정하는 것으로, 일반적으로 1번으로 설정하며 TVP의 경우 2번으로 설정한다.
 - Point of load application of the cycles: 하중을 가하는 방법과 정도를 설정하는 것이다. 시료 높이를 기준으로 제어할 경우, Strain/20mm로 입력한다. 시료와 probe 사이의 간격으로 제어할 경우, Tool separation, 원하는 길이(mm)를 입력한다.

- Hold time at the point of load application of the cycles: 2번 이상의 cycle의 경우 다시 하중을 가할 때까지의 시간을 설정한다. 평균적으로 약 2~5초로 설정한다.

⑧ Results(결과 항목) 설정: 구하고자 하는 결과 값(횡단 및 종단 절단강도의 경우 Hardness, E1 선택) 단위를 설정한다.

[표15] 조직감 항목별 설정 수치

번호	설정 항목	설정 조건명	조건 값
1	Start position	Tool separation at start position	20mm
2		Speed, start position	10mm/s
3	Test phase	Number of cycle	1
4		Point of load application of the cycles	Strain/20mm
5		Hold time at the point of load application of the cycles	3s

(3) 횡단 및 종단 절단강도 측정

- ① 기기 조작 완료 후 Run test에 접속한다.
- ② 측정하고자 하는 시료 명칭 및 조건을 입력한 후 Force 0 버튼과 start position 버튼을 클릭한다.
- ③ probe와 기판 사이에 측정하고자 하는 시료를 위치시키고 start 버튼을 눌러 측정을 시작한다.
- ④ 파일 저장 및 열기: 시험 결과를 저장할 프로그램과 시험조건 및 결과를 설정하여 저장한다. 반복 측정 종료 후, File▶Expert를 통해 데이터를 내보낸다.