शोध पत्र / Research Paper

विभिन्न पाउडर मात्रा के लिए स्व–संपीडन कंक्रीट के ताजा कंक्रीट गुणों पर प्रायोगिक अध्ययन

Experimental Study on Fresh Concrete Properties of Self Compacting Concrete for Various Powder Content

महेश मनवानी[1], डॉ. ऐ.के. द्विवेदी[2]

Mahesh Manwani[1], Dr. A.K. Dwivedi[2]

[1]Ph.D. Scholar, [2]Professor
Department of Civil Engineering
Rajasthan Technical University, Kota
maheshmanwani@ecajmer.ac.in, akdrtu@gmail.com

https://doie.org/10.0228/VP.2025989722

सारांश

निर्माण पूरी दुनिया में एक ऐसी प्रक्रिया है जिसकी हर युग में आवश्यकता होती है। कंक्रीट की मजबूती, स्थायित्व और गुणवत्ता के कारण, समय के साथ निर्माण सामग्री के रूप में इसका उपयोग बढ़ गया है। स्व–संपीड़न कंक्रीट (SCC) एक असाधारण प्रकार का कंक्रीट है जो स्वयं के वजन के कारण संपीडित हो जाता है और इसके लिए अलग से वाइब्रेटर की आवश्यकता नहीं होती है। इसलिए, इसका उपयोग ऐसे स्थानों पर किया जाता है जहाँ सघन प्रबलन ग्रिड होता है। इस अध्ययन का उद्देश्य कोडल प्रावधानों को ध्यान में रखते हुए विभिन्न निर्माण स्थितियों के लिए बेहतर प्रदर्शन मिश्रण तैयार करना है। इसलिए, इस अध्ययन में, संपीड़न सामर्थ्य विधि के अनुसार खनिज संमिश्रक (MA) और विभिन्न पाउडर सामग्री के लिए कंक्रीट के विभिन्न श्रेणियों को अभिकल्पित करके ताजा कंक्रीट के गुणों का परीक्षण किया गया है।

Abstract

Construction is a process all over the world which is required in every age. Due to the strength, durability, and quality of concrete, it's use as a construction material has increased over time. Self-compacting concrete (SCC) is an exceptional type of concrete that compacts under its own weight and does not require a separate vibrator. Therefore, it is used in such places where the reinforcement grid is dense. The objective of this study is to prepare a better performance mix for different construction conditions keeping in mind the codal provisions. Therefore, in this study, the properties of fresh concrete have been tested by designing different grades of concrete for mineral admixture (MA) and for various powder content as per compressive strength method.

मुख्य शब्द : स्व–संपीडन कंक्रीट, ताजा कंक्रीट, कंक्रीट की श्रेणियाँ, पाउडर मात्रा

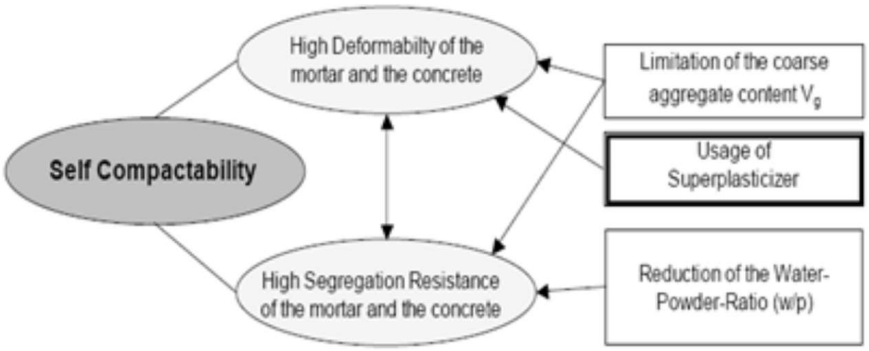
Keywords: Self – Compacting Concrete, Fresh concrete, Grades of concrete, Powder content.

प्रस्तावना

स्व–संपीडन कंक्रीट (SCC) को सबसे पहले 1980 के दशक की शुरुआत में जापान में विकसित किया गया था, ताकि टिकाऊ कंक्रीट संरचनाओं को बनाया जा सके। तब से, मानक कंक्रीट के तर्कसंगत मिश्रण अभिकल्पन प्राप्त करने के लिए कई अनुसंधान किये गए हैं।

स्व–संपीड़न कंक्रीट (SCC) में मूल रूप से सामान्य कंपन कंक्रीट के समान घटक होते हैं, हालांकि, ताजा कंक्रीट के वांछित गुणों को प्राप्त करने के लिए, SCC में अल्ट्रा फाइन सामग्रियों का उच्च अनुपात और

रासायनिक संमिश्रको का समावेशन, विशेष रूप से एक प्रभावी सुपर प्लास्टिसाइज़र आवश्यक है। SCC को व्यापक रूप से अपनाने का एक और कारण यह है कि यह कार्यस्थल पर कंपन के कारण होने वाले नुकसान को कम करने में मदद करता है। स्व–संपीड़न कंक्रीट के उत्पादन के लिए बुनियादी सिद्धांत चित्र – 1 में दिखाया गया है। [1]



चित्र – 1: SCC के उत्पादन के लिए बुनियादी सिद्धांत

SCC के उत्पादन की वर्तमान प्रक्रिया मुख्य रूप से अनुभवजन्य मिश्रण अभिकल्पन में जापान और नीदरलैंड के अनुभव पर आधारित है। SCC के उत्पादन के लिए मिश्रण अभिकल्पन को विभिन्न पाउडर सामग्री के लिए संपीड़न सामर्थ्य को ध्यान में रखते हुए अभिकल्पित किया गया है ताकि यह सुनिश्चित किया जा सके कि ताजा और कठोर कंक्रीट अपने पूर्व निर्धारित गुणों तक पहुँच जाए।

प्रायोगिक अनुसंधान (सामग्री)

(i) सीमेंट

IS 8112:1989 के अनुरूप साधारण पोर्टलैंड सीमेंट 43 ग्रेड का उपयोग किया गया तथा इसके भौतिक गुण तालिका – 1 में दिए गए हैं।

तालिका – 1: 43 ग्रेड ओपीसी सीमेंट के भौतिक गुण

भौतिक गुण	IS 8112 के अनुसार आवश्यकताएँ	परिणाम
Fineness (m^2/kg)	225 (न्यूनतम)	289
Soundness (Le Chatelier Method) (mm)	10 (अधिकतम)	1
Initial setting time (minutes)	30 (न्यूनतम)	35
Final setting time (minutes)	600 (अधिकतम)	378
Specific gravity	3.15	3.15

(ii) महीन मिलावा (FAgg)

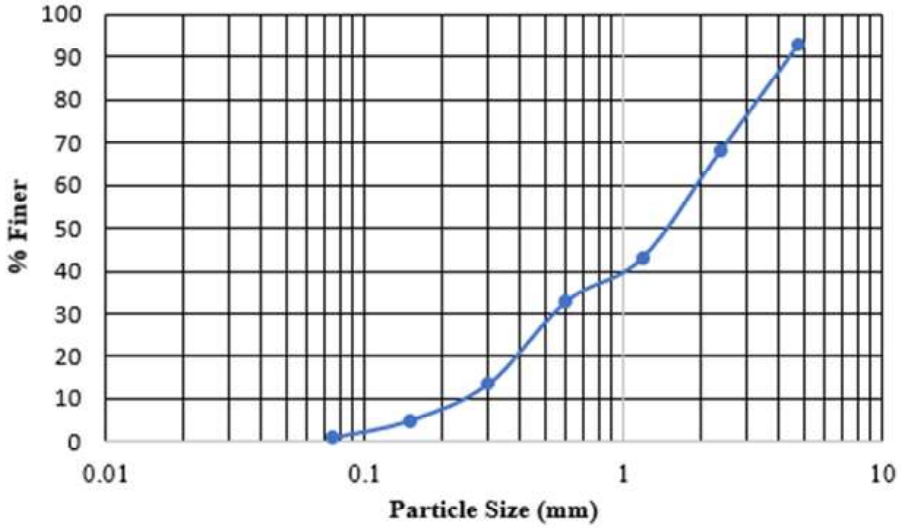
स्थानीय रूप से उपलब्ध नदी की रेत जिसका अधिकतम आकार 4.75 मिमी है, का उपयोग किया गया। ग्रेडेशन वक्र चित्र – 2 में दिखाया गया है। इसके भौतिक गुण तालिका 2 में दिए गए हैं और नदी की रेत IS 383 के अनुसार जोन – 1 में आती है।

(iii) मोटा मिलावा (CAgg)

स्थानीय रूप से उपलब्ध 12.5 मिमी अधिकतम आकार के संदलित पत्थरों का उपयोग किया गया। इसके भौतिक गुण तालिका 2 में दिए गए हैं और IS 383 से पुष्टि की गई है।

तालिका – 2: महीन और मोटे मिलावे के भौतिक गुण

भौतिक गुण	FAgg	CAgg
विशिष्ट गुरूत्व	2.58	2.63
जल अवशोषण (%)	2.04	0.5
शुष्क घनत्व (kg/m^3)	1500	1580



चित्र – 2: महीन मिलावे के रूप में प्रयुक्त नदी की रेत का ग्रेडेशन वक्र

(iv) रासायनिक संमिश्रक

सुपरप्लास्टिसाइज़र (SP) Melflux 2651 F IS 9103 के अनुरूप है और इसका विशिष्ट गुरुत्व 1.08 है। सुपरप्लास्टिसाइज़र का उपयोग सीमेंट के वजन के 1% के बराबर किया गया है।

(v) खनिज संमिश्रक (MA)

खनिज संमिश्रक एक तरह से पोजोलानिक पदार्थ होते है इस परीक्षण में फ्लाई ऐश (FA) का उपयोग खनिज संमिश्रक के रूप में किया गया है जिसका विशिष्ट गुरुत्व 2.04 पाया गया।

(vi) जल

उपयोग किया गया पानी ताजा, रंगहीन और गंधहीन पीने योग्य पानी था जो किसी भी प्रकार के कार्बनिक पदार्थ से मुक्त था।

मिश्रण अनुपात

स्व–संपीडन कंक्रीट के प्रथम विकास के बाद से, इसके मिश्रण डिजाइन के लिए कई तरीके प्रस्तावित किए x, gSa vfHkd Yiu fl) ka¨ad sv k/kkj ij] bu fof/k;¨ad¨ ikp Jsf.k;¨aesa oxhZd`r fd;k tk ldrk gS अनुभवजन्य अभिकल्पन विधि, संपीड़न सामर्थ्य विधि, क्लोज एग्रीगेट पैकिंग विधि, सांख्यिकीय फैक्टोरियल मॉडल पर आधारित विधियां और पेस्ट मॉडल की रियोलॉजी पर आधारित विधियां। [2]

इस प्रायोगिक अध्ययन में, विभिन्न पाउडर सामग्री के लिए M30 और M 40 ग्रेड स्व–संपीडन कंक्रीट को संपीड़न सामर्थ्य आधारित विधि का उपयोग करके अभिकल्पित किया गया था। अभिकल्पन में शामिल पाउडर मात्रा वे हैं जिनमें स्व–संपीडन कंक्रीट अभिकल्पन की दोनों स्थितियां संतुष्ट होती हो जैसे कि (i) महीन मिलावे एवं कुल मिलावे का अनुपात 0.48 से 0.60 के मध्य रखा गया एवं (ii) पानी के आयतन तथा पाउडर की मात्रा के आयतन का अनुपात 0.8 से 1.1 के मध्य आया था।[3]–[5] पाउडर की मात्रा M30 ग्रेड SCC के लिए 440, 470, 500 और 520 तथा M40 ग्रेड SCC के लिए 470, 490, 520 और 550 रखी गई। इसके अलावा, फ्लाई ऐश का उपयोग खनिज मिश्रक के रूप में किया गया और सीमेंट प्रतिस्थापन के लिए इसकी मात्रा भी 25% से 50% रखी गई।[5] मिश्रण अनुपात निर्धारित करते समय, पानी–सीमेंट अनुपात और सुपरप्लास्टिसाइज़र की मात्रा को स्थिर रखा गया।

तालिका 3 और 4 में क्रमशः M30 ग्रेड और M40 ग्रेड के मिश्रण अनुपात दर्शाए गए हैं।

तालिका 3: एक घन मीटर M30 ग्रेड SCC के लिए मिश्रण अनुपात

Sample name	Powder content	W/C ratio	Cement	Mineral Admixture (Fly Ash)	CAgg	FAgg	SP (1% of weight of C+MA)	Water (Litres)
M30_25MA								
SCC 1	440	0.4313	296	99	673	1041	4	170
SCC 2	470		322	107	712	933	4.3	185
SCC 3	500		348	116	750	825	4.6	200
SCC 4	520		365	122	775	753	4.9	210
M30_30MA								
SCC 5	440	0.4313	276	118	664	1041	4	170
SCC 6	470		300	129	702	933	4.3	185
SCC 7	500		325	139	739	825	4.6	200
SCC 8	520		341	146	764	752	4.9	210
M30_35MA								
SCC 9	440	0.4313	256	138	655	1041	4	170
SCC 10	470		279	150	692	933	4.3	185
SCC 11	500		301	162	729	825	4.6	200
SCC 12	520		316	170	753	753	4.9	210

M30_40MA								
SCC 13	440	0.4313	236	157	646	1041	4	170
SCC 14	470		257	172	682	933	4.3	185
SCC 15	500		278	185	718	825	4.6	200
SCC 16	520		292	195	742	753	4.9	210
M30_45MA								
SCC 17	440	0.4313	217	177	637	1041	4	170
SCC 18	470		236	193	672	933	4.3	185
SCC 19	500		255	209	708	825	4.6	200
SCC 20	520		268	219	731	753	4.9	210
M30_50MA								
SCC 21	440	0.4313	197	197	628	1041	4	170
SCC 22	470		214	214	663	933	4.3	185
SCC 23	500		232	232	697	825	4.6	200
SCC 24	520		243	243	720	753	4.9	210

तालिका 4: एक घन मीटर M40 ग्रेड SCC के लिए मिश्रण अनुपात

Sample name	Powder content	W/C ratio	Cement	Mineral Admixture (Fly Ash)	CAgg	FAgg	SP (1% of weight of C+MA)	Water (Litres)
M40_25MA								
SCC 1	470	0.3522	319	106	735	1002	4.26	150
SCC 2	490		341	114	878	812	4.54	160
SCC 3	520		362	121	786	848	4.82	170
SCC 4	550		383	128	694	885	5.10	180
M40_30MA								
SCC 5	470	0.3522	298	128	726	1002	4.26	150
SCC 6	490		318	136	867	812	4.54	160
SCC 7	520		338	145	775	848	4.82	170
SCC 8	550		358	153	688	885	5.10	180
M40_35MA								
SCC 9	470	0.3522	277	149	716	1002	4.26	150
SCC 10	490		295	159	857	812	4.54	160
SCC 11	520		314	169	764	848	4.82	170
SCC 12	550		332	179	671	885	5.10	180
M40_40MA								
SCC 13	470	0.3522	256	170	706	1002	4.26	150
SCC 14	490		273	182	793	812	4.54	160
SCC 15	520		290	193	753	848	4.82	170
SCC 16	550		307	204	659	885	5.10	180
M40_45MA								
SCC 17	470	0.3522	234	192	697	1002	4.26	150
SCC 18	490		250	204	836	812	4.54	160
SCC 19	520		265	217	742	848	4.82	170
SCC 20	550		281	230	648	885	5.10	180

M40_50MA								
SCC 21	470	0.3522	213	213	687	1002	4.26	150
SCC 22	490		227	227	826	812	4.54	160
SCC 23	520		241	241	731	848	4.82	170
SCC 24	550		256	256	636	885	5.10	180

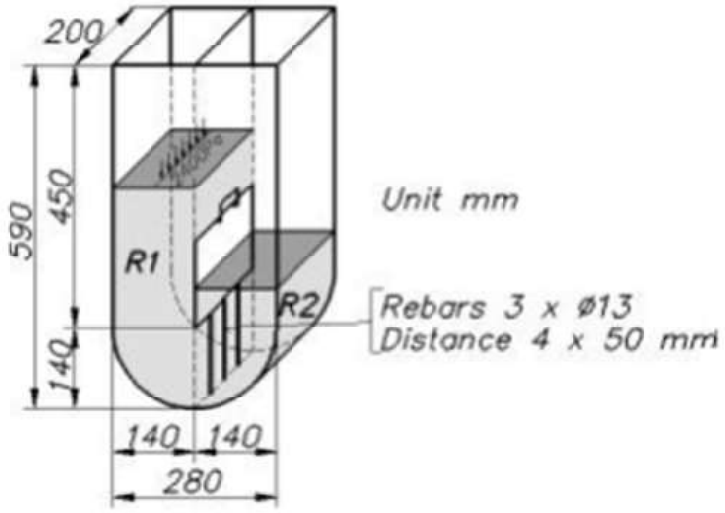
परिणाम और चर्चा

इस अध्ययन में, विभिन्न पाउडर की मात्रा और फ्लाई ऐश की मात्रा के लिए ताजा स्व–संपीडन कंक्रीट की पासिंग क्षमता और भरण क्षमता की जांच की गई। जांच यूरोपीय मानकों द्वारा दिए गए उचित मानदंडों के अनुसार की गई थी।

(i) यू–बॉक्स परीक्षण

यू–बॉक्स परीक्षण का उपयोग मजबूत सलाखों के मध्य से स्व–संपीडन कंक्रीट की पासिंग क्षमता का पता लगाने के लिए किया जाता है। चित्र में दर्शाये अनुसार पहले कम्पार्टमेंट में कंक्रीट को भर कर 1 मिनट के लिए रखा जाता है तत्पश्चात सरकन द्वार को ऊपर उठाकर कंक्रीट को सरियों के मध्य से दूसरे कम्पार्टमेंट में बहने के लिए छोड़ा जाता है। जब कंक्रीट का बहाव रुक जाता है तत्पश्चात पहले कम्पार्टमेंट में कंक्रीट के भराव का पाठ्यांक (H1) एवं द्वितीय कम्पार्टमेंट में कंक्रीट के भराव का पाठ्यांक (H2) अंकित कर लिया जाता है। EFNARC दिशानिर्देशों द्वारा निर्दिष्ट यू–बॉक्स परीक्षण की सीमा H1 और H2 की ऊंचाई में अंतर 0–30 मिमी की सीमा के भीतर होना चाहिए।

तालिका 5 एवं 6 में क्रमशः एम 30 ग्रेड एवं एम 40 ग्रेड कंक्रीट के यू – बॉक्स के परिक्षण के परिणाम दर्शाये गए है।



चित्र – 3: यू बॉक्स परीक्षण उपकरण

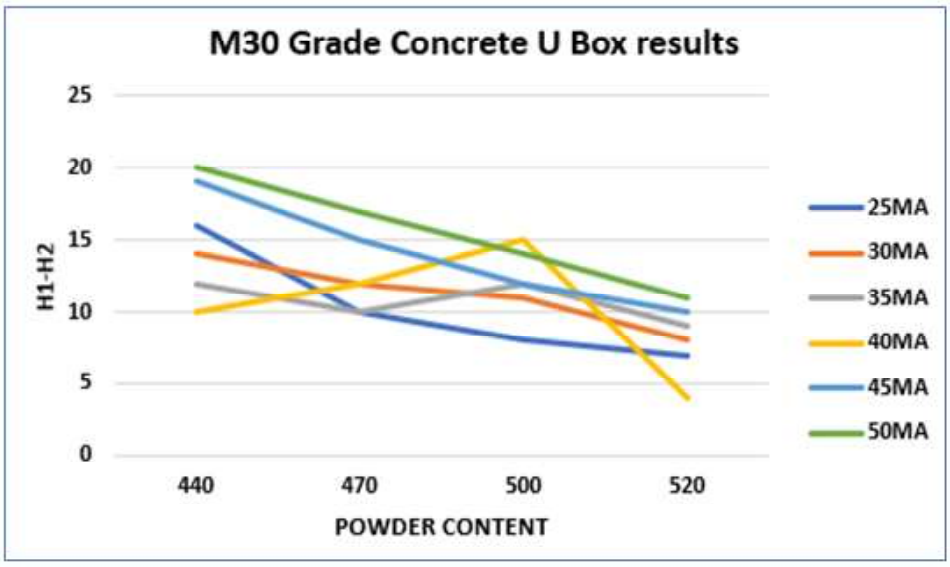
तालिका – 5 : M30 SCC के लिए यू – बॉक्स परीक्षण परिणाम

S. No.	Powder Content	w/c ratio	H1 (mm)	H2 (mm)	H1 – H2 (mm)
			M30_25MA		
SCC1.	440	0.4313	303	287	16
SCC2.	470		300	290	10
SCC3.	500		299	291	08
SCC4.	520		290.5	290.5	07
			M30_30MA		
SCC5.	440	0.4313	302	288	14
SCC6.	470		301	289	12
SCC7.	500		300.5	289.5	11
SCC8.	520		299	291	08
			M30_35MA		
SCC9.	440	0.4313	301	289	12
SCC10.	470		300	290	10
SCC11.	500		301	289	12
SCC12.	520		299.5	290.5	09
			M30_40MA		
SCC13.	440	0.4313	300	290	10
SCC14.	470		301	289	12
SCC15.	500		302.5	287.5	15
SCC16.	520		297	293	04
			M30_45MA		
SCC17.	440	0.4313	304.5	285.5	19
SCC18.	470		302.5	287.5	15
SCC19.	500		301	289	12
SCC20.	520		300	290	10
			M30_50MA		
SCC21.	440	0.4313	305	285	20
SCC22.	470		303.5	285.5	17
SCC23.	500		302	288	14
SCC24.	520		300.5	289.5	11

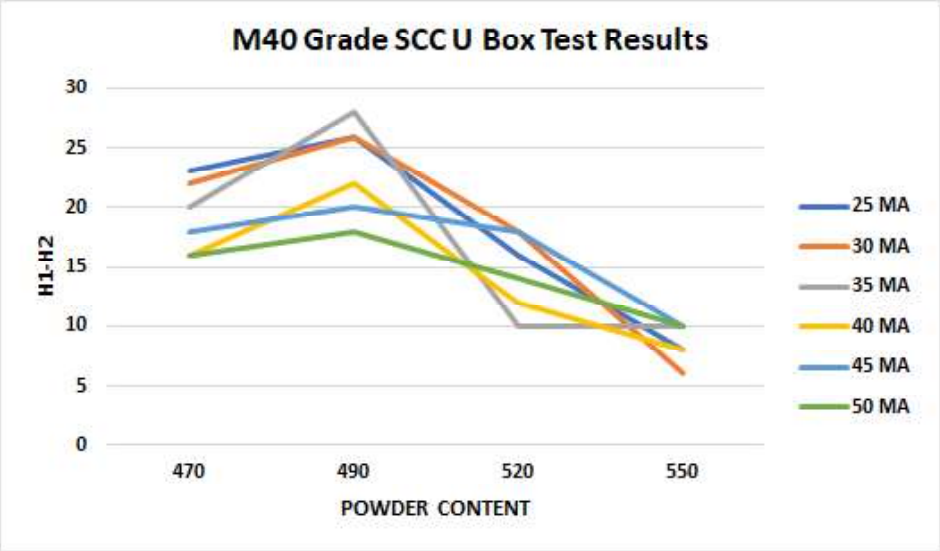
तालिका – 6 : M40 SCC के लिए यू – बॉक्स परीक्षण परिणाम

			M40_25MA		
S. No.	Powder Content	w/c ratio	H1 (mm)	H2 (mm)	H1 – H2 (mm)
SCC1.	470	0.3522	306.5	283.5	23
SCC2.	490		308	282	26
SCC3.	520		303	287	16
SCC4.	550		299	291	8

			M40_30MA		
SCC5.	470	0.3522	306	284	22
SCC6.	490		308	282	26
SCC7.	520		304	286	18
SCC8.	550		298	292	6
			M40_35MA		
SCC9.	470	0.3522	305	285	20
SCC10.	490		309	281	28
SCC11.	520		300	290	10
SCC12.	550		300	290	10
			M40_40MA		
SCC13.	470	0.3522	303	287	16
SCC14.	490		306	284	22
SCC15.	520		301	289	12
SCC16.	550		299	291	8
			M40_45MA		
SCC17.	470	0.3522	304	286	18
SCC18.	490		305	285	20
SCC19.	520		304	286	18
SCC20.	550		300	290	10
			M40_50MA		
SCC21.	470	0.3522	303	287	16
SCC22.	490		304	286	18
SCC23.	520		302	288	14
SCC24.	550		300	290	10



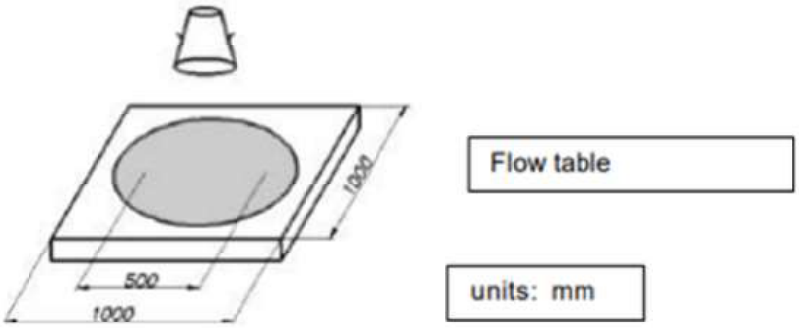
चित्र – 4: विभिन्न पाउडर मात्रा के लिए M30 यू बॉक्स परीक्षण के परिणाम



चित्र – 5: विभिन्न पाउडर मात्रा के लिए M40 यू बॉक्स परीक्षण के परिणाम

(ii) स्लम्प प्रवाह और T50 परीक्षण

यह क्षेत्र में किया जाने वाला बहुत ही आसान एवं एक शीघ्र परीक्षण है। स्लंप प्रवाह के परिणाम, स्व–सम्पीड़ित कंक्रीट की प्रमाणिकता एवं प्रभाविकता दर्शाने के मुख्य किरदार है अर्थात यह परीक्षण सघन प्रबलन के मध्य से स्व सम्पीड़ित कंक्रीट की बहाव क्षमता का द्योतक है। [3], [6] स्लंप परीक्षण के परिणाम कंक्रीट मिश्रण के स्थायित्व, पृथक्करण और ब्लीडिंग को भी निर्धारित करते हैं। भारतीय मानक ने विभिन्न अनुप्रयोगों के लिए विशिष्ट स्लम्प फ्लो वर्ग निर्धारित किये हैं। एक ताज़ा स्व–सम्पीड़ित कंक्रीट के लिए स्लंप बहाव का न्यूनतम मान 550 मिमी तथा अधिकतम मान 850 मिमी होना चाहिए।[5]



चित्र – 6: प्रवाह तालिका परीक्षण

चित्र में दर्शाये अनुसार स्लंप शंकु को बहाव मेज पर रखा जाता है और इस स्लंप शंकु में कंक्रीट भरी जाती है। शंकु को अब ऊर्ध्वाधर रूप से ऊपर उठाया जाता है जिससे कंक्रीट मुक्त फैलती है। इसी समय स्टॉप घड़ी शुरू करके कंक्रीट के 50 सेमी या 500 मिमी व्यास के वृत्त तक पहुंचने का समय अंकित किया जाता है। इसे ही T50 समय कहा जाता है।

T50 समय, प्रवाह का एक द्वितीयक संकेत है। कम समय अधिक प्रवाहशीलता को इंगित करता है। ब्राइट यूराम अनुसंधान ने सुझाव दिया है कि सिविल इंजीनियरिंग अनुप्रयोगों के लिए 3–7 सेकंड का समय और आवास अनुप्रयोगों के लिए 2–5 सेकंड स्वीकार्य है।[3]

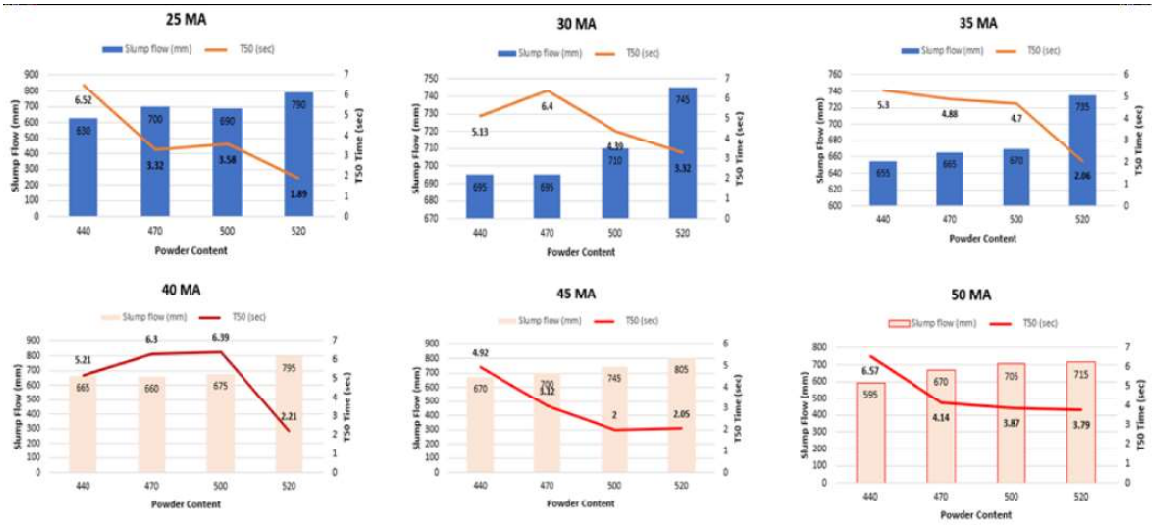
M30 और M40 ग्रेड एससीसी के विभिन्न मिश्रणों के लिए स्लम्प फ्लो और टी50 परिणाम तालिका 7 और 8 में दिखाए गए हैं। इससे हमें SCC की भरण क्षमता को जानने में मदद मिलती है।

तालिका – 7 : M30 SCC के लिए स्लम्प प्रवाह और T50 परीक्षण

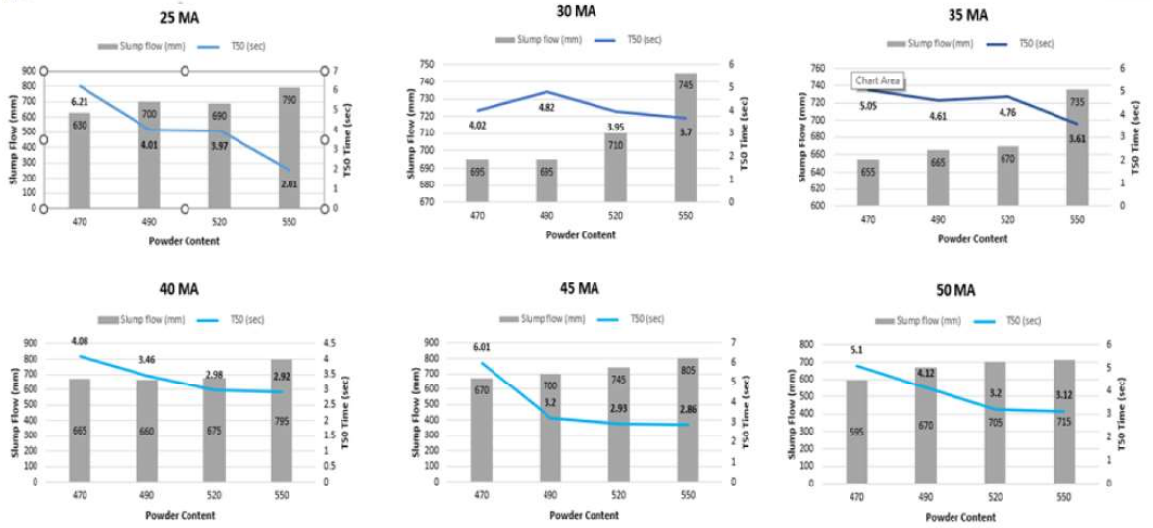
S. No.	Powder Content	w/c ratio	Slump flow (mm)	T50 (sec)
		M30_25MA		
SCC1.	440	0.4313	630	6.52
SCC2.	470		700	3.32
SCC3.	500		690	3.58
SCC4.	520		790	1.89
		M30_30MA		
SCC5.	440	0.4313	695	5.13
SCC6.	470		695	6.40
SCC7.	500		710	4.39
SCC8.	520		745	3.32
		M30_35MA		
SCC9.	440	0.4313	655	5.30
SCC10.	470		665	4.88
SCC11.	500		670	4.70
SCC12.	520		735	2.06
		M30_40MA		
SCC13.	440	0.4313	665	5.21
SCC14.	470		660	6.30
SCC15.	500		675	6.39
SCC16.	520		795	2.21
		M30_45MA		
SCC17.	440	0.4313	670	4.92
SCC18.	470		700	3.12
SCC19.	500		745	2.00
SCC20.	520		805	2.05
		M30_50MA		
SCC21.	440	0.4313	595	6.57
SCC22.	470		670	4.14
SCC23.	500		705	3.87
SCC24.	520		715	3.79

तालिका – 8: M40 SCC के लिए स्लम्प प्रवाह और T50 परीक्षण

S. No.	Powder Content	w/c ratio	Slump flow (mm)	T50 (sec)
		M40_25MA		
SCC1.	470	0.3522	655	6.21
SCC2.	490		675	4.01
SCC3.	520		670	3.97
SCC4.	550		770	2.01
		M40_30MA		
SCC5.	470	0.3522	695	4.02
SCC6.	490		685	4.82
SCC7.	520		700	3.95
SCC8.	550		730	3.7
		M40_35MA		
SCC9.	470	0.3522	670	5.05
SCC10.	490		685	4.61
SCC11.	520		630	4.76
SCC12.	550		710	3.61
		M40_40MA		
SCC13.	470	0.3522	690	4.08
SCC14.	490		705	3.46
SCC15.	520		705	2.98
SCC16.	550		725	2.92
		M40_45MA		
SCC17.	470	0.3522	710	6.01
SCC18.	490		715	3.20
SCC19.	520		685	2.93
SCC20.	550		765	2.86
		M40_50MA		
SCC21.	470	0.3522	685	5.10
SCC22.	490		690	4.12
SCC23.	520		695	3.20
SCC24.	550		715	3.12



चित्र – 7: M30 SCC के लिए स्लम्प बहाव परीक्षण के परिणाम



चित्र – 8: M40 SCC के लिए स्लम्प बहाव परीक्षण के परिणाम

निष्कर्ष

1. कंक्रीट बनाते समय सुपरप्लास्टिसाइज़र मिलाने से तक़रीबन 20 % पानी की मात्रा को कम करने में मदद मिली जिससे कंक्रीट की सामर्थ्य में वृद्धि हुई।

2. कंक्रीट मिश्रण जिसमें पानी की मात्रा और पाउडर की मात्रा का अनुपात अधिक होता है, स्व–संपीडन कंक्रीट के रूप में बेहतर प्रदर्शन करता है।

3. प्रायोगिक परीक्षण से यह भी मालूम हुआ कि किसी नियत पानी के आयतन एवं पाउडर के आयतन पर अगर महीन मिलावे एवं कुल मिलावे का अनुपात कम हो तो स्व – सम्पीड़ित कंक्रीट की दक्षता पर बुरा प्रभाव पड़ता है अर्थात इस परिस्थिति में कंक्रीट मिश्रण में पृथक्करण एवं ब्लीडिंग की संभावना बढ़ जाती है।

4. परीक्षण के समग्र परिणामों को देखने के बाद निष्कर्ष निकाला गया कि कुल समुच्चय के लिए महीन समुच्चय का अनुपात और पाउडर की मात्रा के लिए पानी की मात्रा दोनों को बढ़ाने से सर्वश्रेष्ठ प्रदर्शनकारी स्व–संपीडन कंक्रीट प्राप्त होगा।

शोध पत्र में प्रयुक्त अंग्रेज़ी शब्दों की समानार्थक हिंदी शब्दावली

Alphabetically sorted terminology in English	**वर्णमाला अनुक्रमित हिंदी शब्दावली**
Fresh concrete	ताजा कंक्रीट
Grades of concrete	कंक्रीट की श्रेणियाँ
Mineral admixture	खनिज संमिश्रक
Powder content	पाउडर मात्रा
Self-compacting concrete	स्व–संपीडन कंक्रीट
Specific gravity	विशिष्ट गुरूत्व

सन्दर्भ

1. Dehn F. and Holschemacher K. (2000). Self-Compacting Concrete (SCC) Time Development of the Material Properties and the Bond Behaviour.
2. Shi C., Wu Z., Lv K. and Wu L. (2015). A review on mixture design methods for self-compacting concrete. *Constr. Build. Mater.*, vol. 84, pp. 387–398.
3. EFNARC. (2002). Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete. *Rep. from Eur. Fed. Spec. Constr. Chem. Concr. Syst.*, vol. 44, no. February, pp. 1–32.
4. Sood H., Khitoliya R.K. and Pathak S.S. (2009). Incorporating European Standards for Testing Self Compacting Concrete in Indian Conditions. *Int. J. Recent Trends Eng.*, vol. 1, no. 6, pp. 41–45.
5. Standard I. (2019). Concrete Mix Proportioning – Guidelines IS 10262/ : 2019efnarc.
6. Palanisamy M. (2017). Experimental study on self compacting concrete contains partially manufactured sand and recycled clay roof tile.