



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위논문

재생 굵은골재를 사용한 콘크리트의
양생조건이 압축강도에 미치는 영향

제주대학교 대학원

토목해양공학과

신 민 건

2023 년 2 월

재생 굵은골재를 사용한 콘크리트의 양생조건이 압축강도에 미치는 영향

지도교수 박 상 렬

신 민 건

이 논문을 공학 석사학위 논문으로 제출함

2022 년 12 월

신민건의 공학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 _____ ①

위 원 _____ ①

위 원 _____ ①

제주대학교 대학원

2022 년 12 월

Effect of Curing Conditions on Compressive Strength of Concrete Using Recycled Coarse Aggregates

Shin, Min-Gun

(Supervised by professor Park, Sangyeol)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the
degree of Master of Engineering.

2022. 12.

This thesis has been examined and approved.

Thesis director, Sangjin Kim, Prof. of Civil Engineering

Thesis director, Dongwoo Ko, Prof. of Architectural Engineering

Thesis director, Sangyeol Park, Prof. of Civil Engineering

December, 2022.

Department of Civil & Ocean Engineering

GRADUATE SCHOOL

JEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

I. 서 론	1
1. 연구배경	1
2. 연구 내용 및 목적	2
3. 논문 구성	3
II. 기존 문헌 연구	5
1. 함수상태에 따른 순환골재 콘크리트의 특성	5
2. 양생조건이 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향	7
III. 실험 계획	10
1. 실험변수	10
2. 사용재료	11
1) 시멘트	11
2) 잔골재	11
3) 굵은 골재	12
3. 실험체 제작	13
1) 배합비	13
2) 제작 과정	14
3) 양생	15
4. 실험 방법	16

IV. 실험결과 및 분석	17
1. 실험결과	17
2. 실험결과 분석	18
1) 골재 종류에 따른 흡수율과 단위중량	18
2) 골재 종류에 따른 양생 조건의 영향	20
3) 골재의 함수상태에 따른 양생 조건의 영향	26
4) 물/결합재 비에 따른 양생 조건의 영향	31
V. 결 론	37
참고문헌	39

List of Tables

Table 2.1 Moisture contents of aggregates for mix preparation (Poon at al., 2004) ...	6
Table 3.1 Experimental parameter	10
Table 3.2 Physical properties of coarse aggregates	12
Table 3.3 Mixture proportions	13
Table 4.1 Experimental results	17

List of Figures

Fig. 1.1 Annual Status of Waste Generation	1
Fig. 1.2 Annual status of source of aggregates	2
Fig. 2.1 Effect of recycled aggregate content on compressive strength (Poon et al., 2004)	6
Fig. 2.2 Steam curing procedure (Lee at al., 2014)	8
Fig. 2.3 Compressive strength development of concretes under water or steam curing condition (Lee at al., 2014)	9
Fig 2.4 Compressive strength of concrete dried in laboratory air after preliminary moist curing (ACI, 1983)	9
Fig. 3.1 Particle size distribution curves of aggregates	11
Fig. 3.2 Coarse aggregates	12
Fig. 3.3 Used materials and mixing plant	14
Fig. 3.4 Temperature and humidity during curing	15
Fig. 3.5 Universal testing machine	16
Fig. 4.1 Absorption of curing condition by coarse agg, types	18
Fig. 4.2 Unit weight of curing condition by coarse agg, types	19
Fig. 4.3 Compressive strength of unit weight by coarse agg, types	19
Fig. 4.4 Effect of curing condition by coarse agg. types	20
Fig. 4.5 Effect of curing condition on strength ratio	21
Fig. 4.6 Failure mode and stress-strain curves (N55S-1D)	22
Fig. 4.7 Failure mode and stress-strain curves (N55S-3D)	22
Fig. 4.8 Failure mode and stress-strain curves (N55S-7D)	23
Fig. 4.9 Failure mode and stress-strain curves (N55S-M)	23
Fig. 4.10 Failure mode and stress-strain curves (R55S-1D)	24

Fig. 4.11 Failure mode and stress-strain curves (R55S-3D)	24
Fig. 4.12 Failure mode and stress-strain curves (R55S-7D)	25
Fig. 4.13 Failure mode and stress-strain curves (R55S-M)	25
Fig. 4.14 Effect of moisture condition of coarse agg.	26
Fig. 4.15 Effect of moisture condition of C.A. on strength ratio	27
Fig. 4.16 Failure mode and stress-strain curves (R55D-1D)	27
Fig. 4.17 Failure mode and stress-strain curves (R55D-3D)	28
Fig. 4.18 Failure mode and stress-strain curves (R55D-7D)	28
Fig. 4.19 Failure mode and stress-strain curves (R55D-M)	29
Fig. 4.20 Failure mode and stress-strain curves (R55W-1D)	29
Fig. 4.21 Failure mode and stress-strain curves (R55W-3D)	30
Fig. 4.22 Failure mode and stress-strain curves (R55W-7D)	30
Fig. 4.23 Failure mode and stress-strain curves (R55W-M)	31
Fig. 4.24 Effect of water/binder ratio	31
Fig. 4.25 Effect of water/binder ratio on strength ratio	32
Fig. 4.26 Failure mode and stress-strain curves (R60S-1D)	33
Fig. 4.27 Failure mode and stress-strain curves (R60S-3D)	33
Fig. 4.28 Failure mode and stress-strain curves (R60S-7D)	34
Fig. 4.29 Failure mode and stress-strain curves (R60S-M)	34
Fig. 4.30 Failure mode and stress-strain curves (R65S-1D)	35
Fig. 4.31 Failure mode and stress-strain curves (R65S-3D)	35
Fig. 4.32 Failure mode and stress-strain curves (R65S-7D)	36
Fig. 4.33 Failure mode and stress-strain curves (R65S-M)	36

Abstract

The purpose of this study is to evaluate the effect of the compressive strength of concrete upon changing the water content or curing conditions of regenerated thick aggregates. Curing conditions were classified into two types: underwater curing and atmospheric curing after 1, 3, and 7 days, and the water content of regenerated thick aggregates was classified into absolute dry state, surface dry saturation state, and wet state. In addition, the water/bonding material ratio was also changed to compare and evaluate its effects.

The compressive strength of concrete using recycled aggregates was found to be 83% to 87% lower than that of concrete using natural aggregates. It is considered that fine cracks with a lot of aggregates through the high absorption rate of regenerated thick aggregates and low drying unit weight, and it is believed that the strength of concrete is reduced due to the destruction of the aggregates.

For both natural and recycled aggregates, the compressive strength decreased as the atmospheric curing period increased, and the reduction rate was similar. This is thought to have decreased the compressive strength because insufficient moisture was supplied during the curing period, and the type of aggregate is not considered to have much influence on these conditions.

In the case of wet curing, using an aggregate in a surface dry saturated or wet state was disadvantageous for compressive strength, because a moisture gel is formed on the surface of the aggregate when using an aggregate having a high absorption rate, thereby degrading adhesion. In the case of atmospheric curing, the moisture inside the concrete evaporates during the curing period, so the moisture required for hydration is insufficient, but in the case of wet or surface dry saturation, the water contained in the aggregate is used for hydration, resulting in relatively high strength.

Therefore, when using recycled aggregates, it is necessary to create a curing environment capable of effectively managing moisture during the curing period of concrete.

The degree of effect of the moisture supply conditions on the compressive strength according to the change in the water/binder ratio during curing was similar.

I. 서론

1. 연구배경

우리나라는 1970년대부터 급격히 산업화가 진전되면서 많은 철근콘크리트 구조물이 건설되었으며, 이러한 구조물이 노후화에 따른 재건축과 도심의 재개발 사업이 증가되어 건설폐기물이 해마다 증가하고 있다. Fig. 1.1은 우리나라의 폐기물 발생현황을 연도별로 정리한 것으로 생활폐기물과 사업장 폐기물도 소폭 증가하고 있지만 건설폐기물의 경우는 2000년대에 접어들면서 급증하는 것을 알 수 있고, 매년 그 양이 증가함을 볼 수 있다. 이러한 건설폐기물이 환경문제로 대두되면서 이를 효과적으로 처리할 수 있는 대책이 요구되고 있다.

Fig. 1.2는 골재의 공급원 비율을 연도별로 나타낸 것으로, 90년대 중반에 하천골재가 30% 정도 이용되던 것이 2000년대에 접어들며 20% 수준으로 급감하였다. 2010년대에 접어들면서는 바다골재가 하천골재를 대체하는 듯하다 2017년부터는 산림골재에 전적으로 의존하는 형태를 보이고 있다. 그러나 환경문제로 인

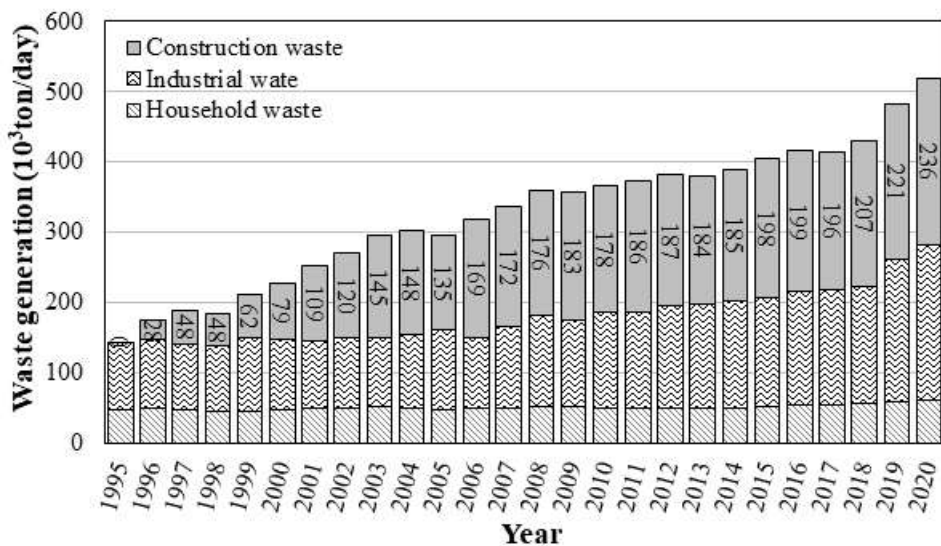


Fig. 1.1 Annual Status of Waste Generation

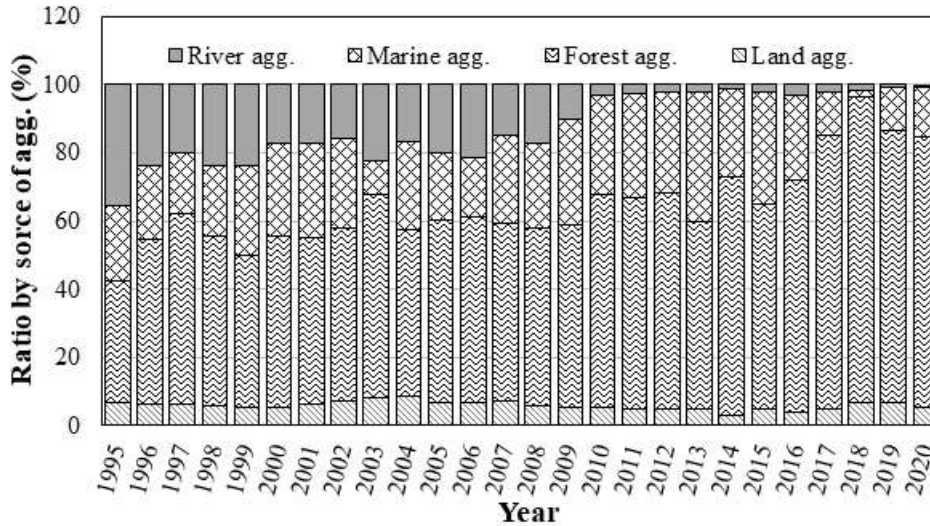


Fig. 1.2 Annual status of source of aggregates

하여 석산의 무분별한 개발을 제한하고 있어 골재의 수급에 어려움이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 1990년대부터 국내외의 많은 연구자들은 건설폐기물을 재활용할 수 있는 방안에 대해 연구하였고, 국내에서는 순환골재의 용도에 따라 품질기준을 수립하여 사용하고 있다. 그러나 콘크리트용 순환골재의 품질기준이 천연골재와 유사한 수준으로 매우 높기 때문에 재생골재의 처리 과정에 큰 비용이 요구되며, 이는 재생골재의 경제성을 떨어뜨려 재생골재를 콘크리트용으로 널리 이용하지 못하는 실정이다. 재생골재를 콘크리트용으로 활용하기 위해서는 전처리 비용을 낮추거나, 재생골재 콘크리트의 품질을 향상시킬 수 있는 방안이 요구된다. 이를 위해서는 재생골재를 사용한 콘크리트의 품질저하 원인과 그 특성을 분명하게 규명할 필요가 있다.

2. 연구 내용 및 목적

재생골재를 사용한 콘크리트의 품질저하 원인과 그 특성을 규명하기 위해서 많은 국내외 연구자들을 통해 연구가 진행되어 왔다. 주요한 연구주제로 재생골재의 함수상태가 콘크리트의 강도 및 역학적 특성에 어떠한 영향을 미치는가에 대

한 것과 재생골재와 천연골재의 혼입비율에 따른 콘크리트의 역학적 특성을 평가하는 연구가 수행되어 왔다. 특별히 재생골재의 함수상태가 콘크리트에 미치는 영향을 평가한 것은 재생골재의 높은 흡수율, 다른 시각으로는 재생골재의 높은 함수량이 콘크리트의 경화에 어떤 영향을 미치는지 알아보기 위한 것이다. 콘크리트의 경화에 있어서 수화반응에 필요한 물이 매우 중요하기 때문에 골재의 함수상태를 주요하게 다룬 것으로 사료된다. 골재의 함수상태와 관련하여 국내의 순환골재 품질기준에서는 콘크리트용으로 순환골재를 사용할 때 흡수율이 높은 순환골재의 함수율을 일정하게 관리하기 위하여 프리웨팅(pre-wetting)하여 배합할 것을 제안하고 있으나 이에 대한 명확한 근거자료가 제시되고 있지 않다. 또한 재생골재의 함수상태에 대해 많은 연구자들이 연구를 수행하였는데, 연구자마다 다소 상이한 결과를 발표하고 있어서 이에 대한 추가 검증이 필요한 상태이다.

콘크리트의 압축강도시험에는 표준양생을 원칙으로 하고 있으나 실제 현장에서는 표준양생을 할 수가 없으므로 양생조건에 따른 콘크리트의 역학적 특성에 대한 연구가 진행되어 왔다. 그러나 재생골재를 사용한 경우 양생조건이 재생골재 콘크리트의 역학적 특성에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구는 진행되지 못한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 골재의 함수상태가 콘크리트의 압축강도에 어떠한 영향을 미치는지 평가하고, 양생 조건을 변화시켰을 때 콘크리트의 강도에 미치는 영향을 실험을 통하여 평가하고자 한다.

3. 논문 구성

본 논문은 총 5개의 장으로 구성되어 있으며, 각 장에 기술되어 있는 내용을 간략하게 소개하면 다음과 같다.

2장에서는 기존에 수행된 연구결과들을 재생골재의 함수상태에 대한 것과 콘크리트의 양생조건에 대한 것으로 구분하여 정리하였다.

3장에서는 실험을 수행하기 위한 준비과정과 실험방법을 정리한 것으로 실험변수와 실험체 제작에 사용된 재료와 제작과정, 실험 방법과 장비를 소개하였다.

4장에서는 실험결과를 표로 정리하고, 변수별 결과를 그래프로 도식하여 그 영향을 비교 분석하였다.

5장은 결론으로 본 연구를 통해 도출된 결과를 정리하였다.

II. 기존 문헌 연구

1. 함수상태에 따른 순환골재 콘크리트의 특성

최원영(2018)은 순환골재를 사용한 콘크리트의 압축강도와 탄성계수가 천연골재를 사용한 콘크리트보다 낮아지기 때문에 건축구조용으로 사용되지 못하며, 40MPa 이상의 고강도 콘크리트의 사용 또한 증가되어 순환골재 사용이 한정되어 콘크리트용 골재 공급으로 인한 환경파괴 및 폐콘크리트 처리 문제가 해결되기 쉽지 않아 이러한 점에 초점을 두어 순환굵은골재의 혼입률에 따른 콘크리트의 강도특성을 실험한 결과 순환골재가 0% 보다 30% 일 때 압축강도가 더 높게 나타났으며, 이는 순환굵은골재가 치환됨에 따라 공기량에 따라 공기량의 감소와 굵은골재의 연속입자분포의 구성으로 인해 콘크리트 내부 공극을 밀실하게 채워주는 것에 기인하여 순환굵은골재를 사용하는 것에도 불구하고 압축강도가 증가하는 것으로 판단되나 콘크리트 설계기준 강도인 40MPa에 미치지 못하여 추가적인 연구가 필요하다고 언급하였다.

Poon at al.(2004)은 재생골재 혼입률 0%, 20%, 50%, 100%에 따른 3가지 함수상태(절대건조(절건, Oven-dried, OD), 대기 중 건조(기건, Air-dried, AD), 표면건조포화(표건, Saturated surface-dried))에서 압축강도 시험을 진행하였고 그 결과는 Table2.1과 Fig2.1에 정리하였다. 천연골재만을 사용한 경우 기건 및 표건상태를 사용한 배합은 모든 시험재령에서 유사한 압축강도를 보인 반면, 절건상태를 사용한 배합의 강도는 훨씬 낮았다. 또한 순환골재의 혼입율이 증가함에 따라 기건상태를 사용한 배합의 강도는 거의 변화가 없는 반면, 절건상태를 사용한 배합의 강도는 증가하였으나 표건상태를 사용한 배합의 강도는 감소하였다. 모두 순환골재로 대체한 모든 재령에서 절건상태의 배합이 표건상태의 배합보다 높은 압축강도를 나타내었다. 이 연구의 결과는 천연골재와 비교하여 순환골재의 수분상태가 콘크리트의 강도발현에 부정적인 영향을 미치며 표건상태의 순환골재를 사용

Table 2.1 Moisture contents of aggregates for mix preparation (Poon et al., 2004)

Mix	Compressive strength of concrete		
	3 days	7 days	28 days
AD1	25.0	34.9	48.3
OD1	18.2	27.9	40.2
SSD1	25.2	33.1	46.0
AD2	23.3	34.8	44.9
OD2	19.4	29.2	43.2
SSD2	20.4	30.3	43.0
AD3	22.9	32.2	44.7
OD3	21.0	29.2	39.7
SSD3	17.7	27.0	38.1
AD4	24.4	33.9	46.8
OD4	21.7	32.1	43.3
SSD4	17.5	28.5	39.1

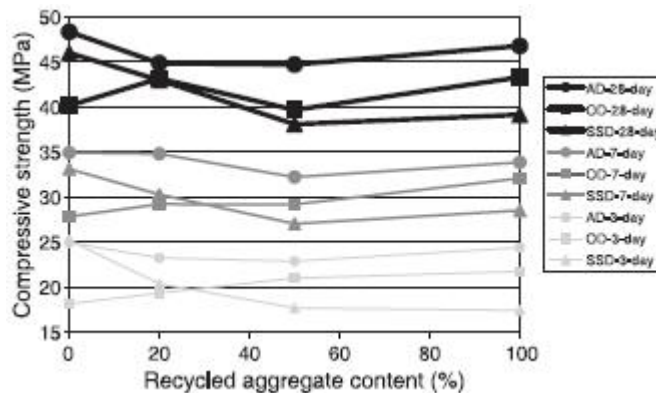


Fig. 2.1 Effect of recycled aggregate content on compressive strength (Poon et al., 2004)

하는 것이 바람직하지 않음을 보였다. 표건상태의 순환골재를 사용한 경우 내부의 높은 수분 함량으로 인해 블리딩이 발생할 수 있어 콘크리트의 압축강도가 감소하는 것으로 판단하였다.

양근혁(2005)은 프리웨팅(Pre-wetting)한 골재가 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향에 대해 명확한 근거자료가 부족하다고 보아 골재의 함수상태(절건, 표건, 습윤)와 재생골재의 혼입률에 따른 내구성 및 역학적 특성을 평가하였다. 혼입률에 따라 전체적으로 감소하고 있음을 보이나 표건상태에서 재령 91일 강도는 증가함을 보이고 있어 표건상태로 배합하는 것이 콘크리트의 품질확보에 유리하다고 발표하였다.

문경태(2018)의 연구에서는 물/결합재 비와 양생 조건을 변수로 하여 순환골재의 함수상태가 콘크리트의 압축강도 특성을 평가하고자 함수상태는 절건상태와 표건상태, 물/결합재비는 45%, 55%, 65%, 또한 물/결합재비가 55%인 경우 양생 방법을 습윤양생과 대기양생으로 구분하여 시험을 실시하였다. 그 결과 천연골재의 경우 골재를 표건상태로 사용하면 압축강도가 103.0~110.3% 수준으로 증가하였으며, 순환골재의 경우 89.5~92.3% 수준으로 감소하였다. 물/결합재 비는 골재의 종류와 함수상태에 관계없이 물/결합재비가 증가함에 따라 압축강도는 감소하였다. 양생조건에 따른 결과는 천연골재와 순환골재 모두 습윤양생된 콘크리트의 강도가 대기양생된 것보다 더 크게 나타났으며, 이는 대기양생을 시키는 경우 콘크리트의 자유수 증발로 인해 수화작용에 필요한 물이 부족하여 습윤양생보다 강도가 저하되는 것이다. 순환골재의 경우 천연골재보다 높은 흡수율로 인해 콘크리트의 수분을 보다 많이 흡수하므로 수화작용에 필요한 수분을 상실하여 강도가 현저히 낮아지는 것으로 판단하여 순환골재 콘크리트를 사용하는 경우 수분을 충분히 공급하고 유지할 수 있는 양생관리하여 적정 품질을 확보해야 할 것으로 판단된다.

2. 양생조건이 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향

최맹기(2005)는 재생골재 치환율에 따른 양생방법별 강도 특성을 분석하여 재생골재의 활용성을 높임과 동시에 재생골재를 사용한 콘크리트의 성능예측 프로그램 구축을 위한 목적으로 한 실험에서 기중양생이 표준수중양생과 현장봉함양생보다 강도증가 성상에 있어서 가장 안정적으로 양생방법은 기중양생이 유리할 것으로 판단하였다.

김재연(2014)는 콘크리트를 양생할 때의 습도 조건과 같은 영향인자를 고려하여 콘크리트의 역학적 특성을 예측하는 연구가 미흡한 상태로 콘크리트 양생할 때의 조건을 상대습도 30%, 80%, 밀봉양생, 수중양생으로 구분하여 실험한 결과 수중양생의 조건에서 콘크리트의 강도가 가장 높게 발현되었으며, 습도 80%에서

양생된 콘크리트는 수화반응의 진행으로 밀봉양생 콘크리트 강도와 큰 차이가 없는 것으로 판단하였다.

이승태(2014)의 연구에서는 수중양생과 증기양생을 순환골재 치환율에 따라 실험을 진행하였으며 수중양생의 경우 콘크리트 타설 후 자유수 증발을 방지하기 위하여 비닐랩으로 24시간 동안 덮은 다음 랩을 제거하여 공시체 탈형 후 수중양생 하였으며, 증기양생의 경우 타설된 콘크리트 몰드를 상대습도 95% 이상인 증기양생 함에 두고 Fig2.2와 같은 온도조건으로 1일 양생 후 콘크리트 공시체를 탈형하여 수중양생을 진행하였다. 수중양생과 증기양생에 따른 압축강도는 재령 1, 3, 7, 28일에 측정하여 Fig. 2.3과 같은 결과를 얻었으며, 이를 통해 도출한 결론은 다음과 같다. 수중양생한 경우 순환골재 대체율이 증가함에 따라 콘크리트

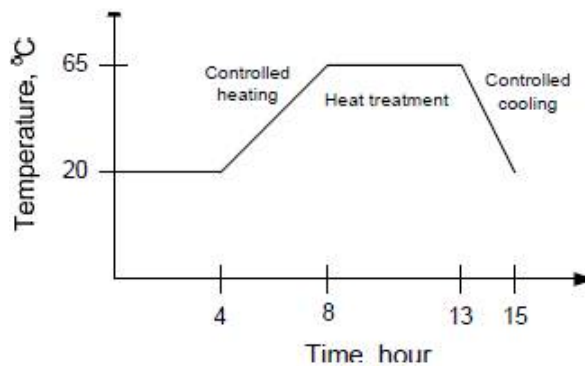


Fig. 2.2 Steam curing procedure (Lee at al., 2014)

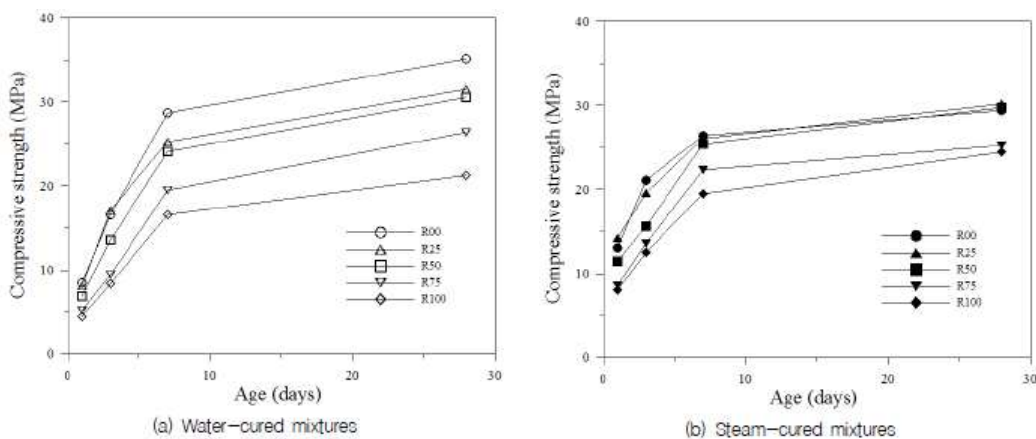


Fig. 2.3 Compressive strength development of concretes under water or steam curing condition (Lee at al., 2014)

의 압축강도는 감소하였으며, 증기양생한 경우 순환골재 대체율이 0%와 25%는 재령에 관계없이 압축강도가 유사하지만 대체적으로 순환골재의 대체율이 증가함에 따라 압축강도가 감소하는 것으로 나타났다. 초기재령 콘크리트 및 순환골재 대체율이 클수록 콘크리트의 압축강도에 대한 증기양생의 효과가 크게 나타나는 것으로 이는 증기양생을 받은 콘크리트의 경우 급격한 초기수화로 인하여 순환골재 중 부착모르타르의 ITZ(interfacial transition zone)가 수화물질의 생성축진으로 인하여 밀실화 되었기 때문으로 판단하였다.

Fig. 2.4는 ACI(1983) 위원회 보고자료 중 습윤양생한 콘크리트와 기건양생한 콘크리트를 비교한 그래프이다. 이 그래프에서 습윤상태로 관리하다가 1, 3, 7일 후 대기에 노출시켜 단기 강도인 3일, 7일과 장기강도인 28일, 90일, 180일의 압축강도를 측정한 그래프 곡선으로 습윤상태에서 대기상태로 노출시키면 짧은 기간 안에 수화반응의 진행이 둔화되면서 상승하던 그래프 곡선이 거의 수평상태로 변화는 과정을 볼 수 있다. 반면 습윤양생조건을 계속 유지해 주면 장기적으로 곡선의 기울기는 완만하지만 계속해서 증가하는 있음을 보여준다.

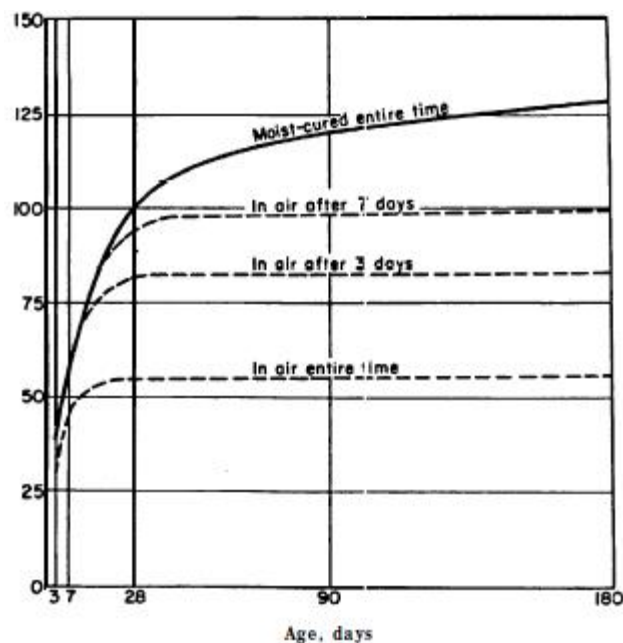


Fig 2.4 Compressive strength of concrete dried in laboratory air after preliminary moist curing (ACI, 1983)

III. 실험 계획

1. 실험변수

실험에 사용된 변수를 Table 3.1에 정리하였다. 양생 조건이 재생 굵은골재를 사용한 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향을 평가하기 위하여 양생온도를 일정

Table 3.1 Experimental parameter

Coarse Aggregate		W/B ratio (%)	Curing condition		Specimen I.D.
Type	Moisture condition				
Natural	Saturated surface-dried	55	In air	after 1day	N55S-1D
				after 3days	N55S-3D
				after 7days	N55S-7D
			Moist-cured		N55S-M
Recycled	Oven-dried	55	In air	after 1day	R55D-1D
				after 3days	R55D-3D
				after 7days	R55D-7D
			Moist-cured		R55D-M
	Saturated surface-dried	55	In air	after 1day	R55S-1D
				after 3days	R55S-3D
				after 7days	R55S-7D
			Moist-cured		R55S-M
		60	In air	after 1day	R60S-1D
				after 3days	R60S-3D
				after 7days	R60S-7D
			Moist-cured		R60S-M
		65	In air	after 1day	R65S-1D
				after 3days	R65S-3D
				after 7days	R65S-7D
			Moist-cured		R65S-M
Wet	55	In air	after 1day	R55W-1D	
			after 3days	R55W-3D	
			after 7days	R55W-7D	
		Moist-cured		R55W-M	

하게 유지한 상태에서 습도 조건을 변화시켰다. 표준양생은 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 의 온도에서 습윤 상태를 유지하는 것이지만, 1일, 3일, 7일차에 대기 중에서 양생시켜 수분의 공급을 제한하였다. 또한 재생 굵은골재의 함수상태를 절대건조상태(절건), 표면 건조포화상태(표건), 습윤상태(습윤)로 구분하였으며, 물/결합재비도 변화시켜 그 영향을 비교 평가하였다.

2. 사용재료

1) 시멘트

본 실험에 사용한 시멘트는 1종 보통포틀랜드시멘트로, 국내 D사에서 판매하는 것을 사용하여 실험체를 제작하였다.

2) 잔골재

잔골재는 서해안의 배타적 경제수역에서 채취하여 세척한 바닷모래를 사용하였다. 잔골재에 대한 입도분포 곡선을 Fig. 3.1에 도식하였으며, 균등계수가 3.04, 곡률계수가 0.73이다. 이 모래를 토질분류기준인 통일분류법(USCS)에 의하여 분류하면 SP(입도분포가 나쁜 모래)로 분류되고 있다.

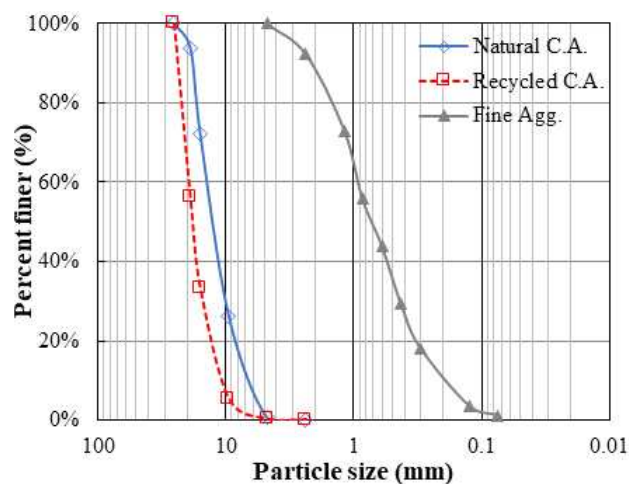


Fig. 3.1 Particle size distribution curves of aggregates

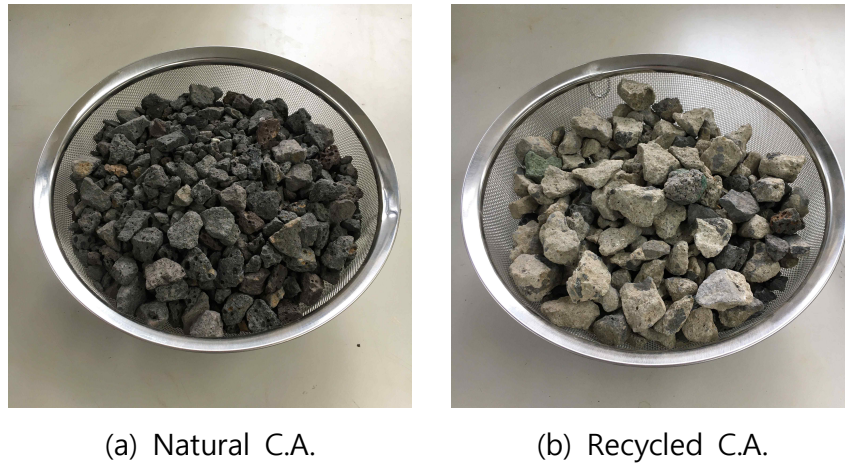


Fig. 3.2 Coarse aggregates

3) 굵은 골재

실험체 제작에 사용된 천연골재는 제주도 북서부지역의 채석장에서 생산된 25mm 이하의 골재를 사용하였고 재생 굵은 골재는 제주도의 A기업에서 생산된 폐콘크리트 골재를 사용하였다(Fig. 3.2). 본 연구에 사용된 재생골재는 느슨하게 붙어 있는 골재 표면의 석분 및 페이스트의 미분을 제거하기 위해 물로 여러 차례 세척한 후에 배합에 사용하였으며, 골재의 함수상태에 따라 절대건조인 경우에는 약 100℃의 건조기 내에서 24시간 이상 건조시킨 후 사용하였으며, 표면건조포화상태와 습윤상태는 수조에 48시간 이상 침수 시킨 후에 배합에 사용하였다.

본 실험에 사용된 재생골재는 입도분포특성을 평가하기 위하여 체가름 시험을 KS F 2502(굵은 골재 및 잔골재의 체가름 시험 방법)에 따라 수행하였다. 체가름 시험결과에 따른 입도분포곡선을 Fig. 3.1에 도식하였으며, 균등계수가 2.47, 곡률

Table 3.2 Physical properties of coarse aggregates

Coarse Aggregate	Density(OD) (g/cm ³)	Absorption (%)	Solid Contents (%)
Natural	2.578	2.19	59.5
Recycled	2.278	5.82	56.5

계수가 0.87이다. 골재의 실적률을 평가하기 위해 KS F 2505(골재의 단위용적질량 및 실적률 시험방법)에 따라 실적률 시험을 수행하였으며 그 결과 천연골재는 59.5%, 재생골재는 56.5%을 나타내었다. 또한 KS F 2503(굵은 골재의 밀도 및 흡수율 시험방법)을 따라 밀도 및 흡수율 시험을 수행하였으며 그 결과를 Table 3.2에 정리하였다. 국토교통부에서 공고한 순환골재 품질기준(2021)에 따르면 콘크리트용 순환 굵은골재의 절대건조밀도는 2.5g/cm³ 이상, 흡수율은 3.0% 이하가 되어야 하고, 도로 기층용은 절대건조밀도가 2.2g/cm³ 이상, 흡수율은 7.0% 이하가 되어야 한다. 본 연구에 사용된 재생골재는 도로 기층용의 품질기준은 만족하고 있지만 콘크리트용의 기준에는 미치지 못하였다. 따라서, 콘크리트용 순환골재 기준을 만족하지 못하므로 혼동을 피하기 위해 재생골재로 명하고자 한다.

3. 실험체 제작

1) 배합비

골재의 종류와 양생조건, 골재의 함수상태를 변수로 정하였기 때문에 다른 요

Table 3.3 Mixture proportions

Coarse Aggregate		W/B ratio (%)	Specimen I.D.	Proportion (kg/m ³)				
Type	Moisture condition			Water	Cement	Fine agg.	Coarse agg.	Plastic-izer
Natural	Saturated surface-dried	55	N55S	176	320	970	940	2.7 (0.8% weight by cement)
	Oven-dried	55	R55D	230	320	970	885	
Recycled	Saturated surface-dried	55	R55S	176	320	970	940	
		60	R60S	192	320	970	940	
		65	R65S	208	320	970	940	
	Wet	55	R55W	152	320	970	963	

소가 영향을 미치지 못하도록 동일한 양의 시멘트와 잔골재를 사용하였으며, 건조된 굵은 골재도 일정한 양이 배합하였다. 굵은 골재의 경우 변수에 따라 함수 상태가 다르므로 골재의 흡수율과 표면수율을 고려하여 굵은 골재와 물의 양을 보정하였다. 실험체 제작에 사용한 배합비는 Table 3.3에 정리하였으며, 고성능감수제를 시멘트 중량의 0.8% 혼합하여 콘크리트를 배합하였다.

2) 제작 과정

C사에서 제작한 저울(사용범위 200g~25kg, 정밀도 5g)을 사용하여 각 재료를 개량하였다. 개량한 재료는 H사에서 제작한 1ton 용량의 믹싱플랜트에 잔골재, 시멘트, 굵은골재, 물 순으로 넣어 배합하였다. Fig. 3.3은 실험체 제작에 사용된 재료와 믹싱플랜트를 나타낸 것이다.

KS F 2403(콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작방법)에서 압축 강도 시험을 위한 공시체로 규정한 원주형 공시체(지름 100mm, 높이 200mm)를 사용하였다. KS F 2403을 따라 원주형 몰드에 배합된 콘크리트를 2층으로 나눠 채웠으며, 각 층마다 다짐봉으로 8~10회 다짐을 수행하였다. 다짐 작업한 몰드를 평평한 곳에 놓고, 상면을 마무리한 후에 수분의 증발을 막기 위하여 아크릴판으로 덮었으며, 24시간 후에 몰드를 제거하였다.

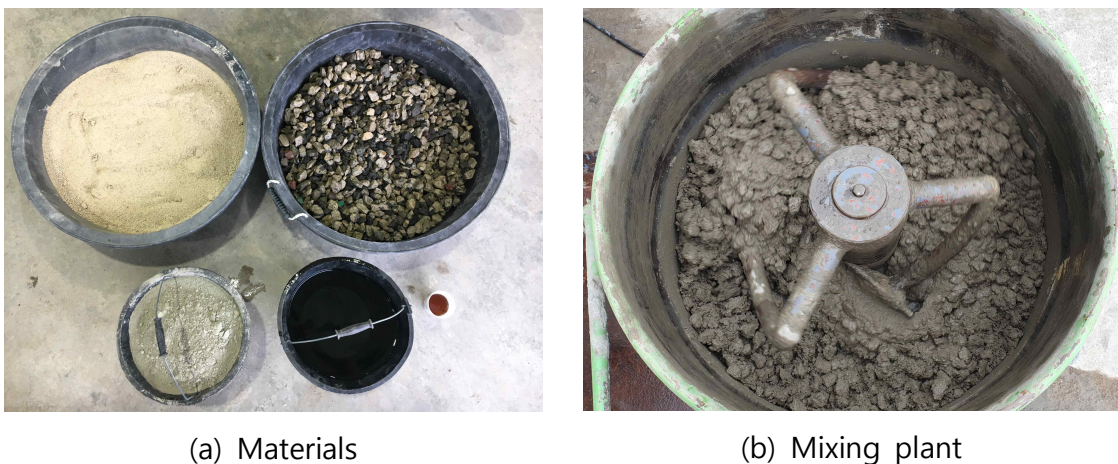
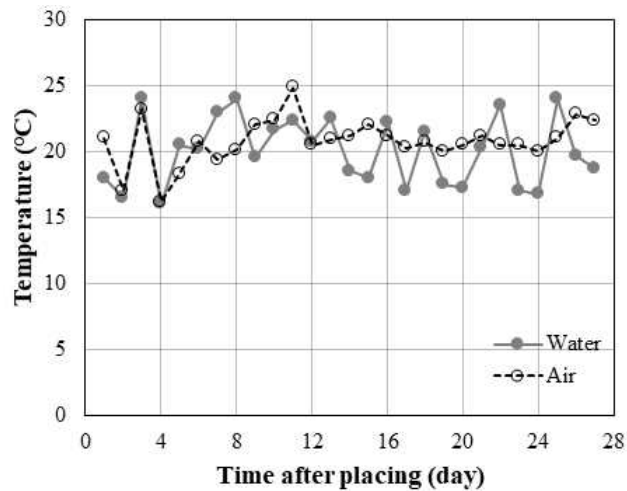


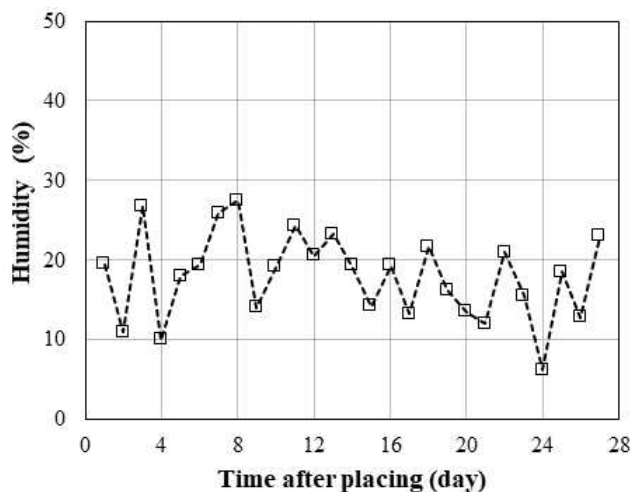
Fig. 3.3 Used materials and mixing plant

3) 양생

공시체는 수중에서 양생시켰으며, 변수에 따라 1, 3, 7일 후에 대기에서 양생시켰다. 양생기간 동안 외기 온도가 0~20℃의 범위에서 변화하였기 때문에 일정한 온도를 유지하기 위해 G사에서 제작한 터보온수히터와 S사의 라디에이터를 사용하였다. 수온과 기온, 습도를 매일 1~3회 측정하였으며, Fig. 3.4에 양생기간동안의 온도 및 습도를 나타내었다. 양생하는 동안 수조의 물과 기온을 20±5℃의 범위를 유지하였으며, 습도는 10~30%의 범위로 건조한 상태를 조성하여 수분의 증발을 가속화시켜 수화반응에 필요한 수분 공급을 제한하였다.



(a) Temperature



(b) Humidity in the air

Fig. 3.4 Temperature and humidity during curing

실험체는 변수별로 각각 5개씩 제작하여 총 120개의 실험체에 대해 강도시험을 수행하였다.

4. 실험 방법

천연 및 순환골재를 사용한 콘크리트의 압축강도시험은 KS F 2405(콘크리트 압축 강도 시험 방법)을 따라 수행하였다. 변수 조건에 따라 표준양생한 실험체가 있는 반면 대기 중에서 양생한 실험체가 있기 때문에 강도시험시 실험체의 함수상태가 다르게 된다. Bartlett and MacGregor(1994)는 콘크리트 공시체에서 수침시 외부와 내부의 팽창 정도가 달라 이로 인한 잔류응력이 발생하여 압축강도를 저하한다고 발표한 바가 있다. 공시체의 함수상태도 압축강도에 영향을 미치기 때문에 공시체를 동일한 조건으로 유지하기 위해 KS F 2422(콘크리트 코어 및 보의 시료 절취 및 강도 시험방법)에서 제시한 것과 같이 모든 실험체들을 약 20℃의 물에 48시간 동안 수침시켜 습윤상태에서 압축강도를 측정하였다.

강도 시험은 Fig. 3.5에 나타낸 것과 같이 국내 D사에서 제작한 만능재료시험기 (DYHU-300TC)를 사용하였다. 이 시험기는 1,000 kN과 3,000 kN의 두 개의 프레임과 하나의 제어장치로 구성되어 있으며, 1,000kN의 프레임은 압축과 인장 시험을 수행할 수 있고, 3,000kN의 프레임은 압축강도시험만 수행할 수 있다. 본 실험에서는 1,000kN 용량의 프레임을 통해 실험을 진행하였고, 하중재하는 하중 제어 방식으로 초당 0.57MPa이 증가하도록 설정하여 시험하였다.



Fig. 3.5 Universal testing machine

IV. 실험결과 및 분석

1. 실험결과

양생조건이 재생 굵은골재를 사용한 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향을 평가하기 위하여 양생 조건을 변화시키고, 골재의 함수상태와 물/결합재 비를 변수로 하여 압축강도시험을 수행한 결과를 Table 4.1에 정리하였다.

Table 4.1 Experimental results

Specimen I.D.	Unit weight (kN/m ³)		Absorption (%)		Compressive strength (MPa)	
	Average	Standard deviation	Average	Standard deviation	Average	Standard deviation
N55S-1D	21.3	28.6	6.7	0.3	19.9	0.8
N55S-3D	21.5	39.1	6.2	0.7	21.8	0.6
N55S-7D	21.6	48.3	6.3	0.8	23.0	1.1
N55S-M	22.7	18.2	6.1	0.9	25.1	1.0
R55D-1D	20.2	36.0	3.4	0.4	16.0	1.1
R55D-3D	20.3	50.6	3.4	0.5	18.2	0.9
R55D-7D	20.4	37.9	4.5	0.6	19.2	0.5
R55D-M	21.3	19.8	5.9	1.0	21.8	0.4
R55S-1D	20.6	8.3	7.1	0.9	16.8	0.5
R55S-3D	21.2	20.3	6.7	0.6	18.9	0.5
R55S-7D	21.2	27.4	6.7	0.9	19.0	0.9
R55S-M	21.9	10.9	6.3	0.6	21.6	0.8
R60S-1D	20.6	21.9	6.2	0.5	15.3	0.7
R60S-3D	20.7	38.5	6.3	0.5	18.6	0.7
R60S-7D	21.1	14.7	7.0	0.4	18.7	1.1
R60S-M	21.7	19.3	8.0	0.4	20.0	0.7
R65S-1D	20.6	22.9	7.4	0.6	12.6	1.2
R65S-3D	20.9	9.3	6.1	0.7	15.7	0.8
R65S-7D	20.9	33.9	5.8	2.3	15.8	0.3
R65S-M	22.0	33.5	7.1	1.4	16.6	0.5
R55W-1D	20.2	27.1	5.8	0.7	16.9	0.4
R55W-3D	20.4	35.1	4.7	1.4	19.7	1.0
R55W-7D	20.4	34.8	4.5	0.8	20.3	0.9
R55W-M	21.2	35.2	4.8	1.1	21.1	1.6

2. 실험결과 분석

1) 골재 종류에 따른 흡수율과 단위중량

Fig. 4.1은 천연 굵은골재를 사용한 콘크리트와 재생 굵은골재를 사용한 콘크리트의 흡수율을 양생조건에 따라 도식한 것이다. 천연 굵은골재를 사용한 콘크리트의 흡수율이 재생 굵은골재를 사용한 것에 비해 3~7% 낮게 나타나고 있으며, 양생시 수분을 공급해주는 기간이 길어질수록 콘크리트의 흡수율이 감소하는 경향을 나타내고 있다. 천연골재를 사용한 콘크리트의 흡수율이 재생골재를 사용한 콘크리트보다 낮게 나타나는 것은 콘크리트의 용적의 55~60%를 차지하는 굵은골재의 영향으로 판단된다. 앞 장에서 언급한 것과 같이 재생 굵은골재의 흡수율은 5.82%, 천연 굵은골재의 경우 2.19% (Table 3.2)로 재생골재의 흡수율이 천연골재의 흡수율보다 약 2.6배 크기 때문에 재생골재를 사용한 콘크리트의 흡수율이 높게 나타나는 것으로 사료된다. 양생시 수분을 공급해 주는 기간이 변함에 따라 흡수율이 변화하는 것은 수분의 공급기간이 길수록 시멘트의 수화반응이 진행되어 수화생성물로 콘크리트가 밀실해지기 때문에 흡수율이 감소하는 것으로 판단된다.

반대로, 콘크리트의 단위중량은 Fig. 4.2에 나타난 것과 같이 천연 굵은골재를

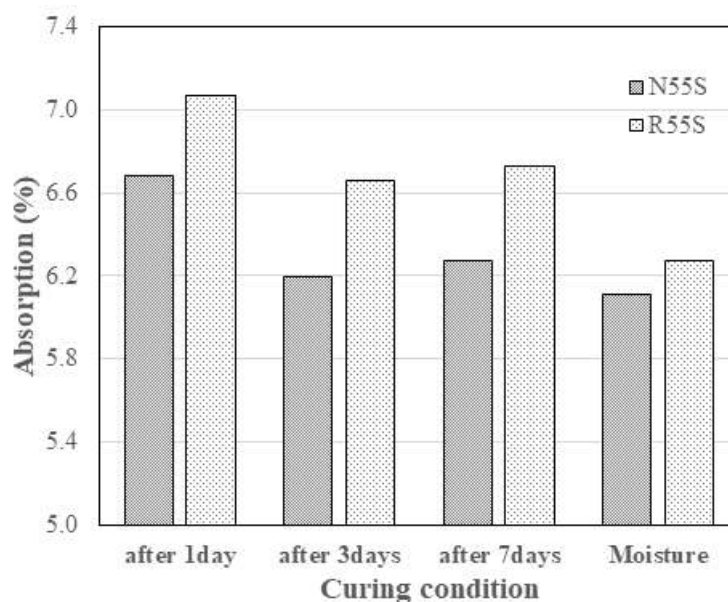


Fig. 4.1 Absorption of curing condition by coarse agg, types

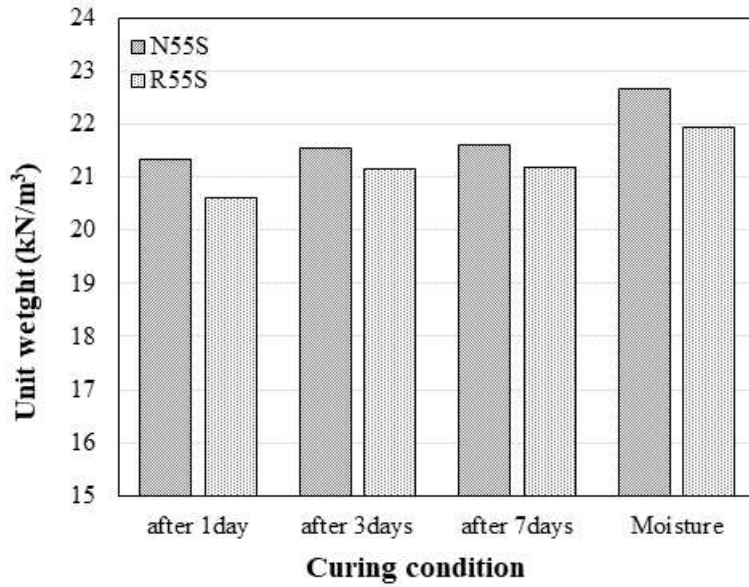


Fig. 4.2 Unit weight of curing condition by coarse agg, types

사용한 콘크리트가 재생 굵은골재를 사용한 콘크리트보다 크고, 수분공급 일수가 늘어남에 따라 단위중량이 증가하는 경향을 나타내고 있다. 천연골재를 사용한 콘크리트의 단위중량이 재생골재를 사용한 것보다 큰 이유는 천연골재의 단위중량이 재생골재보다 크고, 실적률 또한 천연골재가 3% 높기 때문이다. 수중양생 기간이 길수록 단위중량이 증가하는 것은 수화반응에 필요한 수분의 공급이 지속됨에 따라 수화생성물로 콘크리트가 보다 밀실해지기 때문으로 사료된다.

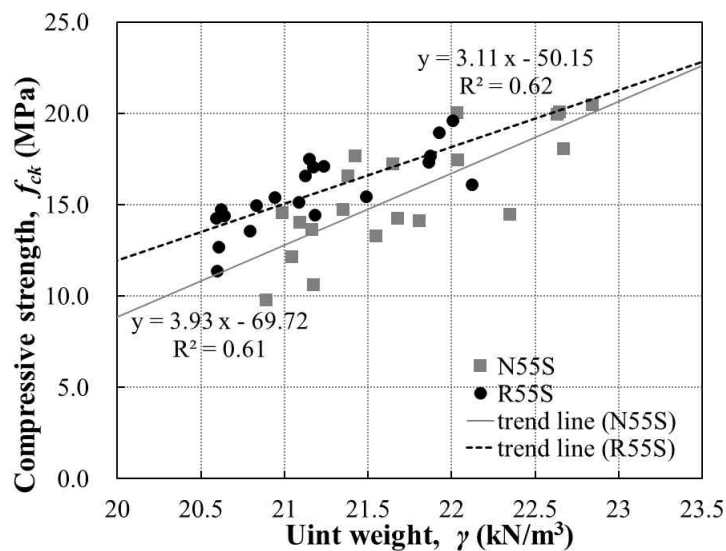


Fig. 4.3 Compressive strength of unit weight by coarse agg, types

Fig. 4.3은 단위중량에 따른 압축강도를 천연골재와 재생골재를 사용한 콘크리트로 구분하여 도식한 것이다. 천연골재와 재생골재를 사용한 콘크리트 모두 단위중량이 증가함에 따라 압축강도가 증가하는 경향을 보이고 있다. 본 실험에서 얻은 관계식은 Eqs. 4.1~2와 같다. 양생조건이 동일한 경우에서 천연골재를 사용한 콘크리트의 단위중량이 재생골재를 사용한 것보다 크기 때문에 동일한 단위중량에서는 천연골재의 양생조건이 상대적으로 불리하며, 따라서 압축강도도 작게 나타나고 있다.

$$\text{천연골재} : f_{ck(n)} = 3.93\gamma_{c(n)} - 69.72 \quad (R^2 = 0.61) \quad \text{Eq. 4.1}$$

$$\text{재생골재} : f_{ck(r)} = 3.11\gamma_{c(r)} - 50.15 \quad (R^2 = 0.62) \quad \text{Eq. 4.2}$$

2) 골재 종류에 따른 양생 조건의 영향

재생 굵은골재를 사용한 콘크리트에 양생 조건이 미치는 영향을 평가하기 위하여 수분 공급 조건을 변화하여 양생시킨 후 압축강도시험을 수행하였다. Fig. 4.4는 천연골재와 재생골재를 사용한 콘크리트의 양생 조건에 따른 압축강도의 평균값을 도식한 것이다. 표준양생을 하여도 재생골재를 사용한 콘크리트의 압축강도는 천연골재를 사용한 것의 86% 수준으로 낮게 나타나고 있으며, 대기양생을 시킨 경우에도 재생골재를 사용한 것이 천연골재를 사용한 것에 비해 82.6 ~

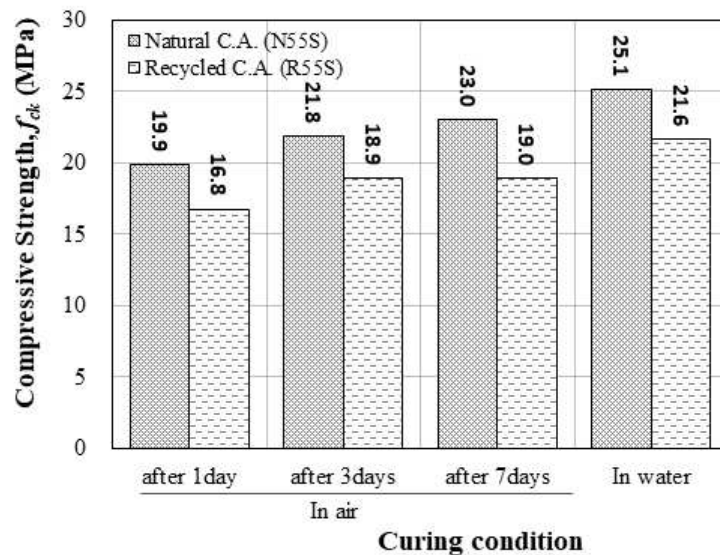


Fig. 4.4 Effect of curing condition by coarse agg. types

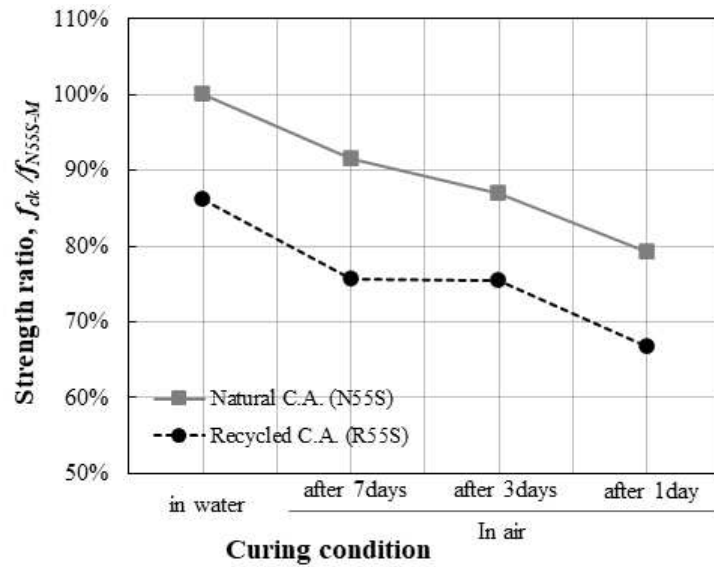


Fig. 4.5 Effect of curing condition on strength ratio

86.7%의 수준으로 낮게 나타났다. 이는 실험에 사용한 재생 곱은골재의 품질이 콘크리트용 순환골재의 품질에 미치지 못하기 때문에 골재의 품질저하로 인해 강도가 낮게 나타난 것으로 판단된다.

Fig. 4.5는 천연골재를 사용하고 표준 양생한 실험체(N55S-M)의 압축강도를 기준으로 한 압축강도비를 양생조건에 따라 도식한 것이다. 천연골재와 재생골재를 사용한 실험체 모두 습윤양생 기간에 비해 대기양생 기간이 길어질수록 압축강도가 낮아지고 있으며, 감소율도 비슷하게 나타나고 있다. 이러한 경향을 통해 콘크리트의 양생기간 동안 수분의 공급을 제한하여 압축강도가 감소하는 것은 수분의 부족으로 인해 수화반응이 충분하지 못한 것으로 판단되며, 골재의 종류는 이러한 조건에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

Figs. 4.6~13은 양생조건에 따른 천연골재와 재생골재를 사용한 콘크리트의 압축강도 시험시 실험체의 파괴 사진과 각 실험체의 응력-변형률 곡선을 정리한 것이다.

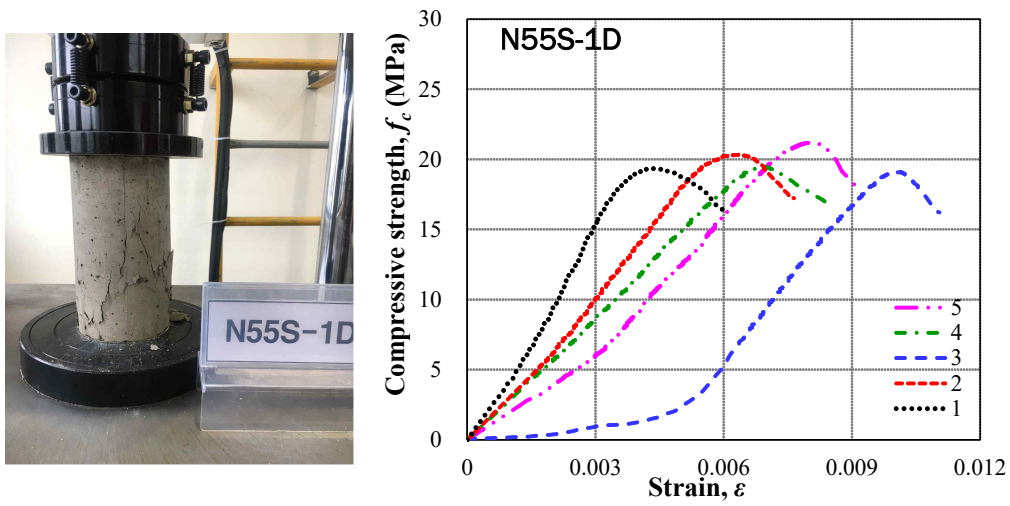


Fig. 4.6 Failure mode and stress-strain curves (N55S-1D)

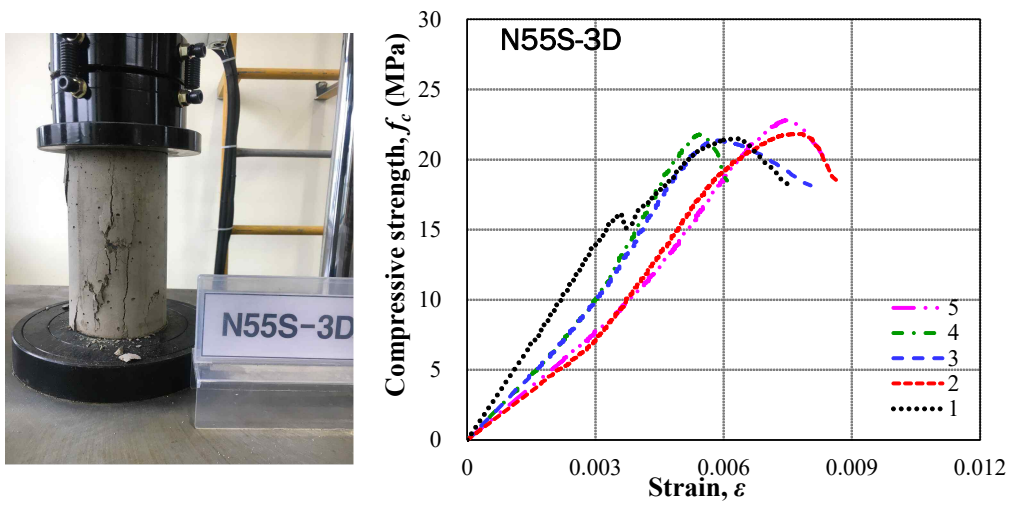


Fig. 4.7 Failure mode and stress-strain curves (N55S-3D)

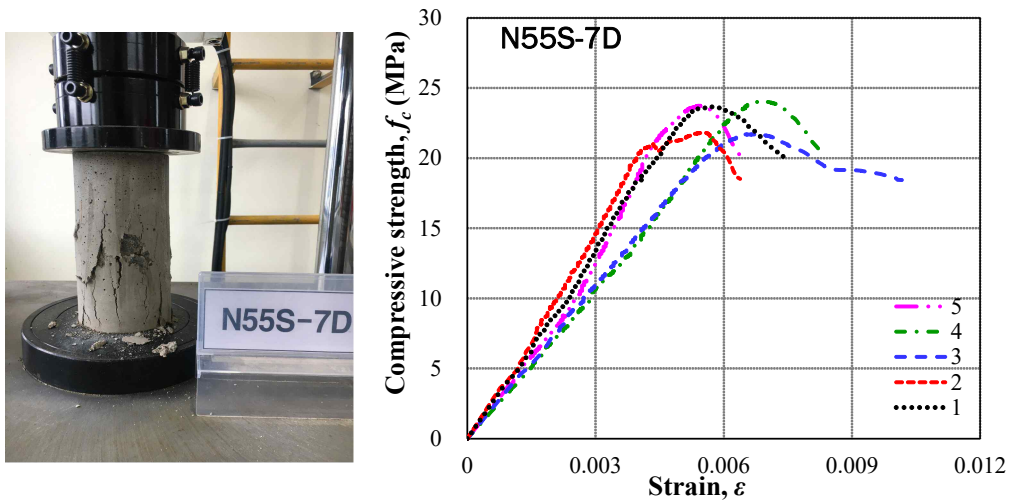


Fig. 4.8 Failure mode and stress-strain curves (N55S-7D)

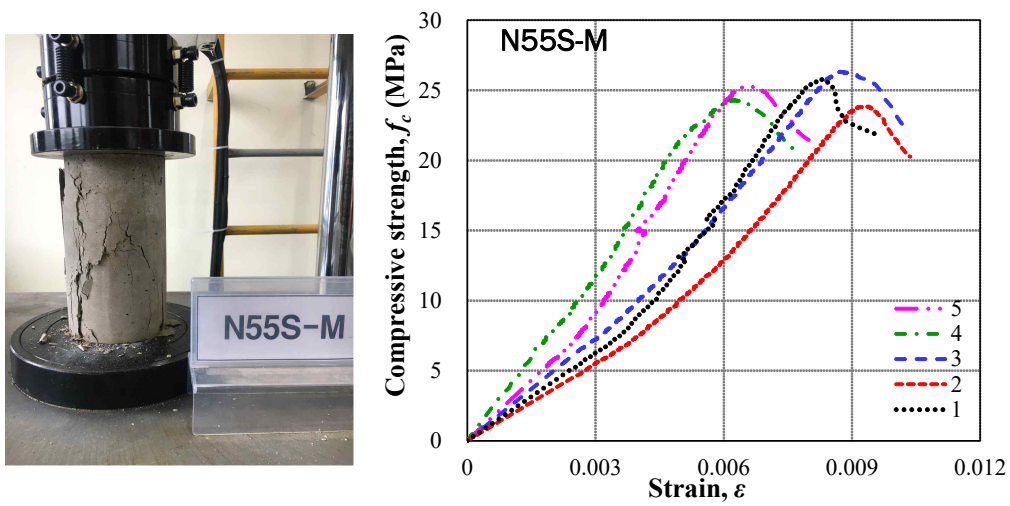


Fig. 4.9 Failure mode and stress-strain curves (N55S-M)

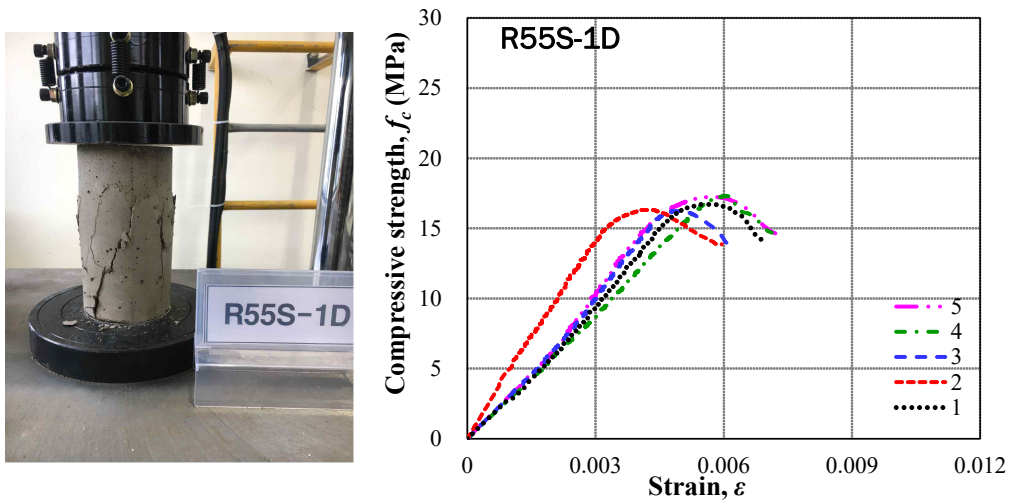


Fig. 4.10 Failure mode and stress-strain curves (R55S-1D)

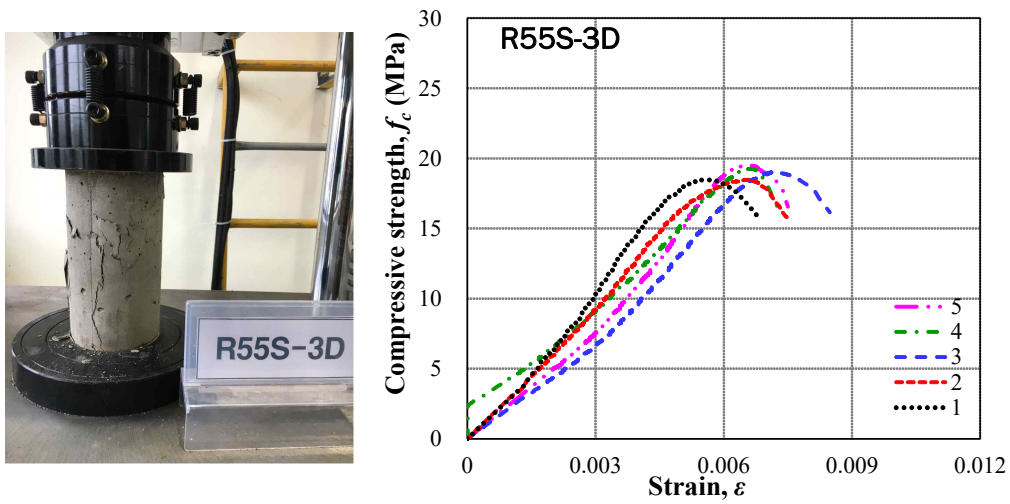


Fig. 4.11 Failure mode and stress-strain curves (R55S-3D)

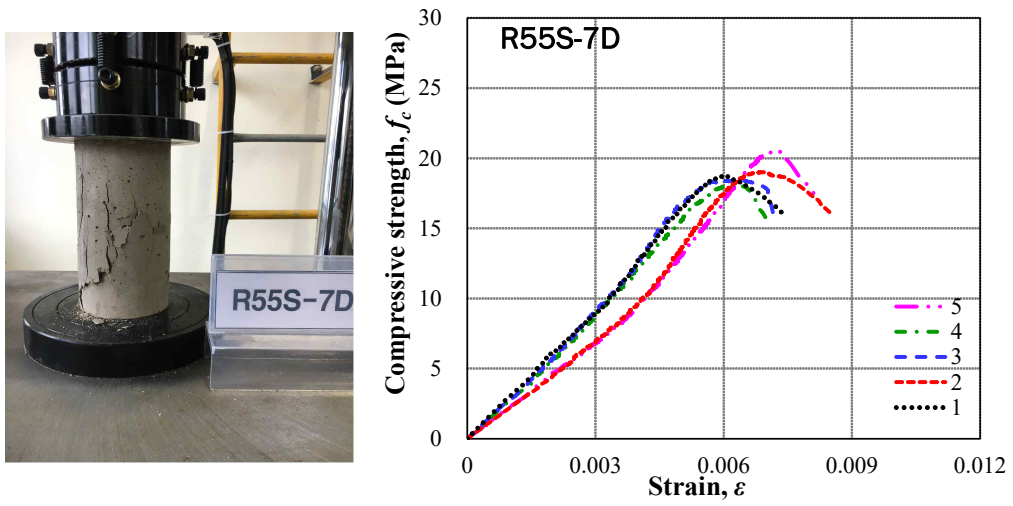


Fig. 4.12 Failure mode and stress-strain curves (R55S-7D)

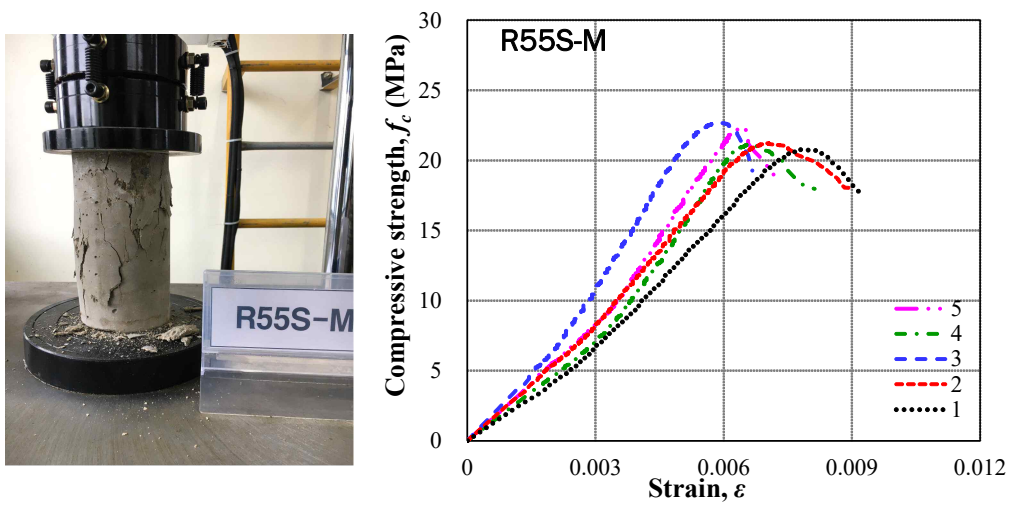


Fig. 4.13 Failure mode and stress-strain curves (R55S-M)

3) 골재의 함수상태에 따른 양생 조건의 영향

재생 굵은골재의 함수상태가 절건상태, 표건상태, 습윤상태일 때, 배합한 콘크리트에 있어서 양생조건이 미치는 영향을 평가하였다. Fig. 4.14는 골재의 함수상태가 다른 콘크리트의 평균 압축강도를 양생조건에 따라 나타낸 것이다. 물 속에서 양생을 한 경우 절건상태인 골재를 사용한 실험체의 강도가 가장 높게 나타난다. Neville(1996)는 표면수가 많은 골재는 골재와 시멘트 페이스트 사이에 수분 겔(water gel)이 형성되어 접착력을 약화시킨다고 하였다. 따라서 흡수율이 높은 재생골재의 경우 절건상태의 골재를 사용하는 것이 표건이나, 습윤상태의 골재를 사용하는 것보다 유리하다고 볼 수 있다. 반면 대기양생을 한 경우에는 습윤상태의 골재를 사용한 실험체의 강도가 가장 높게 나타나고 있으며, 절건상태의 골재를 사용한 것이 강도가 낮게 나타나고 있다. 이는 대기양생을 하는 경우 콘크리트의 수분이 증발되어 수화작용에 필요한 수분이 상실되지만 습윤이나 표건상태의 경우에는 골재가 함유하고 있던 물이 수화작용에 사용되어 강도가 상대적으로 높게 나타나는 것으로 사료된다.

Fig. 4.15는 표준공시체(N55S-M)의 압축강도를 기준으로 한 강도비를 양생조건에 따라 도식한 것으로 절건상태의 실험체는 습윤양생기간이 늘어남에 따라 일정한 폭으로 감소하여 가장 큰 변동폭을 보이고 있으며, 습윤상태의 골재를 사용한 실험체는 비교적 완만하게 감소하는 경향을 보이고 있다.

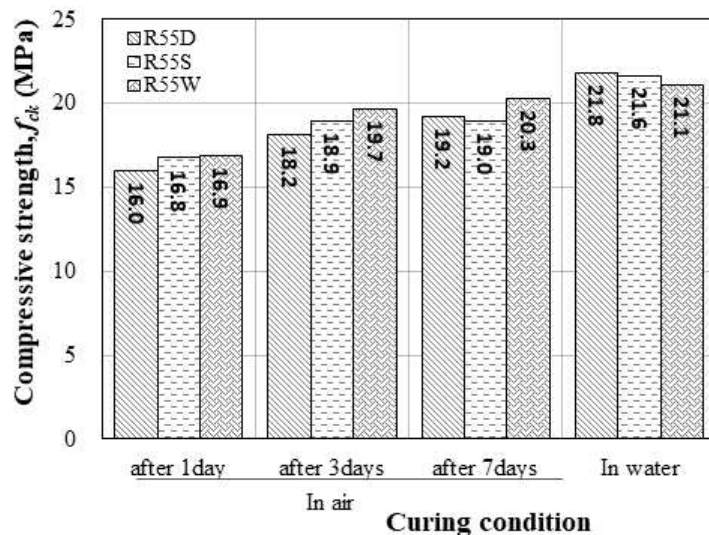


Fig. 4.14 Effect of moisture condition of coarse agg.

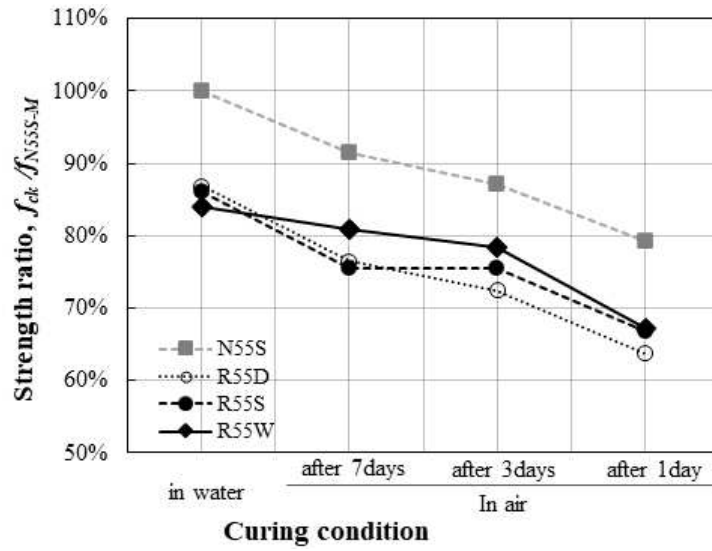


Fig. 4.15 Effect of moisture condition of C.A. on strength ratio

Figs. 4.16~19는 절건상태의 골재를 사용한 실험체의 양생기간별 실험 결과를 정리한 것이고, Figs. 4.20~23은 습윤상태의 골재를 사용한 실험체의 파괴 모습과 각 실험체의 응력-변형률 선도를 도식한 것이다.

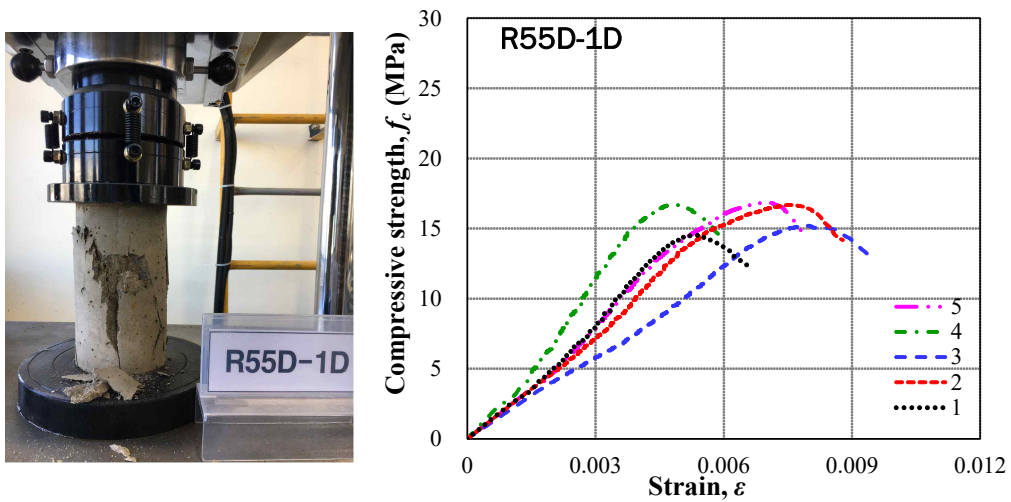


Fig. 4.16 Failure mode and stress-strain curves (R55D-1D)

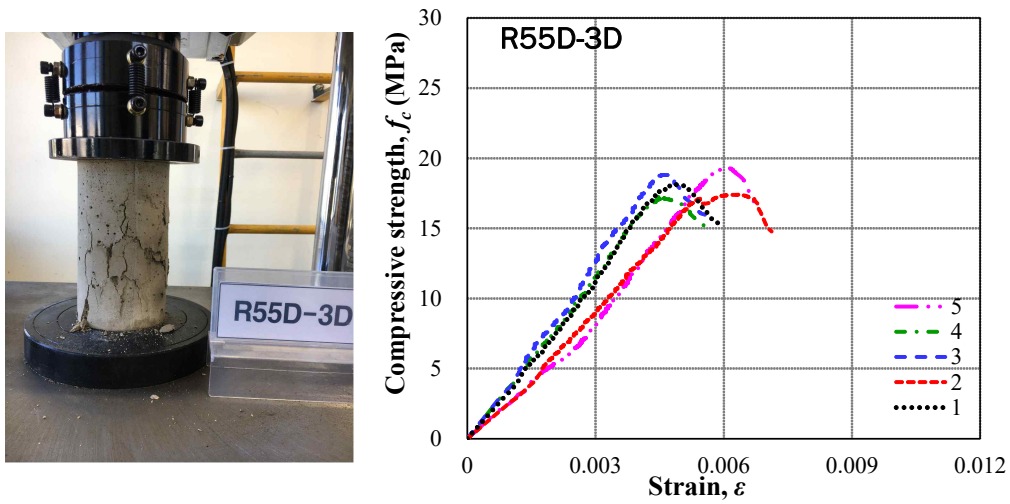


Fig. 4.17 Failure mode and stress-strain curves (R55D-3D)

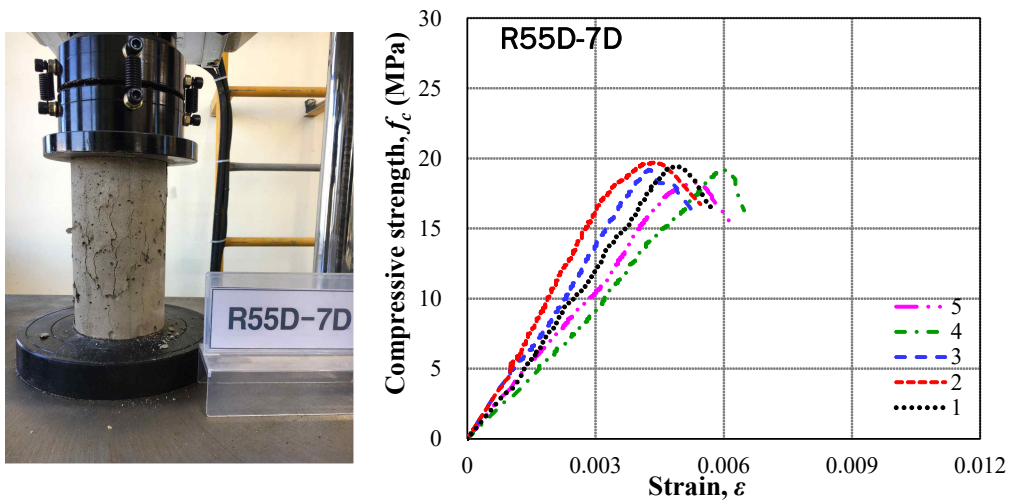


Fig. 4.18 Failure mode and stress-strain curves (R55D-7D)

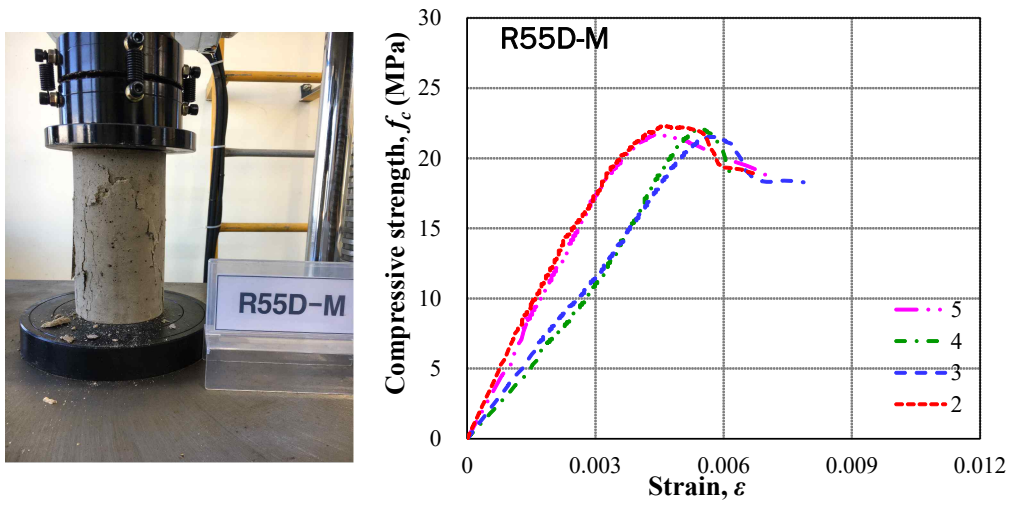


Fig. 4.19 Failure mode and stress-strain curves (R55D-M)

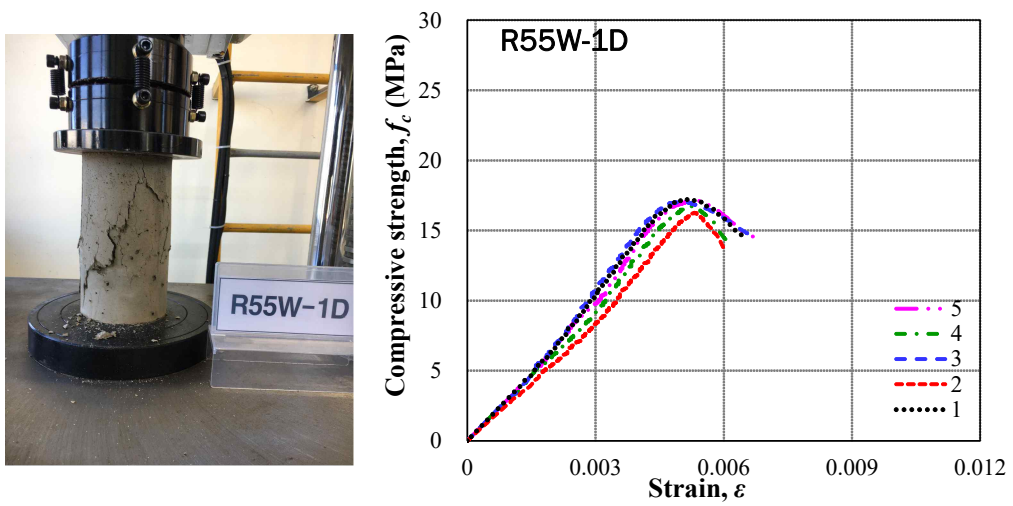


Fig. 4.20 Failure mode and stress-strain curves (R55W-1D)

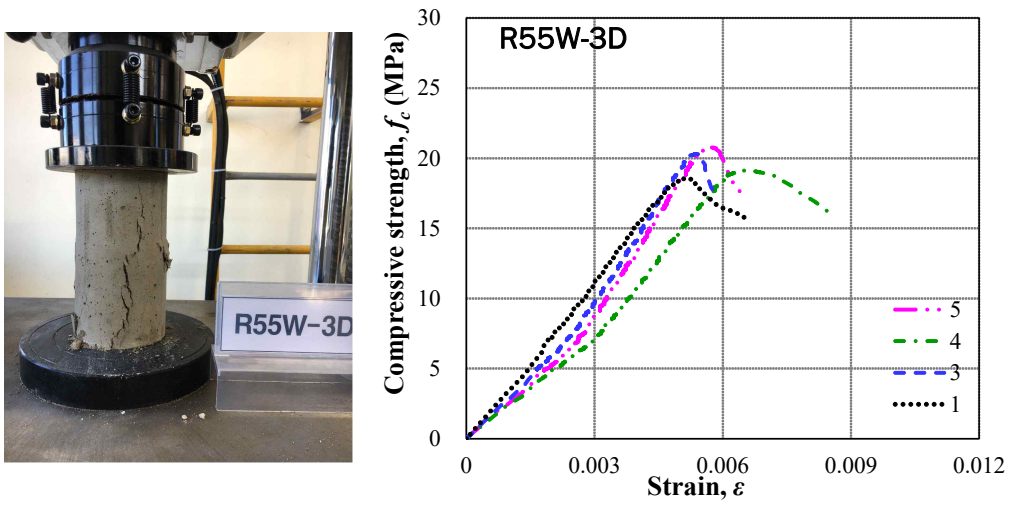


Fig. 4.21 Failure mode and stress-strain curves (R55W-3D)

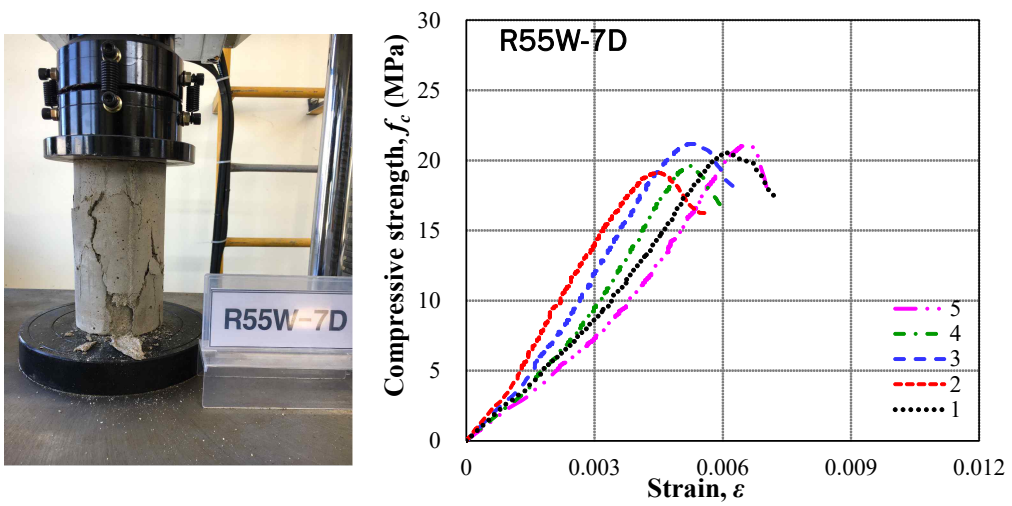


Fig. 4.22 Failure mode and stress-strain curves (R55W-7D)

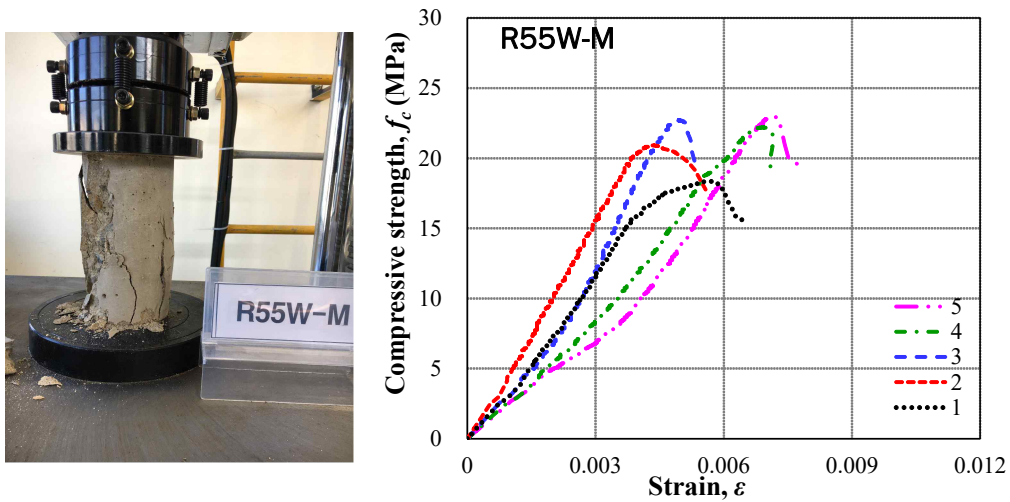


Fig. 4.23 Failure mode and stress-strain curves (R55W-M)

4) 물/결합재 비에 따른 양생 조건의 영향

물/결합재 비에 따른 재생골재콘크리트의 압축강도를 양생조건에 따라 분류하여 변수별로 Fig. 4.24에 도식하였다. 일반적으로 알려진 바와 같이 물/결합재 비가 증가함에 따라 압축강도는 감소하고 있으며, 양생 조건에 관계없이 감소하고

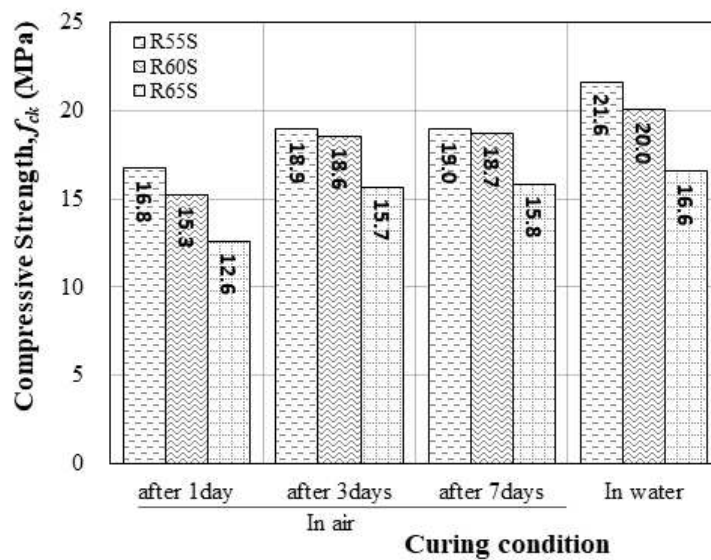


Fig. 4.24 Effect of water/binder ratio

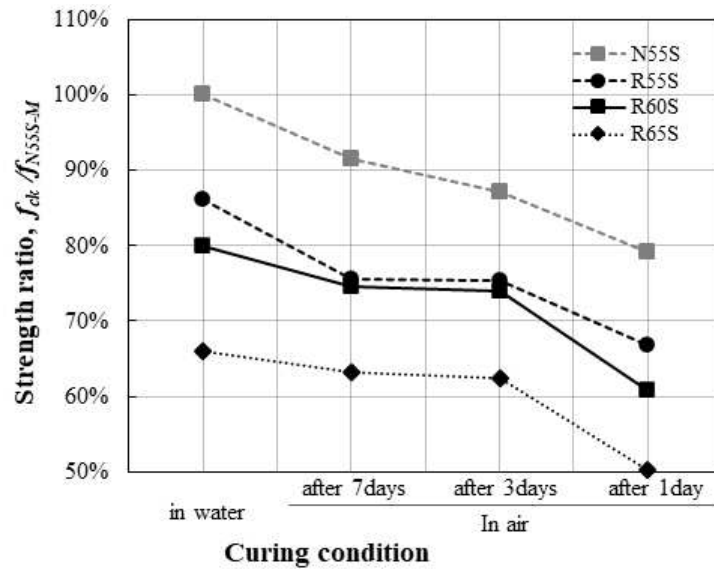


Fig. 4.25 Effect of water/binder ratio on strength ratio

있다. Fig. 4.25는 표준상태인 천연골재를 사용하고 표준양생한 기준 실험체 (N55S-M)의 압축강도를 기준으로 하여 변수별 강도비를 양생조건에 따라 나타낸 것이다. 천연골재와 비슷하게 대기양생 기간이 길어질수록 강도는 감소하는 경향을 나타내고 있으나 물/결합재 비가 60%로 5% 증가한 경우 강도의 감소폭이 크지 않다. 반면, 10%를 증가시켜 물/결합재 비가 65%인 경우 강도가 급격히 감소함을 확인할 수 있다. 또한 재생골재를 사용한 경우, 3일 후 대기양생과 7일 후 대기양생의 강도 차이가 크게 나타나지 않았고 있으며, 물/결합재 비가 변하여도 유사한 경향을 보이고 있다.

Figs. 4.26~33은 물/결합재비가 다른 R60S와 R65S의 실험 후 실험체의 파괴모습과 각 시험체의 응력-변형률 선도를 나타낸 것이다.

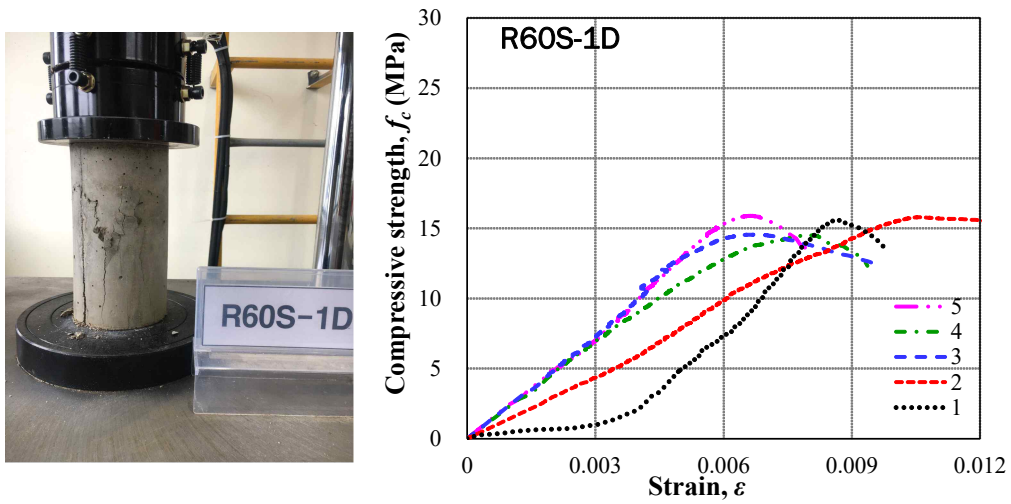


Fig. 4.26 Failure mode and stress-strain curves (R60S-1D)

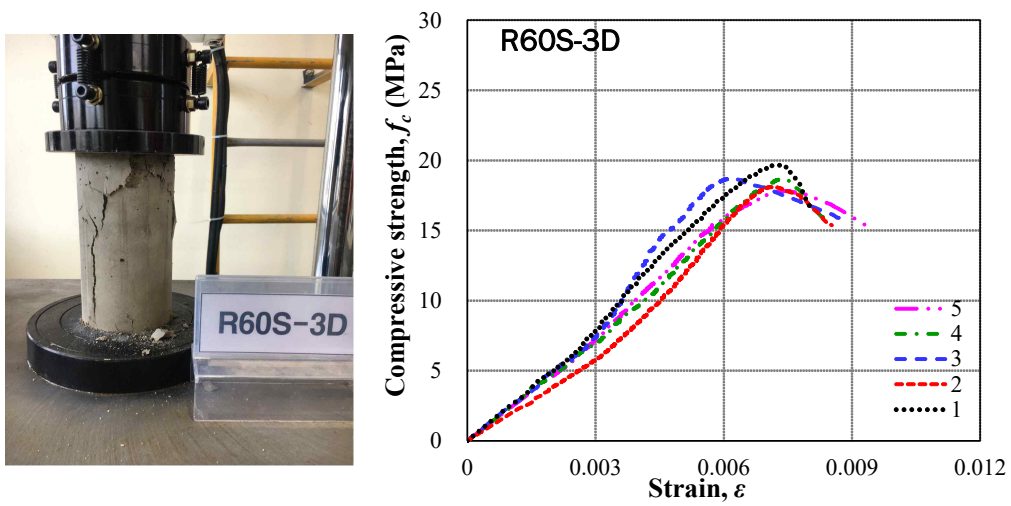


Fig. 4.27 Failure mode and stress-strain curves (R60S-3D)

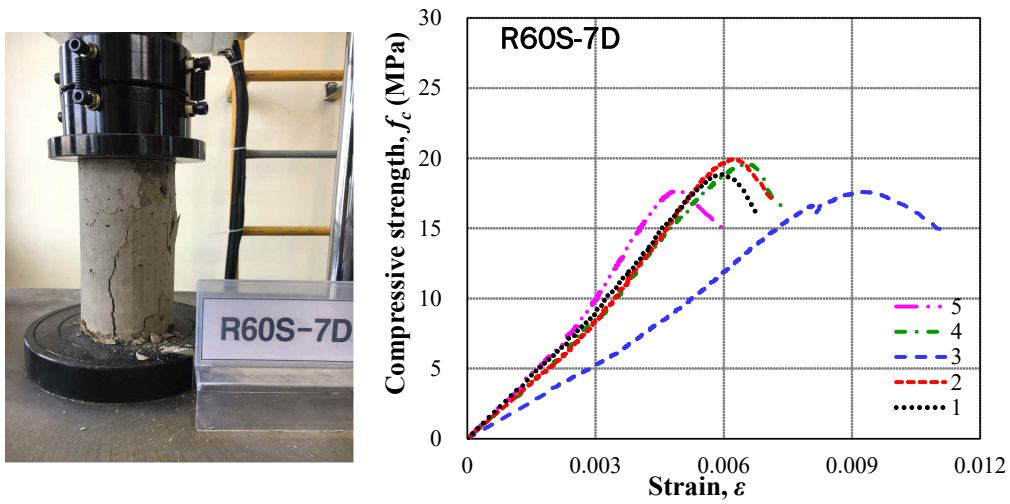


Fig. 4.28 Failure mode and stress-strain curves (R60S-7D)

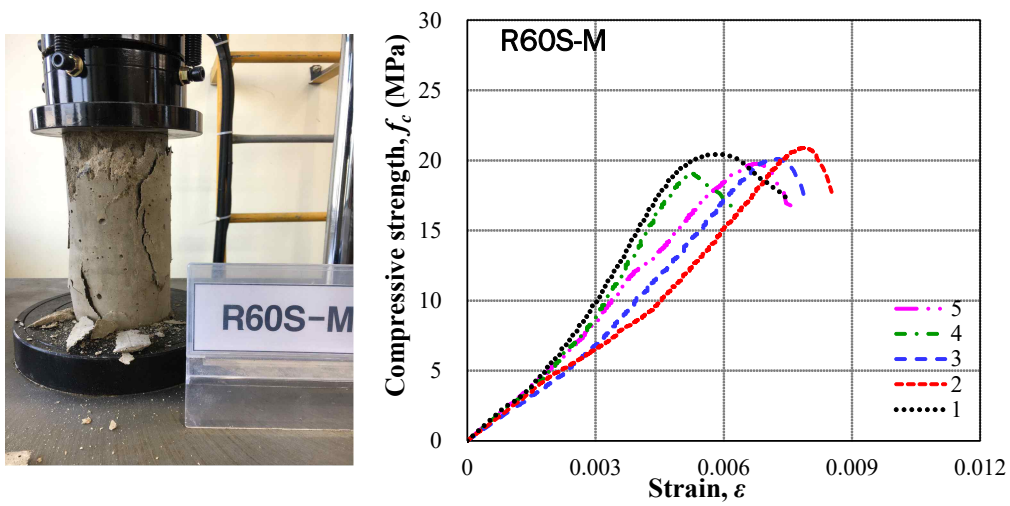


Fig. 4.29 Failure mode and stress-strain curves (R60S-M)

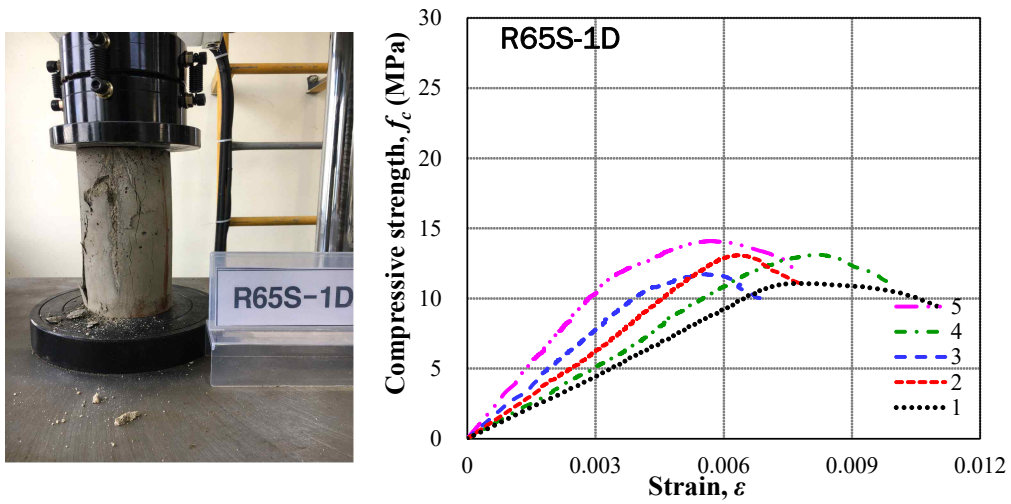


Fig. 4.30 Failure mode and stress-strain curves (R65S-1D)

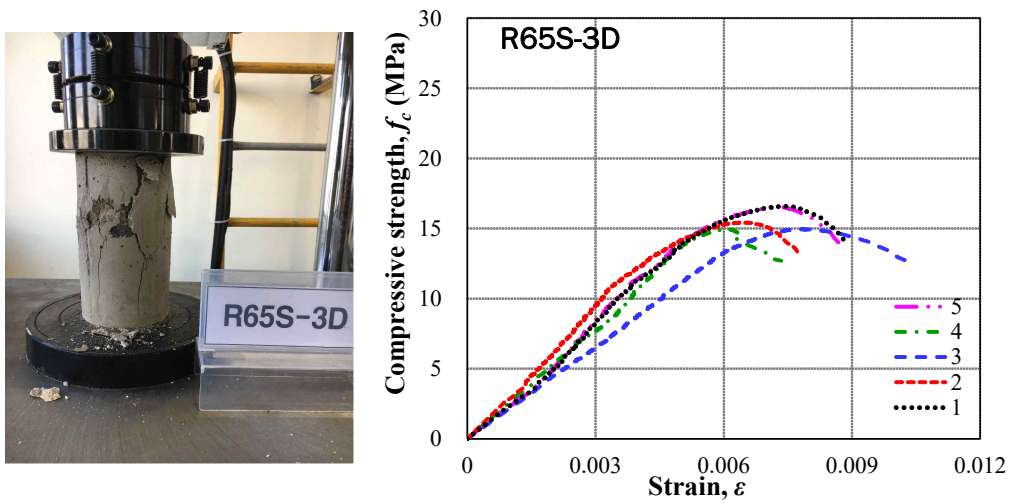


Fig. 4.31 Failure mode and stress-strain curves (R65S-3D)

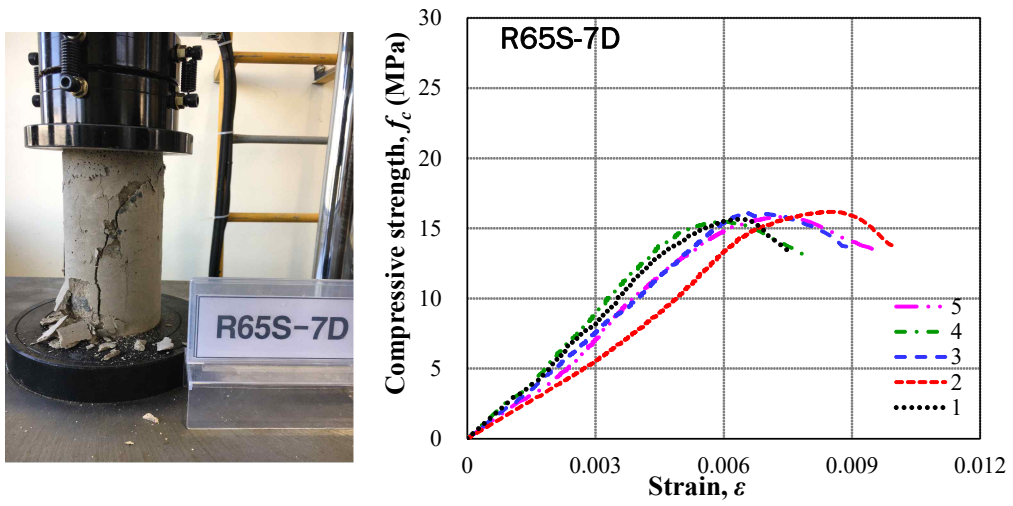


Fig. 4.32 Failure mode and stress-strain curves (R65S-7D)

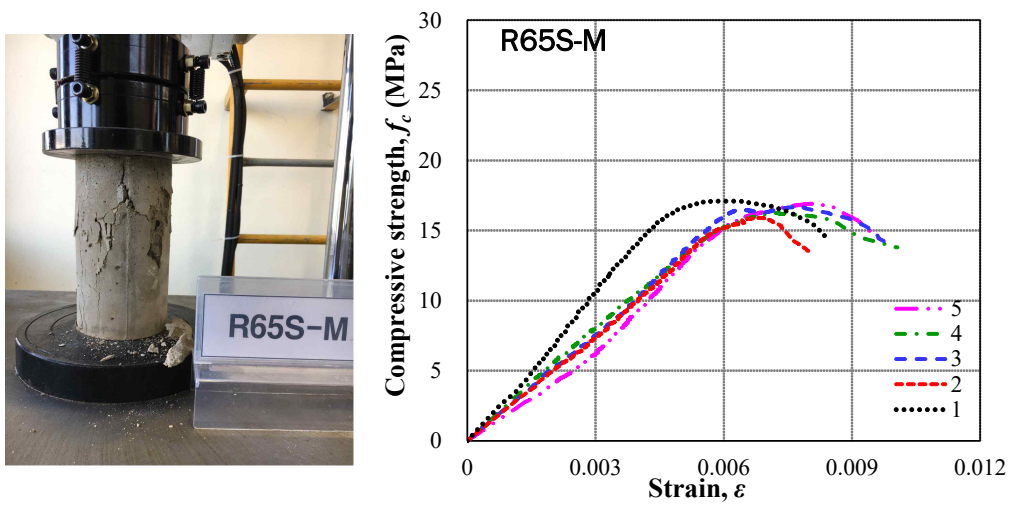


Fig. 4.33 Failure mode and stress-strain curves (R65S-M)

V. 결 론

재생골재를 사용한 콘크리트에 있어서 양생 조건이 압축강도에 미치는 영향을 평가하기 위하여 골재의 종류와 함수상태, 물/결합재 비를 변수로 하여 실험한 결과를 평가하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 양생시 수분을 공급해주는 기간이 길어질수록 콘크리트의 흡수율은 감소하고, 단위중량은 증가하였다. 이는 수분의 공급기간이 길수록 시멘트 수화반응이 진행되어 수화생성물로 콘크리트가 밀실해지기 때문에 흡수율이 감소하고, 단위중량은 증가하는 것으로 판단된다.
- (2) 콘크리트에 굵은 골재가 차지하는 용적이 약 55% 이상이 되기 때문에 골재의 물리적 특성이 이를 사용한 콘크리트에도 동일하게 나타나고 있다.
- (3) 재생골재를 사용한 콘크리트의 압축강도가 천연골재를 사용한 콘크리트의 강도보다 83~87%의 범위로 작게 나타났다. 이는 재생굵은골재의 높은 흡수율과 낮은 건조단위중량을 통해 골재가 많은 미세균열을 포함한 것으로 판단되며, 골재의 미세균열로 파괴가 유도되어 콘크리트의 강도가 저하된 것으로 사료된다.
- (4) 천연골재와 재생골재를 사용한 콘크리트 모두 대기양생 기간이 길어질수록 압축강도는 감소하였으며, 감소율도 비슷하였다. 이는 양생기간 동안 충분한 수분을 공급받지 못하여 압축강도가 감소한 것으로 사료되며, 골재의 종류는 이러한 조건에 큰 영향력 없는 것으로 판단된다.
- (5) 습윤양생을 하는 경우 표건이나 습윤상태의 골재를 사용하는 것은 압축강도에 불리하였는데, 이는 흡수율이 높은 골재를 포화시켜 사용하는 경우 골재 표면에 수분겔이 형성되어 부착력을 저하시키기 때문이다. 또한 대기양생을 하는 경우 양생기간 동안 콘크리트 내부의 수분이 증발하기 때문에 수화작용에 필요한 수분이 부족하지만 습윤이나 표건상태인 경우 골재가 함유하고 있던 물이 수화작용에 사용되어 상대적으로 강도가 높게 나타난

다. 따라서, 재생골재를 사용하는 경우 콘크리트의 양생기간동안 수분을 효과적으로 관리할 수 있는 양생환경을 조성할 필요가 있다.

- (6) 양생시 수분 공급 조건이 물/결합재 비의 변화에 따라 압축강도에 미치는 영향의 정도는 비슷하였다.

참고문헌

- Bartlett, F. M. and MacGregor, J. G. (1994). "Effect of Moisture Condition on Concrete Core Strengths." *ACI Material Journal*, ACI, Vol.91, No.3, pp.227-236.
- Choi, M.K., Park, H.G., Kim, K.K., Jung, K.S., Jung, K.H., and Jung, S.J. (2005) "An Experimental Study on the Strength Characteristic of Recycled Concrete by Curing Method" *J. of the Korea Concrete Institute*, KCI, Vol.2005, No.11, pp.723-726 (in Korean).
- Choi, W.Y., Lee, S.H., Jun, C.S., and Kim, T.H. (2018), "A Study on the Strength Properties and Life Cycle Assessment of High Strength Concrete Using Recycled Coarse Aggregate" *J. of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, RCR, Vol.6, No.1, pp.8-15 (in Korean).
- Cold-Weather Concreting*, ACI 306R-78, revised 1983, ACI Committee 306 Report, American Concrete Institute.
- Etxeberria, M., Vázquez, E., Mari, A., and Barra, M. (2007) "Influence of Amount of Recycled Coarse Aggregates and Production Process on Properties of Recycled Aggregate Concrete" *Cement and Concrete Research*, CCR, Vol.37, pp.735-742.
- Kim, J.Y., and Kim, J.K. (2014), "Study on Compressive Strength Properties of Concrete under Different Curing Conditions", *J. of the Korea Concrete Institute*, KCI, Vol.2014, No.10, pp.349-350 (in Korean).
- Lee, S.T., Choi J.Y., Park K.T., Seo D.W., and You Y.J. (2014), "Effect of Steam Curing on the Properties of Recycled Aggregate Concrete", *J. of The Korea Institute for Structurl Maintenance and Inspection*, KSMI, Vol.18, No.2, pp.99-107 (in Korean).
- Moon, K.T., Park, S.Y., and Kim S.E. (2019), "Compressive Strength of Concrete due to Moisture Conditions of Recycled Coarse Aggregates and Curing Conditions" *J. of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol.39, No.4, pp.485-492 (in Korean).
- Neville, A.M. (1996). *Properties of Concrete (4th ed.e*, John Wiley & Sons., U.S.A.

- Oliveira, M.B., and Vazquez, E. (1996) “The Influence of Retained Moisture in Aggregates from Recycling on the Properties of New Hardened Concrete” *Waste Management*, WM., Vol.16, No.1, pp.113-117.
- Park, Y.S., Ji, S.W., Lee, S.H., and Seo, C.H. (2003), “A Study on the Properties of Concrete within Recycled Aggregates” *Proc. of Spring Annual Conference of AIK*, AIK., Vol.23, No.1, pp.239-242 (in Korean).
- Poon, C.S., Shui, Z.H., Lam, L., Fok, H., and Kou, S.C. (2004), “Influence of Moisture States of Natural and Recycled Aggregates on the Slump and Compressive Strength of Concrete” *Cement and Concrete Research*, CCR, Vol.34, pp.31-36.
- Sim, J.S., Park, C.W., Park, S.J., and Kim, Y.J. (2006), “Characterization of Compressive Strength and Elastic Modulus of Recycled Aggregate Concrete with Respect to Replacement Ratios” *J. of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol.26, No.1A, pp.213-218 (in Korean).
- Statistics Korea (2022a). *Generate and dispose of household and business waste.*, Available at : https://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1477 (access : December 05, 2022)
- Statistics Korea (2022b). *Aggregate permission and collection results.*, Available at : https://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1223#quick_02; (access : December 05, 2022)
- The Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2021) “Quality Standards of Recycled Aggregate”
- Yang, I.H., and Kim, K.C. (2016), “Mechanical Properties and Predictions of Strength of Concrete Containing Recycled Coarse Aggregates” *J. of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, KSMI, Vol.20, No.2, pp.49-59 (in Korean).
- Yang, K.H., Lee, J.S., and Chung, H.S. (2005), “The Influence of Moisture State of Aggregates on the Properties of Recycled Aggregate Concretes” *J. of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, AIK, Vol.21, No.10, pp.103-110 (in Korean).