Part

1

기출분석과 유제

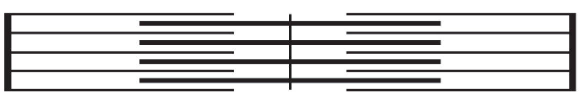
CHAPTER

1

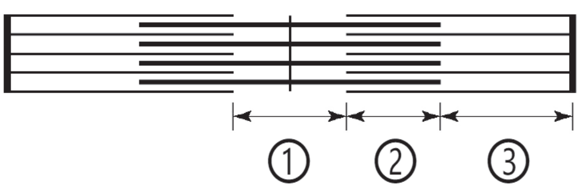
근수축 문항 풀이의 기본 도구

과거에 비해, 현재의 근수축 문항들이 계산량이 조금씩 늘어나고 다양한 조건들이 추가되고 있음에도 변하지 않는 사실이 하나 있습니다. 그건 바로, 모든 근수축 문항들의 최종 목표는 제시된 근육 원섬유 마디 X의 각 구간별 길이를 구해내는 것이라는 겁니다. 우리가 많고 복잡한 조건들 속에서도 빠르게 구하고자 하는 결론인 '구간별 길이'에 도달하기 위해서는 2가지 요소가 필요합니다. 바로 '도구'와 '스킬'입니다. 챕터 1에서는 풀이에 가장 기본이 되는 도구들을 정리한 다음, 챕터 2부터는 주요 기출 문제들을 풀이하면서 현재까지 평가원이 수험생들에게 질문한 내용들을 해석해 '스킬화' 하도록 하겠습니다.

근수축 문항에서 사용하는 도구들은 단 하나의 그림으로 정리가 가능합니다.

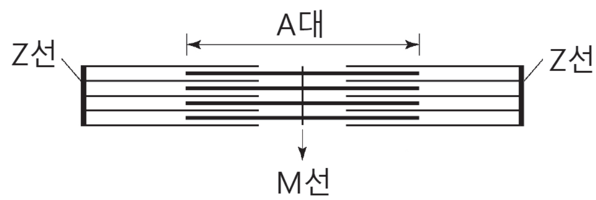


보통, 문자 X로 제시가 되는 근육 원섬유 마디 하나입니다. 이 마디 하나는 아래와 같이 크게 3개의 구간으로 나눌 수 있습니다.



1번 영역과 같이 마이오신만 존재하고 액틴은 존재하지 않는 구간을 'H대'라고 합니다. 2번 영역과 같이 액틴과 마이오신이 동시에 겹쳐서 존재하는 구간을 '액틴과 마이오신이 겹치는 구간 중 한쪽'이라고 합니다. '한쪽'이라는 말이 붙는 이유는 H대를 중심으로 양쪽으로 액틴과 마이오신이 겹치는 구간이 하나씩 존재하기 때문입니다. '한쪽'이라는 말 대신 '전체'라는 말을 사용한다면 양쪽을 모두 언급했다고 생각하시면 됩니다. 마찬가지로 액틴만 존재하고 마이오신이 존재하지 않는 구간을 'I대 중 한쪽'이라고 합니다. 'I대 전체'라고 한다면 H대를 중심으로 양쪽에 존재하는 I대를 모두 언급했다고 볼 수 있겠죠?

가장 핵심이 되는 도구는 이 3가지 구간이 될 것입니다. 평가원에서 출제가 자주 되지는 않았지만 앞으로 심화될 여지가 충분히 있는 나머지 도구들도 살펴보도록 하겠습니다.



마이오신만 존재하는 구간을 'A대' 또는 '암대'라고 부릅니다. A대는 곧 마이오신이라고 생각해도 무방합니다. 근육 원섬유 마디의 가장 가운데 부분을 'M선', 양쪽의 끝부분을 'Z선'이라고 합니다. 과거에 M선과 Z선은 구체적으로 출제된 적이 없었지만 2020년부터 평가원 기출문제로 출제가 되었습니다. 따라서 이후 중요하게 다뤄지거나 수능에서까지 출제될 가능성이 높기 때문에 따로 챕터를 구성하여 뒤에서 다루겠습니다.

여기까지 정리하면 근수축 유형에서 사용되는 도구들을 모두 알아본 것입니다. 기출 분석을 한 번이라도 하신 분이라면 아마 당연하게 알고 계신 내용들일거라 생각합니다. 비유전 추론 유형인 '근수축'과 '전도'는 관련 개념의 양이 매우 적음에도 유전 파트 만큼이나 다양하고 어렵게 출제될 수 있다는 것이 묘미입니다. 평가원에서 출제하고 있는 유형은 다소 제한적이었지만 교육 과정이 바뀐 만큼 언제든 새로운 형태로 출제가 될 수 있습니다. 이 책의 대부분 문제들이 그러한 관점에서 제작되었기 때문에 일부 문제들은 생소하거나 풀이가 힘드실 수도 있습니다. 하지만 책의 커리큘럼을 버겁더라도 쫓아가다 보면 반드시 수능에서 근수축 문항은 주워먹기로 넘어가실 수 있을거라 장담하니 천천히 출발해 보도록 합시다!

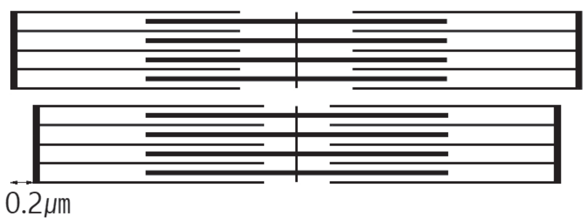
다음 페이지부터는 본격적으로 주요 기출 문제들을 풀이하면서 빠르고 정확한 풀이를 위해 알아야 할 논리들과 스킬들을 이해하고 정리하면서 가보도록 하겠습니다.

CHAPTER

2

근수축 문항 풀이의 핵심은 구간별 변화량이다

챕터 1에서는 근육 원섬유 마디의 주요한 세 구간 'H대', '액틴과 마이오신이 겹치는 부분', 'I대'를 알아보았습니다. 근수축 문항 풀이에 필요한 논리의 절반 이상은 "근육 원섬유 마디 X의 길이 변화에 따른 세 구간의 변화량"으로 귀결됩니다. 이때까지 출제된 대부분의 기출 문제가 이 논리를 따르고 있으므로 파트 1인 기출 분석과 유제에서는 거의 이 내용에 대해서 다루게 될 것입니다. '변화량'이라는 말의 의미를 구체적으로 파악하기 위해서 그림으로 살펴보도록 하겠습니다.



제시된 근육 원섬유 마디의 이름을 X라고 하겠습니다. 위의 그림은 X의 수축 전 모습이고, 아래의 그림은 X가 수축한 후의 모습입니다. 기출 문제에서는 이때까지 항상 X는 좌우 대칭이라는 조건이 나왔기 때문에 별도의 조건이 없을 때는 그냥 좌우 대칭이라고 생각해버리셔도 무방합니다. 보시는 것과 같이 양쪽으로 액틴이 0.2㎛씩 안쪽으로 들어갔습니다. 따라서 X 한쪽의 변화량을 -0.2라고 하고, 이것을 편의상 k라는 임의의 문자로 표시하겠습니다. 즉, k=-0.2겠죠? 앞으로 풀이에서도 많이 사용하겠지만 변화량에서 '−'는 길이의 감소를 뜻하고, '+'는 길이의 증가를 뜻한다고 생각하시면 되겠습니다.

자, X 한쪽의 변화량이 -0.2이므로 X의 변화량은 어떻게 될까요? 액틴이 양쪽에 하나씩 존재하므로 X 한쪽의 변화량, k의 두 배인 2k로 -0.4가 되겠죠? 아주 간단합니다.

같은 논리를 액틴과 마이오신이 겹치는 부분에도 적용해 봅시다. 여기서부터는 '액틴과 마이오신이 겹치는 부분'은 길어서 가독성이 떨어지므로 '겹대'라고 표현하도록 하겠습니다. '겹대 중 한쪽'의 변화량은 어떻게 될까요? 액틴이 0.2㎛만큼 안쪽으로 들어왔으므로 겹대 중 한쪽은 0.2㎛만큼 늘어났음을 쉽게 알 수 있겠죠? 따라서 겹대 중 한쪽의 변화량은 -k=0.2입니다. I대 중 한쪽의 길이는 반대로 0.2㎛만큼 줄어들었으므로 k=−0.2임을 알 수 있습니다.

마지막으로 H대를 살펴봅시다. H대는 양쪽에서 액틴이 0.2㎛씩 들어왔기 때문에 총 0.4㎛만큼 길이가 줄어들게 됩니다. 즉, H대의 변화량은 2k=−0.4입니다. 최종적으로 정리해 보겠습니다!

skill

X 한쪽의 변화량이 k일 때

근육 원섬유 마디 X의 변화량 = 2k

겹대 중 한쪽의 변화량 = −k

I대 중 한쪽의 변화량 = k

H대의 변화량 = 2k

앞으로 기출 문제 풀이든 자작 문제 풀이든 지겹게 보게 될 스킬입니다. 조금 특이하게 보셔야 할 점이 두 가지가 있습니다. 첫 번째는 겹대만 다른 구간들과 변화량의 부호가 다르다는 점입니다. 이 사실을 기반으로 논리 전개가 되는 문제를 심심찮게 보실 수 있을 것입니다. 두 번째는 X의 변화량과 H대의 변화량은 항상 2k로 같다는 것입니다. 아주 당연한 내용이지만 오히려 너무 당연해서 놓치기가 쉽고, 의식하고 있는 것과 하지 않는 것에서 계산 속도의 차이가 꽤 많이 나기 때문에 꼭 알아두시면 좋겠습니다.

skill

* 겹대만 다른 구간들과 변화량의 부호가 반대이다.
* X의 변화량 = H대의 변화량

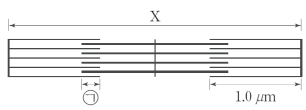
근수축 문항 풀이에 가장 핵심이 되는 구간별 변화량에 대한 내용을 살펴봤으므로 기출 문제 2문제를 풀이하면서 변화량이 구체적으로 문제 풀이에 어떻게 적용되는지를 알아보도록 하겠습니다. 문제 풀이를 먼저 하시고, 뒤에 이어지는 해설을 읽어주시면 되겠습니다.

[기출문제 1번. 2015년 시행 6월 모의고사 15번]

기출. 다음은 골격근의 수축 과정에 대한 자료이다.

○ 표는 골격근 수축 과정의 두 시점 ⓐ와 ⓑ일 때 근육 원섬유 마디 X의 길이를, 그림은 ⓑ일 때 X의 구조를 나타낸 것이다. X는 좌우 대칭이다.

시점	X의 길이(㎛)
ⓐ	2.4
ⓑ	3.2



○ ㉠은 X에서 액틴 필라멘트와 마이오신 필라멘트가 겹치는 두 구간 중 한 구간이다.
○ ⓑ일 때, A대의 길이는 1.6㎛이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

〈보기〉

ㄱ. 구간 ㉠의 길이는 ⓑ일 때보다 ⓐ일 때가 0.4㎛ 더 길다.
ㄴ. ⓐ일 때 H대의 길이는 0.6㎛이다.
ㄷ. ⓑ에서 ⓐ로 될 때 액틴 필라멘트의 길이는 짧아진다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

이 기출 문제를 시작으로 근수축 문항들이 개념 확인의 형태보다는 추론 위주의 유형이 되었다는 점에서 의미가 많은 문제입니다. 구간별 변화량을 이용한 관점으로 접근해봅시다!

두 시점 ⓐ와 ⓑ가 주어졌는데 ⓐ에서 ⓑ로 갈 때 X의 길이가 0.8㎛만큼 증가했습니다. 즉, X의 변화량은 0.8입니다. 전 페이지에서 알아본 스킬을 통해서 X의 변화량만 알았음에도 나머지 구간들의 변화량을 아래와 같이 알 수 있습니다.

X의 변화량 = 0.8
=> 겹대 중 한쪽의 변화량 = −0.4
=> I대 중 한쪽의 변화량 = 0.4
=> H대의 변화량 = 0.8

추가적으로 문제에서 주어진 정보를 확인해봅시다. 그림을 통해서 액틴의 길이가 1.0㎛, 조건을 통해서 시점 ⓑ일 때 마이오신의 길이가 1.6㎛임이 주어져 있습니다. 풀이를 더 진행하기 전에 액틴과 마이오신의 길이에 대한 얘기를 조금 해보겠습니다.

결론부터 이야기하면 액틴과 마이오신의 길이는 시점이 변하면서 X의 수축과 이완이 반복되어도 절대 변하지 않고, 한가지 값으로 고정되어야 합니다. 왜냐하면 X의 수축과 이완이 일어날 때 X의 길이가 변하는 이유는 액틴이 짧아지거나 길어지기 때문이 아니라 액틴이 마이오신 사이로 미끄러져 들어가거나 빠져나오기 때문이죠. 즉, 이 문제를 예시로 들면 액틴의 길이는 시점 ⓐ에서도 1.0㎛, 시점 ⓑ에서도 1.0㎛이고, 마이오신의 길이도 마찬가지로 두 시점 모두에서 1.6㎛인 것입니다.

액틴의 길이와 마이오신의 길이는 항상 일정하다는 것으로 도출할 수 있는 매우 중요한 스킬이 있습니다. 기출 문제의 X 그림을 참고하시면 액틴은 항상 '겹대 중 한쪽'과 'I대 중 한쪽'으로 구성되어 있습니다. 즉, '액틴의 길이 = 겹대 중 한쪽의 길이 + I대 중 한쪽의 길이'입니다. 그런데 액틴의 길이는 항상 일정하므로 '겹대 중 한쪽의 길이 + I대 중 한쪽의 길이' 값도 항상 일정합니다. 겹대 중 한쪽의 변화량이 -k, I대 중 한쪽의 변화량이 k이므로 당연한 사실이겠죠?

마이오신의 경우에도 마찬가지입니다. 마이오신은 '겹대 전체'와 'H대'로 이루어져 있습니다. 즉, '마이오신의 길이 = 겹대 전체의 길이 + H대의 길이'이고, '겹대 전체의 길이 + H대의 길이'가 항상 일정함을 알 수 있겠습니다. 아래와 같이 정리하고 반드시 숙지하도록 합시다!

skill

* 액틴의 길이 = I대 중 한쪽의 길이 + 겹대 중 한쪽의 길이 = 일정
* 마이오신의 길이 = 겹대 전체의 길이 + H대의 길이 = 일정

액틴의 길이에 대한 정보가 나오면 그 길이를 I대 중 한쪽의 길이와 겹대 중 한쪽의 길이의 합으로 쪼개서 보는 것도 중요하지만 반대로 I대 중 한쪽의 길이와 겹대 중 한쪽의 길이를 합한 값에 대한 정보가 나왔다면 그 값을 액틴의 길이로 환원하여 생각하는 것 또한 중요합니다. 자유자재로 해당 상황에 맞게 바꿀 수 있도록 연습한다면 계산 시간을 많이 단축하실 수 있을겁니다.

계속해서 풀이해보겠습니다. 정리해보면 문제에서 저희에게 제시한 조건은 첫 번째로 시점에 따른 X의 값을 통해 시점이 변할 때 각 구간의 변화량을 알려주었습니다. 두 번째로 액틴과 마이오신의 길이를 알려주었네요. 문제 제시문을 통해 단순하게 알 수 있는 정보는 모두 모았으므로 선지를 차례대로 보겠습니다.

ㄱ. 구간 ㉠의 길이는 ⓑ일 때보다 ⓐ일 때가 0.4㎛ 더 길다.

구간 ㉠인 겹대 중 한쪽의 길이에 대한 질문이 나왔습니다. 겹대 중 한쪽의 정확한 길이는 모르지만, 저희는 아까 모든 구간의 변화량을 구했으므로 이 선지를 해결할 수 있습니다. 시점 ⓐ에서 ⓑ로 갈 때 겹대 중 한쪽의 변화량은 -0.4였으므로 해당 선지는 맞는 선지임을 알 수 있겠습니다. 즉, X의 길이 변화를 통해 각 구간의 변화량을 알 수 있는지를 확인한 선지라고 볼 수 있겠네요.

ㄴ. ⓐ일 때 H대의 길이는 0.6㎛이다.

이번에는 구체적인 구간의 길이를 묻는 선지가 나왔습니다. 변화량은 말 그대로 수치의 변화일 뿐 구체적인 값을 나타내지는 않습니다. 따라서 변화량에 대한 정보가 아닌 남은 정보, 액틴과 마이오신의 길이를 통해서 알아내야 하는 선지이겠네요. 구할 수 있는 방법은 크게 두 가지입니다.

H대의 길이를 알아내야 하는 상황이므로 첫 번째 방법은 간단하게 X에서 양쪽 액틴을 제외하면 H대만 남는다는 논리를 이용해 시점 ⓐ일 때 X의 길이인 2.4㎛에서 양쪽 액틴의 총 길이인 2.0㎛을 빼주는 것입니다. 따라서 H대의 길이는 2.4㎛ − 2.0㎛ = 0.4㎛임을 알 수 있겠네요. ㄴ은 틀린 선지임도 바로 알 수 있습니다. 두 번째 방법은 액틴의 길이와 마이오신의 길이를 모두 이용하는 방법입니다. 양쪽 액틴의 길이와 마이오신의 길이를 더하면 X의 길이에 양쪽 겹대의 길이가 더해진 값이 되게 됩니다. 따라서 양쪽 액틴의 길이와 마이오신의 길이를 더한 값에 겹대 전체의 길이를 빼주면 X의 길이가 됩니다. 계산을 해보면 겹대 중 한쪽의 길이가 ⓐ일 때 0.6㎛임을 알 수 있습니다. H대의 길이는 마이오신의 길이에서 겹대 전체의 길이를 뺀 값이므로 0.4㎛임을 알 수 있네요. 해당 기출 문제에서는 첫 번째 방법이 월등히 빠름을 확인할 수 있지만, 각 문제의 주어진 상황에 따라 사용할 수 있는 방법에는 여러 가지가 있으므로 가장 빠르게 해결할 수 있을 것 같다고 생각하는 풀이를 골라서 사용하시면 됩니다.

첫 번째 방법은 직관적으로 그림만 봐도 쉽게 떠올릴 수 있는 내용이기 때문에 가볍게 넘어가셔도 되지만, 두 번째 방법은 막상 의식을 하고 외워두지 않으면 잘 떠오르지 않을 수도 있는 내용이므로 스킬로 따로 정리를 하고 마지막 선지를 보겠습니다.

skill

* 양쪽 액틴의 길이 + 마이오신의 길이 - 겹대 전체의 길이 = X의 길이

ㄷ. ⓑ에서 ⓐ로 될 때 액틴 필라멘트의 길이는 짧아진다.

개념 확인형 선지입니다. 앞서 말한 것처럼 액틴과 마이오신의 길이는 항상 일정하기 때문에 틀린 선지입니다. 따라서 이번 문제의 정답은 ①이 되겠습니다.

풀이의 흐름을 처음부터 다시 확인해봅시다. 우선 시점에 따른 X 길이의 변화량을 통해서 모든 구간의 변화량을 알아내었습니다. 가장 핵심적인 논리였죠? 다음으로 그림과 조건을 통해 주어진 액틴과 마이오신의 길이를 이용해 선지를 차례대로 해결해 나갔습니다. 변화량에 관한 논리와 약간의 계산 스킬만 있다면 무난하게 해결할 수 있는 문항이었네요.

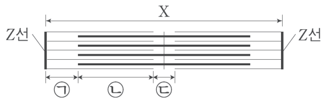
이 기출 문제가 2015년 6월에 출제된 문항이었고, 이어서 2015년 수능과 2017년 6월 모의평가에 이 기출 문제의 변형 문항이 곧바로 출제되게 됩니다. 이번 문제처럼 기출 문제를 이렇게 꼼꼼하게 분석하고 얻어낸 논리들과 정보들을 확실하게 체화하면 이후 시험에 출제된 변형 문제 또한 쉽게 풀어낼 수 있다는 것을 느껴보시면 좋겠습니다. 더 욕심을 부리자면 기출 분석이란 단순히 문제를 분류하고 풀이하는 것에 그치지 않는다는 것 또한 느끼신다면 정말 좋을 것 같습니다. 2015년 수능 문제는 이 문제와 논리가 거의 동일하기 때문에 생략해도 무방할 것 같습니다. 다음 페이지에서 바로 2017년 6월 모의평가 문항을 풀어보도록 하겠습니다.

[기출문제 2번. 2017년 시행 6월 모의고사 8번]

기출. 다음은 골격근의 수축 과정에 대한 자료이다.

○ 골격근은 근육 원섬유 다발로 구성되고, 하나의 근육 섬유는 여러 개의 근육 원섬유를 가지고 있다.
○ 표는 골격근 수축 과정의 두 시점 ⓐ와 ⓑ에서 근육 원섬유 마디 X의 길이를, 그림은 ⓑ일 때 X의 구조를 나타낸 것이다. X는 좌우 대칭이다.

시점	X의 길이(㎛)
ⓐ	3.0
ⓑ	2.2



○ 구간 ㉠은 액틴 필라멘트만 있는 부분이고, ㉡은 액틴 필라멘트와 마이오신 필라멘트가 겹치는 부분이며, ㉢은 마이오신 필라멘트만 있는 부분이다.
○ ⓑ일 때 ㉢의 길이는 0.2㎛이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

〈보기〉

ㄱ. ⓐ일 때 H대의 길이는 1.0㎛이다.
ㄴ. ㉡의 길이는 ⓑ일 때가 ⓐ일 때보다 0.4㎛ 더 길다.
ㄷ. $\frac{\text{㉠의 길이} + \text{㉡의 길이}}{\text{㉢의 길이}}$는 ⓑ일 때가 ⓐ일 때의 5배이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

이전 기출 문제와 유사한 형태의 추론 문제입니다. 단, 기출 분석을 철저하게 했는지 그렇지 않은지의 여부에 따라서 풀이 속도가 현저하게 차이가 납니다. 해설과 각자의 풀이를 비교하면서 본인이 기출 분석을 올바르게 받아드리고 문제에 적용하고 있는지, 그렇지 않다면 무엇이 문제였는지를 고민해 보셨으면 좋겠습니다.

ㄱ. ⓐ일 때 H대의 길이는 1.0㎛이다.

'X의 변화량 = H대의 변화량' 스킬을 기억하고 계신다면 보자마자 해결할 수 있는 선지입니다. ⓑ일 때 ㉢인 H대의 길이가 0.2㎛임이 나와 있고, ⓐ에서 ⓑ로 갈 때 X의 변화량이 -0.8㎛입니다. 따라서 ⓐ일 때 H대의 길이는 0.2㎛ + 0.8㎛ = 1.0㎛임을 아주 쉽게 알 수 있네요. ㄱ은 맞는 선지입니다.

ㄴ. ㉡의 길이는 ⓑ일 때가 ⓐ일 때보다 0.4㎛ 더 길다.

마찬가지로 구간별 변화량에 대한 내용을 알고 있는지를 확인한 선지입니다. 시점 ⓐ에서 ⓑ로 갈 때 X의 변화량은 -0.8㎛임으로 ㉡인, 겹대 중 한쪽의 변화량은 +0.4㎛입니다. 따라서 ㉡의 길이는 ⓑ일 때가 ⓐ일 때보다 0.4㎛ 더 깁니다. ㄴ도 맞는 선지입니다.

ㄷ. $\frac{\text{㉠의 길이} + \text{㉡의 길이}}{\text{㉢의 길이}}$는 ⓑ일 때가 ⓐ일 때의 5배이다.

이 선지에서 기출 분석의 중요함을 느끼실 수 있으실 겁니다. 대부분의 수험생들의 풀이를 예측해보자면 아마 시점 간 X의 변화량을 이용해 다른 모든 구간들의 변화량을 알 수 있으므로 ㉠의 길이와 ㉡의 길이 값을 구하려고 시도를 하셨을 것입니다. 하지만 이전 기출 문제의 액틴과 마이오신에 대한 고찰을 생각해본다면 ㉠의 길이와 ㉡의 길이의 합은 결국 액틴 한쪽의 길이와 동일함을 알 수 있습니다. 또한 ㄷ 선지에서는 정확한 수치가 아닌 비율만을 물어보고 있으므로 분자인 ㉠의 길이 + ㉡의 길이가 두 시점 ⓐ와 ⓑ에서 같은 값인 상황에서 결국 ㉢의 길이만 알면 이 선지는 해결할 수 있는 것입니다. ㉢의 길이는 이미 ㄱ 선지와 조건을 통해서 구해져있네요. ⓐ일 때 ㉢의 길이가 ⓑ일 때의 5배이므로 $\frac{\text{㉠의 길이} + \text{㉡의 길이}}{\text{㉢의 길이}}$ 값은 반대로 ⓑ일 때가 ⓐ일 때의 5배가 됩니다. 따라서 ㄷ도 올바른 선지이므로 이 문제의 정답은 ⑤입니다.

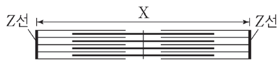
기출 분석을 통해 배웠던 논리와 스킬들을 하나하나 적용해 나갔다면 무난하게 해결할 수 있던 문제였습니다. 여기까지

배운 내용들을 각자 한번 되짚어 보시고 뒤에 이어지는 자작 문제를 한번 해결해 봅시다! 자작 문제의 난이도들은 일부러 기출 문제보다 약간 높게 설정했습니다. 배웠던 내용들을 반드시 적용해 본다는 생각으로 풀어주시면 좋을 것 같네요.

[유제 1번]

1. 다음은 골격근의 수축 과정에 대한 자료이다.

○ 그림은 근육 원섬유 마디 X의 구조를 나타낸 것이다. X는 좌우 대칭이다.



○ t_1과 t_2는 X의 운동 과정 중 관찰되는 서로 다른 시점이다.
○ X의 세 구간 ㉠~㉢은 각각 'H대', '액틴과 마이오신이 겹치는 부분 중 한쪽', 'I대 중 한쪽' 중 하나이다.
○ t_1일 때 X의 길이는 2.1㎛이다.
○ t_1에서 t_2가 되었을 때 X의 길이는 증가하였다.
○ 아래의 표는 시점이 t_1에서 t_2로 갈 때 ㉠~㉢ 길이의 변화량을 나타낸 것이다. a~c는 증가 시 양수이고, 감소할 시 음수의 값을 가진다.

구간	㉠	㉡	㉢
t_1에서 t_2로 갈 때 길이의 변화량	a	b	c

(단위: ㎛)

○ a<b<c이다.
○ c−a=1.2이다.

t_2일 때 X의 길이는? (단, 단위는 ㎛이다.) [3점]

① 2.5 ② 2.7 ③ 2.9 ④ 3.1 ⑤ 3.3

유제용으로 제작된 자작 문제인 만큼 적나라하게 변화량 값들이 미지수 a,b,c로 주어진 문제입니다. 잘 해결하셨나요? 근수축 문항들을 공부하는게 처음이라서 만약에 풀지 못하셨더라도 걱정하실 필요 없습니다. 최대한 자신의 힘으로 고민을 해보고 못 풀었다면 다시 뒤로 돌아가서 기출 분석을 더 연구해보시고 그렇게 해도 풀지 못하셨다면 해설을 보면서 유형에 익숙해지시면 되는겁니다! 천천히 풀이해볼게요.

우선, 이전 기출 문제들과 비슷하게 서로 다른 두 개의 시점이 제시가 되었고, H대, 겹대 중 한쪽, I대 중 한쪽이 문자로 제시가 되었습니다. t_1일 때 X의 길이도 나와 있고, t_1에서 t_2로 갈 때 X의 길이는 증가하였으므로 이완했음을 알 수 있겠네요.

그다음으로 시점이 t_1에서 t_2로 갈 때 각 구간의 변화량 값들이 미지수 a,b,c로 주어졌습니다. 구간별 변화량의 관계를 다시 한번 떠올려볼까요?

X 한쪽의 변화량이 k일 때
겹대 중 한쪽의 변화량 = −k
I대 중 한쪽의 변화량 = k
H대의 변화량 = 2k

여기서 k 값의 부호에 대한 얘기를 하고 넘어가겠습니다. k는 음수일까요, 양수일까요? X 한쪽의 변화량이 양수라는 말은 무엇일까요? 맞습니다. X의 전체 길이가 증가한다! 즉, 이완을 한다는 의미네요. 따라서 X가 이완할 때 k는 양수이고, 반대로 X가 수축할 때 k는 음수입니다.

유제 1번에서는 시점이 t_1에서 t_2로 갈 때 X의 길이가 증가한다는 조건이 나와 있습니다. 그렇다면 k의 값은 양수겠네요. k의 값이 양수로 확정된 순간, 구간별 변화량들의 대소관계를 확정 지을 수 있습니다. −k<k<2k가 되겠죠? 그런데 주어진 표 아래에 a<b<c라는 조건이 있습니다. 따라서 a=−k, b=k, c=2k가 되고, 각 변화량에 맞는 구간이 ㉠~㉢로 선택이 되므로, ㉠은 겹대 중 한쪽, ㉡은 I대 중 한쪽, ㉢은 H대가 되는 것까지 알 수 있습니다.

마지막으로 남은 조건은 c−a=1.2입니다. c=2k, a=−k이므로 3k=1.2라는 식을 도출할 수 있고, 최종적으로 k의 값이 0.4임까지 알아낼 수 있네요. 문제에서 묻고 있는 값은 t_2일 때 X의 길이인데, t_1일 때 X의 길이가 2.1㎛이라고 주어져 있고, k 값을 통해 X 전체의 변화량인 2k는 0.8㎛임을 알 수 있으므로 구하고자 하는 t_2일 때 X의 길이는 2.1㎛ + 0.8㎛ = 2.9㎛입니다. 따라서 정답은 ③입니다!

구간별 변화량에 관해 배웠던 논리들을 그대로 적용했다면 충분히 해결할 수 있는 문항이었다고 생각합니다. 다음 유제는 조금은 더 생각해 보아야 하는 문항입니다. 마찬가지로 최대한 스스로의 힘으로 풀이하신 뒤, 해설을 봐주시면 되겠습니다.

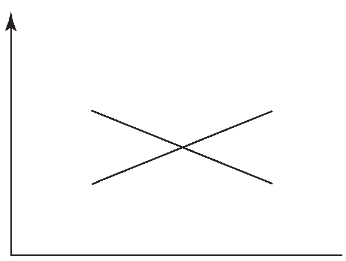
CHAPTER

4

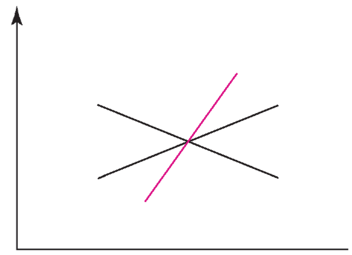
구간별 변화량 심화 : 그래프를 이용한 풀이

이번 챕터에서 다루게 될 '그래프를 이용한 풀이'는 평가원에서 직접적으로는 한 번도 출제된 적이 없습니다. 하지만 알고 있다면 일부 문제들을 더욱 빠르게 해결할 수 있고, 앞으로 이 챕터에서 배운 내용을 적나라게 적용해야만 풀이할 수 있는 문항이 출제될 수 있는 가능성이 아주 높은... 개척되지 않은 황무지같은 유형이라고 할 수 있겠습니다. 챕터의 제목과 같이 구간별 변화량 논리의 연장선상에 있는 사고법이기 때문에 챕터 3까지의 내용을 확실히 체화하시고 오시는 것을 권장하면서 바로 시작해보겠습니다.

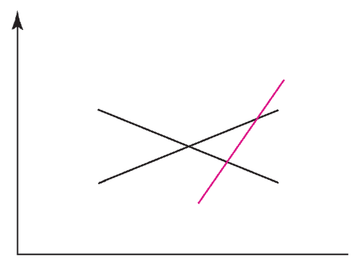
저희가 앞에서 계속해서 반복하던 3개의 구간 'I대 중 한쪽', '겹대 중 한쪽', 'H대'의 길이를 근육 원섬유 마디 X의 길이 변화에 따른 그래프로 나타내면 어떻게 될까요? 'I대 중 한쪽'과 '겹대 중 한쪽' 두 개의 그래프를 먼저 보겠습니다.



증가하는 그래프가 'I대 중 한쪽', 감소하는 그래프가 '겹대 중 한쪽'입니다. 가로축을 X의 길이, 세로축을 각 구간의 길이라고 했을 때 'I대 중 한쪽' 그래프는 X의 길이가 2k만큼 증가할 때 k만큼 증가하므로 기울기가 $\frac{1}{2}$인 그래프가 그려집니다. 반대로 '겹대 중 한쪽' 그래프는 X의 길이가 2k만큼 증가할 때 k만큼 감소하므로 기울기가 $-\frac{1}{2}$인 그래프가 그려집니다. 두 그래프는 하나의 교점을 중심으로 × 모양으로 그려지게 되는 것이네요. 좀 더 생각하면 두 그래프의 교점은 반드시 생길까요? 극단적인 경우로 'I대 중 한쪽'과 '겹대 중 한쪽'의 길이가 같은 지점, 즉, 두 그래프의 교점에서의 X의 길이를 a라고 했을 때, 'X의 길이는 a보다 반드시 크다.' 등의 추가 조건이 붙지 않았을 때는 웬만하면 교점이 생긴다고 생각하시면 됩니다. 요점은 'I대 중 한쪽'과 '겹대 중 한쪽' 구간의 길이를 그래프로 표현하고 싶을 때는 × 모양으로 교차하는 그래프를 그리면 끝나는 것입니다. 이제 위 그래프에 'H대' 그래프를 추가해보겠습니다.



빨간색 그래프가 'H대'입니다. H대는 X의 길이가 2k만큼 증가할 때 동일하게 2k만큼 증가하기 때문에 기울기가 1인 그래프가 그려집니다. 위 그래프는 3개의 그래프가 한 점에서 만나는 특수한 상황을 나타낸 것이고, 보통의 경우는 아래의 그래프와 같이 'H대'와 'I대 중 한쪽'의 교점이 하나, 'H대'와 '겹대 중 한쪽'의 또 다른 교점이 하나 생깁니다.



정리하면 보통의 경우에는 두 그래프마다 교점이 하나씩 생겨서 총 3개의 교점이 생기고, 아주 특수한 상황에 3개의 그래프가 동시에 한 점에서 만나 하나의 교점만이 생기게 됩니다.

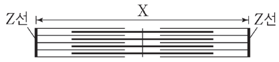
'I대 중 한쪽'과 '겹대 중 한쪽'의 그래프를 먼저 그리고 'H대' 그래프를 마지막에 그리는 이유는 'I대 중 한쪽'과 '겹대 중 한쪽'의 그래프의 기울기가 부호만 반대인 관계이기 때문에 교점을 판정하기 제일 쉽기 때문입니다. 하지만 문제의 조건에 따라서 그래프를 그리는 순서는 유동적으로 바뀔 수 있기 때문에 너무 고정관념을 가지실 필요는 없습니다.

이번 챕터는 챕터의 내용에 부합하는 기출 문제가 출제되지 않았기 때문에 자작 문제 풀이 위주로 진행하도록 하겠습니다. 2018년 시행 7월 모의평가 13번 문항이 그나마 유일하게 그래프가 출제된 문제였긴 하지만 난이도가 많이 낮은 이유로 생략하도록 하겠습니다.

[유제 5번]

5. 다음은 골격근의 수축 과정에 대한 자료이다.

○ 그림은 근육 원섬유 마디 X의 구조를 나타낸 것이다. X는 좌우 대칭이다.



○ 아래의 표는 X에서 H대 길이의 변화에 따른 ㉠ |I대 중 한 쪽의 길이−액틴과 마이오신이 겹치는 부분 중 한 쪽의 길이| 값을 나타낸 것이다.

H대의 길이	0.6	1.0
㉠	a	a

(단위: ㎛)

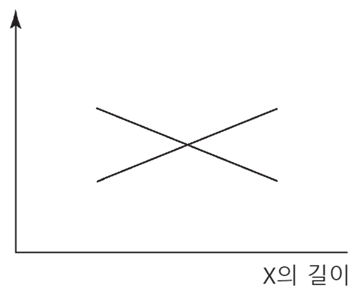
○ X에서 마이오신의 길이는 양쪽 액틴 길이의 합과 같다.

H대의 길이가 1.0㎛일 때 X의 길이는? [3점]

① 2.0㎛ ② 2.2㎛ ③ 2.4㎛ ④ 2.6㎛ ⑤ 2.8㎛

그래프를 그리지 않고도 억지로 풀이할 수는 있지만 그래프를 활용한다면 훨씬 간단한 사고가 가능하게 설계한 문제입니다. 문제의 난이도는 별로 높지 않으므로 바로 들어가서 문제 풀이에 그래프를 어떻게 활용하는지 알아봅시다.

표를 통해서 H대의 길이 변화에 따른 ㉠ 값이 제시가 되었습니다. ㉠의 의미는 I대 중 한쪽과 겹대 중 한쪽 길이의 차이를 뜻하는 것이겠네요. 표를 통해 알 수 있는 정보는 H대의 길이가 0.6, 0.8일 때 ㉠의 길이가 동일하다는 것이겠네요. 그것의 의미가 무엇일까요? 글만으로는 이해하기가 힘이 드네요. 이럴 때 표의 의미를 좀 더 시각적으로 확인하기 위해 그래프를 활용하는 것입니다. I대 중 한쪽과 겹대 중 한쪽 그래프가 교차하는 그래프를 그려봅시다.



기울기가 양수인 그래프가 ‘I대 중 한쪽’, 음수인 그래프가 ‘겹대 중 한쪽’ 그래프겠죠? 그림으로 보니 H대의 길이가 0.6㎛, 0.8㎛일 때 ㉠의 값이 같다는 말이 이해가 되시나요? 두 그래프의 교점에서부터 왼쪽이든 오른쪽이든 멀어질수록 두 그래프의 차이 즉 ㉠ 값이 커짐을 알 수 있습니다. 따라서 ㉠의 값이 같다는 것은 그 차이가 같다는 것이고, 두 그래프의 교점으로부터 떨어진 정도가 동일하다고 해석을 할 수 있겠네요. 그렇다면 그 두 지점의 정확히 가운데 지점은 반드시 그래프의 교점이 되겠죠? 두 지점의 H대의 길이는 0.6㎛, 1.0㎛이므로 두 그래프의 교점에서 H대의 길이는 0.6㎛과 1.0㎛의 중간값인 0.8㎛임을 알 수 있습니다.

마지막 조건을 이용해서 최종적으로 구하고자 하는 값을 알아내봅시다. 두 그래프의 교점에서 H대의 길이는 0.8㎛이고, I대 중 한쪽과 겹대 중 한쪽의 길이는 같으므로 두 구간의 길이를 미지수 d로 두겠습니다. 마지막 조건에서 마이오신의 길이는 양쪽 액틴 길이의 합과 같다고 하네요. 이 조건의 의미는 간단히 말하면 ‘I대 전체의 길이 = H대의 길이’입니다. 마이오신의 길이 = H대의 길이 + 겹대 전체의 길이, 액틴 전체의 길이 = I대 전체의 길이 + 겹대 전체의 길이이므로 당연하겠죠? 따라서 I대 전체의 길이 = 2d = H대의 길이 = 0.8㎛이므로 d=0.4㎛임을 알 수 있습니다. H대의 길이가 0.8㎛일 때 I대 중 한쪽과 겹대 중 한쪽의 길이는 0.4㎛이므로 이 때의 X의 길이는 2.4㎛임을 쉽게 알 수 있

습니다. 따라서 구하고자 하는 값은 H대의 길이가 1.0㎛일 때 X의 길이이고, H대와 X의 변화율은 같으므로 2.4㎛ + 0.2㎛ = 2.6㎛이 정답임을 알 수 있습니다. ④이 옳은 선지네요.

그래프를 이용한 풀이에 대한 감을 잡을 수 있는 문제가 됐으면 좋겠네요. 다음으로는 난이도를 약간 높인 문제를 통해서 풀이법을 확실하게 익혀보도록 하겠습니다.

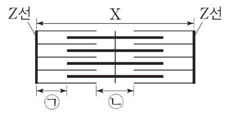
Part

2

연습문제

15. 다음은 골격근의 수축 과정에 대한 자료이다.

○ 그림은 근육 원섬유 마디 X의 구조를 나타낸 것이다. X는 좌우 대칭이다.



○ ㉠은 액틴 필라멘트만 존재하는 구간, ㉡은 마이오신 필라멘트만 존재하는 구간이다.

○ 아래의 표는 X의 길이에 따른 $\frac{㉠의 길이}{㉡의 길이}$를 나타낸 것이다.

X의 길이(㎛)	2.2	2.4	2.6
$\frac{㉠의 길이}{㉡의 길이}$	$\frac{3}{2}$	1	x

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

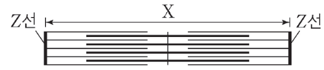
〈보기〉

ㄱ. 마이오신 필라멘트의 길이는 1.6㎛이다.
ㄴ. 액틴 필라멘트 한쪽의 길이는 1.2㎛이다.
ㄷ. x는 $\frac{5}{6}$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

16. 다음은 골격근의 수축 과정에 대한 자료이다.

○ 그림은 근육 원섬유 마디 X의 구조를 나타낸 것이다. X는 좌우 대칭이다.



○ 시점 t_1~t_5는 t_1, t_2, t_3, t_4, t_5 순으로 빠른 시점이고, 각 시점 사이의 간격은 1초이다.

○ X의 길이는 t_1~t_3 동안 a㎛/s의 속도로 증가하였고, t_3~t_5 동안은 b㎛/s의 속도로 감소하였다.

○ t_2일 때 H대의 길이는 1.0㎛이고, t_1과 t_4에서 H대 길이의 차이는 t_5일 때 H대의 길이와 같다.

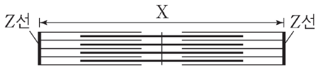
○ t_1일 때 액틴과 마이오신이 겹치는 부분 중 한쪽의 길이는 0.6㎛이고, t_4에서 H대의 길이는 t_5에서 액틴과 마이오신이 겹치는 부분 중 한쪽의 길이와 같다.

b의 값은? [3점]

① 0.4 ② 0.5 ③ 0.6 ④ 0.7 ⑤ 0.8

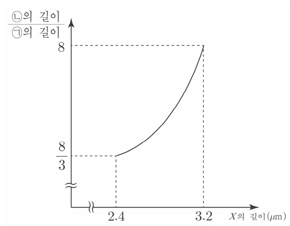
27. 다음은 골격근의 수축 과정에 대한 자료이다.

○ 그림은 근육 원섬유 마디 X의 구조를 나타낸 것이다. X는 좌우 대칭이다.

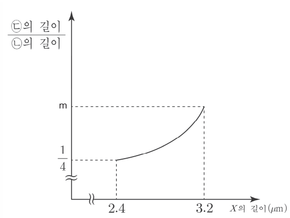


○ X의 세 구간 ㉠~㉢는 각각 'I대 중 한쪽', '액틴과 마이오신이 겹치는 부분 중 한쪽', '마이오신' 중 하나이다.

○ 그래프 (가)는 X의 길이가 2.4㎛에서 3.2㎛ 사이일 때 $\frac{\text{㉡의 길이}}{\text{㉠의 길이}}$의 변화를, 그래프 (나)는 $\frac{\text{㉢의 길이}}{\text{㉡의 길이}}$의 변화를 나타낸 것이다.



(가)



(나)

k의 값은? [3점]

① $\frac{1}{3}$　② $\frac{2}{5}$　③ $\frac{1}{2}$　④ $\frac{2}{3}$　⑤ $\frac{3}{4}$

28. 다음은 골격근의 수축 과정에 대한 자료이다.

○ 서로 다른 근육 원섬유 마디 X와 Y는 좌우 대칭이다.

○ 시점 t_1일 때 X와 Y의 길이는 같고, t_1~t_2 동안 X와 Y는 동일한 속도로 이완한다.

○ 아래의 표는 t_1, t_2일 때 X와 Y의 ㉠~㉢ 길이를 나타낸 것이다. ㉠~㉢은 각각 'I대 중 한쪽', '액틴과 마이오신이 겹치는 부분 중 한쪽', 'H대의 절반' 중 하나이다.

시점	구간	근육 원섬유 마디	
		X	Y
t_1	㉠	a	4a
	㉡	m	a
	㉢	4b	?
t_2	㉠	b	?
	㉡	?	2b
	㉢	?	3b

(단위: ㎛)

$\frac{m}{a}$의 값은? [3점]

① $\frac{2}{3}$　② 1　③ $\frac{3}{2}$　④ $\frac{5}{3}$　⑤ 3

15. **정답 : ③**

주어진 조건이 표밖에 없으므로 바로 표를 분석해 보도록 하겠습니다. X의 길이가 2.2㎛일 때 $\frac{\text{㉠의 길이}}{\text{㉡의 길이}}$의 값은 $\frac{3}{2}$이라고 합니다. ㉠의 길이를 3a㎛, ㉡의 길이를 2a㎛라고 하겠습니다. X의 길이가 2.2㎛에서 2.4㎛로 이완할 때 X의 변화량 2k=0.2입니다. 따라서 이 시점에서 I대 중 한쪽인 ㉠의 길이는 (3a+0.1)㎛, H대인 ㉡의 길이는 (2a+0.2)㎛입니다. $\frac{3a+0.1}{2a+0.2}$=1이므로 a=0.1임을 알 수 있습니다.

ㄱ. 마이오신 필라멘트의 길이는 1.6㎛이다.
X의 길이가 2.2㎛일 때 I대 중 한쪽의 길이는 0.3㎛, H대의 길이는 0.2㎛입니다. 따라서 겹대 중 한쪽의 길이는 0.7㎛입니다. 이 시점에서 마이오신의 길이는 1.6㎛, 액틴 한쪽의 길이는 1.0㎛이므로 옳은 선지입니다.

ㄴ. 액틴 필라멘트 한쪽의 길이는 1.2㎛이다.
액틴 한쪽의 길이는 1.0㎛이므로 틀린 선지입니다.

ㄷ. x는 $\frac{5}{6}$이다.
X의 길이가 2.2㎛일 때 ㉠의 길이는 0.3㎛, ㉡의 길이는 0.2㎛입니다. X의 길이가 2.2㎛에서 2.6㎛으로 이완할 때 X의 변화량 2k=0.4입니다. 따라서 X의 길이가 2.6㎛일 때 ㉠의 길이는 0.5㎛, ㉡의 길이는 0.6㎛이므로 x는 $\frac{5}{6}$입니다. 따라서 옳은 선지입니다.

16. 정답 : ③

시점 t_1~t_5 동안 X는 일정한 속도로 증가하였다가 일정한 속도로 감소하였습니다. 우선 각 시점에서 H대의 길이부터 알아보겠습니다. t_2일 때 H대의 길이 1.0㎛이고, t_1~t_3동안 X의 길이는 a㎛/s의 속도로 증가하였으므로 t_1일 때 H대의 길이는 (1.0−a)㎛, t_3일 때 H대의 길이는 (1.0+a)㎛입니다. 이후 t_3~t_5 동안 X는 b㎛/s의 속도로 감소하므로 t_4일 때 H대의 길이는 (1.0+a−b)㎛, t_5일 때 H대의 길이는 (1.0+a−2b)㎛입니다. 표로 정리하면 아래와 같습니다.

시점	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5
H대의 길이(㎛)	1.0−a	1.0	1.0+a	1.0+a−b	1.0+a−2b

t_1과 t_4에서 H대 길이의 차는 t_5일 때 H대의 길이와 같다고 하므로 |2a−b|는 1.0+a−2b와 같다는 식을 구할 수 있습니다. 절댓값은 2a가 큰 값인지, b가 큰 값인지 알 수 없기 때문에 남겨두어야 합니다. 이제 겹대 중 한쪽의 길이를 구해보겠습니다.

t_1일 때 겹대 중 한쪽의 길이는 0.6㎛이므로 H대와 같은 방식으로 변화율을 고려해 다른 시점에서 길이들을 구해주면 아래와 같습니다.

시점	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5
H대의 길이(㎛)	1.0−a	1.0	1.0+a	1.0+a−b	1.0+a−2b
겹대 중 한쪽의 길이(㎛)	0.6	$0.6-\frac{a}{2}$	0.6−a	$0.6-a+\frac{b}{2}$	0.6−a+b

t_4에서 H대의 길이는 t_5에서 겹대 중 한쪽의 길이와 같으므로 a−b=−0.2라는 식을 얻어낼 수 있습니다. 알아낸 두 식을 연립하면 a와 b 값을 구할 수 있는데 |2a−b|가 만약 음수로, |2a−b|=b−2a=1.0+a−2b라면 a−b=−0.6이 되어 모순이 생기게 됩니다. 따라서 |2a−b|는 양수로, |2a−b|=2a−b=1.0+a−2b이고, a+b=1.0이 되어 a=0.4, b=0.6임을 알 수 있습니다.

27. 정답 : ③

주어진 구간 ㉠~㉢의 변화량은 각각 k, −k, 0 중 하나입니다. 주어진 두 개의 그래프를 보면 모두 X의 길이가 증가할 때 마찬가지로 같이 증가하고 있는 것을 확인할 수 있습니다. 만약 분자에 있는 ㉡의 길이나 ㉢의 길이의 변화량이 -k로 음수라면 그래프는 증가하지 않고 감소하게 됩니다. 따라서 ㉠이 변화량이 -k로 음수인 겹대 중 한쪽임을 알 수 있습니다. 남은 ㉡과 ㉢이 각각 I대 중 한쪽과 마이오신 중 하나인데 만약 ㉢이 마이오신이고 ㉡이 I대 중 한쪽이라면 두 번째 그래프의 분자는 일정하고, 분모만 증가하게 되어 감소하는 그래프가 형성됩니다. 따라서 ㉡이 마이오신이고 ㉢이 I대 중 한쪽임을 알 수 있습니다.

이제 계산을 해보겠습니다. 첫 번째 그래프에서 X의 길이가 2.4㎛일 때 $\frac{㉡의\ 길이}{㉠의\ 길이}=\frac{8}{3}$이므로 ㉠의 길이를 3a㎛, ㉡의 길이를 8a㎛라고 하겠습니다. X의 길이가 2.4㎛에서 3.2㎛로 이완할 때 X의 변화량 2k=0.8입니다. 따라서 X의 길이가 3.2㎛일 때 겹대 중 한쪽인 ㉠의 길이는 (3a−0.4)㎛, 마이오신인 ㉡의 길이는 8a㎛입니다. $\frac{8a}{3a-0.4}$=8이므로 a=0.2임을 구해낼 수 있습니다. X의 길이가 2.4㎛일 대 ㉠의 길이는 0.6㎛, ㉡의 길이는 1.6㎛이네요. 두 번째 그래프로 가보겠습니다.

X의 길이가 2.4㎛일 때 ㉡의 길이가 1.6㎛이므로 ㉢의 길이는 0.4㎛입니다. X의 길이가 2.4㎛에서 3.2㎛로 이완할 때 X의 변화량 2k=0.8이므로 X의 길이가 3.2㎛일 때 마이오신인 ㉡의 길이는 1.6㎛, I대 중 한쪽인 ㉢의 길이는 0.8㎛입니다. 따라서 최종적으로 구하고자 하는 m의 값은 $\frac{0.8}{1.6}=\frac{1}{2}$입니다.

28. **정답 : ⑤**

서로 다른 근육 원섬유 마디 X와 Y는 t_1일 때 길이가 같고, t_1에서 t_2로 갈 때 동일한 길이만큼 이완하므로 t_2에서도 길이가 같습니다.

표를 보면 t_1일 때 Y의 ㉠ 길이가 X의 ㉠ 길이보다 3a만큼 깁니다. t_1에서 t_2로 갈 때 X와 Y는 동일한 길이만큼 이완하기 때문에 t_2일 때 Y의 ㉠ 길이 또한 X의 길이보다 3a만큼 깁니다. 따라서 t_2일 때 Y의 ㉠ 길이는 b+3a임을 알 수 있습니다. t_1에서 t_2로 갈 때 Y의 구간별 변화량을 살펴보겠습니다.

㉠의 변화량은 b−a, ㉡의 변화량은 2b−a로 ㉡의 변화량이 ㉠의 변화량보다 b만큼 크다는 것을 확인할 수 있습니다. t_2일 때 Y의 구간별 길이를 보면 b가 양수임을 알 수 있으므로 t_1에서 t_2로 갈 때 구간의 변화량은 ㉡이 ㉠보다 크다는 것을 알 수 있습니다. 그런데 t_1에서 t_2로 갈 때 X와 Y는 '이완'한다는 조건이 있으므로 변화량이 작은 ㉠이 '겹대 중 한쪽'임을 알 수 있습니다. ㉡은 I대 중 한쪽인지 H대의 절반인지는 알 수 없지만 해당 구간의 변화량은 ㉠의 변화량을 음수로 바꾼 값임을 알 수 있습니다. 즉, b−a=−(2b−a)이므로 a=1.5b임을 확인할 수 있습니다. 문제의 주어진 표에 제시된 a 값을 모두 b에 대한 값으로 바꾸면 아래와 같습니다.

시점	구간	근육 원섬유 마디	
		X	Y
t_1	㉠	1.5b	6b
	㉡	m	1.5b
	㉢	4b	?
t_2	㉠	b	?
	㉡	?	2b
	㉢	?	3b

t_1에서 t_2로 갈 때 X와 Y의 변화량 2k=b이므로 t_1일 때 Y의 ㉢ 길이는 2.5b임을 알 수 있습니다. ㉠~㉢ 길이를 더한 값은 근육 원섬유 마디 길이의 절반이기 때문에 t_1일 때 X와 Y의 길이는 10b임 또한 알 수 있습니다. 최종적으로 X의 ㉠~㉢ 길이의 합이 10b가 되어야하기 때문에 m=4.5b입니다. 따라서 구하고자 하는 값은 3임을 알 수 있습니다.