
7.4 जीन नियमन (Regulation of Gene)

उपरोक्त अध्ययन से ज्ञात होता है कि जीन स्वयं को विभिन्न प्रकार के प्रोटीन संश्लेषणों द्वारा अभिव्यक्ति करते हैं। किसी भी जीव कोशिकाओं में विभिन्न क्रियाओं हेतु विशिष्ट प्रोटीन्स अथवा एन्जाइम्स की एक निश्चित मात्रा में आवश्यकता होती है। इसके लिए कोशिकाओं द्वारा एक नियंत्रण प्रक्रिया (control mechanism) अपनायी जाती है, जो कि एक निश्चित समय पर आवश्यकतानुसार जीनों को सक्रिय रखती है तथा बाकी जीन उस समय निष्क्रिय रहते हैं। यह प्रक्रिया जीन अभिव्यक्ति का नियमन (Regulation of gene expression) कहलाती है। जीन नियमन सभी सजीवों का एक महत्वपूर्ण लक्षण है जिसके कारण कोशिकाओं में अनावश्यक प्रोटीन्स का जमाव नहीं होता है तथा जीन स्वयं को वृद्धि व विभेदन (Growth & differentiation) की अवस्था में परिवर्तनीय वातावरण में अनुकूलित रख पाते हैं।

आण्विक जीव विज्ञान (Molecular biology) संबंधी आधुनिक अध्ययन के अन्तर्गत जीन को आभिप्रेरित या दमित करके एन्जाइम की उत्पत्ति को संचालित किया जाता है, इसके साथ ही दूसरी ओर जीन को निष्क्रिय (Inactivate) करके प्रोटीन संश्लेषण में अनुलेखन व अनुलिपिकरण आदि सोपानों को अवरुद्ध या निष्क्रिय किया जा सकता है। इस प्रकार जीनों द्वारा किसी उपापचयी परिपथ की अभिक्रियाओं के नियंत्रण को जीन नियमन (Gene Regulation) कहते हैं। जीन की अभिव्यक्ति का नियमन प्रोकैरियोट्स व यूकैरियोट्स सजीवों में अलग - अलग प्रक्रियाओं द्वारा संचालित होता है, जो कि निम्न प्रकार से है

(A) प्रोकैरियोट्स में जीन अभिव्यक्ति का नियमन

(Regulation of Gene Expression in Prokaryotes)

प्रोकैरियोट्स में सर्वप्रथम जीवाणु ई. कोलाई की कोशिका में जीन अभिव्यक्ति के नियमन को क्रियाविधि का अध्ययन किया गया। इस जीवाणु कोशिका का वर्तुल DNA रज्जुक कुल 3,000 प्रोटीन्स के संश्लेषण को कोडित करता है। यह DNA स्वयं को छोटे - छोटे खण्डों में अनुलेखित करता है। प्रत्येक खण्ड में निश्चित समारंभन व समापन स्थल होते हैं :

(1) **एन्जाइम नियमन** (Enzyme Regulation of Gene Action) : **प्रेरण** (Induction) **अथवा दमन** (Repression) :

ई कोलाई जीवाणु में निम्नलिखित दो प्रकार के एन्जाइम्स संश्लेषित होते हैं।

(i) **अहेतुक एन्जाइम्स अथवा प्रोटीन्स (Constitutive)** : जीवित कोशिकाओं में कुछ आवश्यक, आधारभूत उपापचयी क्रियाओं हेतु एन्जाइम्स का निरंतर संश्लेषण होता रहता है। ऐसे एन्जाइम्स अहेतुक एन्जाइम्स (Constitutive enzymes) कहलाते हैं। क्योंकि कोशिका में इन एन्जाइम्स की आवश्यकता निरन्तर बनी रहती है, अतः इन एन्जाइम्स के नियमन की आवश्यकता नहीं होती है, उदाहरण : ग्लाइकोलिसिस में प्रयुक्त होने वाले एन्जाइम्स।

(ii) **नियमन आवश्यक एन्जाइम्स अथवा प्रोटीन्स (Regulated Enzymes of Protiens)** : ये वे एंजाइम्स हैं जो कि कोशिका में विशिष्ट अवस्थाओं में संश्लेषित होते हैं तथा जिनका नियमन आवश्यक होता है। ये निम्नलिखित प्रकार के होते हैं

(a) **प्रेरित एन्जाइम्स अथवा प्रेरण (Inducible Enzymes or Induction)** : वे एन्जाइम्स जिनका संश्लेषण केवल तभी प्रेरित होता है, जबकि या माध्यम में इनके क्रियाकारी पदार्थ (substrates) उपस्थित हों, प्रेरित एन्जाइम्स (Inducible Enzymes) कहलाते हैं तथा ये क्रियाकारी रासायनिक पदार्थ (substrates), जिनकी उपस्थिति एन्जाइम्स के संश्लेषण को प्रेरित करती है, प्रेरक पदार्थ (Inducers) कहलाते हैं, एवम् वह प्रक्रिया जिसके अन्तर्गत एन्जाइम्स का संश्लेषण अभिप्रेरित होता है, प्रेरण (induction) कहलाती है। इसी क्रम में वह आनुवंशिक तंत्र जो इस प्रकार के एन्जाइम संश्लेषण हेतु उत्तरदायी होता है, प्रेरक तंत्र (inducible system) कहलाता है।

उदाहरण जीवाणु ई. कोलाई में लेक्टोज शर्करा का विघटन -

जीवाणु ई. कोलाई में एन्जाइम β -गैलेक्टोसाइडेज (β -galactosidase), लेक्टोज शर्करा (substrate) के जलीय अपघटन को उत्प्रेरित करता है। जिसके परिणामस्वरूप ग्लूकोज (Glucose) व गैलेक्टोज शर्कराएँ बनती हैं।

वैज्ञानिकों के अनुसार ई. कोलाई के संवर्धन माध्यम में यदि लेक्टोज शर्करा की आपूर्ति नहीं की जाये या बंद कर दी जाये, तो ये जीवाणु कोशिकाएँ एन्जाइम β -AS गैलेक्टोसाइडेज के संश्लेषण को बंद कर देती हैं। परन्तु यदि माध्यम में लेक्टोज शर्करा की आपूर्ति फिर से शुरू कर दी जाती है, तो एन्जाइम का संश्लेषण भी वापस से प्रारम्भ हो जाता है एवम् इसकी मात्रा थोड़े ही समय में 10,000 गुना अधिक हो जाती है। अतः एन्जाइम β गैलेक्टोसाइडेज एक प्रेरक एन्जाइम है। जिसका संश्लेषण प्रेरक पदार्थ की उपस्थिति पर निर्भर होता है।

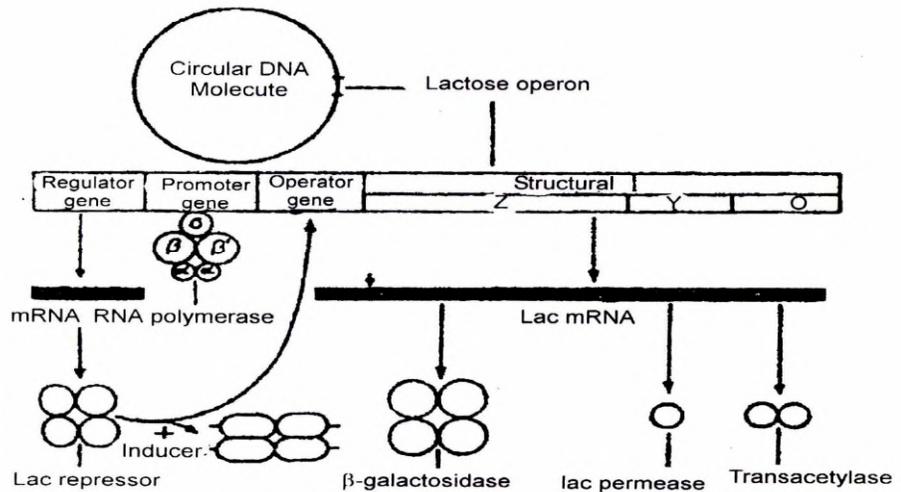
(b) **दमनीय एन्जाइम (Repressible Enzyme) एवम् सह दमनकर (Co-repressor)**

: कोशिका तंत्र में कुछ एन्जाइम्स सामान्यतः उपस्थित रहते हैं, किन्तु यदि कोशिकीय तंत्र में इनके अंतिम उत्पादों का सान्द्रण बहुत अधिक बढ़ जाता है तो इन एन्जाइम्स का संश्लेषण रुक जाता है, ऐसे एन्जाइम्स दमनीय (दमित) एन्जाइम (Repressor Enzyme) कहलाते हैं, तथा अंतिम उत्पाद जिनकी उपस्थिति मात्र से किसी एन्जाइम का संश्लेषण रुक जाता है, सहदमनकर (Co-repressor) कहलाते हैं। इस क्रिया हेतु प्रयुक्त आनुवंशिक तंत्र दमित तंत्र (Repressible system) कहलाता है (Feed-Back-Mechanism)। इस संदर्भ में कुछ अमीनो अम्लों का उदाहरण लिया जा सकता है। इन अमीनो अम्लों की आपूर्ति यदि बाहर से नहीं हो, तो कोशिकाओं में इनके संश्लेषण को अभिप्रेरित करने वाले एन्जाइम्स का निर्माण प्रारम्भ हो जाता है, लेकिन यदि इन अमीनो अम्लों की आपूर्ति बाहरी माध्यम से होना शुरू हो जाता है तो

ऐसी स्थिति में इन अम्लों के कोशिकीय संश्लेषण को अभिप्रेरित करने वाले एन्जाइम्स का निर्माण भी तुरन्त बंद हो जाता है अथवा रूक जाता है, जैसे - हिस्टीडीन (Histidine) नामक अमीनो अम्ल की बाहर से कोशिका में आपूर्ति करने पर, कोशिका में इसके संश्लेषण को अभिप्रेरित करने वाले एन्जाइम का निर्माण कम मात्रा में होने लगता है, परन्तु यदि हिस्टीडीन की बाहरी आपूर्ति रोक दी जाती है तो कोशिका में इसके संश्लेषण के लिए आवश्यक एन्जाइम्स फिर से बनने लगते हैं। अतः यहाँ अमीनो अम्ल हिस्टीडीन सहदमनकर (Corepressor) के रूप में कार्य करता है क्योंकि इसे बाहरी माध्यम से मिलाने से इसके संश्लेषण हेतु आवश्यक 10 एन्जाइम्स का संश्लेषण समाप्त हो जाता है जो कि इसके जैविक संश्लेषण हेतु आवश्यक होते हैं। इस क्रिया में अंतिम उत्पाद प्रथम एन्जाइम से बंधित होकर उसकी तृतीय संरचना को बदल देता है, जिससे एन्जाइम का उत्प्रेरक स्थल निष्क्रिय हो जाता है।

ओपेरॉन मॉडल (The Opron Model)

सर्वप्रथम जैकब एवं मोनाड (Jacob and Monad, 1961) ने ई. कोलाई जीवाणु का अध्ययन करने पर प्रोकैरियोट्स के जीन नियमन को समझाने के लिए ओपेरॉन मॉडल (Operon Model) प्रस्तुत किया। उन्होंने ई. कोलाई (E. Coli) में β गैलेक्टोसाइडेज एन्जाइम के संश्लेषण से सम्बन्धित प्रेरण तंत्र का अध्ययन करते हुए जीन बीज नियमन की प्रेरण एवं मदन अवधारणा विकसित की। इस कार्य के लिए जैकब एवं मोनाड को सन् 1965 में नोबल पुरस्कार से सम्मानित किया गया।



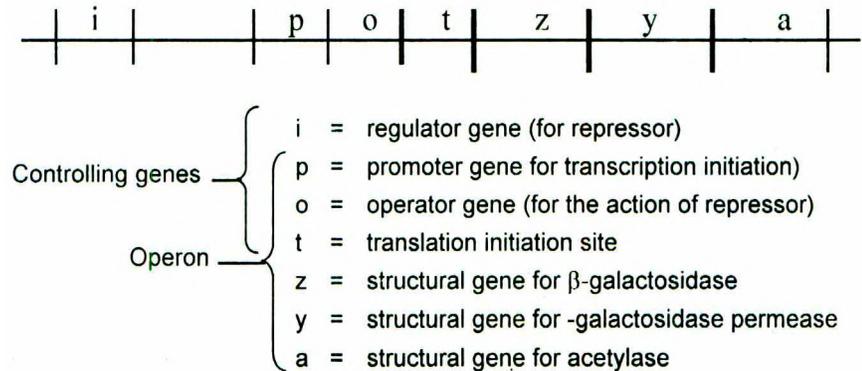
चित्र : 7.13 A : E. Coli में जीवाणु लेक - ओपेरॉन संरचना

ई. कोलाई का लेक ओपेरॉन मॉडल प्रमुखतः एन्जाइम β गैलेक्टोसाइडेज के संश्लेषण कार्य पर आधारित है। यह एन्जाइम लैक्टोस शर्करा का विघटन ग्लूकोस एवं गैलेक्टोज में करता है। इस मॉडल को इसीलिए लेक ओपेरॉन (Lac Operon) मॉडल भी कहा जाता है।

लेक ओपेरॉन में एक वर्तुलाकार (Circular DNA) होता है, जिसमें जीवाणु का अधिकांश आनुवांशिक पदार्थ समाहित होता है। इस ओपेरॉन में चार मुख्य घटक पाये जाते हैं जो कि समन्वित रूप से कार्य करते हैं। ये घटक निम्न प्रकार से हैं :

(1) **संरचनात्मक जीन (Structural Gene)** : ये ओपेरॉन के प्रमुख कार्यकारी घटक जीन हैं, जो प्रोटीन के लिए कोड करते हैं। E. Coli के लेक ओपेरॉन में तीन प्रकार के संरचनात्मक जीन क्रमशः z, y तथा a पाये जाते हैं एवं ये एक दीर्घ (Elongated) पॉलीस्ट्रिक्तिक m-RNA अणु का अनुलेखन (Transcription) करते हैं। यह m-RNA अणु तीन विभिन्न एन्जाइमी - प्रोटीनों क्रमशः β गैलेक्टोसाइडेस, गैलेक्टोसाइड परमिएस एवं गैलेक्टोसाइड ट्रान्स - एसिटाइलेस के संश्लेषण का नियंत्रण करता है। इन एन्जाइमों में क्रमशः 4, 1 व 2 प्रोटीन इकाइयाँ होती हैं। ई. कोलाई में लगभग 2500 संरचनात्मक जीन उपस्थित होते हैं, जिनमें 800 विभिन्न प्रकार के एन्जाइमों को उत्पन्न करने की क्षमता होती है। इनमें से कुछ विशेष प्रकार के एन्जाइमों का संश्लेषण तो नियंत्रित होता है अर्थात् जरूरत एवं उपलब्धता के आधार पर होता है जबकि कुछ एन्जाइमों का निरन्तर संश्लेषण होता रहता है लेक ओपेरॉन में β गैलेक्टोसाइडेस में चार पॉलीपेप्टाइड इकाइयाँ (प्रोटीन) होती हैं। इनमें से प्रत्येक इकाई का अणुभार 1,25,000 डाल्टन होता है एवं 1021 अमीनो अम्लों की बनी होती हैं। गैलेक्टोसाइडेस पीरमियेस एन्जाइम एक पॉलीपेप्टाइड श्रृंखला (प्रोटीन) द्वारा निर्मित होता है, जिसमें 275 अमीनो अम्ल होते हैं तथा इसका अणुभार 30,000 डाल्टन होता है। यह एन्जाइम लेक्टोस के कोशिका में प्रवेश को आसान बनाता है।

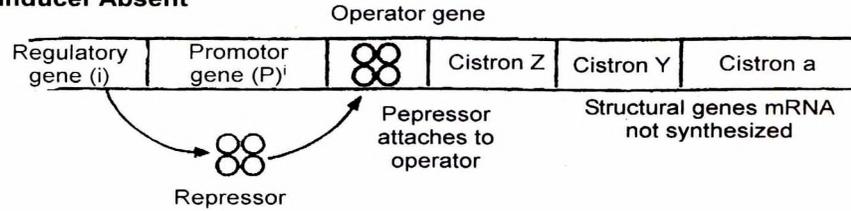
दो पॉलीपेप्टाइड श्रृंखलाएँ मिलकर गैलेक्टोसाइडेस - ट्रान्सएसिटाइलेस नामक एन्जाइम का निर्माण करती हैं। इनमें से प्रत्येक पॉलीपेप्टाइड श्रृंखला 275 अमीनो अम्लों की बनी होती है, इसका अणुभार 30,000 डाल्टन होता है। यह एन्जाइम लेक्टोस प्रेरण के समय बहुत थोड़ी मात्रा में पाया जाता है। यह COA से एसिटाइल समूह को गैलेक्टोसाइड डेरीबेटीब्ज में स्थानान्तरित कर सकता है (चित्र 7.13A, 7.13B)।



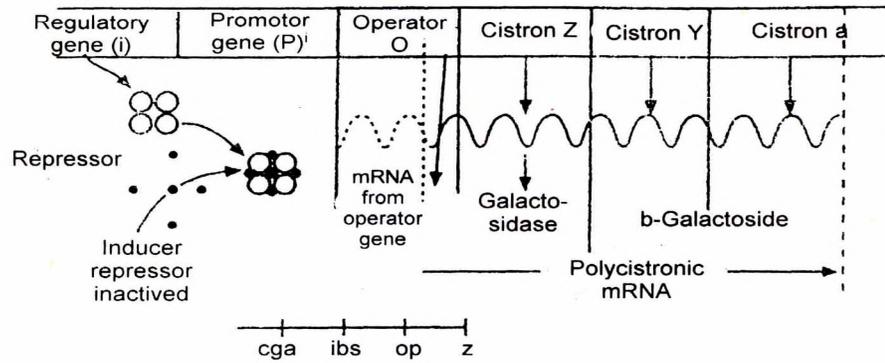
चित्र : 7.13 B : जीवाणु (ई. कोलाई) में लेक -ओपेरॉन तथा इसके नियामक जीन (वाटसन द्वारा)

(2) **रेगुलेटर या नियामक जीन (Regulator Gene)** : यह ओपेरॉन मॉडल में अवस्थित विशेष प्रकार की जीन होती है, जो प्रमोटर जीन के पहले अवस्थित पाई जाती है। इनका विशेष कार्य संरचनात्मक जीन्स को नियंत्रित (Regulate) करने का है। ये आवश्यकतानुसार दमनकारी (Repressor) पदार्थ उत्पन्न करते हैं। इस प्रोटीनीय पदार्थ को 'i' जीन भी कहते हैं तथा यह ऑपरेटर जीन के पास स्थित होता है। इस प्रकार यह जीन एन्जाइमी प्रोटीनों की संरचना का निर्धारण न करके ओपेरॉन के अन्य जीनों जैसे संरचनात्मक एवं प्रमोटर जीनों की अभिव्यक्ति का नियमन (Regulation) करते हैं (चित्र 7.14)।

A. Inducer Absent



A. Inducer Present



चित्र 7.14 : जीवाणु ई. कोलाई में लेक आपेरॉन की संरचना व कार्य का चित्रण

(3) **ऑपरेटर या प्रवर्तक जीन (Operator Gene)** : यह प्रथम संरचनात्मक जीन के पास अवस्थित जीन होती है। मॉडल में कार्य विभाजन के अनुसार ऑपरेटर जीन, अनुलेखन क्रिया का दमन (Repression) करता है एवं इस प्रकार संरचनात्मक जीनों पर ऋणात्मक नियंत्रण (Negative Control) करता है। E. Coli में ऑपरेटर जीन 21 क्षारों द्वारा निर्मित होता है।

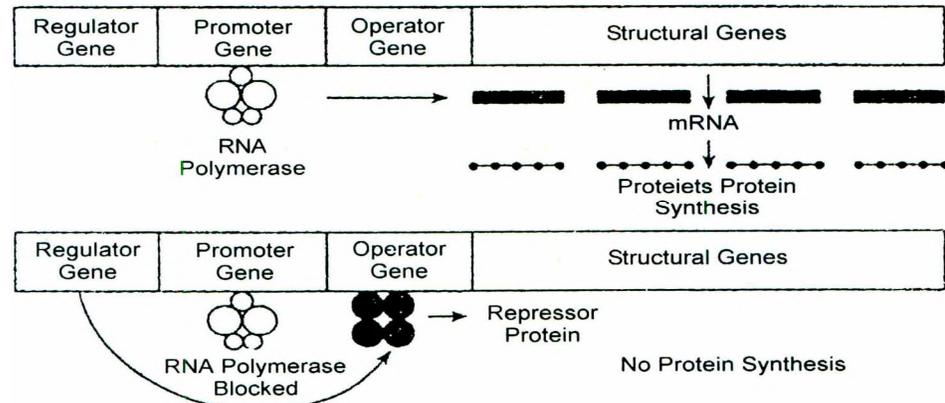
(4) **प्रवर्धक या प्रमोटर जीन (Promotor Gene)** : यह ऑपरेटर जीन के आगे पाया जाने वाला ओपेरॉन का विशिष्ट भाग होता है क्योंकि एन्जाइम RNA-पॉलीमरेस इससे सम्बद्ध रहता है। इसका कार्य प्रोटीन निर्माण का नहीं होता, अपितु पॉलीमरेस की उपस्थिति के कारण प्रवर्धक जीन, संरचनात्मक जीनों के अनुलेखन का प्रारम्भन (Initiation) करता है। प्रिबनोउ (Pribnow 1975) के अनुसार इस जीन में तीन स्थल पाये जाते हैं, जिनको (1) अभिज्ञान क्रम (Recognition site), (2) बन्धक क्रम (Binding Sequence), एवं (3) m-RNA प्रारम्भन स्थल (m-RNA Initiation site) कहते हैं। ई. कोलाई में लगभग 100 प्रकार की प्रवर्धक

जीनों के बारे में अध्ययन किया गया है। विभिन्न वर्धक जीनों में दो छोटी समान अनुक्रम प्राप्त हुई हैं (चित्र 7.14 व 7.15)।

अहेतुक प्रभेद (Constitutive strains) :

प्रायः यह देखा गया है कि रेगुलेटर या नियामक जीन (i) में उत्परिवर्तन (Mutation) के कारण कुछ परिवर्तन आ जाने पर यह दमनकारी (Repressor) के साथ नहीं जुड़ पाती एवं इसके नहीं जुड़ सकने से यह संश्लेषण को नियंत्रित करने अथवा रोकने में भी असफल रहती है। परिणामस्वरूप एन्जाइम का संश्लेषण निरन्तर अबाध गति से जारी रहता है। अतः " ऐसे प्रभेद जो अनावश्यक रूप से भी एन्जाइम का निरन्तर संश्लेषण करते रहते हैं, उनको अहेतुक प्रभेद (Constitutive strains) कहते हैं "। ऐसा जीन (i) के दमनकारी के साथ जुड़ने में असमर्थ (Incapable) रहने के कारण होता है। इसीलिए ऐसे प्रभेद इस कार्य को स्वतंत्र रूप से निरन्तर कर सकते हैं। इसके अतिरिक्त प्रचालक या ऑपरेटर जीन में भी उत्परिवर्तन हो सकते हैं। ये प्रभेद निम्न दो प्रकार के होते हैं :

- (1) नियामक या रेगुलेटर अहेतुक (Regular Constitutive)
- (2) प्रचालक या ऑपरेटर अहेतुक (Operator Constitutive)



चित्र 7.15 : प्रवर्धक जीन (Promoter gene) : वर्धक जीन से RNA पॉलीमेरेज का बंधन (Binding), RNA पॉलीमेरेज संरचनात्मक जीन के साथ अभिगमन कर प्रोटीन संश्लेषण को उत्प्रेरित करती है, अंतः RNA पॉलीमेरेज की गतिशीलता अवरुद्ध हो जाती है, परिणामस्वरूप प्रोटीन संश्लेषण सम्पन्न नहीं होता है।

इसके अतिरिक्त लेक ओपेरॉन के नियमन की प्रक्रिया में निम्न प्रोटीन्स भी पाये जाते हैं।

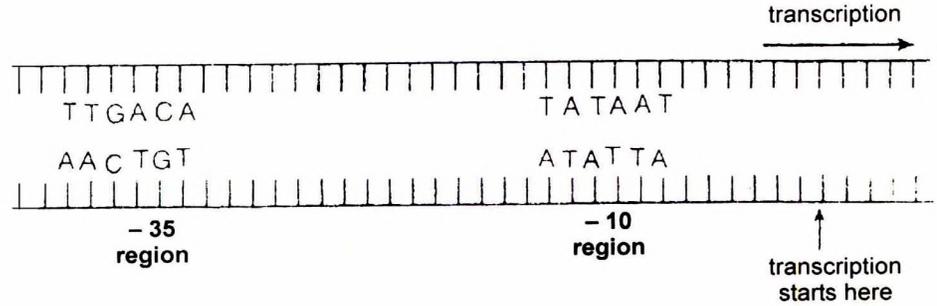
- (1) लेक दमनकारी प्रोटीन (Lac repressor protein)
- (2) केटाबोलिक जीन अभिप्रेरित प्रोटीन (Catabolic gene activate proteins Cga proteins)

दमनकर : यह प्रचालक स्थल एवं Cga प्रोटीन स्थल को सम्बद्ध करता है। जब चक्रिक AMP अणु Cga प्रोटीन को क्रियाशील करते हैं, तभी ये प्रोटीन RNA पॉलीमेरेस को जोड़ती है। अतः यहाँ Cga प्रोटीन धनात्मक नियंत्रण (Positive Control) करती है।

उपरोक्त तथ्यों द्वारा यह स्पष्ट होता है कि RNA पॉलीमेरेज, लेक ओपेरॉन के अनुलेखन में पहले प्रवर्धक स्थल (Promotor site) पर आता है तथा वहाँ से गतिशील होकर आगे की ओर बढ़ता है। लेकिन ऐसी अवस्था में जबकि प्रचालक (Operator) से दमनकर जुड़ता है, तो ऐसी अवस्था में साइक्लिक AMP अणु Cga प्रोटीन्स का सक्रियकरण (Activation) करके इनको क्रियाशील कर देता है। यह कार्य धनात्मक नियंत्रण कहलाता है।

लेक-दमन प्रेरण पदार्थ (Inducer), दमनकारी तत्व को निष्क्रिय बना देता है इस प्रक्रिया को ऋणात्मक नियंत्रण (Negative Control) कहते हैं।

लेक ओपेरॉन के मुख्य जीनों की अभिव्यक्ति के नियमन द्वारा प्रोटीन संश्लेषण के अवरुद्ध करने का कार्य होता है। इस कार्य में -10, -25 या -60 न्यूक्लियोटाइड वाला ओपेरॉन प्रयुक्त होता है। इस ओपेरॉन में किसी प्रकार का बदलाव आने पर या विलोपन (Deletion) होने पर प्रोटीन संश्लेषण की प्रक्रिया भी प्रभावित होती है। साइट-10 पर स्थित प्रमुख अनुक्रम को प्रिबनाऊ द्वारा एक महत्वपूर्ण स्थल के रूप में माना गया, जबकि-60 क्षेत्र में Cga प्रोटीन का सक्रिय स्थल निरूपित किया (चित्र 7.16)।



चित्र 7.16 : प्रोकेरियोट्स के DNA खण्ड में -10 तथा -35 स्थितियों पर प्रवर्धक स्थलों का प्रदर्शन

पुनर्भरण निरोध (Feed back Initiation)

वैज्ञानिकों के अनुसार यह एक रोचक तथ्य है कि हालांकि एक सजीव की सभी कोशिकाओं में जीन्स की संख्या पूरी तरह एक समान होती है फिर भी इन कोशिकाओं में संरचनात्मक एवं क्रियात्मक विभिन्नताएँ पाई जाती हैं। जैसे किसी पौधे में एक कोशिका केम्बियम के रूप में प्रदर्शित होती है तो दूसरी कोशिका वल्कुट का कार्य करती है। यही नहीं एक ही कोशिका के सभी जीन एक साथ सक्रिय नहीं होते हैं पादप शरीर की वृद्धि के साथ-साथ (पौधों के उदाहरण में) जीनों की सक्रियता में भी विविधता स्पष्ट होने लगती है। वृद्धि के समय आवश्यकता एवं अवस्था के अनुसार कुछ जीन्स सक्रिय व कुछ निष्क्रिय रहते हैं यह "जीनों की सापेक्षिक सक्रियता" (Differential gene action) कहलाती है। ऐसी अवस्था में सक्रिय जीन विशिष्ट एन्जाइमों के संश्लेषण को निर्देशित करते हैं व परिणामस्वरूप कोशिका में इनके अनुरूप लक्षण प्रकट होते हैं। परन्तु उपरोक्त जीनों की सक्रियता से कोशिका में जैसे ही उत्पन्न मात्रा आवश्यकता से अधिक हो जाती है तो इसकी वजह से जीनों द्वारा उस एन्जाइम के संश्लेषण का दमन (Repressor) होता है, अर्थात् इसका संश्लेषण रुक जाता है। इस प्रकार यहाँ संश्लेषण के

दौरान अन्तिम उत्पाद (End Product, एन्जाइम) के उपयोग में न आने पर यह कोशिका में अधिक मात्रा में एकत्र हो जाता है एव इस अधिकता के कारण इसका संश्लेषण रुक जाता है । इसलिए " किसी उत्पाद की अधिक मात्रा कोशिका में एकत्र हो जाने के परिणामस्वरूप इसके संश्लेषण या निर्माण के रुक जाने की प्रक्रिया को पुनर्भरण निरोध (Feed back Inhibition) कहते हैं " । इस निरोध के परिणामस्वरूप अब तक कार्यशील रही जीन्स अक्रिय हो जाती है एवं इनके अक्रिय (Inactive) होने पर अन्य जीन्स सक्रिय (Active) हो जाते हैं, जिससे अन्य प्रकार के एन्जाइम बनने लगते हैं ।

अनुलेखन समापन विस्थल (Transcription Terminator Site)

डी.एन.ए. विशिष्ट अनुक्रम (Sequence) के द्वारा अनुलेखन का समापन (Termination) सम्भव होता है । अधिकांश प्रोकेरियोट सजीवों के m-RNA अनुक्रम 5' UUUUUUA 3' द्वारा समाप्त (Terminate) होते हैं । इस कार्य को सम्पादित करने के लिए कुछ प्रोकेरियोट्स में 'rho' प्रोटीन इसके अनुलेखन समापन संकेत (Transcription terminal signal) पर उपस्थित रहता है ।

ओपेरॉन मॉडल के प्रेरण तंत्र में स्वतंत्र दमनकारी पदार्थ, ऑपरेटर या प्रचालक जीन के साथ सम्बद्ध होकर DNA द्वारा हो रहे अनुलेखन को बन्द कर देता है । अतः ऑपरेटर जीन यहाँ DNA के एक विशेष अनुक्रम के रूप में पीरलक्षित होता है, जो दमनकारी पदार्थ ऑपरेटर प्रेरक संकुल से सम्बद्ध नहीं रह पाता एवं ओपेरॉन के संरचनात्मक जीन की कार्यशीलता अभिप्रेरित (Active and Induce) होकर प्रारम्भ हो जाती है । यहाँ उल्लेखनीय है कि यही संरचनात्मक जीन एन्जाइम संश्लेषण हेतु उत्तरदायी होते हैं ।

दमनकारी ओपेरॉन मॉडल प्रावस्था में स्वतंत्र दमनकारी पदार्थ ऑपरेटर जीन के साथ सम्बद्ध नहीं होता परन्तु सह - दमनकारी संकुल (Corepressor complex) प्रचालक या ऑपरेटर के साथ संलग्न होकर संरचनात्मक जीन (Structural Gene) के अनुलेखन को रोक देता है या " स्विच ऑफ " (Switch off) कर देता है । उपरोक्त दोनों सोपानों को निम्न प्रकार से निरूपित किया जा सकता है :

$$\begin{aligned} \text{सक्रिय दमनकारी पदार्थ} &= \text{निष्क्रिय दमनकारी} + \text{सहदमनकारी} \\ (\text{Active Repressor}) &= \text{Inactive Repressor} + \text{Corepressor} \\ \text{निष्क्रिय दमनकारी पदार्थ} &= \text{सक्रिय दमनकारी} + \text{प्रेरक} \\ (\text{Inactive Repressor}) &= \text{Active Repressor} + \text{Inducer} \end{aligned}$$

इस सन्दर्भ में जैकब एवं मोनाड द्वारा प्रस्तुत ई. कोलाई का लेक - ओपेरॉन मॉडल, जीवाणुओं में उपलब्ध विभिन्न उत्परिवर्तकों (Mutants) तथा मीरोजाइगोट्स (mero-zygotes) की कार्यप्रणाली पर आधारित था । वस्तुतः मीरोजाइगोट एक अर्ध द्विगुणित (Half diploid) जीवाणु कोशिका होती है, जिनमें "Hfr strain" पाये जाते हैं एवं इनके अध्ययन से प्रभावी एव अप्रभावी उत्पीरवर्तनकारी (Dominant and Recessive Mutant) जीन की जानकारी प्राप्त करने में

सहायता मिलती है। इस प्रकार एक प्रारूपिक लेक - ओपेरॉन मॉडल में तीन विस्थल पाये जाते हैं:

- (1) प्रवर्धक स्थल (Promoter Site)
- (2) एक प्रचालक (Operator)
- (3) तीन सरंचनात्मक जीन जो निम्न एन्जाइमों का संश्लेषण करते हैं :
 - (A) λ -गैलेक्टोसाइडेस एन्जाइम
 - (B) y- पीरमिएस एन्जाइम
 - (C) a- यन्स एसिटाइलेस एन्जाइम

जीन नियामक प्रोटीन (Regulator Gene Protein)

लेक - ओपेरॉन में नियामक जीन, दमनकारी प्रोटीनों का निर्माण करते हैं। ये रेग्यूलेटरी जीन्स, 360 अमीनो अम्लों द्वारा निर्मित पॉलीपेप्टाइड श्रृंखला का गठन करते हैं। इस प्रकार की चार पॉलीपेप्टाइड श्रृंखलाएँ कुण्डलित (Coiled) या अधिवलित (Folded) होकर लेक - ओपेरॉन प्रोटीन संगठन का जीन की संरचना, निर्माण करती है। अतः इस प्रकार के प्रोटीन को चतुःलक प्रोटीन या टेट्रामर प्रोटीन (Tetramer protein) कहते हैं। इस प्रोटीन पर 2 अलग - अलग बन्धकारी विस्थल (Binding sites) पाये जाते हैं, जिसका एक सिरा प्रेरक अणु को चिन्हित करता है जबकि दूसरा विस्थल लेक ओपेरॉन की उस अनुक्रम को चिन्हित करता है, जो कि DNA पर उपस्थित होती है।

यूकेरियोट सजीवों में जीन नियमन (Regulation of Gene in Eukaryotes) :

यूकेरियोट्स में जीन नियमन की प्रक्रिया, प्रोकेरियोटिक कोशिकाओं की भाँति स्पष्ट नहीं होती। इनमें केवल 2 से 15 प्रतिशत जीन ही अपनी अभिव्यक्ति एक समय में कर पाते हैं, अतः इनकी कोशिका में भी जीन नियंत्रण के लिए एक सुव्यवस्थित प्रणाली पाई जाती है। यूकेरियोट्स में मुख्यतया: दो प्रकार के जीन पाये जाते हैं

- I. वे जीन्स जिनमें r-RNA, t-RNA तथा 5S-RNA की अनेक प्रतिलिपियाँ पाई जाती हैं।
 - (a) यहाँ r-RNA का अनुलेखन RNA पॉलीमेरेस I के द्वारा होता है।
 - (b) RNA-पॉलीमेरेस III t-RNA एवं 5S-RNA के अनुलेखन हेतु उत्तरदायी होता है।
- II. ऐसे जीन जिनमें न्यूक्लिक अम्ल की केवल एक प्रति पाई जाती है।
 - (a) RNA पॉलीमेरेस II इनके अनुलेखन के लिए उत्तरदायी होता है।

कुछ वैज्ञानिकों के अनुसार यूकेरियोटों में जीन अभिव्यक्ति का नियमन चार स्तरों पर देखा जा सकता

है, ये हैं :

- (1) अनुलेखन (Transcription)
- (2) अनुलिपिकरण (Translation)
- (3) जीन प्रतिकृतिकरण (Gene replication)
- (4) पश्च अनुलिपिकरण (Post Translation)