

경량콘크리트의 개발에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Development of Lightweight Concrete

김 성 완* · 성 찬 용* · 민 정 기** · 정 현 정**
Kim, Seong Wan · Sung, Chan Yong · Min, Jeong Ki · Jung, Hyun Jung

Summary

This study was performed to develop the lightweight concrete using synthetic lightweight aggregate and natural coarse aggregate. Mixing ratios were three types, the first type was mixed cement and synthetic lightweight fine aggregate (Type CP), the second type was mixed cement, synthetic lightweight fine aggregate and synthetic lightweight coarse aggregate (Type CPE), the third type was mixed cement, synthetic lightweight fine aggregate and natural coarse aggregate (Type CPN).

The results of this study are summarized as follows ;

1. The W/C of each mixing ratio was increased with increase of the amount of cement used, and it was shown higher in order of Type CP, CPN, CPE.
2. The unit weight of Type CP, CPE and CPN was $1.473 \sim 1.647 \text{g/cm}^3$, $1.467 \sim 1.622 \text{g/cm}^3$ and $1.658 \sim 1.838 \text{g/cm}^3$, respectively. And the absorption ratio was approximately 20%, which was higher than that of the normal cement concrete.
3. The compressive strength of Type CP was shown $178 \sim 249 \text{kg/cm}^2$, Type CPE was shown $149 \sim 241 \text{kg/cm}^2$ and Type CPN was shown $196 \sim 297 \text{kg/cm}^2$, respectively. Each strength ratio was smaller than that of the normal cement concrete.
4. The pulse velocity of Type CP, CPE and CPN was $2,688 \sim 3,240 \text{m/sec}$, $2,981 \sim 3,324 \text{m/sec}$ and $2,989 \sim 3,545 \text{m/sec}$, respectively. And it was increased with increase of strength and unit weight.
5. The length change ratio at 28 days was in the range of $0.057 \sim 0.077\%$, and earlier length change ratio was higher than that of the later.

*충남대학교 농과대학
**충남대학교 대학원

키워드 : 경량콘크리트, 인공경량골재, 물-시멘트 비, 단위중량, 흡수율, 강도, 초음파진동 속도, 길이변화율

I. 서 론

최근 콘크리트구조물의 대형화에 따른 콘크리트 수요의 급격한 증가로 인하여 양질의 콘크리트용 골재부족현상이 나타남에 따라, 골재의 질적인 문제와 양적인 문제해결이 건설분야의 큰 당면 문제로 제기되고 있다. 이에 선진각국에서는 천연골재의 부족현상과 자연보호의 측면에서 인공골재를 개발하기 시작하였고, 강도에 비하여 자중이 큰 콘크리트의 결점을 개선하고자 인공경량골재의 개발과 이를 사용한 경량콘크리트의 물리·역학적 성질에 대하여 많은 연구가 진행되고 있다.

구조물의 자중경감을 목적으로 경량골재를 콘크리트에 활용하기 위한 연구는 몇몇 국가에서 19세기말부터 시작되어 왔으나, 국내에서는 아직까지 초보적인 단계에 머무르고 있어, 이에 대한 연구가 절실히 요구되고 있다.

경량콘크리트에 대한 외국에서의 연구활동을 살펴보면 미국, 캐나다 등지에서는 19세기 말 석탄각에서 얻은 클링커를 콘크리트에 사용한 것이 시초이며, 1915년엔 팽창점토를 이용한 경량골재가 제조되어 1928년에 본격적인 생산이 시작되었다. 그후 1940년경 분말석탄회를 소성시킨 인공경량골재를 사용하는데 이어 팽창혈암, 팽창슬레이트 등이 개발 사용되었다.⁸⁾ 영국에서는 19세기 말엽에 석탄각을 경량골재로 사용한 경량콘크리트가 개발되었고, 경석과 다공질 고로슬래그, 미분탄을 소성한 인공경량골재를 1930년부터 콘크리트에 사용하였다. 독일에서는 천연경석을 이용한 콘크리트를 19세기 말경에 개발하였으며, 그 후 팽창슬래그를 경량콘크리트용 골재로 사용하였다. 일본에서는 1907년 석탄각을 이용한 경량골재를 개발하였으며, 그후 천연경석, 팽창혈암 등의 골재를 경량콘크리트의 제조에 사용하였다.¹⁾

최근에 이르러 선진각국에서는 장기간의 기

술개발을 통하여 단위중량이 1.0g/cm³이하인 초경량골재를 개발하여 실용화 단계에 있으며, 이를 사용한 콘크리트의 성질은 양호한 것으로 밝혀지고 있다.³⁾

그러나, 우리나라의 경우 몇몇 종류의 인공경량골재가 개발되어 있으나, 자중감소의 직접적인 효과에 의한 구조용 콘크리트로서의 이용 보다는 단열 및 방음 등의 간접효과를 위한 비구조용 콘크리트로서 다소 이용되고 있을 뿐 널리 활용되지 못하고 있는 실정이다. 그러나 향후 천연골재의 부족에 따른 대체골재의 개발이라는 측면에서 인공경량골재의 개발 및 이의 활용을 위한 연구가 활발히 이루어 질 것으로 생각된다.

따라서, 본 연구는 국내에서 구입이 용이한 인공경량골재와 천연조골재를 사용한 경량콘크리트를 개발하여 이의 제반성질을 규명함으로써, 농축산폐기물처리시설과 가축사료저장고 등의 농업토목구조물 및 일반구조물등에 활용키 위한 기초자료를 마련코자 본 실험을 실시하였다.

II. 재료 및 방법

1. 사용재료

가. 시멘트

본 실험에 사용된 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트이며, 그 화학성분은 Table-1과 같다.

Table-1. Chemical Composition of normal portland cement(unit : %)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃
21.09	4.84	63.85	3.32	3.09	1.13	0.29	2.39

나. 골재

본 실험에 사용된 인공경량골재는 퍼라이트로, 이것은 제3기 이후의 화산암지대에서 생산되는 진주암, 흑요암 등의 암석을 분쇄하

여 금속가열팽창시킨 것으로서, 이의 화학적 성질 및 일반적 성질은 Table-2 및 3과 같다.

또한, 조골재 중 인공경량조골재는 점토를 고온으로 가열하여 팽창, 냉각시켜 만든 골재이며, 천연조골재는 금강유역에서 채취된 강자갈로서, 이들의 물리적 성질은 Table-4와 같다.

Table-2. Chemical properties of synthetic lightweight aggregate(unit : %)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
75.5	15.3	0.9	0.12	0.08	3.5	4.0

Table-3. General properties of synthetic lightweight fine aggregate

Unit weight (g/cm ³)	Grain size (mm)	Color	PH	Soundproof (%)
0.08	0.15~1.2	Pure-white	7	90<

Table-4. Physical properties of coarse aggregate

Type	Specific gravity	Size (mm)	Absorption ratio(%)	Fineness modulus	Unit weight (g/cm ³)
Natural	2.63	4.75~10	2.15	6.00	1.550
Synthetic	0.68	3~8	21.00	5.60	0.386

2. 공시체 제작

가. 콘크리트배합

경량콘크리트의 종류는 크게 세가지로 나누었는데, 첫째 Type CP는 시멘트와 인공경량세골재만을 사용하여 시멘트와의 배합비를 중량비 4 : 1~8 : 1로 하였으며, 둘째 Type CPE는 시멘트와 인공경량세골재 및 인공경량조골재를 사용하여 각 재료의 배합비를 중량비 4 : 1 : 0.5~8 : 1 : 0.5로 하였고, 셋째는 Type CPN으로 천연조골재가 인공경량조골재의 단위중량보다 약 4배 정도 크기 때문에 골재의 체적을 같게 하기 위하여 시멘트와 인공경량세골재 및 천연조골재의 배합비를 중량비

4 : 1 : 2~8 : 1 : 2로 하였고, 슬럼프는 각 Type별 모두 8±1cm로 하였으며, 이의 배합설계결과는 Table-5와 같다.

나. 공시체 제작

단위중량과 흡수율 및 압축, 인장강도용 공시체는 $\phi 7.5 \times 15$ cm, 휨강도와 초음파진동속도 및 길이변화시험용 공시체는 6×6×24cm로 제작하였으며, 몰드에 타설된 콘크리트는 24시간 정치후 탈형하여 소정의 재령까지 수중양생(20±1℃)을 실시하였다.

Table-5. Experimental design of lightweight concrete(unit : wt. ratio)

Type	Cement	Aggregate			Slump (cm)
		Synthetic		Natural	
		Fine	Coarse	Coarse	
CP1	4	1	-	-	8±1
CP2	5	1	-	-	
CP3	6	1	-	-	
CP4	7	1	-	-	
CP5	8	1	-	-	
CPE1	4	1	0.5	-	8±1
CPE2	5	1	0.5	-	
CPE3	6	1	0.5	-	
CPE4	7	1	0.5	-	
CPE5	8	1	0.5	-	
CPN1	4	1	-	2	
CPN2	5	1	-	2	
CPN3	6	1	-	2	
CPN4	7	1	-	2	
CPN5	8	1	-	2	

3. 시험방법

가. 단위중량

각 배합비별 단위중량은 재령 28일까지 수중에서 양생시킨 공시체의 표면건조포화상태의 중량과 체적을 측정하여 다음과 같이 산출하였다.

$$U \cdot W = \frac{W}{V}$$

여기서, $U \cdot W =$ 단위중량 (g/cm^3)

$W =$ 표면건조포화상태의 중량(g)

$V =$ 공시체 체적 (cm^3)

나. 흡수율

흡수율은 재령 28일까지 수중에서 양생시킨 공시체의 표면건조포화상태의 중량과 절건상태의 중량을 측정하여 다음과 같이 산출하였다.

$$A \cdot R = \frac{B-A}{A} \times 100$$

여기서, $A \cdot R =$ 흡수율 (%)

$A =$ 건조기에서 건조시킨 공시체의 공기중 중량 (g)

$B =$ 표면건조포화상태의 중량 (g)

다. 강도

압축강도시험은 KS F 2405, 인장강도시험은 KS F 2423, 휨강도시험은 BS 1881⁵⁾에 준하여 재령 28일에서 각 강도를 측정하였다

라. 초음파진동속도

BS 4408¹⁰⁾에 준하여 재령 28일에서 다음 식으로 초음파진동속도를 산출하였다.

$$P \cdot V = \frac{L}{D \times 10^{-6} \text{sec}}$$

여기서, $P \cdot V =$ 초음파진동속도 (m/sec)

$D =$ 측정치

$L =$ 공시체길이 (m)

마. 길이변화율

KS F 2424의 시험방법중 컨덕터 게이지 (Conductor Gauge)방법에 준하여 재령 3, 7, 14, 28일의 길이변화율을 측정하였으며, 측정 방법은 공시체 제작후 재령 1일후 탈형하여 공시체 표면에 게이지플러그를 접착제를 사용하여 이동하지 않도록 표점거리 200mm로 부착하여, 소정의 재령에서 컨덕터 게이지로 길이변화량을 측정하고, 이 값과 표점거리를 비교하여 길이변화율을 산출하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 물-시멘트비

인공경량 골재의 경우 천연골재와 비교하여 흡수율이 크고, 강도와 비중이 작은 것이 일

Table-6. Test results of lightweight concrete

Type	W/C (%)	Unit weight (g/cm^3)	Absorption ratio (%)	Strength(kg/cm^2)			Pulse velocity (m/sec)	Length change ration (%)			
				Compressive	Tensile	Bending		3days	7days	14days	28days
CP1	80	1.473	28	178	21	54	2,688	0.043	0.055	0.065	0.077
CP2	74	1.524	27	190	25	61	2,844	0.044	0.055	0.068	0.071
CP3	64	1.545	24	195	26	63	2,959	0.033	0.045	0.057	0.069
CP4	57	1.638	20	232	27	64	3,150	0.038	0.051	0.063	0.075
CP5	52	1.647	19	249	33	69	3,240	0.038	0.051	0.062	0.074
CPE1	64	1.467	26	149	19	52	2,981	0.020	0.036	0.050	0.063
CPE2	60	1.516	25	161	23	57	2,996	0.025	0.042	0.055	0.066
CPE3	54	1.541	23	182	24	60	3,085	0.031	0.054	0.065	0.070
CPE4	52	1.610	19	225	25	62	3,283	0.036	0.053	0.069	0.072
CPE5	47	1.622	17	241	27	67	3,324	0.025	0.038	0.050	0.065
CPN1	67	1.658	23	196	25	58	2,989	0.032	0.046	0.059	0.060
CPN2	63	1.661	22	214	28	63	3,150	0.035	0.042	0.055	0.057
CPN3	61	1.716	18	238	30	67	3,252	0.042	0.054	0.064	0.065
CPN4	56	1.825	17	288	31	77	3,443	0.038	0.059	0.066	0.073
CPN5	48	1.838	14	297	37	78	3,545	0.038	0.054	0.064	0.070

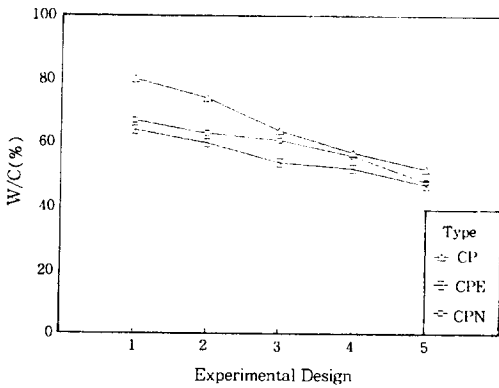


Fig. 1. Comparison of W/C between different experimental designs

반적이며, 사용수량이 과다할 경우 골재의 분리가 일어나고 불리딩현상이 생겨 콘크리트의 균질성을 잃게되기 쉽다. 그러므로 경량콘크리트 제조시 적합한 수량을 결정하는 것은 매우 중요하다 하겠다.

경량골재가 보통골재에 비하여 흡수율이 상당히 큰 것은 제조과정에서 골재속에 다량의 공극을 함유하기 때문이며, 따라서 경량골재 콘크리트를 혼합하는 중에 수분의 일부가 골재중에 흡수되어 반죽질기가 변화한다.

한편, 각 Type별 물-시멘트비를 나타내면 Table-6과 같고, 그림으로 도시하면 Fig. 1과 같다.

여기서 보는 바와 같이, 각 Type별 배합비에 따른 물-시멘트비를 살펴보면, Type CP는 80~52%, Type CPE는 64~47%, Type CPN은 67~48%로 배합비에 따른 변화폭이 상당히 크게 나타났는데, 이는 단위용적당 사용재료의 배합비에 따라 소요수량의 변화가 크기 때문이라 하겠다. 그리고 각 Type별 배합비에 따른 사용시멘트의 양이 증가할수록 물-시멘트비가 감소하는 경향을 보였는데, 이것은 단위용적당 시멘트의 양이 작을 경우 경량골재의 흡수율이 상대적으로 증가되고, 시멘트의 양이 많을 경우는 경량골재가 충분히 수분을 흡수하기 전에 시멘트 페이스트가 골

재를 피복함으로써 흡수를 억제하기 때문이라 생각된다.

Type CP의 물-시멘트비가 가장 크게 나타난 것은 사용한 인공경량세골재의 흡수율이 다른 재료보다 상대적으로 크기 때문이며, 특히 Type CPE의 물-시멘트비가 가장 작게 나타난 것은 첨가된 인공경량조골재의 표면이 제조시 얇은 막으로 코팅되어 있어서 수분흡수를 차단하기 때문인 것으로 생각된다.

보통포틀랜드시멘트와 기건상태의 경량골재를 사용할 경우, 흡수율이 20% 정도의 골재에서는 반죽하여 혼합시킨 초기에는 골재중에서 흡수가 크게 일어나서 일정시간 경과 후 약간의 물을 유출하는 경향이 있으나, 10% 정도의 골재에서는 시간의 경과와 함께 지속적인 흡수가 일어났다.

따라서, 본 실험에서도 각각의 배합비에서 목표 슬럼프를 만족하는 혼합수를 첨가하여 혼합 후 표면에 잉여수가 존재함을 볼 수 없으나, 몰드에 타설 후 일정시간이 경과하면, Type CP나 CPN의 경우는 표면에 불리딩현상이 생김으로써 혼합시 골재가 흡수했던 수분이 시간이 경과됨에 따라 어느 정도 유출되는 것을 알 수 있었고, Type CPE의 경우는 사용 조골재의 표면이 얇게 피막되어 흡수를 차단함으로써 불리딩현상이 생기지는 않았으나, 단위중량이 작아서 표면근처의 골재가 시간의 경과와 함께 상부로 이동하는 골재분리현상이 일어남을 알 수 있었다.

2. 단위중량

경량콘크리트에서 가장 중요한 성질중의 하나가 단위중량이며, 이는 사용하는 골재의 종류와 배합비에 따라 차이가 크고, 구조물의 경량화에 있어서 중요한 요소라 하겠다.

실험을 통하여 얻어진 각 Type별 단위중량의 실험결과는 Table-6과 같고, 그림으로 도시하면 Fig. 2와 같다.

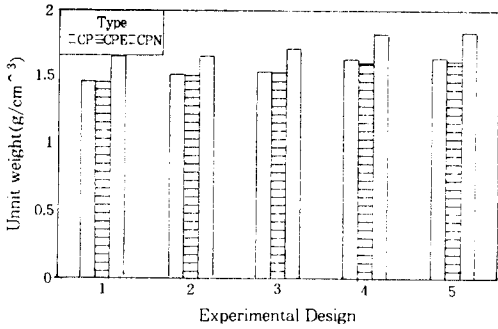


Fig. 2. Comparison of unit weight between different experimental designs

여기서 보는 바와 같이, 각 Type별 배합비에 따른 단위중량은 Type CP는 1.473~1.647g/cm³, Type CPE는 1.467~1.622g/cm³, Type CPN은 1.658~1.838g/cm³로 나타났는데, 이는 보통시멘트콘크리트의 60~80% 정도의 수준을 보임으로서, 경량콘크리트로서 만족할 만한 결과를 얻었다.

이는 사용된 인공경량골재의 단위중량이 0.08g/cm³과 0.386g/cm³로 상당히 가벼운데서 기인된 것으로 생각되며, Type CP와 CPE는 거의 동일하게 나타났고, Type CPN의 경우는 조골재로 천연골재를 사용함으로써 상대적으로 크게 나타났다. 또 각 Type별 단위시멘트의 사용량이 증가할수록 단위중량이 증가하는 경향을 보였다.

3. 흡수율

각 Type별 흡수율시험결과를 나타내면 Table-6과 같고, 그림으로 도시하면 Fig. 3과 같다.

이 결과, Type CP는 28~19%, CPE는 26~17%, CPN은 23~14%로 나타나, Type CP, CPE, CPN의 순으로 크게 나타났으며, 보통시멘트콘크리트보다 상당히 크게 나타났다. 이것은 인공경량골재가 내부에 다량의 공극을 함유함에 따라 많은 수분을 흡수하기 때

문이며, 특히 Type CPE가 Type CP 보다 작게 나타난 것은 인공경량조골재의 표면이 코팅처리되었기 때문으로 생각된다.

한편, 각 Type별 단위용적당 사용시멘트량이 증가할수록 흡수율은 감소하는 경향을 보였는데, 이는 단위용적당 사용시멘트량이 증가할수록 상대적으로 경량골재의 사용량이 감소한데 따른 영향으로 생각된다.

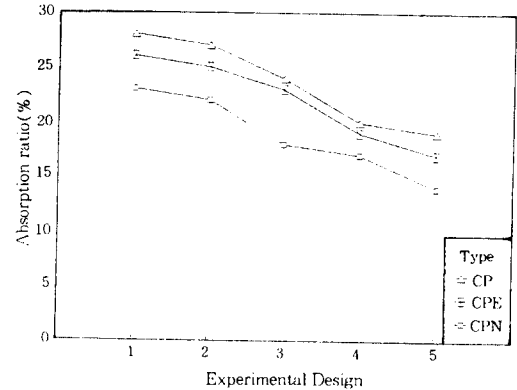


Fig. 3. Comparison of absorption ratio between different experimental designs

물-시멘트비와 흡수율과의 관계를 살펴보면, Type CP는 물-시멘트비가 큰 만큼 흡수율도 크게 나타났으나, Type CPE와 CPN은 서로 상반되는 결과를 보였다. 이는 경량골재의 경우 수분을 골재내부로 흡수하는 것이 일반적이거나, 사용된 인공경량조골재는 수분흡수를 차단하기 위하여 피막처리를 했기 때문에 유동수량이 골재표면상에 존재함으로서, 물-시멘트비가 작은 만큼 흡수율이 작게 나타나지 않은 것으로 생각된다.

또한, 단위중량과 흡수율과의 관계를 살펴보면, 각 Type별 단위중량이 작을수록 흡수율은 증가하는 경향을 보였는데, 이와같이 흡수율이 증가하는 것은 단위중량이 작을수록 사용경량골재의 양이 시멘트 사용량 보다 상대적으로 많기 때문이라 하겠다.

4. 강 도

경량골재는 천연골재와 비교하여 강도가 작기 때문에, 이를 사용한 경량콘크리트의 압축강도는 천연골재를 사용한 것보다 작은 것이 일반적이며, 경량골재의 강도가 시멘트 페이스트보다 상대적으로 작은 경우 경량콘크리트의 압축강도는 시멘트 페이스트의 강도, 물-시멘트비, 골재의 강도 및 사용량 등에 영향을 받는다.

경량콘크리트에 있어서 단위중량이 작은 것을 사용하면 경량성에는 유리하나 콘크리트의 압축강도는 현저히 저하한다. 이것은 골재가

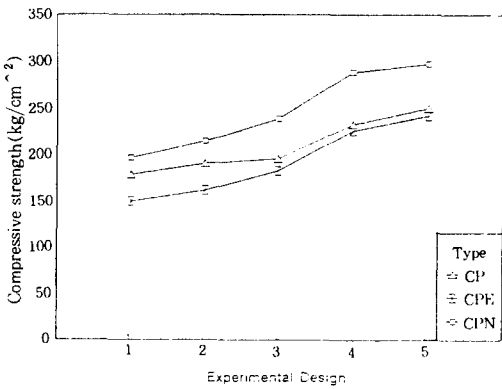


Fig. 4. Comparison of compressive strength between different experimental designs

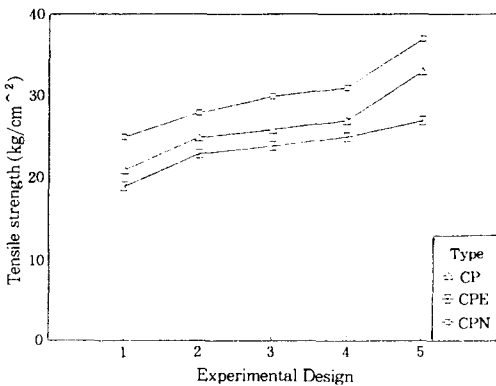


Fig. 5. Comparison of tensile strength between different experimental designs

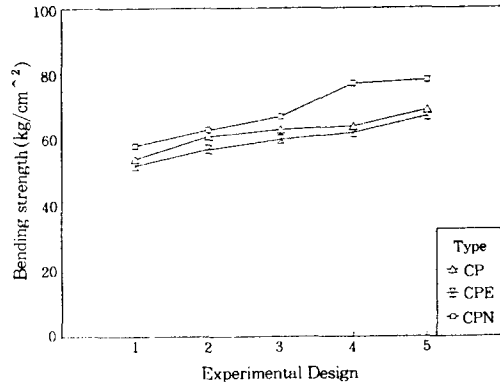


Fig. 6. Comparison of bending strength between different experimental designs

가벼울수록 골재의 강도가 낮기 때문이며, 역학적 성능이 좋은 경량골재, 즉 가볍고 강도가 큰 것을 사용하는 것이 바람직하다 하겠다.

따라서, 본 실험에서는 여러가지 배합비에 대한 예비실험을 한 결과를 토대로 하여, 단위중량과 압축강도가 어느정도 만족되는 배합비를 선택하여 실험을 실시하였으며, 각 배합비별 강도에 대한 실험결과는 Table-6과 같고, 그림으로 도시하면 Fig. 4, 5, 6과 같다.

여기서 보는 바와 같이, Type CP의 경우는 시멘트와 인공경량골재만을 사용한 것으로, 골재 사용량에 따른 재령 28일의 압축강도가 178~249kg/cm²로 나타났고, Type CP에 인공경량조골재를 첨가한 Type CPE는 149~241kg/cm², Type CP에 천연조골재를 첨가한 Type CPN은 196~297kg/cm²로 나타났다.

또한, 각 Type별(CP1, CPE1, CPN1)에서의 압축강도는 Type CPN, CP, CPE순으로 크게 나타났는데, 이는 Type CP를 기준으로 상대적으로 강도가 크게 나타난 Type CPN은 천연골재를 사용함으로써, 사용골재의 강도차이에서 온 결과로 생각되며, 강도가 가장 작게 나타난 Type CPE는 인공경량조골재를 첨가함으로써, 콘크리트 자체의 강도저하를 측

진시킨 것으로 생각된다.

한편, Type CP4, 5와 Type CPE4, 5 그리고 Type CPN2, 3, 4, 5는 재령 28일의 압축강도가 200kg/cm²이상으로 나타나 농업 및 일반구조물에 직접 이용할 수가 있을 것으로 생각된다.

일반적인 경량콘크리트의 파괴성상을 살펴보면, 압축력이 증가하여 파괴하중에 도달하면 골재의 강도가 작을 경우, 골재입자와 시멘트 페이스트와의 부착부분의 분리 이전에 골재자체가 파괴되는 것이 일반적이다.

따라서, 본 실험에서도 압축력이 파괴하중에 도달했을 때 Type CPE의 파괴면에서 골재입자 전체가 파괴되어진 상태를 확인할 수가 있었으며, Type CPN의 경우는 일부 골재의 파괴가 확인되었으나 전체적으로 부착파괴의 현상이 나타남으로써, 경량콘크리트에서는 골재자체의 강도가 콘크리트의 강도에 큰 영향을 미치고 있음이 확인되었으며, 파괴모형은 모든 시편이 기둥모양으로 파괴되는 소위 할렬파괴 양상을 보였다.

그리고 인장강도는 Type CP가 21~33kg/cm², Type CPE가 19~27kg/cm², Type CPN이 25~37kg/cm²으로 나타났고, 휨강도는 Type CP가 54~69kg/cm², Type CPE가 52~67kg/cm², Type CPN이 58~78kg/cm²로 나타나, 휨강도가 상대적으로 크게 나타났으며, 인장 및 휨강도는 압축강도에 비례하여 증가하는 경향을 보였다. 또한, 각 Type별 압축에 대한 인장강도의 비(σ_t/σ_c)에서 Type CP는 1/8.7~1/7.6, Type CPE는 1/9.0~1/7.1, Type CPN은 1/9.3~1/7.6로 비교적 작게 나타났으며, 압축에 대한 휨강도의 비(σ_w/σ_c)에서 Type CP는 1/3.6~1/3.1, Type CPE는 1/3.6~1/2.8, Type CPN은 1/3.8~1/2.4로 보통시멘트콘크리트의 강도비보다 작게 나타났다.

따라서, 경량골재는 강도에 한계가 있고, 또

흡수량이 보통골재보다 크다는 점 때문에 경량골재콘크리트의 강도, 내구성, 시공성등 굳지 않은 콘크리트나 경화후의 콘크리트 품질에 대하여 여러가지 영향을 주므로 경량골재의 사용시에는 그 성질을 충분히 인식하고 사용하는 것이 바람직하다 하겠다.

강도와 물-시멘트비와의 관계를 살펴보면, 물-시멘트비가 가장 크게 나타난 Type CP의 강도가, 물-시멘트비가 가장 작게 나타난 Type CPE의 강도보다 오히려 크게 나타남으로서, 물-시멘트비와 압축강도는 비례한다는 일반적인 이론과 상반되는 결과를 보였다. 이는 사용된 인공경량골재의 특성에 기인된 결과로, 인공경량골재의 경우 시멘트와 혼합시 많은 혼합수를 필요로 하지만 암석을 분쇄하여 제조된 세립자이므로 시멘트와 결합 후 충분한 강도를 발휘함으로써, 물-시멘트비의 증가에 의한 강도손실을 억제한 것으로 생각된다. 그러나, 인공경량골재의 경우는 표면이 코팅되어 수분흡수는 억제가 되었으나 골재자체의 강도가 크지 않기 때문에 강도가 작게 나타난 것으로 판단됨에 따라, 골재자체의 강도가 작은 인공경량골재의 경우는 물-시멘트비를 작게 하여도 콘크리트의 강도증가는 한계점에 이를 것으로 생각된다.

또한, 각 Type별 단위중량이 증가할수록 압축, 인장 및 휨 강도가 모두 증가하는 경향을 나타냈으며, 흡수율이 작을수록 강도가 크게 나타났다.

5. 초음파진동속도

초음파진동속도시험은 초음파종파 pulse를 콘크리트 중에 방사해서 그 전파시간으로 부터 얻어지는 전파속도에 의해 콘크리트의 품질을 평가하는 비파괴시험방법의 일종으로, 실험을 통하여 얻어진 결과는 Table-6과 같고, 그림으로 도시하면 Fig. 7과 같다.

여기서 알 수 있듯이, 각 Type별 초음파진

동속도에서 Type CP는 2,688~3,240m/sec, Type CPE는 2,981~3,324m/sec, Type CPN은 2,989~3,545m/sec로, 천연조골재를 사용한 Type CPN이 가장 크게 나타났는데, 이는 초음파가 경량콘크리트 내부를 통과할 때 인공경량골재의 독립기공이 초음파의 전달시간을 변화시켜 그 속도가 감소된 것으로 생각된다.

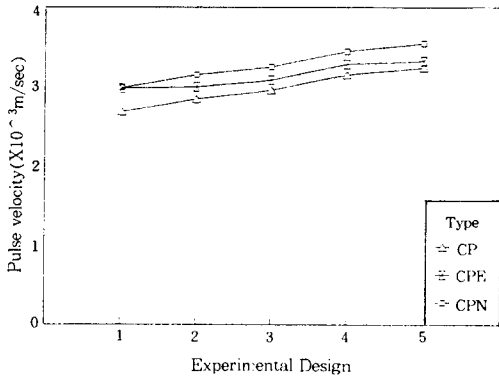


Fig. 7. Comparison of pulse velocity between different experimental designs

또한, 초음파진동속도는 압축, 인장 및 휨강도가 클 수록 크게 나타났으며, 측정된 초음파진동속도를 이용하여 동탄성계수를 아래와 같은 식으로 구할 수 있다.¹¹⁾

$$E_d = \frac{\rho V^2 \cdot (1 + \delta) \cdot (1 - 2\delta)}{1 - \delta}$$

여기서, E_d = 동탄성계수 (MN/m²)

δ = 동포아스비

ρ = 콘크리트의 밀도 (kg/m³)

V = 초음파진동속도 (km/sec)

이 식으로부터 각 Type별 경량콘크리트의 동탄성계수를 구하여 보면, Type CP는 0.98~1.6×10⁵kg/cm², Type CPE 1.2~1.6×10⁵kg/cm², Type CPN은 1.4~2.1×10⁵kg/cm²으로, Type CPN, CPE, CP순으로 크게 나타났으며, 전체적으로 동탄성계수의 값이 보통

시멘트콘크리트보다 작게 나타났는데, 이는 사용경량골재의 밀도가 작기 때문에 나타난 결과로 생각되며, 이로써 동일 하중에서의 변형량이 상대적으로 크다는 것을 알 수 있다.

6. 길이변화율

콘크리트의 수축과 신장은 시멘트, 골재의 성질, 콘크리트의 배합, 양생조건, 및 주위환경 등에 따라 크게 변화하며, 콘크리트 부재에 균열발생의 원인이 될 뿐만 아니라 내구성에도 나쁜 영향을 미치게 된다. 이와 같이 콘크리트의 수축과 신장은 역학적 특성 중에서도 중요한 성질 중의 하나로 본 실험을 통하여 얻어진 결과는 Table-6과 같고, 그림으로도 시하면 Fig. 8, 9, 10과 같다.

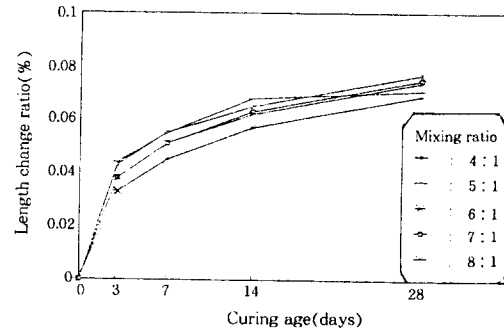


Fig. 8. Relation between curing age and length change ratio (Type CP)

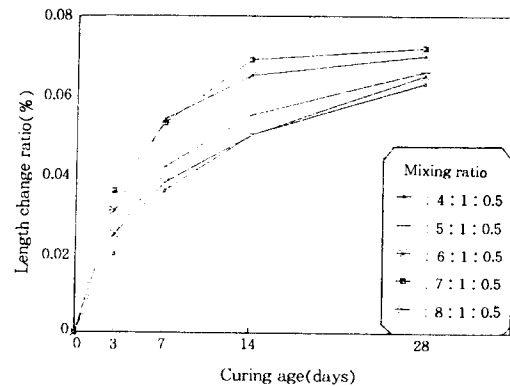


Fig. 9. Relation between curing age and length change ratio (Type CPE)

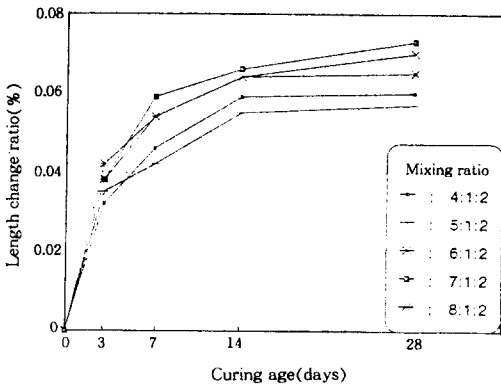


Fig. 10. Relation between curing age and length change ratio(Type CPN)

여기서 알 수 있듯이 각 Type별 길이변화율은 배합비와 상관없이 모두 초기에 크게 나타났으며, 재령이 증가함에 따라 점차 둔화되어 가는 경향을 보였다. 각 Type별 길이변화율은 재령 28일에서 0.057~0.077% 정도의 값을 나타내고 있으며, 이것은 수중양생상태(수온 $20 \pm 1^\circ\text{C}$)에서의 신장량 측정치이므로 실제 기건상태에서의 변화율과는 차이가 있을 것으로 생각된다.

IV. 결 론

본 연구는 인공경량골재와 천연조골재를 사용한 경량콘크리트의 개발에 목적을 두고 실시되었으며, 각각의 배합비에 따른 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 물-시멘트비는 사용시멘트량이 증가할수록 증가하는 경향을 보였으며, Type CP, CPN, CPE순으로 크게 나타났다.

2. 단위중량에서 Type CP는 $1.473 \sim 1.647\text{g}/\text{cm}^3$, Type CPE는 $1.467 \sim 1.622\text{g}/\text{cm}^3$, Type CPN은 $1.658 \sim 1.838\text{g}/\text{cm}^3$ 로 나타났으며, 흡수율은 각 Type에서 모두 20% 내외로 상당히 크게 나타났다.

3. 압축강도에서 Type CP는 $178 \sim 249\text{kg}/$

cm^2 , Type CPE는 $149 \sim 241\text{kg}/\text{cm}^2$, Type CPN은 $196 \sim 297\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 나타났고, 각 강도는 단위시멘트량과 단위중량에 비례하여 증가하는 경향을 보였으며, 각 강도비는 보통시멘트콘크리트보다 작게 나타났다.

4. 초음파진동속도는 Type CP가 $2,688 \sim 3,240\text{m}/\text{sec}$, Type CPE는 $2,981 \sim 3,324\text{m}/\text{sec}$, Type CPN은 $2,989 \sim 3,545\text{m}/\text{sec}$ 로 나타났으며, 강도와 단위중량이 클수록 증가하는 경향을 보였다.

5. 재령 28일에서의 길이변화율은 $0.057 \sim 0.077\%$ 범위였으며, 초기변화율이 후기변화율보다 크게 나타났다.

이 논문은 1994년도 충남대학교 학술진흥장학재단의 연구비지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

1. 홍사천, 1977, 경량골재콘크리트 및 기타에 관한 각국의 발명특허, 대한건축학회지, 21(74) : 45~48.
2. 한국건설기술연구원, 1989, 국내 콘크리트 구조물의 내구성 평가를 위한 조사연구, 한국건설기술연구원 연구보고서 : 110~124.
3. 한국콘크리트학회, 1993, 최신콘크리트공학 : 549~584.
4. 성찬용, 김성완, 민정기, 1994, 초경량골재를 사용한 경량콘크리트의 공학적 특성, 한국농공학회지, 36(4) : 48~55.
5. BS 1881, 1970, Methods of testing hardened concrete for other than strength, British Standards Institution, (Part 5) : 38.
6. Swamy, R. N. & G. Rigby, 1971, Dynamic properties of hardened paste, mortar and

- concrete, RILEM, 14(19) : 13~40.
7. Andrew Short, 1976, Lightweight Concrete, Applied Science Publishers, LTD.
 8. Venuat, M., 1980, Lightweight aggregates on updating of materials, production, technology, innovations and inventions, Lightweight Concrete, The Concrete Society.
 9. Neville, 1981, Properties of Concrete, Pitman Publishing Limited, London : 605~635.
 10. Swamy, R. N. & A. H. Al-Hamed, 1984, The use of pulse velocity measurements to estimate strength of air-dried cubes and hence in situ strength of concrete, Journal of the ACI, 81(2) : 247~276.
 11. C. N. S. Electronics LTD, 1991, Pundit manual for use with the portable ultrasonic non-destructive digital indicating tester, (Mark V) : 46.

(접수일자 : 1995년 7월 29일)