

Research Paper

다수 레미콘사에서 납품된 콘크리트 품질 편차에 관한 연구

A Study on the Quality Deviation of High-Strength Concrete from Multiple Ready Mixed Concrete Companies

박동천^{1*} · 석원균² · 전현수² · 김영선³

Park, Dong-Cheon^{1*} · Seok, Won-Kyun² · Jeon, Hyun-Soo² · Kim, Young-Sun³

¹Professor, Department of Architecture and Ocean Space, Korea Maritime and Ocean University, Youngdo-Gu, Busan, 49112, Korea

²Team Manager, Research & Development Institute, LOTTE Eng. & Con., Gangnam-gu, Seoul, 06034, Korea

³Engineer & Researcher(Ph.D), Research & Development Institute, LOTTE Eng. & Con., Gangnam-gu, Seoul, 06034, Korea

*Corresponding author

Park, Dong-Cheon
Tel : 82-51-410-4587
E-mail : dcpark@kmou.ac.kr

ABSTRACT

On large-scale sites, concrete is often delivered from a number of ready-mixed concrete companies, but even if the same concrete mixture table is used, it is thought that there will be a difference in quality due to differences in materials and manufacturing equipment. Due to a lack of previous research in this area, this study measured the properties of fresh concrete, compressive strength, and chlorine ion diffusion coefficient using the concrete supplied by 12 ready-mixed companies in Busan. The fresh concrete properties met the criteria. The compressive strength increased by 137% for 30MPa, 131% for 45MPa, and 117% for 80MPa by specified compressive strength. For the chlorine ion diffusion coefficient, the average value for each specified compressive strength could be derived without significant variation. The higher the compressive strength, the greater the deviation, and the lower the compressive strength, the greater the deviation in the chlorine ion diffusion coefficient.

Keywords : high-strength concrete, round robin test, compressive strength, chloride ion diffusion coefficient, quality deviation

Received : October 28, 2022

Revised : November 14, 2022

Accepted : November 15, 2022

1. 서론

철근 콘크리트 건축물을 포함한 구조물은 국토교통부 2021 콘크리트구조 내구성 설계기준(KDS 14 20 40)[1,2]에 준하여 하중 및 노출범위에 따라 즉 기존의 내하성에서 확장하여 내구성을 고려한 품질기준 압축강도를 기준으로 호칭강도, 배합 강도를 결정하도록 하고 있다. 삼면으로 둘러싸인 우리나라는 건축물이 해안가에 위치할 경우 염해에 대한 고려가 필요하며 일반등급과 해양환경 4등급, 전체 5등급으로 분류하여 노출등급에 맞게 최소 설계기준 압축강도가 제시되고 있고 이를 준수하도록 규정되어 있다. 하지만 시험배합을 통하여 결정된 콘크리트 배합이 건축물의 요구성능을 만족했다고 하더라도 대규모 건물의 경우 일시적으로 많은 물량의 콘크리트 시공이 이뤄질 경우 한 곳의 레미콘사에서 납품 받는 경우는 드물며 다수의 레미콘사에서 납품 받는 경우가 일반적이다. 그러한 경우 레미콘사의 품질관리 실태 및 제조 능력, 납품 과정의 품질 관리 수준에 따라 콘크리트 물성의 편차가 우려된다[3,4].

이러한 연구 배경하에 본 연구에서는 레미콘사에서 납품되는 재료의 품질을 평가하여 평균 및 편차에 대한 값을 도출하는 것을 목표로 연구를 수행하였다.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

2. 연구개요

동일 조건의 배합표를 이용하여 KS규준에 맞게 제작한 콘크리트 시험체를 대상으로 라운드 로빈 테스트를 실시하였다. 라운드 로빈 테스트는 여러 번 반복적으로 수행되는 측정, 분석 또는 실험으로 두 군데 이상의 다른 장소에서 동일 조건에 의한 실험과 시험을 행한 후 시험 결과를 비교 분석하여 수치의 편차에 대한 원인 등을 규명하기 위해 실시하는 테스트로 목적은 테스트 방법 또는 프로세스의 재현성을 확인하거나 새로운 분석 방법의 검증 혹은 인증된 참조 재료를 생산하기 위함이다. 또한 참여기관의 측정 결과를 비교하면 측정 불확실성과 실험 측정 품질에 대해 알 수 있다. 이러한 취지로 본 연구에서는 동일 콘크리트 배합표를 이용하여 부산지역의 12개 레미콘사에 콘크리트 시편을 제작하게 하고 동일 양생, 동일 시험 방법으로 굳기 전 콘크리트의 물성 및 압축강도와 염화물이온확산계수 물성을 측정하여 평균과 표준편차를 도출하고 품질 편차에 대하여 분석하였다.

3. 실험개요

3.1 사용재료

Table 1은 콘크리트 배합표로 시멘트는 1종 보통 포틀랜드 시멘트가 사용되었으며 고로슬래그 시멘트는 2종을 사용하였다. 혼화제는 고로슬래그 미분말, 플라이애쉬를 사용했고 실리카흄은 80MPa에서만 사용했다. 물-결합재비는 22~40%의 범위로 설계기준 압축강도에 따라 변하였으며 잔골재율(S/a)은 45~50%의 범위였다.

Table 1. High strength concrete mixing

Ready mixed concrete specification	Target Slump & Flow Range (mm)	W/B (%)	Fine aggregate rate (S/a)(%)	Unit mass(kg/m ³)								
				Water	Binder			Fine Aggregate		Coarse Aggregate	Admixture (g/m ³)	
					Cement	SC	FA	SF	S1			S2
25-30-180	180±25	40	50	170	202	161	38	-	420	448	893	3.26
20-45-180		35	49	167	255	204	51	-	393	419	872	5.09
20-80-650	700±50	22	45	165	488	171	81	37	318	342	822	12

Figure 1, Figure 2는 골재의 평균 입도분포를 나타낸 것으로 본 실험에 사용한 골재는 잔골재는 국내산 부순 잔골재와 세척사를 혼합 사용하였고 굵은골재는 국내산 25mm 부순골재를 사용하였다. 회색으로 흐리게 보이는 선이 레미콘사에서 사용한 골재의 입도분포 곡선이고 상한계와 하한계는 붉은색, 파란색 굵은선으로 표시하고 평균을 사각점으로 표시하였다. 잔골재의 경우 부순골재(S1)과 세척사(S2)의 혼합으로 평균이 하한계를 벗어나는 골재가 사용되었다.

Figure 3과 Figure 4는 골재의 조립율과 평균으로 평균 조립율이 굵은골재는 6.85, 잔골재는 3.49 값을 보였다. 표준편차는 각각 0.0884, 0.1149로 산출되었다.

혼화제는 고성능 AE 감수제 표준형으로 폴리카르복실산계를 사용하였다.

3.2 시험체 제작

시험체는 각 레미콘사에서 제시된 배합표에 맞춰 제작되었으며 KS F 2403에 준해서 수중에서 표준양생을 실시하였다.

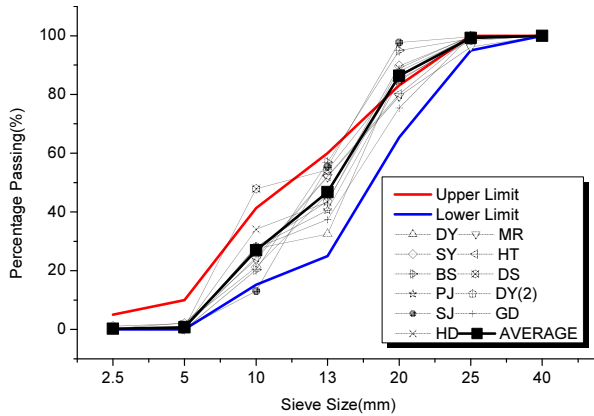


Figure 1. Particle size distribution curve of coarse aggregates

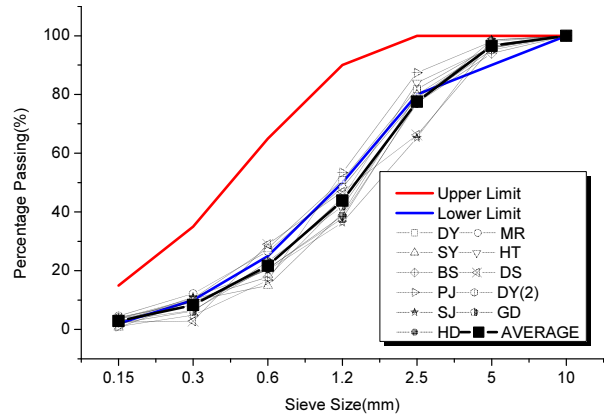


Figure 2. Particle size distribution curve of fine aggregates

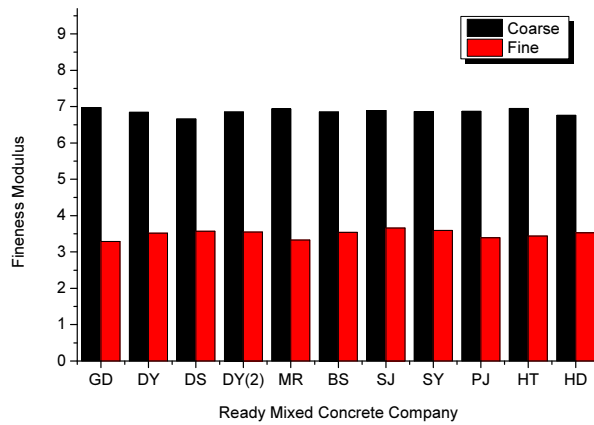


Figure 3. Fineness modulus of fine and coarse aggregates

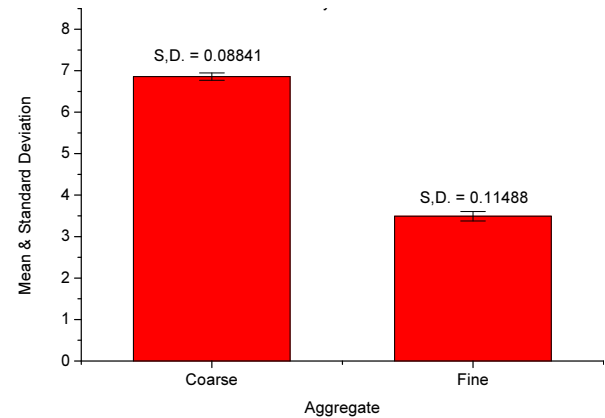


Figure 4. Mean and standard deviation of fineness modulus

3.3 실험방법

3.3.1 굳기 전 콘크리트 물성

굳기 전 콘크리트 시공성 평가를 위해 슬럼프 시험을 KS F 2402(콘크리트 슬럼프 시험) 규정에 준하여 실시하였다. 공기량 시험은 KS F 2421(압력법에 의한 굳지 않은 콘크리트의 공기량 시험방법, 2006)의 규정에 준하여 공기실 압력법에 의해 콘크리트 내부의 공기 함유량 측정하였다

3.3.2 압축강도 측정

압축강도 시험은 재령 28일, 91일에 KS F 2405 규정에 준하여 실시하였다.

3.3.3 염해 저항성 평가[5]

염화물이온 확산계수 시험은 NT BUILD 492에 준하여 재령 28일에 실시하였다. 이 실험방법은 비정상상태의 전기적 이동 실험으로 콘크리트, 모르타르 및 시멘트로 구성된 재료의 염화물 이동계수를 결정하는 시험방법이다. Figure 5와 같이 확산셀을 구성하여 콘크리트 공극이 포화 수산화칼슘(CaOH₂)용액에 포화되도록 한 후 시편을 두께 50mm로 절단하여 양극

에는 0.3M NaOH수용액을 넣고 음극에는 10% NaOH 수용액을 채운 다음 초기 전류값(I_{30V})을 측정하고 실제 적용전압을 조정하였으며 전류에 따른 적절한 시간을 선택하여 전위차를 이용한 염화물이온 침투저항성을 시험하였다. 본 실험에서는 30, 45MPa에서는 15V, 80MPa에서는 30V 24시간의 조건으로 실험을 실시하였다.

시험 종료 후 시편을 축 방향으로 할렬하여 할렬 단면에 0.1N AgMO₃용액을 분무하면 염화물이온의 침투깊이에 따라 시편의 변색부가 나타나며, 변색부의 깊이를 측정하여 염화물 침투깊이로 확산계수를 구하였다. 아래 식 (1)은 염화물이온 침투깊이로부터 확산계수 추정식이다.

$$D_{nssm} = \frac{0.0239(273 + T)L}{(U - 2)t} \left(x_d - 0.0238 \sqrt{\frac{(273 + T)Lx_d}{U - 2}} \right) \tag{1}$$

여기서, D_{nssm} : 비정상상태의 염화물 이동계수($\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$)

U : 인가전압의 절대값 (V)

T : 측정 전후의 양극액의 평균 온도($^{\circ}\text{C}$)

L : 시험체 두께(mm)

x_d : 염화물이온 침투 깊이(mm)

t : 측정 시간(hour)

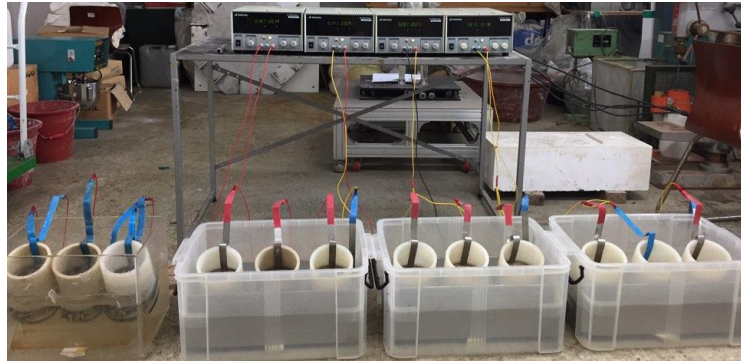
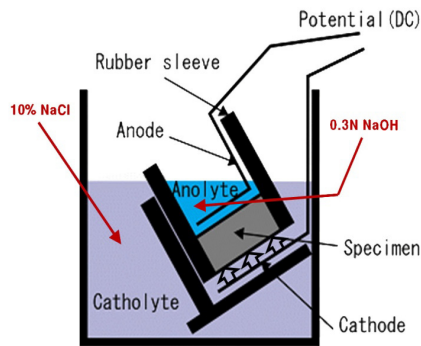


Figure 5. NT BUILD 492_ Experimental device

4. 실험결과

4.1 굳기 전 콘크리트 물성

Figure 6은 레미콘사별 설계기준 압축강도별 공기량 측정결과이다. 목표값은 $4.5 \pm 1.5\%$ 로 전 배합에 걸쳐 목표값을 만족하였다. 설계기준 압축강도 30MPa의 경우 평균 4.88%, 45MPa의 경우 3.67%, 80MPa의 경우 3.37%로 Figure 7에 평균값과 표준편차를 나타내었다. 압축강도가 높을수록 공기량은 적어지고 편차는 다소 커지는 경향을 나타내었다.

모든 배합에서 목표 슬럼프값 $185 \pm 25\text{mm}$, 슬럼프 플로우 $700 \pm 50\text{mm} \times 700 \pm 50\text{mm}$ 로 목표값을 만족하였다.

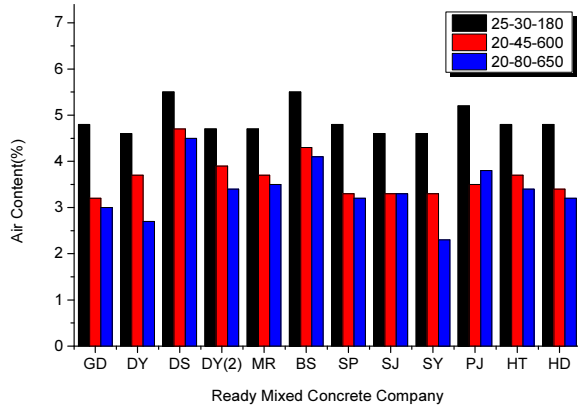


Figure 6. Air volume by ready-mixed concrete company

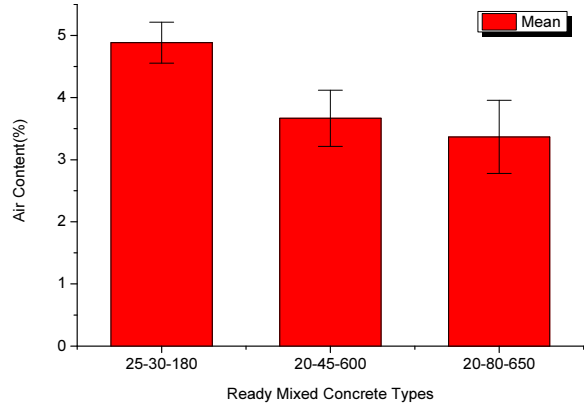


Figure 7. Mean and Standard Deviation of air content by specified concrete strength

4.2 압축강도

Figure 8은 압축강도 측정결과 이고 Figure 9는 평균과 표준편차를 나타낸 그래프이다. 골재 및 분체 등에서 상이한 메이커 제품이 사용되었음에도 불구하고 측정결과 상당히 유사한 값이 나타난 것을 알 수 있었다. 설계기준 압축강도별로는 30MPa의 경우 137%, 45MPa의 경우 131%, 80MPa의 경우 117%로 설계기준 압축강도가 클수록 측정된 압축강도 증가분이 커지 않는 것으로 평가되었다. 각 레미콘사의 실험실에서 제작된 시편으로 안전을 확보를 위한 온도환경 및 강도표준편차를 감안한 증가분을 고려하여 결정된 배합강도에 따라 제작된 것으로 전반적으로 설계기준 압축강도 대비 약 128% 정도로 초과하였다.

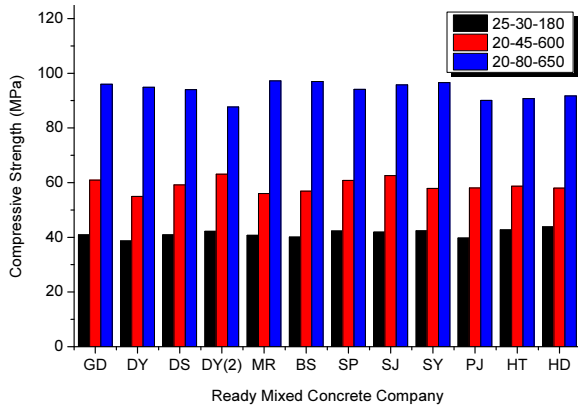


Figure 8. Compressive strength by ready-mixed concrete company

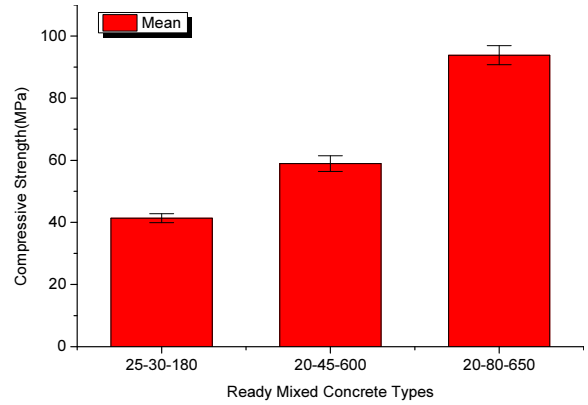


Figure 9. Mean and Standard Deviation of compressive strength by specified concrete strength

4.3 염소이온 확산특성

Figure 10에 레미콘사별 염화물확산계수 측정결과를 나타내었다. Figure 11에 설계기준압축강도별 염화물 확산계수의 평균과 표준편차를 나타내었다. 염화물 확산계수는 설계기준압축강도 30MPa의 경우 평균 $7.72 \times 10^{-13} \text{m}^2/\text{s}$, 설계기준압축강도 45MPa의 경우 평균 $1.94 \times 10^{-14} \text{m}^2/\text{s}$, 설계기준압축강도 80MPa의 경우 $1.73 \times 10^{-14} \text{m}^2/\text{s}$ 로 나왔다. 표준편차는 설계기준압

축강도 30MPa은 $1.89 \times 10^{-13} \text{m}^2/\text{s}$, 설계기준압축강도 45MPa은 $2.96 \times 10^{-14} \text{m}^2/\text{s}$, 설계기준압축강도 80MPa은 $4.97 \times 10^{-15} \text{m}^2/\text{s}$ 로 나왔다.

Figure 12와 Figure 13의 정규분포곡선을 보면 알 수 있듯이 설계기준압축강도가 커질수록 압축강도의 표준편차가 커지는 경향이 나타났다. 이는 고강도 콘크리트가 압축력에 민감하여 미세공극이나 이물질이 함유될 경우 강도성상에 민감하게 영향을 미쳐 편차가 크게 발생한다고 판단하였다.

압축강도와 다르게 염화물 확산계수는 설계기준 압축강도가 작을수록 표준편차가 크게 나타났다. 이는 페이스트 조직이 치밀한 고강도의 경우 공극의 연속이 탁월하게 적고 저강도의 경우 그러한 경향이 쉽게 또 많은 빈도로 나타날 수 있기 때문에 결과적으로 편차가 커지는 것으로 사료된다.

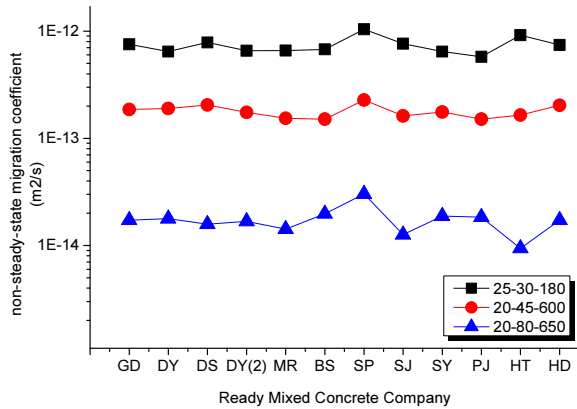


Figure 10. Chloride in diffusion coefficient by ready-mixed concrete company

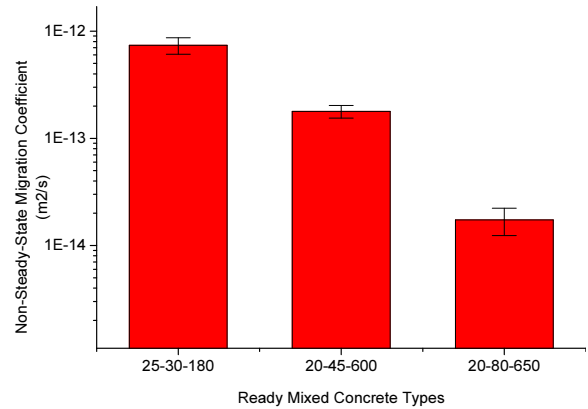


Figure 11. Mean and Standard Deviation of Chloride in diffusion coefficient by specified concrete strength

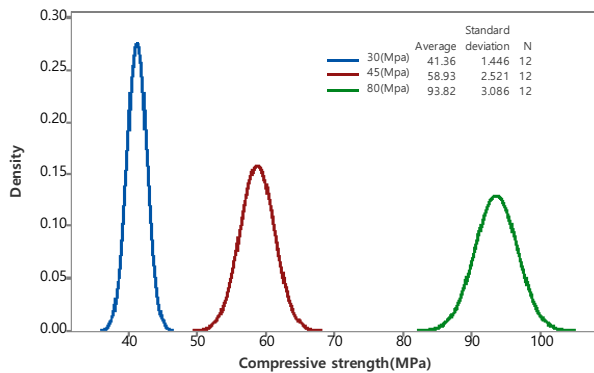


Figure 12. Normal distribution of compressive strength by specified concrete strength

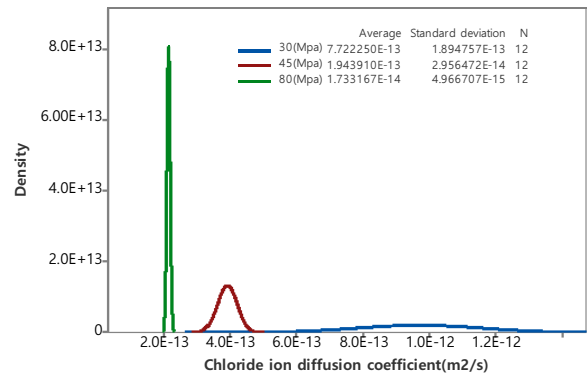


Figure 13. Normal distribution of Chloride in diffusion coefficient by specified concrete strength

5. 결론

압축강도는 설계기준 압축강도 대비 128%의 강도를 발현했으며 강도가 클수록 편차가 크고, 염화물 확산계수는 강도가 작을수록 편차가 크게 나온 것을 알 수 있었다. 압축강도는 설계기준 압축강도별로는 30MPa의 경우 137%, 45MPa의 경우 131%, 80MPa의 경우 117% 증가한 값이 측정되었다. 염화물 확산계수는 설계기준 압축강도 30MPa의 경우 평균 $7.72 \times 10^{-13} \text{m}^2/\text{s}$, 설

계기준압축강도 45MPa의 경우 평균 $1.94 \times 10^{-14} \text{m}^2/\text{s}$, 설계기준압축강도 80MPa의 경우 $1.73 \times 10^{-14} \text{m}^2/\text{s}$ 로 나왔다.

요약


대형 현장의 경우 다수의 레미콘사에서 콘크리트를 납품받게 되는 경우가 많으나 동일 콘크리트 배합표를 사용하더라도 재료와 제조장비의 등의 차로 인해 품질에 편차가 있을 것으로 생각된다. 하지만 그러한 검토 실적은 미비한 실정에 본 연구에서는 부산 지역의 12개 레미콘사에서 납품 받은 콘크리트를 대상으로 굳기 전 콘크리트 물성 및 압축강도, 염소이온 확산계수를 측정하였다. 굳기 전 콘크리트 물성은 기준을 만족하였고 압축강도는 설계기준 압축강도 대비 128%를 나타내었다. 염소이온 확산계수의 경우도 큰 편차없이 설계기준 압축강도별 평균값을 도출할 수 있었다. 압축강도는 강도가 높을수록 편차가 컸으며 염소이온 확산계수는 강도가 낮을수록 편차가 큰 경향을 파악할 수 있었다.

키워드 : 고강도 콘크리트, 라운드로빈 테스트, 압축강도, 염화물 이온 확산계수, 품질편차


Funding


This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korean government (No. 2019R1A2C1088029).

ORCID

Dong-Cheon Park,  <https://orcid.org/0000-0001-7243-5140>

Won-Kyun Seok,  <https://orcid.org/0000-0003-3809-2441>

Hyun-Soo Jeon,  <https://orcid.org/0000-0002-1342-6751>

Young-Sun Kim,  <https://orcid.org/0000-0001-8119-2232>

References

1. KDS 14 20 40: Design Criteria for Durability of Concrete Structures [Internet]. Sejong (Korea): Ministry of Land, Infrastructure and Transport; 2022 Jan. Available from: <https://www.kcsc.re.kr/StandardCode/Viewer/41004/KDS%2014%2020%2040>
2. KCS 14 20 10: Standard Specification for General Concrete [Internet]. Sejong (Korea): Ministry of Land, Infrastructure and Transport; 2022 Sep. Available from: <https://www.kcsc.re.kr/StandardCode/Viewer/41077/KCS%2014%2020%2010>
3. Park GT, Seo GH, Park MY, Park YJ, Han, MC, Han CG. Influence on properties of concrete in quality of aggregates Site type. Proceedings of the Korea Concrete Institute; 2015 Oct 21; Gyeongju (Korea): The Korea Concrete Institute; 2015. p. 441-2.
4. Bae JY, Kim JB, Cho SH, Roh HS, Kim JH, Park SB. An experimental study on the quality deviation of concrete using premixed cement and non-premixed cement. Proceedings of the Korea Concrete Institute; 2008 Nov 7; Seoul (Korea): The Korea Concrete Institute; 2008. p. 569-72.
5. Concrete, mortar and cement-based repair materials: Chloride Migration Coefficient from Non-Steady State Migration Experiment [Internet]. Finland: Nordtest; 1999 Nov. Available from : http://nordtest.info/images/documents/nt-methods/building/NT%20build%20492_Concrete%20mortar%20and%20cement-based%20repair%20materials_Chloride%20migration%20coefficient%20from%20non-steady-state%20migration%20experiments_Nordtest%20Method.pdf