आर0सी0स0ी संरचनाओं के अभिकल्पन के तरीकों का मूल्यांकन–कार्यकारी, चरम प्रतिबल एवं सीमा स्थिति विधियों का एक अध्ययन

मनोज कुमार वार्ष्णेय[1], निवेश कुमार वार्ष्णेय[2] एवं रोहित कुमार वार्ष्णेय[3]
[1]वरिष्ठ प्रवक्ता एवं विभागाध्यक्ष, सिविल इंजीनियरिंग
डी0 एन0 पॉलीटैक्निक, मेरठ (उ0 प्र0)–250103, भारत
manojvarshaney17rediffmail.com
[2] आसिस्टेन्ट प्रोफेसर, प्रताप इंस्टीट्यूट ऑफ टैक्नोलॉजी एण्ड सांइस, सीकर (राजस्थान)–332402
[3] प्रोजेक्ट ऑफीसर, नेशनल इंस्टीट्यूट ऑफ हाइड्रोलोजी, रूड़की(उत्तराखण्ड)–247667

सार

आर.सी.सी. संरचनाओं के अभिकल्पन के तरीकों का मूल्यांकन करने पर स्पष्ट रूप से देखा गया है कि सीमा स्थिति विधि से संरचना के अवयवों का अभिकल्पन तुलनात्मक रूप से मितव्ययी एवं व्यवहारिक है। जबकि कार्यकारी प्रतिबल विधि से किये गये अभिकल्पन में इस्पात की मात्रा में बचत होती है। जो अभिकल्पन की दृष्टि से ज्यादा उचित समझा जा रहा है। जैसा कि वर्तमान में अनेक विधियां इन संरचनाओं के अभिकल्पन के लिए विकसित हो रही हैं परन्तु मौजूदा समय में उपलब्ध विधियों में स्नातक स्तर पर सीमा स्थिति एवं डिप्लोमा स्तर पर कार्यकारी प्रतिबल विधि ही पाठ्यक्रम में लागू है। सैद्धान्तिक तौर पर आर0 सी0 सी0 संरचनाओं का अभिकल्पन वर्किंग स्ट्रेस के आधार पर करना एवं साइटों पर वास्तिविक अभिकल्पन के लिहाज से एवं आर्थिक दृष्टि से लिमिट स्टेट मैथड ही ज्यादा सही एवं उपयोगी सिद्ध हो रहा है। इस केस स्टडी से वास्तव में साइट/डिजाइन अभियन्ताओं के लिए एक जानकारी मुहैया कराये जाने का उद्देश्य है कि आर0 सी0 सी0 संरचनाओं का अभिकल्पन, लिमिट स्टेट मैथड से ही किया जाना महत्वपूर्ण, व्यवहारिक, मितव्ययी एवं टिकाऊ है।

Valuation of Methods for Designing of R.C.C. Structures-A Case Study with Working Stress v/s Limit State Vis-a-Vis Ultimate load

Manoj Kumar Varshaney[1], Nivesh Kumar Varshaney[2] and Rohit Kumar Varshney[3]
Senior Lecturer and Head, Civil Engineering
D.N. Polytechnic, Merrut(U.P.)-250103, India
manojvarshaney17@rediffmai.com
[2] Asstt. Prof. Pratap Institute of Technology & Science, Siker (Rajasthan)-332402
[3] Project Officer, National Institute of Hydrology, Roorkee(Uttarakhand)-247667

Abstract

Here the study reveals that cost wise limit state method is more economical and viable to use-in the design of RCC structures, while for steel saving working stress method of designing of RCC structures is more appropriate. As so many methods are coming in knowledge for the design of these structures, however only working and limit state methods are in vogue. At technical level institutions around the province, working stress method has been kept in syllabus to make easy approach of designing concept, while at degree level, limit state procedure has been included in the syllabus for the applicable designing of structures over working sites. In view of valuation and designing purposes, this paper shows and encourages, the designers to follow only limit state rather than other methods. It is concluded that designing of RCC structures by using limit state method is safe, useful, economical and viable in most of applying condition.

परिचय

तकनीकी शिक्षा के विकास, उन्नयन एवं सामाजिक गठबंधन में इंजीनियरिंग की विभिन्न शाखाओं यथा सिविल, विद्युत यांत्रिकी व इलैक्ट्रॉनिक्स के अलावा इसकी अन्य शाखाओं जैसे उत्पादन, निर्माण, पर्यावरण व वास्तुकारक आदि का उदगम् हुआ। इसी तारतम्य में तकनीकी शिक्षा के माध्यम से देश की आर्थिक, राजनैतिक व सामाजिक व्यवस्था में सुधार हेतु निर्माण एवं उत्पादन सम्बन्धी गतिविधियां नित नये रूप में विकसित हो रही है। सिविल इंजीनियरिंग के क्षेत्र में हो रहे निर्माण कार्य

यथा सड़क, पुल, भवन, जल प्रदाप व स्वच्छता आदि कार्यों से देश में हो रहा विकास स्पष्ट दिखाई पड़ रहा है। सिविल इंजीनियरिंग में भवन निर्माण सामग्रियों यथा सीमेंट, ईंट, रेत, लकड़ी, रोड़ी, स्टील, चूना व पेन्ट आदि का प्रयोग प्रचुर मात्रा में होता है। इन सामग्रियों के समन्वय एवं सम्मिश्रण से ईंट चिनाई व कंक्रीट, आदि कार्य पूर्ण होता है। प्रबलित कंक्रीट (रीइंफोर्सड सीमेंट–कंक्रीट) की धरनें(बीम्स), स्लैब, लिंटेल, व स्तम्भ आदि भवन निर्माण कार्यों में प्रयोग होते हैं।

दरअसल प्रबलित कंक्रीट बनाने के लिए सीमेंट, मोटा रेत, रोड़ी(स्टोन एग्रीगेट) व पानी से बने कंक्रीट के मिश्रण को स्टील की छड़ों से बने जाल(ढांचे) में यह कंक्रीट डालकर कुटाई व समापन(कांपेक्टेशन एण्ड फिनिशिंग) कर अवयव बनाया जाता है। यह अवयव प्रबलित सीमेंट कंक्रीट(रीइंफोर्सड सीमेंट–कंक्रीट) के नाम से जाना जाता है। प्रबलित सीमेंट कंक्रीट के अवयव तनन(टेंशन) एवं सम्पीड़न(कंप्रेशन), दोनों में ही पर्याप्त मजबूत होते हैं। अतः भवन संरचनाओं के अलावा अन्य संरचनाओं में आर0 सी0 सी0 का ज्यादातर प्रयोग किया जाता है।

आर0 सी0 सी0 संरचना पर आने वाले भार के अनुरूप इसके अवयवों का आकार, व स्टील की आवश्यक मात्रा, कंक्रीट के ग्रेड व स्टील के ग्रेड के अनुसार निर्धारित की जाती है। कंक्रीट के ग्रेड का तात्पर्य कंक्रीट के संघटकों के अनुपात से है। जैसे एम$_{15}$, एम$_{20}$, व एम$_{25}$ आदि कंक्रीट के ग्रेड हैं, जहाँ एम–मिक्स को तथा इसके अंक, कंक्रीट की अभिलक्षण सम्पीड़न सामर्थ्य(कैरेक्टरिस्टिक कंप्रेसिव स्ट्रेंथ) क्रमशः 15 एन/एमएम^2, 20 एन/एमएम^2, व 25 एन/एमएम^2 को दर्शाता है जबकि कंक्रीट में सीमेंट : बदरपुर : रोड़ी का अनुपात क्रमशः 1:2:4:, 1:1.5 : 3 व 1:1:2 है। कंक्रीट का ग्रेड निर्धारित करने के उपरान्त स्टील का ग्रेड यथा एफई250, एफई350, एफई415, एफई500 व एफई550 निर्धारित करना पड़ता है। स्टील के ग्रेडों का तात्पर्य ऐसी स्टील से है जिसकी पराभव सामर्थ्य क्रमशः 250, 350, 450, 500 व 550 एन/एमएम^2 है। तत्पश्चात आर0 सी0 सी0 संरचनाओं का अभिकल्पन, संरचना पर आने वाले भारों(चल व अचल) की गणना कर किया जाता है ताकि संरचना में उस अधिकतम भार पर कार्यकारी बनी रहे एवं संरचना स्थायित्व रह सके।

इन आर0 सी0 सी0 अवयवों के अभिकल्पन की अनेक विधियां प्रचलित है। इन सभी विधियों की अपनी–अपनी मान्यताऐं हैं जिनके अनुसार ही अभिकल्पन, गणनाएं कर किया जाता है।

मूल्यांकन की दृष्टि से अभिकल्पित खण्ड का मितव्ययी एवं टिकाऊ होना आवश्यक है। चूँकि आर0 सी0 सी0 अवयवों में स्टील की कीमत, कंक्रीट की कीमत का 60 से 75 गुना होती है अतः अवयव में स्टील की बचत कर अवयव को मितव्ययी बनाया जा सकता है। परन्तु फिर भी विभिन्न अवयवों की अपने हिसाब से स्टील की न्यूनतम मात्रा निर्धारित रहती है।

अवयवों में स्टील तनाव बल व कंक्रीट सम्पीडन बल लेती है और यह तभी सम्भव है जब स्टील व कंक्रीट आपस में पूर्णतः पकड़ में मजबूत हों। अतः विभिन्न अवयवों में तनाव बल आने वाले स्थान पर स्टील की छड़ों का जाल व सम्पीड़न बल आने वाले स्थान पर कंक्रीट की मात्रा अधिक रखी जाती है। अवयवों में तनाव व सम्पीडन क्षेत्र ज्ञात करने के लिए भारों की स्थिति के अनुसार नमन आपूर्ण आरेख(बेंडिंग मूमेंट डायग्राम) व कर्तन बल आरेख(शीन फोर्स डायग्राम) गणितीय गणनाओं के आधार पर खींचे जाते हैं।

अभिकल्पन की विधियां

आर0 सी0 सी0 संरचनाओं के अवयवों के अभिकल्पन की मौजूदा समय(वर्तमान समय) तक तीन विधियां ही प्रचलन में हैं।

1. कार्यकारी प्रतिबल विधि(वर्किंग स्ट्रेस मेथड)
2. चरम भार विधि(अल्टीमेट लोड मैथड)
3. सीमा स्थिति विधि(लिमिट स्टेट)

कार्यकारी प्रतिबल विधि में कंक्रीट व इस्पात को प्रत्यास्थ मानकर अभिकल्पन किया जाता है। प्रत्यास्थ सीमा के अन्तर्गत कंक्रीट व स्टील संयुक्त रूप से कार्य करते हुए विफलता तक प्रतिबल व विकृति में रेखीय सम्बंध रखते हैं एवं हुक के नियम का पालन करते हैं। कंक्रीट का नमन प्रतिबल(बेंडिंग स्ट्रेस) सम्पीड़न क्षेत्र में, कंक्रीट के ग्रेड के अनुसार 28 दिन की अभिलाक्षणिक सामर्थ्य को सुरक्षा गुणक जो प्रायः 3 होता है से भाग देकर मालूम किया जाता है। जैसे एम$_{10}$, एम$_{15}$, व एम$_{20}$ एम$_{25}$, एम$_{30}$, एम$_{35}$ व एम$_{40}$ ग्रेड की कंक्रीट के लिए संपीडन क्षेत्र में कंक्रीट का अधिकतम अनुमेय नमन प्रतिबल क्रमशः 3, 5, 7, 8.5, 10, 11.5 व 13 लिया जाता है। इसी प्रकार स्टील की अनुमन्य तनन सामर्थ्य, इस्पात की पराभव सामर्थ्य को 1.78 से भाग देकर प्राप्त किया जाता है। स्टील की अनुमन्य तनन सामर्थ्य 140, 190, 230 व 275 एन/एमएम^2 तक होती हैं। जबकि स्टील का ग्रेड क्रमशः एफई250, एफई350, एफई415 व एफई500 हैं। कंक्रीट व इस्पात में प्रतिबल, मान्यताओं के आधार पर है एवं अभिकल्पन इन्हीं के आधार पर किया जाता है, परन्तु व्यवहारिक दृष्टि से सभी मान्यताएं पूर्णतः अनुमन्य नहीं हो पाती हैं।

चरम भार विधि में संरचना के अवयव पर आने वाले भार को सम्भावित भार गुणांक से गुणा कर चरम भार निर्धारित कर अभिकल्पन किया जाता है। नमन में(बेंडिंग) कंक्रीट में अनुमत प्रतिबल कंक्रीट के चरम प्रतिबल को उपयुक्त सुरक्षा गुणांक से भाग निर्धारित किये जाते हैं। अवयव के सबसे ऊपरी रेशों के नीचे स्थित रेशों में प्रतिबल अनुमन्य से बहुत कम होते हैं और कुल मिलाकर अवयव न्यून प्रबलित होता है। व्यवहार में कंक्रीट पूर्णतः प्रत्यास्थ नहीं है। इसी वजह से अवयव को भारित करते हुए विफलता बिन्दु तक ले जाने पर अवयव के ऊपरी रेशों में तो चरम प्रतिबल विकसित हो जाता है, परन्तु इसके निचले हिस्से पर यह प्रतिबल इतना नहीं हो पाता, जिस कारण कंक्रीट एकदम विफल नहीं होती है। चरम प्रतिबल सीमा पार करने पर कंक्रीट प्रत्यास्थ से सुघट्य अवस्था की ओर अग्रसर होती है। इस समय चरम प्रतिबल निचले रेशों की ओर स्थानान्तिरित होने लगते हैं; जिससे प्रतिबल आरेख परवलयाकार हो जाता है। इस विधि में कंक्रीट व इस्पात में मौजूद सामर्थ्य का अधिकतम लाभ उठाया जा सकता है। जिससे अवयव खण्ड की भार वहन क्षमता अधिक प्राप्त होती है। इस विधि से प्राप्त आर0 सी0 सी0 खण्ड काफी छोटा होता है जिससे ये अधिक विक्षेपित होते हैं जो सेवा–योग्यता की दृष्टि से अनुकूल नहीं है।

उक्त दोनों विधियों का सुधरा हुआ रूप सीमा स्थिति विधि से अभिकल्पन करना है, जो सुघट्य अभिकल्पन मान्यताओं पर आधारित है। इस विधि में मुख्यतः दो सीमाओं पर विचार किया जाता है। अवयव अपनी आयु अवधि में आने वाले भारों के प्रति सुरक्षित तो रहे ही साथ ही विक्षेप, दरार आदि भी सीमा में रहकर सेवा योग्यता बरकरार रखे। इस विधि में कंक्रीट प्रत्यास्थ से सुघट्य अवस्था में आकर परवलयाकार प्रतिबल आरेख पर विफल होती है। जिससे स्टील के प्रतिबल का अधिकतम उपयोग होता है। कंक्रीट में प्रतिबल 0.66 एफसीके तथा स्टील में प्रतिबल 0.87 एफवाई लिया जाता है जहां एफसीके, कंक्रीट की अभिलाक्षणिक सामर्थ्य है तथा एफवाई, स्टील का पराभव प्रतिबल है। इस विधि में, अभिकल्पित भार, अवयव पर आने वाले भार का 1.5 गुना लिया जाना अनुमन्य किया गया है।

इस विधि में प्राप्त अवयव खण्ड, कार्यकारी विधि से ज्ञात खण्ड से छोटा होता है जिसमें सेवायोग्यता, अवयव में दरार पड़ने तक अनुमन्य मानी गई है। आर0 सी0 सी0 संरचनाओं के आगणन के आधार पर मूल्यांकन करना तभी सम्भव है जब किसी अवयव का उदाहरण लेकर, अभिकल्पन के अनेक तरीकों का प्रयोग कर कंक्रीट व स्टील की मात्राओं का आंकलन किया जाये। अतः पेपर के शीर्षक को, स्पष्ट करने हेतु व्यवस्था उदाहरण स्वरूप है।

उदाहरण

एक एकल प्रबलित आर0 सी0 सी0 धरन(बीम) का तीनों विधियों से अभिकल्पन करें यदि इसका पाट(स्पैन) 4.0 मीटर है। इस पर 15 किलो न्यूटन/मीटर का समवितरित भार आ रहा है। एम$_{20}$ ग्रेड की कंक्रीट, एफई415 ग्रेड की स्टील व भंजक मापांक(मॉड्यूलर रेशियो) एम=13 है।

तुलनात्मक तालिका रूप

कार्यकारी प्रतिबल विधि	चरम भार विधि	सीमा स्थिति विधि
एफई–415,के लिए स्ट्रेस=230 एन/एमएम^2 एम20 के लिए स्ट्रेस =7 एन/एमएम^2 एम=13, एक्स=0.28डी, जेड=0.91डी धरन खण्ड का अनुमानित साईज सेलेक्टेड बीम साइज =270×530एमएम धरन का भार =1×270×530 ×25000/1000×1000	स्थिर भार डब्ल्यूडी=3578 एन/एम चल भार डब्ल्यूआई=1500 एन/एम कुल यूडीएल=1.5×3578+2.2×15000=5367+33000 =38367 एन/एम नमन आघूर्ण एमयू=डब्ल्य×एल×एल/8=38367×4.3×4.3/8 =88675.73=88675730 एन–एमएम एमयू=0.185एफसीके×बी×डी^{2} 88675730=0.185×20×270×डी^{2} डी=298=300एमएम डी=300 एमएम एएसटी=0.236×एफसीके×बी×डी/एफवाई	एफई–415 के लिए स्टील में प्रतिबल =0.87×415=361 एन/एमएम^2 एम–20 कंक्रीट के लिए कंक्रीट में प्रतिबल =0.446×20=8.92 एन/एमएम^2 ईएस=200000 एन/एमएम^2 नमन आघूर्ण =42943000 एन–एमएम फैक्टर आघूर्ण =1.5×42943000=64414500 एन–एमएम एमयू=64414500 एन–एमएम एमयू लिमिट=0.138 बी डी^{2} एफसीके =0.13×270×डी^{2}×20 एमयू=एमयू लिमिट

	=3578 एन / एम अधिभार=15000 एन / एम कुल भार=18577 =18580एन / एम प्रभावी लम्बाई =4.00+0.3=4.3एम नमन आघूर्ण =18580×4.3×4.3 / 8 =42943 एन–एम धरन का प्रतिरोध आघूर्ण, एम=0.64 डी^{2} डी=498 एमएम=500 एमएम=530 एमएम स्टील का आवश्यक क्षेत्रफल =42943000 / 230 ×0.91×500 =410एमएम^2 =415एमएम^2 %स्टील =415×100 / 270 ×500=0.31% धरनखण्ड कर्तन व अभिलाग में सुरक्षित हैं। मूल्यांकन 1. कंक्रीट क्षेत्रफल =270×530 =143100एमएम^2 2. स्टील का क्षेत्रफल =एएसटी=415एमएम^{2एसएस} स्टील का मूल्य =415×60=24900 कंक्रीट का मूल्य =143100 कुल मूल्य =143100+24900 =168000 / –	एएसटी=922 एमएम^2 %स्टील=1.14% **मूल्यांकन** 1. कंक्रीट का क्षेत्रफल =270×330=89100एमएम^2 कंक्रीट का मूल्य=89100 / – 2. स्टील का क्षेत्रफल=922 एमएम^2 स्टील का मूल्य=922×60=55320 / – कुल मूल्य=89100+55320=144420 / –	डी=295 एमएम=300 एमएम डी=295 एमएम=300 एमएम डी=330 एमएम एक्सयू मैक्स=0.48 डी जब एफई415 है तब स्टील की सीमा पीलिमिट%=0.414×एफसीके×एक्सयू मैक्स / एफवाई × डी =0.414×20×0.48×डी / 415×डी =9.6 / 1000 एएसटी=9.6×270×295 / 1000=763एमएम^2 =765एमएम^2 स्टील प्रतिशत=0.94% **सेफ इन शियर एण्ड बाण्ड स्ट्रेस** **मूल्यांकन** 1. कंक्रीट का क्षेत्रफल =270×330=89100एमएम^2 कंक्रीट का मूल्य=89100 / – 2. स्टील का क्षेत्रफल=765एमएम^2 स्टील का मूल्य=765×60=45900 / – कुल मूल्य=89100+45900=135000 / –

मूल्यांकन अनुपात

डब्ल्यूएस : एलएस : यूआई=168000:135000:144420=1.24:1.00:1.07

स्टील की मात्रा का अनुपात

डब्ल्यूएस : एलएस : यूआई=0.31:0.94:1.14=1:3:3.67

कंक्रीट की मात्रा का अनुपात

डब्ल्यूएस : एलएस : यूआई=143100:89100:89100=1.67:1.00:1.00

संदर्भ

1. वार्ष्णेय, एम0 के0(2009) सिविल एस्टीमेटिंग एण्ड कास्टिंग, नवभारत पब्लिकेशंस, चतुर्थ सं0।
2. वार्ष्णेय, एम0 के0(2013) इंडियन वैल्यूअर जर्नल, खण्ड एक्सएलवी, मु0 पृ0 674–682।