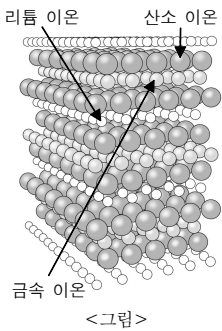


◆ 24년 10월 고3 4~7번

[4~7] 다음 글을 읽고 물음에 답하시오.

‘리튬 이온 이차 전지’는 리튬 이온을 저장할 수 있는 물질을 양(+)극과 음(-)극의 재료로 하여 충·방전의 반복을 가능하게 한 전지이다. 이 전지가 충전될 때 양(+)극의 활물질에 저장된 리튬 이온이 음(-)극으로 이동하고, 방전될 때는 음(-)극의 활물질에 저장된 리튬 이온이 양(+)극으로 이동한다. 활물질이란 충·방전 시 양(+)극과 음(-)극에서 화학적으로 반응하여 전기 에너지 저장과 방출에 관여하는 물질이다.



대표적인 활물질로 양(+)극에서는 ① 층상 구조의 리튬 금속 산화물을 많이 사용한다. 이 산화물은 금속 이온과 산소 이온이 결합한 구조물에 리튬 이온이 삽입되어 있는 고체 화합물로, <그림>과 같이 산소 이온들이 배열되어 층을 이루고 산소 이온들의 층과 층 사이에 금속 이온 층과 리튬 이온 층이 교대로 있는 구조이다.

전지를 충전할 때 층상 구조의 리튬 금속 산화물에서 리튬 이온이 층 속에서 벗어나 따로 떨어지게 되는 탈리가 일어나고, 방전될 때는 리튬 이온이 층 속에 삽입된다. 전지의 양(+)극에 있는 활물질을 양극 활물질이라 하는데, 이 물질에 있는 리튬 이온이 모두 탈리될 때 단위 무게당 이동하는 전하량*을 이론적으로 계산한 값이 양극 활물질의 이론 용량이다.

양극 활물질로 사용되는 리튬 금속 산화물을 만들 때는 코발트, 니켈, 망가니즈 등의 금속이 활용된다. 고가인 코발트를 사용한 리튬 코발트 산화물이 양극 활물질로 가장 먼저 상용화되었다. 이 산화물은 전지가 충전될 때 본래 가지고 있던 리튬 이온의 양에서 절반 이상의 리튬 이온이 빠져나가면, 층을 이루고 있던 산소 이온이 기체로 배출되어 구조가 붕괴되기 때문에 리튬 이온의 삽입과 탈리가 반복되기 어려워진다. 이 때문에 실제 사용할 수 있는 양극 활물질의 용량은 이론 용량의 절반 정도밖에 되지 않는다. 그러나 이론 용량의 절반 이하를 사용하는 조건에서는 이 활물질을 사용한 전지의 수명이 긴 편이다.

리튬 코발트 산화물이 고가이면서 실제 사용할 수 있는 용량이 적은 문제가 있어 코발트 함량비를 줄이고, 상대적으로 저가인 니켈과 망가니즈를 섞어서 만든 NCM계 리튬 금속 산화물이 제안되었다. NCM계 리튬 금속 산화물은 니켈, 코발트, 망가니즈의 함량비로 구분된다. 가령 NCM523은 니켈, 코발트, 망가니즈의 함량비가 각각 50%, 20%, 30%인 리튬 금속 산화물이다. 니켈 함량비가 높을수록 활물질의 실제 사용 가능 용량이 늘어나고, 이 용량이 커지면 전지의 사용 조건이 같을 때 한 번 충전 시 전지의 사용 시간이 길어진다. 하지만 니켈의 높은 반응성 때문에 충·방전 중 산소를 비롯한 기체가 발생하고 구조가 무너져 전지의 수명이 저하되기 쉽다. 한편, 구조의 변형을 억제하는 망가니즈의 함량비를 늘리면 전지의 안정성은 높아지지만 활물질의 실제 사용 가능한 용량은 줄어든다.

최근에는 NCM계 리튬 금속 산화물의 단점을 보완한 활물질들이 ㉠ 나오고 있다. 예를 들어 니켈, 코발트, 망가니즈에 다른 금속인 알루미늄을 조합하여 큰 용량과 안정성을 갖춘 NCMA가 이차 전지에 활용되기 시작했다.

* 전하량: 어떤 물체 또는 입자가 띠고 있는 전기의 양.

4. 밑글의 내용과 일치하지 않는 것은?

- ① 니켈, 코발트, 망가니즈에 다른 금속을 조합하여 NCM계 리튬 금속 산화물의 단점을 보완한 양극 활물질이 등장하였다.
- ② 리튬 코발트 산화물의 리튬 이온 양이 본래의 절반 넘게 유지되면 구조가 붕괴된다.
- ③ 활물질은 전지의 충·방전 시 양(+)극과 음(-)극에서 화학 반응을 한다.
- ④ 리튬 코발트 산화물은 이론 용량보다 실제 사용할 수 있는 용량이 적다.
- ⑤ 리튬 코발트 산화물은 양극 활물질로 가장 먼저 상용화되었다.

5. ㉠에 대한 이해로 적절하지 않은 것은?

- ① 이온들의 배열이 층을 이루어 쌓여 있는 구조이다.
- ② 고체로 된 화합물로 전지의 양(+)극에서 사용된다.
- ③ 리튬 이온이 완전히 탈리되었을 때를 전제하여 이론 용량이 계산된다.
- ④ 층상 구조가 붕괴되면 리튬 이온의 삽입과 탈리의 반복이 어려워진다.
- ⑤ 방전 시 리튬 이온이 따로 떨어지게 되고, 충전 시 리튬 이온이 삽입된다.

6. 밑글을 바탕으로 <보기>를 이해한 내용으로 적절하지 않은 것은? [3점]

< 보기 >

A사는 리튬 이온 이차 전지를 생산하기 위해 양극 활물질로 리튬 코발트 산화물, NCM433, NCM622, NCM811 중 하나를 선정하여 양극 활물질을 생산하는 업체와 구매 계약을 맺으려고 한다. (단, 니켈, 코발트, 망가니즈의 함량비 외 다른 변수는 없다고 가정한다.)

- ① A사가 전지의 안정성을 최우선으로 고려한다면, NCM433과 NCM622 중 NCM622는 선정되지 않겠군.
- ② A사가 구매 비용보다 전지의 수명을 더 중요시한다면, NCM433과 NCM811 중 NCM811이 선정되겠군.
- ③ A사가 구매 비용이 낮고 실제 사용 가능 용량이 큰 양극 활물질이 필요하다면, 리튬 코발트 산화물은 선정되지 않겠군.
- ④ A사가 전지의 안정성보다 양극 활물질의 실제 사용 용량을 더 중요시한다면, NCM433과 NCM622 중 NCM622가 선정되겠군.
- ⑤ A사가 한 번 충전 시 전지의 사용 시간이 가장 긴 것을 최우선으로 고려한다면, NCM622와 NCM811 중 NCM622는 선정되지 않겠군.

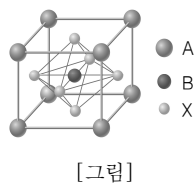
7. ㉠와 문맥상 의미가 가장 가까운 것은?

- ① 오랜만에 좋은 제품이 나왔다.
- ② 오늘 신문에 그 기사가 나왔다.
- ③ 낡은 수도관에서 녹물이 나왔다.
- ④ 그가 주연으로 연극 무대에 나왔다.
- ⑤ 고속 도로의 끝에서 드디어 휴게소가 나왔다.

◆ 24년 6월 고2 38~42번

[38 ~ 42] 다음 글을 읽고 물음에 답하십시오.

에너지 공급 분야의 혁신 기술 중 하나로 각광받고 있는 태양전지는 태양광 에너지를 전기 에너지로 변환하는 반도체 소자 또는 그들의 집합체를 말한다. 현재 가장 많이 사용되고 있는 태양전지인 실리콘 태양전지는 무기 반도체 소재로 만들어진 것으로, 광전 변환 효율이 높고 사용 수명이 길지만 가격이 고가이고 가공성이 떨어진다. 유기 물질을 재료로 사용하는 유기 태양전지는 가격은 저렴하고 가공성이 뛰어나지만 광전 변환 효율이 낮고 사용 수명이 짧다. 이에 따라 저가로 제작이 가능하고 광전 변환 효율이 높은 유·무기 하이브리드 태양전지인 페로브스카이트 태양전지가 주목받고 있다.



페로브스카이트는 [그림]과 같이 정육면체의 꼭짓점에 크기가 큰 양이온(A)이 있고, 가운데에 작은 양이온(B)이, 각 면 중앙에 음이온(X)이 존재하는, 큐빅 구조의 결정을 가진 물질들을 가리킨다. 페로브스카이트는 이온 간 결합 에너지가 작아 약한 에너지 자극

에도 반응이 활발하며, 빛에 의해 전자(⊖)와 정공(⊕)을 생성하는 성능이 뛰어나다. 화학적 합성이 가능한 여러 이온들이 A, B, X 자리에 올 수 있어 다양한 종류의 페로브스카이트가 형성된다. 그중 ㉠ 태양전지에 사용되는 페로브스카이트는 A에 유기 양이온이, B에 무기 금속 양이온이, X에는 음이온이 온다. 이온의 종류에 따라 결정 구조가 달라질 수 있고, 결정 구조가 달라지면 전하의 생성량에 영향을 미친다. A, B, X 자리에 두 개 이상의 원자가 결합된 이온이 올 경우에는 광전 변환 효율이 높아질 수 있다.

페로브스카이트 태양전지는 광전 변환을 위해 협력하는 여러 층으로 구성되어 있다. 투명 전도성 산화물(TCO)층은 페로브스카이트 태양전지의 전면 전극 역할을 하는 것으로, 전류가 잘 흐르고 빛이 잘 투과하는 산화물 유리 기판*을 사용한다. 전자 수송층은 페로브스카이트층에서 만들어진 전자를 TCO층에 전달하는 역할을 하는 층으로, 두 층의 직접적인 접촉을 막아 광전 변환 효율을 높인다. 전자 수송층에는 무기 반도체 금속 산화물인 이산화 타이타늄이 사용되고 있다. 이산화 타이타늄은 내부에 나노 크기의 공기 구멍을 가진 다공질 구조로 되어 있어 전자 수송에 용이하고, 페로브스카이트층과의 흡착력을 높여 태양광 입자가 최대한 흡수되도록 한다. 태양광이 TCO층과 전자 수송층을 지나 중심부인 페로브스카이트층에 도달하여 흡수되면 전자가 높은 에너지를 갖게 되어 본래의 자리를 이탈하게 된다. 전자가 있던 자리에는 정공이 만들어지고, 이들은 각각 반대 방향으로 이동한다. 정공 수송층은 페로브스카이트층에서 생성된 정공을 후면 전극으로 수송하는 층이다. 열에 안정적이고 합성이 간단한 유기 반도체 소재가 사용되는데, 이는 전도성을 높이고 정공이 효율적으로 이동할 수 있도록 하기 위해서이다. 후면 전극은 전기화학적으로 안정적인 금이나 알루미늄 등으로 만들어 광전 변환 효율을 높인다. 페로브스카이트층에서 생성된 전자와 정공은 각각의 수송층을 통하여 양쪽 전극에 도달한다. 이에 따라 음극에서 양극으로의 전자 이동이 가능한 외부 회로가 형성되고 전류의 흐름이 가능해진다.

페로브스카이트 태양전지는 곡면 형태로도 제작이 가능하며, 빛 투과도나 색채도 조절할 수 있어 다양한 분야에 사용이 가능하다. 다만, 상용화를 위해서는 실리콘 태양전지보다 낮은 에너지 변환 효율, 짧은 사용 수명, 친환경적이지 않은 소재 사용 등의 문제들이 해결되어야 한다. 이를 위해 관련 연구가 활발하게 진행되고 있다.

* 기판: 전기 회로가 편성되어 있는 판.

38. 윗글의 내용 전개 방식으로 가장 적절한 것은?

- ① 대상을 요소별로 분석하여 기능을 설명하고 있다.
- ② 묻고 답하는 방식으로 대상의 개념을 설명하고 있다.
- ③ 대상의 변화 양상을 시대별로 구분하여 서술하고 있다.
- ④ 대상이 지닌 문제점과 해결 과정을 단계별로 제시하고 있다.
- ⑤ 대상과 관련된 현상의 원인을 다양한 측면에서 제시하고 있다.

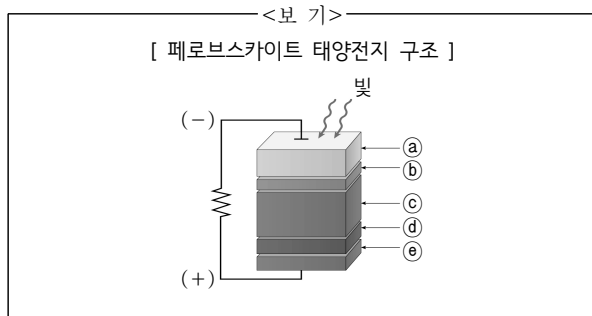
39. 밑글의 내용과 일치하는 것은?

- ① 페로브스카이트 태양전지는 형태나 색채 조절이 불가능하다.
- ② 산화물 유리 기판은 전류가 잘 흐르지만 빛의 투과율이 낮다.
- ③ 태양전지의 반도체 소자는 태양광 에너지를 전기 에너지로 변환한다.
- ④ 페로브스카이트 태양전지는 사용 수명은 짧지만, 친환경적인 소재를 사용한다.
- ⑤ 현재 가장 많이 사용하고 있는 유-무기 하이브리드 태양전지는 실리콘 태양전지이다.

40. ㉠에 대한 이해로 적절하지 않은 것은?

- ① 빛에 의해 전하를 생성하는 성능이 뛰어나다.
- ② 이온 간 결합 에너지가 작아 외부 자극에 대한 반응성이 낮다.
- ③ 이온의 종류에 따라 결정 구조가 달라져 생성되는 전하의 양에 영향을 줄 수 있다.
- ④ 유기 이온과 무기 이온 등으로 구성되어 유-무기 하이브리드 태양전지의 핵심이 된다.
- ⑤ A, B, X 자리에 오는 이온이 두 개 이상의 원자가 결합된 이온인지의 여부에 따라 광전 변환 효율이 달라질 수 있다.

41. [A]를 바탕으로 <보기>의 ㉠~㉣를 설명한 내용으로 적절하지 않은 것은? [3점]



- ① ㉠은 태양전지의 전면 전극으로 ㉢에서 생성된 전자를 전달 받는다.
- ② ㉡는 ㉠과 ㉢의 직접 접촉을 막아 태양전지의 광전 변환 효율을 높인다.
- ③ ㉡와 ㉣는 모두 전하를 효과적으로 수송할 수 있도록 전도성과 안정성이 확보된 무기 반도체 소재를 사용한다.
- ④ ㉢가 ㉠, ㉡를 통과한 빛을 흡수하여 전자와 정공을 생성하면, 이들은 각각 반대 방향으로 이동한다.
- ⑤ 전자와 정공이 각각 ㉡와 ㉣를 통해 ㉠과 ㉢에 도달하면 외부 회로가 형성되어 전류가 흐를 수 있게 된다.

42. <보기>를 참고하여 밑글에 대해 보일 수 있는 반응으로 적절하지 않은 것은?

<보 기>

가. 유기 태양전지는 실리콘 태양전지에 비해 빛을 흡수하는 정도인 흡광 계수가 1,000배 이상 높아 매우 얇은 두께에서도 빛의 흡수를 극대화하여 다량의 전하를 생성할 수 있다. 그럼에도 광전 변환 효율이 실리콘 태양전지의 절반에도 미치지 못하는 이유는 빛의 흡수로 생성된 전자의 이동 거리가 짧고, 이동 속도가 느려 소량의 전자만이 전극에 도달하고 전극에 도달하지 못한 나머지 전자들은 에너지를 잃어 정공과 다시 결합하기 때문이다.

나. 탄소는 다른 원소 특히 수소, 산소, 질소 등과 쉽게 결합할 수 있으며, 다양한 화합물을 형성할 수 있는 특성을 지니고 있다. 이러한 탄소가 주요 성분이 되는 유기 물질은 공기 중의 산소나 수분과 화학 반응을 일으켜 부식되거나 연소되기도 한다.

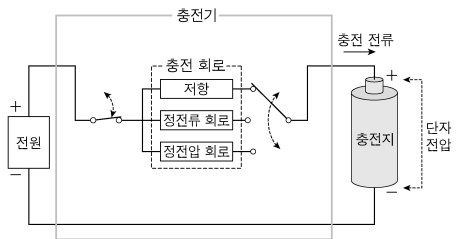
- ① 페로브스카이트 태양전지의 광전 변환 효율을 더 높이기 위해서는 전자의 이동 속도를 고려할 필요가 있겠군.
- ② 광전 변환 효율이 높은 유기 태양전지를 제작하기 위해서는 흡광 계수가 높은 소재를 사용하는 것이 핵심이겠군.
- ③ 유기 태양전지의 사용 수명이 짧은 이유는 재료로 사용되는 유기 물질의 특성에 그 원인이 있다고 볼 수 있겠군.
- ④ 페로브스카이트 태양전지가 가진 문제를 해결하기 위해서는 내부 물질과 외부 환경과의 반응을 고려하는 것도 필요하겠군.
- ⑤ 유기 태양전지가 실리콘 태양전지보다 광전 변환 효율이 낮은 것은 생성된 전하 대비 전극에 도달한 전자의 비율이 낮기 때문이겠군.

◆ 22 예시문항 30~34번

[30~34] 다음 글을 읽고 물음에 답하시오.

충전과 방전을 ㉔ 통해 반복적으로 사용할 수 있는 충전지는 충전기를 ㉕ 통해 충전하는데, 충전기는 적절한 전류와 전압을 제어하기 위한 충전 회로를 가지고 있다. 충전지는 양극에 사용되는 금속 산화 물질에 따라 납 충전지, 니켈 충전지, 리튬 충전지로 나눌 수 있다. 충전지가 방전될 때 양극 단자와 음극 단자 간에 전위차, 즉 전압이 발생하는데, 방전이 진행되면서 전압이 감소한다. 이렇게 변화하는 단자 전압의 평균을 공칭 전압이라 한다. 충전지를 크게 만들면 충전 용량과 방전 전류 세기를 증가시킬 수 있으나 전극의 물질을 바꾸지 않는 한 공칭 전압은 변하지 않는다. 납 충전지의 공칭 전압은 2V, 니켈 충전지는 1.2V, 리튬 충전지는 3.6V이다.

충전지는 최대 용량까지 충전하는 것이 효율적이며 이러한 상태를 만충전이라 한다. 최대 용량을 넘어서 충전하는 과충전이나 방전 하한 전압 이하까지 방전시키는 과방전으로 인해 충전지의 수명이 줄어들기 때문에 충전 양을 측정·관리하는 것이 중요하다. 특히 과충전 시에는 발열로 인해 누액이나 폭발의 위험이 있다. 니켈 충전지의 일종인 니켈카드뮴 충전지는 다른 충전지와 달리 메모리 효과가 있어서 일부만 방전한 후 충전하는 것을 반복하면 충·방전할 수 있는 용량이 줄어든다.



충전에 사용하는 충전기의 전원 전압은 충전지의 공칭 전압보다 높은 전압을 사용하고 충전지로 유입되는 전류를 저항으로 제한한다. 그러나 충전이 이루어지면서 충전지의 단자 전압이 상승하여 유입되는 전류의 세기가 점점 줄어들게 된다. 그러므로 이를 막기 위해 충전기에는 충전 전류의 세기가 일정하도록 하는 정전류 회로가 사용된다. 또한 정전압 회로를 사용하기도 하는데, 이는 회로에 입력되는 전압이 변해도 출력되는 전압이 일정하도록 해 준다. 리튬 충전지를 충전할 경우, 정전류 회로를 사용하여 충전하다가 만충전 전압에 이르면 정전압 회로로 전환

하여 정해진 시간 동안 충전지에 공급하는 전압을 일정하게 유지함으로써 충전지 내부에 리튬 이온이 고르게 분포될 수 있게 한다.

충전지의 ㉖ 만충전 상태를 추정하여 충전을 중단하는 방식에는 몇 가지가 있다. 최대 충전 시간 방식에서는, 충전이 시작된 후 완전 방전에서 만충전될 때까지 소요될 것으로 추정되는 시간이 경과하면 무조건 충전 전원을 차단한다. 전류 적산 방식에서는 일정한 시간 간격으로 충전 전류의 세기를 측정하여, 각각의 값에 측정 시간 간격을 곱한 것을 모두 더한 값이 충전지의 충전 용량에 이르면 충전 전원을 차단한다. 충전 상태 검출 방식에서는 충전지의 단자 전압과 충전지 표면의 온도를 측정하여 만충전 여부를 판정한다. 충전지에 충전 전류가 유입되면 충전이 시작되어 단자 전압과 온도가 서서히 올라간다. 충전량이 만충전 용량의 약 80%에 이르면 발열량이 많아져 단자 전압과 온도가 급격히 올라간다. 만충전 상태에 가까워지면 단자 전압이 다소 감소하는데 일정 수준으로 감소한 시점을 만충전에 도달했다고 추정하여 충전 전원을 차단한다. 니켈카드뮴 충전지의 경우는 단자 전압의 강하를 검출할 수 있으나 다른 충전지들의 경우는 이러한 전압 강하가 검출이 가능할 만큼 크게 나타나지 않기 때문에 최대 단자 전압, 최대 온도, 온도 상승률 등의 기준을 정하고 측정된 값이 그 기준들을 넘어서지 않도록 하여 과충전을 방지한다.

30. 윗글의 내용과 일치하는 것은?

- ① 과충전은 충전지의 수명에 영향을 끼치지 않는다.
- ② 방전 시 충전지의 단자 전압은 공칭 전압보다 낮을 수 있다.
- ③ 정전압 회로에서는 입력되는 전압이 변하면 출력되는 전압이 변한다.
- ④ 전극의 물질을 바꾸어도 충전지의 평균적인 단자 전압은 변하지 않는다.
- ⑤ 니켈카드뮴 충전지는 일부만 방전한 후 충전하기를 반복해도 방전할 수 있는 용량이 줄어들지 않는다.

31. 다음은 리튬 충전지의 사용 설명서 중 일부이다. 윗글에서 근거를 찾을 수 없는 것은?

유의 사항

- 충전지에 표시된 전압보다 전원 전압이 높은 충전기를 사용해야 합니다. ①
- 충전지에 표시된 충전 허용 전류보다 충전 전류의 세기가 강하면 충전지의 수명이 줄어듭니다. ②
- 충전지의 온도가 과도하게 상승하면 충전을 중지해야 합니다. ③
- 충전지를 사용하다가 수시로 충전해도 무방합니다. ④
- 과도하게 방전시키면 충전지의 수명이 줄어듭니다. ⑤

32. <보기>는 윗글을 읽은 발명 동아리 학생들이 새로운 충전기 개발을 위해 진행한 회의의 일부이다. ㉠에 대한 의견으로 적절하지 않은 것은?

〈보 기〉

부장: 충전기에 적용할 수 있는 충전 중단 방식이 지닌 장점에 대한 의견 잘 들었습니다. 이제 각 방식을 사용할 경우 발생할 수 있는 문제점을 생각해 보시고 의견을 말씀해 주십시오.

부원 1: 최대 충전 시간 방식을 사용할 경우, 완전 방전이 되지 않은 상태에서 충전을 시작하면 과충전 상태에 이르는 한계가 있습니다.

부원 2: 전류 적산 방식을 사용할 경우, 충전 전류가 변할 때보다 충전 전류가 일정할 경우에, 추정된 충전 양과 실제 충전 양의 차이가 커질 수 있다는 단점이 있습니다.

부장: 충전 상태 검출 방식에 대한 의견을 말씀해 주십시오.

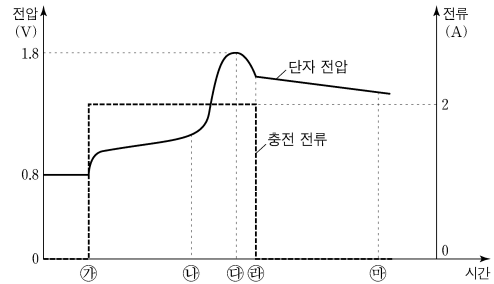
부원 3: 충전 상태 검출 방식 중 전압 강하를 검출하는 방식은 여러 종류의 충전지를 두루 충전하는 충전기에 사용하기에는 적절하지 않습니다.

부원 4: 충전 상태 검출 방식 중 온도로 상태를 파악하는 방식에서는 주변 환경이 충전지 표면 온도에 영향을 준다면 충전 완료 시점을 정확하게 추정하기 어렵습니다.

부원 5: 지금까지 논의한 방식은 모두 충전 전원을 차단하는 장치가 없다면 과충전을 방지할 수 없다는 한계가 있습니다.

- ① 부원 1의 의견 ② 부원 2의 의견
- ③ 부원 3의 의견 ④ 부원 4의 의견
- ⑤ 부원 5의 의견

33. 다음은 어떤 충전지를 충전할 때의 단자 전압과 충전 전류를 나타낸 그래프이다. 윗글을 참고할 때, ㉡~㉤에 대한 이해로 적절하지 않은 것은? [3점]



- ① ㉠: 단자 전압이 공칭 전압 이하인 상태에서 충전이 시작되는군.
- ② ㉡: 충전 전류에 의해 온도가 상승하고 정전류 회로가 작동하고 있군.
- ③ ㉢: 단자 전압이 최대에 도달했으므로 만충전에 이르렀군.
- ④ ㉣: 정전류 회로가 작동을 멈추고 전원이 차단되었군.
- ⑤ ㉤: 충전 전류가 흐르지 않는 상태에서 방전이 되고 있군.

34. ㉠, ㉡의 의미로 쓰인 예가 바르게 짝지어진 것은?

- ① [㉠: 그 사람에게 그런 식은 안 통한다.
㉡: 전깃줄에 전류가 통한다.]
- ② [㉠: 그와 나는 서로 통하는 면이 있다.
㉡: 청년기를 통해 노력의 중요성을 익혔다.]
- ③ [㉠: 이 길은 바다로 가는 길과 통해 있다.
㉡: 모두 비상구를 통해 안전하게 빠져나갔다.]
- ④ [㉠: 이곳은 바람이 잘 통해 빨래가 잘 마른다.
㉡: 그런 알팍한 수는 나에게 통하지 않는다.]
- ⑤ [㉠: 철저한 실습을 통해 이론을 확실히 익힌다.
㉡: 망원경을 통해 저 멀리까지 내다보았다.]

◆ 17년 10월 고3 32~35번

[32~35] 다음 글을 읽고 물음에 답하시오.

기계나 설비 등이 목적에 맞게 작동하도록 온도, 압력, 유량, 회전 속도 등의 물리량을 조절하는 기술을 제어 기술이라고 한다. 제어 대상의 현재 물리량의 크기를 센 측정값을 원하는 목표인 설정값에 일치시키기 위해, 출력되는 조작량을 조절하는 제어 기술에는 여러 방식이 있다. 그중 가장 간단한 방식은 'on/off 스위치 방식'으로, 물의 온도를 맞출 때 사용되는 보일러의 온도 조절 장치에 흔히 활용된다. 이 장치에서는 ㉠ 현재 온도가 원하는 온도보다 낮으면 스위치가 on되어 가열기에 전원이 공급되며, 원하는 온도보다 높으면 스위치가 off되어 가열기에 공급되는 전원이 차단된다. 스위치가 on일 때에는 100%에 해당하는 조작량이 출력되고, 스위치가 off일 때에는 조작량이 0%가 된다. 가열기가 처음 작동될 때 수온을 올리기 위해 on 상태를 유지하는데, 어느 순간 수온이 설정값을 넘는 '오버슈트'가 발생한다. 오버슈트가 발생하면 시스템에 무리를 줄 수 있으므로 ㉡ 스위치를 반복적으로 on과 off하여 현재 온도를 설정값에 이르도록 한다. 수온은 압력이나 유량처럼 물리량의 변화가 연속적인 아날로그적 속성을 지니므로 수온이 상승하여 스위치를 off로 바꾸었다고 해서 금세 낮아지지는 않는다. 따라서 스위치를 반복적으로 on과 off하면 설정값을 기준으로 수온이 위아래로 일정하게 오르내리는 '현팅'이 발생한다.

on/off 스위치 방식은 오버슈트와 현팅이 발생하여 제어 대상의 물리량을 정밀하게 제어하기 어렵다. 이런 on/off 스위치 방식의 결점을 보완하기 위해 'PID 제어 방식'이 활용된다. PID 제어 방식은 P(비례) 제어, I(적분) 제어, D(미분) 제어를 모두 활용하여 제어 대상의 물리량을 정밀하게 제어한다. 그런데 목적에 따라 P 제어 방식, PI 제어 방식, PD 제어 방식이 활용되는 경우도 있다.

P 제어는 설정값의 위아래에 일정한 비례대를 설정하여, 비례대 안에서 설정값과 측정값의 편차에 비례하는 조작량을 출력한다. 예컨대 P 제어가 활용된 보일러의 온도 조절 장치에서 현재의 온도가 비례대 하한선 아래에 있을 경우 현재 온도가 비례대 하한선에 이를 때까지는 100%의 조작량이 출력되어 스위치를 on 상태로 유지한다. 그러다 현재 온도가 비례대 하한선보다 높아지면 비례 주기를 갖게 되는데, 각 주기에서는 스위치의 on과 off 동작이 반복된다. 즉, ㉢ 비례대 하한선을 넘은 현재 온도가 설정값에 이르기 전까지는 on 시간이 off 시간보다 긴 동작이 주기적으로 반복되는 것이다. 현재 온도가 설정값에 도달하면 50%의 조작량이 출력되어 on과 off 시간이 1:1인 동작이 반복된다. 현재 온도가 설정값보다 오르면 off 시간이 on 시간보다 긴 동작이 주기적으로 반복되고, 현재 온도가 비례대 상한선을 넘으면 off 상태를 유지한다. 이처럼 P 제어를 활용하면 측정값을 설정값에 정밀하게 근접시킬 수

있으므로 on/off 스위치 방식만 활용할 때보다 현팅이 크게 줄어든다. 그러나 P 제어에서는 ㉣ 측정값이 일정하게 유지되는 안정 상태가 되어도 설정값에 대하여 일정한 오차가 설정값의 위 또는 아래에 필연적으로 발생하는데, 이를 '잔류편차'라 한다. 보일러의 온도 조절 장치에 P 제어가 활용될 때, ㉤ 비례대를 넓게 설정할수록 가열을 위한 on과 off의 반복 동작이 시작되는 온도가 낮아지므로 현재 온도가 설정값에 근접하는 시간이 길어지고 잔류편차가 커지지만 현팅은 거의 발생하지 않는다. 반면에 비례대를 좁게 설정할수록 현재 온도가 설정값에 근접하는 시간은 짧아지고 잔류편차가 작아지지만 현팅이 발생하기 쉽다.

I 제어를 P 제어와 같이 활용하면 잔류편차를 없앨 수 있어 측정값이 설정값에 거의 근접하게 된다. PI 제어의 적분 동작은 측정값과 설정값 사이의 편차의 적분값에 비례하는 조작량을 출력하는 것으로, 적분 동작의 강도를 나타내는 적분 시간을 통해 동작의 세기를 조절한다. 적분 시간을 짧게 하면 제어 대상의 상태 변화를 수정하는 동작이 강해져 잔류편차를 짧은 시간에 없앨 수 있지만 현팅이 발생하는 원인이 될 수 있다. 반대로 적분 시간을 길게 하면 수정 동작이 약해져 현팅은 발생하지 않지만, 잔류편차를 없애는 데 긴 시간이 걸린다.

그런데 P 제어나 PI 제어만 활용할 경우에는 외부 충격이나 진동 등이 발생하여 제어 대상의 상태가 급격히 변화할 때 측정값이 설정값으로 돌아가는 데 긴 시간이 걸린다. 이때 D 제어를 활용하면 빠르게 설정값으로 돌아갈 수 있다. 외부 충격이나 진동 등이 발생하면 측정값과 설정값 사이에 편차가 커지는데, PD 제어나 PID 제어의 미분 동작은 측정값과 설정값 사이의 편차가 변화하는 속도에 비례하여 조작량을 출력하는 것이다. 미분 동작의 세기는 미분 시간을 통해 조절하는데, 미분 시간을 짧게 하면 제어 대상의 상태 변화를 수정하는 동작이 약해져 측정값이 설정값까지 도달하는 시간은 길어지지만 오버슈트는 발생하지 않는다. 반면, 미분 시간을 길게 하면 수정 동작이 강해져 측정값이 설정값에 도달하는 시간은 짧아지지만 오버슈트가 발생하기 쉽다.

32. 밑글의 내용과 일치하는 것은?

- ① 미분 동작은 측정값과 설정값 사이의 편차가 일정할 때 수행된다.
- ② 현팅 현상이 지속되면 측정값과 설정값이 일치하는 상태가 안정적으로 유지된다.
- ③ PI 제어에서 조작량은 측정값과 설정값의 편차가 변화하는 속도에 비례하여 출력된다.
- ④ on/off 스위치 방식이 활용된 온도 조절 장치로 물을 데울 때, 조작량은 데울 물의 양이다.
- ⑤ P 제어는 단독으로 활용되기도 하지만, I 제어와 함께 활용되기도 하고 D 제어와 함께 활용되기도 한다.

33. ㉠~㉤에 대한 설명으로 적절하지 않은 것은?

- ① ㉠: 측정값이 설정값보다 낮은 경우이다.
- ② ㉡: 조작량이 100%와 0%인 상태가 반복되는 상태이다.
- ③ ㉢: 100%에서 50% 사이의 조작량이 출력되는 때이다.
- ④ ㉣: 스위치가 on 상태로 지속되는 때이다.
- ⑤ ㉤: 비례 주기가 시작되는 온도가 낮아지는 경우이다.

34. 윗글을 바탕으로 <보기>에 대해 이해한 내용으로 적절하지 않은 것은? [3점]

— < 보 기 > —

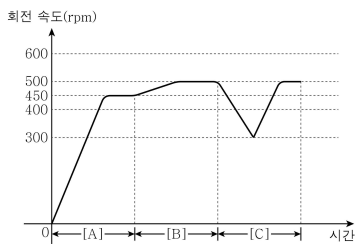
최근 강한 수증기 압력으로 진한 커피를 추출하는 커피 기계가 많이 쓰인다. 이 기계에는 물을 끓이는 가열기의 온도를 조절하는 장치, 분출되는 수증기의 압력을 조절해 주는 증기압 조절 장치, 수조의 물이 일정하게 유지되도록 물을 보충해 주는 수위 조절 장치가 등이 장착되어 있다.

- ① 온도 조절 장치에 on/off 스위치 방식만 활용될 때, 가열기의 작동 초기에 on 상태를 계속 유지하면 오버슈트가 발생할 수 있을 것이다.
- ② 온도 조절 장치에 PID 제어 방식이 활용될 때, 온도가 설정값 위로 갑자기 상승해도 미분 동작에 의해 빠르게 설정값으로 돌아갈 수 있을 것이다.
- ③ 증기압 조절 장치에 P 제어 방식이 활용될 때, 비례대를 좁게 하면 잔류편차를 없앨 수 있을 것이다.
- ④ 증기압 조절 장치에 on/off 스위치 방식만 활용될 때, 현재의 증기압이 설정값 위로 급하게 상승하는 경우에 스위치를 off로 바꾸어도 증기압이 설정값 아래로 곧바로 낮아지지는 않을 것이다.
- ⑤ 수위 조절 장치에 P 제어 방식이 활용될 때, on/off 스위치 방식만 활용될 때보다 헌팅을 줄일 수 있을 것이다.

35. 윗글을 바탕으로 <보기>를 탐구한 내용으로 적절한 것은?

— < 보 기 > —

다음의 그래프는 'PID 제어 방식'의 효과를 확인하기 위한 실험에서 모터 회전 속도를 측정한 결과이다. [A]에서는 P 제어, [B]에서는 PI 제어, [C]에서는 PID 제어를 활용하였다. (단, 설정값은 500 rpm*, 비례대는 400 ~ 600 rpm, 잔류편차는 50 rpm이다.)



* rpm : 1분당 회전 속도를 표시하는 단위.

- ① [A]에서 비례대가 430 ~ 570 rpm으로 수정되면 잔류편차는 50 rpm보다 크겠구나.
- ② [B]에서 헌팅이 발생했을 때, 현재보다 적분 시간을 짧게 수정하면 헌팅의 발생을 막을 수 있겠구나.
- ③ [B]에서 현재보다 적분 시간을 길게 하면 450 rpm에서 500 rpm에 도달하는 시간이 현재보다 더 짧아지겠구나.
- ④ [C]에서 현재보다 미분 시간을 짧게 하면 300 rpm에서 500 rpm에 도달하는 시간이 현재보다 더 길어지겠구나.
- ⑤ [C]에서 미분 동작으로 오버슈트가 발생했을 때, 현재보다 미분 시간을 길게 수정하면 오버슈트를 막을 수 있겠구나.

- 출전: 정용택 저. 《PID 제어 기술》
- 정답: 32. ⑤ 33. ④ 34. ③ 35. ④

◆ 15 LEET 언어이해 11~13번

[11~13] 다음 글을 읽고 물음에 답하시오.

남극 대륙에는 모두 녹을 경우 해수면을 57미터 높일 정도의 얼음이 쌓여 있다. 그 중에서 빙봉(ice shelf)이란 육지를 수 킬로미터 두께로 덮고 있는 얼음 덩어리인 빙상(ice sheet)이 중력에 의해 해안으로 밀려 내려가다가 육지에 걸친 채로 바다 위에 떠 있는 부분을 말한다. 남극 대륙에서 해안선의 약 75%가 빙봉으로 덮여 있는데, 그 두께는 100~1,000미터이다. 시간에 따른 빙봉 질량의 변화는 지구 온난화와 관련하여 기후학적으로 매우 중요한 요소이다. 빙봉에서 얼음의 양이 줄어드는 요인으로서 빙산으로 조각나 떨어져 나오는 얼음의 양은 비교적 잘 측정되고 있지만, 빙봉 바닥에서 따뜻한 해수의 영향으로 얼음이 얼마나 녹아 없어지는가는 그동안 잘 알려지지 않았다. 빙봉 아래쪽은 접근하기가 어려워 현장 조사가 제한적이기 때문이다. 더구나 최근에는 남극 대륙 주변의 바람의 방향이 바뀌면서 더 따뜻한 해수가 빙봉 아래로 들어오고 있어서 이에 대한 정확한 측정이 요구된다. 빙봉 바닥에서 얼음이 녹는 양은 해수면 상승에 영향을 미치지 때문이다.

육지에서 흘러내려와 빙봉이 되는 얼음의 질량(A)과 빙봉 위로 쌓이는 눈의 질량(B)은 빙봉의 얼음을 증가시키는 요인이 된다. 반면에 빙산으로 부서져 소멸되는 질량(C)과 빙봉의 바닥에서 녹는 질량(D)은 빙봉의 얼음을 감소시킨다. 이 네 가지 요인으로 인하여 빙봉 전체 질량의 변화량(E)이 결정된다. 남극 빙봉에서 생성되고 소멸되는 얼음의 질량에 대한 정확한 측정은 인공위성 관측 자료가 풍부해진 최근에야 가능하게 되었다.

A는 빙봉과 육지가 만나는 경계선에서 얼음의 유속과 두께를 측정하여 계산한다. 얼음의 유속은 일정한 시간 간격을 두고 인공위성 레이더로 촬영된 두 영상 자료의 차이를 이용하여 수 센티

미터의 움직임까지 정확하게 구할 수 있다. 얼음의 두께는 먼저 인공위성 고도계를 통해 물 위에 떠 있는 얼음의 높이를 구하고, 해수와 얼음의 밀도 차에 따른 부력을 고려하여 계산한다. B는 빙봉 표면에서 시추하여 얻은 얼음 코어와 기후 예측 모델을 통해 구할 수 있는데, 그 정확도는 비교적 높다. C는 떨어져 나오는 빙산의 면적과 두께를 이용하여 측정할 수도 있으나, 빙산의 움직임이 빠를 경우 그 위치를 추적하기 어렵고 해수의 작용으로 빙산이 빠르게 녹기 때문에 이 방법으로는 정확한 측정이 쉽지 않다. 따라서 보다 정밀한 측정을 위해 빙봉의 끝 자락에서 육지 쪽으로 수 킬로미터 상부에 위치한 임의의 기준선에서 측정된 얼음의 유속과 두께를 통해 구하는 방식으로 장기적으로 신뢰할 만한 값을 구한다. E는 빙봉의 면적과 두께를 통해 구하며, 이 모든 요소를 고려하여 D를 계산한다.

연구 결과, 남극 대륙 전체의 빙봉들에서 1년 동안의 A는 2조 490억 톤, B는 4,440억 톤, C는 1조 3,210억 톤, D는 1조 4,540억 톤이며, E는 -2,820억 톤인 것으로 나타났다. 남극 대륙 빙봉의 질량 감소 요인 중에서 D가 차지하는 비율인 R 값을 살펴보면, 남극 대륙 전체의 평균은 52%이지만, 지역에 따라 10%에서 90%에 이르는 극명한 차이를 보인다. 남극 대륙 전체 해역을 경도에 따라 4등분할 때, 서남극에 위치한 파인 아일랜드 빙봉과 크루슨 빙봉 같은 소형 빙봉들에서 R 값의 평균은 74%를 보였고, 그 외 지역에서는 40% 내외였다. 특히 남극에서 빙산의 3분의 1을 생산해 내는 가장 큰 빙봉으로 북남극과 서남극에 걸친 펠크너-론 빙봉, 남남극의 로스 빙봉에서 R 값은 17%밖에 되지 않았다.

남극 전체 빙봉의 91%의 면적을 차지하는 상위 10개의 대형 빙봉에서는 남극 전체 D 값 중 50% 정도밖에 발생하지 않으며, 나머지는 9% 면적을 차지하는 소형 빙봉들에서 발생한다. 이는 소형 빙봉들이 상대적으로 수온이 높은 서남극 해역에 많이 분포하고 있기 때문이다. 따라서 대형 빙봉들 위주로 조사한 데이터를 면적 비율에 따라 남극 전체에 확대 적용해 온 기존의 연구 결과에는 남극 전체의 D 값이 실제와 큰 ㉠오차가 있었을 것이다.

빙봉의 단위 면적당 D 값인 S 값을 살펴보면, 남극 전체에서 1년에 약 0.81미터 두께의 빙봉 바닥이 녹아서 없어지는 것으로 나타났으며, 지역적으로는 0.07~15.96미터로 편차가 컸다. 특히 서남극의 소형 빙봉에서는 매우 큰 값을 보여 주었으나, 다른 지역의 대형 빙봉은 작은 값을 보였다. 이는 빙봉 바닥에서 육지와 맞닿은 곳 근처에서는 얼음이 녹고, 육지에서 멀리 떨어진 곳에서는 해수의 결빙이 이루어지기 때문이다.

11. A~E를 구하는 과정에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① A는 수면 위의 빙봉의 높이에 관한 정보를 활용하여 구한다.
- ② B는 빙봉에서 직접 채취한 시료를 이용하여 추정된 값으로 구한다.
- ③ C는 떨어져 나온 빙산 양을 추적하는 방식으로는 정확하게 구하기 쉽지 않다.
- ④ D는 해수의 온도와 해수 속에서 녹는 얼음의 양을 직접 측정하여 구한다.
- ⑤ E는 빙봉의 두께 변화에 대한 정보를 얻어야 측정할 수 있다.

12. ㉠과 관련하여 추론한 것으로 적절하지 않은 것은?

- ① 남극 전체의 S 값이 실제 값보다 작게 파악되는 결과를 초래했다.
- ② 남극 전체의 R 값이 실제 값보다 작게 파악되는 결과를 초래했다.
- ③ 파인 아일랜드 빙봉의 R 값이 실제 값보다 작게 파악된 것과 같은 이유 때문에 발생했다.
- ④ 크로스 빙봉의 S 값이 실제 값보다 작게 파악된 것과 같은 이유 때문에 발생했다.
- ⑤ 로스 빙봉의 R 값이 실제 값보다 작게 파악된 것과 같은 이유 때문에 발생했다.

13. 윗글을 바탕으로 <보기>에 대해 논의한 것으로 옳은 것은?

<보 기>

최근의 한 연구에서 서남극에서 녹는 얼음이 몇 세기에 걸쳐 멈출 수 없는 해수면 상승을 일으킬 가능성이 높은 것으로 나타났다. 이 지역에는 모두 녹으면 해수면을 5미터 상승시킬 얼음이 분포한다. 이곳에 위치한 아문센 해는 해저 지형이 해수가 진입하기 좋게 형성되어 있어서 해수가 빙봉을 녹이는 데 용이한 조건을 구비하고 있다. 더구나 이곳에는 빙봉의 진행을 막아 줄 섬도 없어 미끄러져 내려오는 빙상을 저지하지 못하기 때문에 해수에 녹아 들어가는 빙봉의 양은 계속 많아질 전망이다.

- ① 아문센 해 인근의 해안에는 대형 빙봉들이 많이 분포할 것이다.
- ② 아문센 해에서는 빙봉의 두께가 줄어드는 속도가 남극 대륙의 평균값보다 클 것이다.
- ③ 아문센 해 인근의 빙봉의 바닥이 빠르게 녹으면서 인접한 빙상이 수년 내에 고갈될 것이다.
- ④ 서남극의 얼음 총량이 다른 남극 지역보다 더 많기 때문에 해수면 상승 효과가 더 클 것이다.
- ⑤ 서남극에서 빙상의 이동 속도가 증가하는 것은 떨어져 나가는 빙산의 양을 통해 알 수 있을 것이다.