

[1~4] 다음 글을 읽고 물음에 답하십시오.

우리 주변의 프린터는 잉크젯 프린터와 레이저 프린터로 나뉜다. 그 중 잉크젯 프린터는, 정전기적 인력을 통해 종이에 토너를 부착시키는 레이저 프린터와 달리, 종이에 잉크를 직접 분출하는 프린터를 말한다. 잉크젯 프린터에서 잉크는 노즐을 거쳐 종으로 분사되는데, 인쇄물의 품질을 보장하기 위해서는 잉크가 적절히 토출되어야 한다. 잉크젯 프린터가 정상적으로 작동하기 위한 조건을 알아보기 위해, 유체의 움직임에 대해 보자.

주전자나 수도꼭지 등 상대적으로 두께가 얇은 관에서부터 유체를 흘려보낼 때, 그 흐름의 양상은 관성력, 점성력, 표면 장력, 중력에 의해 결정된다. 여기서 관성력은 유체가 현재의 운동 상태를 유지하려는 힘이고, 점성력은 유체의 운동을 방해하는 유체 내부 분자끼리의 힘이며, 표면 장력은 액체 표면의 분자들이 서로를 안쪽으로 강하게 끌어당겨 표면적을 최소화하려는 힘이다. 유체의 운동은 위 힘들의 상대적 비율에 따라 다르게 나타나는데, 관성력과 비교하여 다른 힘들의 상대적 비중을 계산하고, 그 비중들의 관계를 통해 이를 분석하는 것이 일반적이다. 점성력에 대한 관성력의 비율을 레이놀즈 수( $Re$ ), 표면 장력에 대한 비율을 웨버 수( $We$ ), 중력에 대한 비율을 프루드 수( $Fr$ )로 나타내는데, 각 인자의 실제 계산 방법은 다음과 같다.

$$Re = \frac{\rho v d}{\eta}, \quad We = \frac{\rho v^2 d}{\sigma}, \quad Fr = \frac{v}{\sqrt{gd}}$$

$\rho$ : 유체의 밀도       $v$ : 유체의 유속       $d$ : 액체가 흐르는 직경  
 $\eta$ : 점성 계수       $\sigma$ : 표면 장력       $g$ : 중력 가속도

그런데 잉크젯 프린터처럼 노즐이 충분히 가느다란 상황에선 액체 방울의 질량이 가벼워져 중력은 무시할 수 있는 변수가 된다. 이는 레이놀즈 수와 웨버 수만으로 액체의 운동을 충분히 예측할 수 있다는 뜻이다.

안정적으로 노즐로부터 유체의 방울을 토출하기 위해서는, 웨버 수와 레이놀즈 수가 적절한 범위 내로 들어오도록 대상 유체의 특성과 토출 속도, 노즐의 크기 등을 조절할 필요가 있다. 그렇지 않으면 여러 가지 문제가 발생할 수 있다. 예를 들어,  $We$  값에 비해  $Re$  값이 지나치게 작으면 유체가 노즐에서 분리되어 방울로 끊어지지 못하고, 가늘고 긴 엇가락이나 꿀처럼 실 형태로 늘어지는 **점성 한계**가 발생할 수 있다. 반대로  $We$  값에 비해  $Re$  값이 너무 높으면 **위성 액적**이 발생해 떨어지는 방울의 가느다란 유체 꼬리가 여러 개의 미세한 파편들로 부서질 수 있다.  $We$  값이 지나

치게, 일반적으로 4보다 작으면 **맷힘**이 발생해 유체가 노즐 끝 주변을 타고 새어 나와 고이거나 주변이 젖을 수 있다. 마지막으로  $Re$  값과  $We$  값이 모두 지나치게 높으면 낙하하는 액체 방울의 유체 껍질이 붕괴하여 사방으로 흩뿌려지는 **튀김과 비산**이 발생하기도 한다.

1. 다음은 읽 글을 읽은 학생의 독서 기록 중 일부이다. 읽 글을 참고할 때, '점검 결과'로 적절하지 않은 것은?

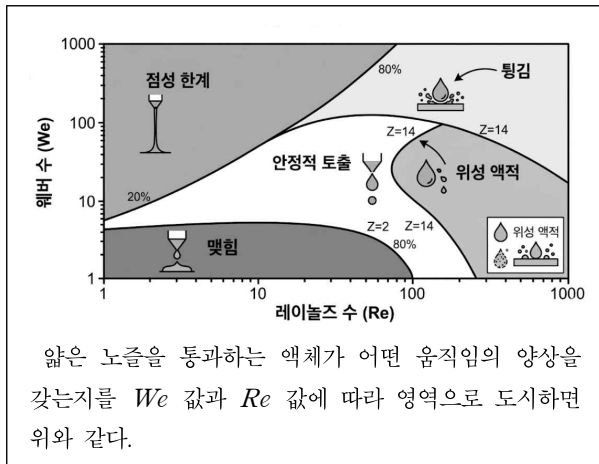
○ 읽기 계획: 1문단을 훑어보면서 뒷부분을 예측하고 질문 만들기를 한 후, 글을 읽고 점검하기	
예측 및 질문 내용	점검 결과
잉크젯 프린터의 잉크 정상 토출 여부에 영향을 주는 요소들이 무엇인지 소개되어 있을 것이다.	예측과 같음 .....①
잉크젯 프린터에 사용하는 종이의 종류에 따라 사용 가능한 잉크의 특성이 어떻게 달라지는지 소개되어 있을 것이다.	예측과 다름 .....②
잉크를 토출시키는 속도에 따라 인쇄물의 정상 인쇄 여부가 결정되는 과정이 구체적 수식과 함께 소개되어 있었을 것이다.	예측과 같음 .....③
잉크젯 프린터의 잉크가 제대로 토출되지 않고 있을 때, 그 해결 방법으로 가능한 것은 무엇이 있을까?	질문의 답이 언급되지 않음 .....④
유체 역학은 매우 복잡한 것으로 알고 있는데, 유체가 운동할 때 유체에 작용하는 힘에는 무엇이 있을까?	질문의 답이 언급됨 .....⑤

2. 윗글을 이해한 것으로 가장 적절한 것은?

- ① 유체가 흐르는 관의 폭이 작으면 흐름에 중력이 작용하지 않는다.
- ② 관성력과 점성력은 운동하는 유체에 대하여 같은 방향으로 작용한다.
- ③ 레이놀즈 수와 웨버 수의 값을 알면 유체의 운동을 예측하기에 충분하다.
- ④ 유체의 밀도와 점성 계수는 모두 유체가 움직이는 양상에 영향을 미칠 수 있다.
- ⑤ 점성력은 내부 분자끼리의 상호 작용에 의해 발생하며 표면적을 최소화하려는 방향으로 작용한다.

3. 다음을 바탕으로 **점성 한계**, **위성 액적**, **맷힘**, **튀김과 비산**에 대해 추론한 것으로 적절하지 않은 것은?

튀김과 비산에 대해 추론한 것으로 적절하지 않은 것은?



- ① **점성 한계**는 점성력이 표면 장력을 압도하는 상황에서 발생하는 것이겠군.
- ② 점성력이 지나치게 높은 유체에서는 낮은 유체에서보다 **위성 액적**이 발생하기 어렵겠군.
- ③ **맷힘**이 발생하고 있는 유체의 점성력만 지속적으로 높여더라도 계속 **맷힘**이 발생하겠군.
- ④ **맷힘**이 발생하고 있는 유체의 표면 장력만 지속적으로 낮추더라도 **튀김과 비산**은 발생하지 않겠군.
- ⑤ **위성 액적**이 발생하고 있는 유체의 표면 장력만 지속적으로 낮추면 **튀김과 비산**이 발생하게 되겠군.

4. 윗글과 <보기>를 바탕으로 추론한 내용으로 적절한 것만을 있는 대로 고른 것은?

—<보 기>—

어떤 프린터의 작동 과정에서, ㉠ **충분히 얇은 노즐을 통과하는, 점성 계수가 일정한 유체 잉크**에, 일정한 힘을 지속적으로 가할 때, 속력( $v$ )은 어떻게 변화하는가? 매 순간, 잉크는 표면 장력을 극복하기 위한 힘, 운동 에너지를 열 에너지로 전환시켜 소실시키는 힘, 그리고 관성력을 필요로 한다. 공급된 힘은 이 세 힘에 의해 적절히 소모되며, 그 후 남은 힘은 가속에 쓰인다. 표면 장력이 속력과 무관하게 항상 일정하다는 사실을 참고하면, 앞선 질문에 대한 답을 찾을 수 있다.

ㄱ. ㉠의 점성력은 운동 에너지를 열 에너지로 전환시켜 소실시킨다.

ㄴ.  $v$ 가 증가함에 따라, ㉠의 관성력의 크기는 점성력의 크기보다 가파르게 증가한다.

ㄷ. ㉠에 일정한 힘을 지속적으로 가하면,  $v$ 는 점점 커진다.

- ① ㄱ
- ② ㄷ
- ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 정답과 해설

### EBS 수능특강 p. 223 <착주전자 효과> 연계

#### 1. ③

[정답 해설]

- ③ '결정한다'는 것은 함수적 관계를 지칭한다. '잉크를 토출시키는 속도에 따라 인쇄물의 정상 인쇄 여부가 결정된다'는 것은, 속도가 동일한 상황에서 항상 정상 인쇄 여부가 동일하다는 뜻이다. 그런데 이는 지문 내용에 따르면 적절하지 않다. 속도가 동일해도 노즐 상황이나 잉크 특성에 따라 정상 인쇄 여부는 달라질 수 있기 때문이다.

[오답 해설]

- ① 지문의 2문단과 3문단에 제시되어 있다.  
② 종이의 종류에 대한 언급은 나타나지 않는다.  
④ 문제 해결 방법에 대해서는 전혀 언급되지 않았다.  
⑤ 2문단에 따르면 유체에는 점성력, 표면 장력, 중력, 관성력 등이 작용한다.

#### 2. ④

[정답 해설]

- ④ 본문에 따르면 레이놀즈 수와 웨버 수에는 밀도와 점도 항이 포함된다. 참고로, EBS 수능특강에는 착주전자 효과의 발생 여부에 있어서 점도와는 무관하다고 되어 있는데, 그 상황은 일부 특수한 가정을 거친 상황이다. 일반적으로는 점도를 고려해야 한다. 이 때문에 약한 양상으로 서술했다.

[오답 해설]

- ① 유체가 흐르는 관의 폭이 작다고 해서 유체에 중력이 작용하지 않는 것은 아니다. 중력이 매우 작게 작용하여 무시할 수 있을 뿐이다. 중력이 작용하지 않았다면, 무시할 필요도 없다.  
② 관성력은 유체의 움직임을 유지하려는 힘이고, 점성력은 운동을 방해하는 힘이므로, 그 방향이 항상 반대이다.  
③ 레이놀즈 수와 웨버 수만 가지고 충분히 예측할 수 있기 위해서는, 매우 얇은 흐름이라는 전제가 포함되어야 한다.  
⑤ 이 선지의 서술은 점성력이 아니라 표면 장력에 대한 진술이다.

#### 3. ④

[정답 해설]

- ④ 유체의 표면 장력을 낮춘다는 것은  $We$ 값을 높인다는 뜻이며, 이는 제시된 평면에서 연직 위로 이동하는 것이다. 땀힘이 발생하는 영역에서 출발할 때, 튕김의 영역으로 가는 것이 가능하다. 따라서 표면 장력을 낮출 때 튕김과 비산이 전혀 발생하지 않을 것이라고 단정할 수 없다.

[오답 해설]

- ① 점성 한계는  $We$ 값에 비해  $Re$ 값이 지나치게 작을 때 발생하게 된다. 본문에 따르면  $We$ 값은 표면 장력에 대한 관성력의 비율이고,  $Re$ 값은 점성력에 대한 관성력의 비율이다.  $We > Re$ 이므로 점성력 > 표면 장력의 대소관계가 성립한다.  
② 다른 모든 조건이 동일하면, 점성력이 높을수록  $Re$ 값은 작아진다. 이는 우리가 논의하는 평면상에서 좌측으로 이동하는 것이다. 제시된 그래프에 따르면 지나치게  $Re$ 값이 낮으면 위성 액적이 일어나지 않는다.  
③ 유체의 점성력을 높인다는 것은  $Re$ 값이 낮아진다는 뜻으로, 이는 제시된 그래프에서 좌측으로 이동하는 것이다. 땀힘 영역은 그래프의 가장 아래쪽을 가로지르는 띠 형태이며, 그 어느 영역에서 출발하더라도 왼쪽으로 이동하는 것만으로 그 영역에서 벗어나는 것은 불가능하다.  
⑤ 유체의 표면 장력을 감소시키면  $We$ 의 값이 상승하게 되어, 이는 제시된 평면에서 연직 위로 이동하는 것이다. 위성 액체에 해당하는 어느 영역에서 출발하더라도 연직 위로 이동한다면 반드시 튕김과 비산 영역으로 들어가게 된다.

#### 4. ③

[정답 해설]

- ㄱ. 본문에 따르면 ㉠에는 관성력, 점성력, 표면 장력이 작용한다. 그런데 <보기>의 서술 '표면 장력', '관성력'이 제시되었으므로, 나머지 하나는 점성력에 대응됨을 알 수 있다.  
ㄴ. 본문에 따르면  $Re$ 는  $v$ 에 비례하고  $We$ 는  $v^2$ 에 비례한다. 그런데 <보기>에 따르면 표면 장력은  $v$ 와 무관한 상수이므로 점성력은  $v$ 에 비례하고 관성력은  $v^2$ 에 비례함을 알 수 있다.

[오답 해설]

- ㄷ. <보기>에 대해 앞서 살펴본 바에 따르면, 매 순간 유체에는 일정한 힘이 공급되며, 매초 관성력 + 점성력 + 표면장력에 해당하는 힘의 크기가 소모된다. 그런데 소모되는 힘은 최초로 힘을 가하기 시작한 시점, 즉  $v = 0$ 에서는 0이지만, 각각  $v^2$ ,

$v^1$ ,  $v^0$ 에 비례한다. 힘이 가해짐에 따라 잉여되는 힘이 없게 되어, 가속이 없어지고, 이 때문에 유체의 속도는 일정하게 된다. 즉,  $v$ 는 지속적으로 증가하는 것이 아니라, 증가하다가 일정 값에 머물게 된다.