

팽창점토를 사용한 경량콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구 An Experimental Study on the Properties of Lightweight Concrete Using Expanded Clay

김종인*, 최영화**, 하상진***

Kim, Jong-In*, Choi, Young-Wha**, Ha, Sang-Jin**

<Abstract>

The purpose of this study is to find the mechanical properties of lightweight concrete using expanded clay. Thus, slump, air content, compressive strength, elastic modulus, tensile strength, length change ratio, unitweight change ratio and absorption of lightweight concrete have been investigated. The conclusions of this study are as follows ;

1. The loss of slump and air content of concrete increased as the expanded clay content increased and the size of coarse aggregate decreased.
2. The compressive strength of concrete using 100% expanded clay of 13, 19mm size at 28 days were respectively 282, 252kgf/cm².
3. The elastic modulus and tensile strength of concrete decreased with increase of expanded clay content.
4. The length change ratio of concrete increased with the larger coarse aggregate size, and decreased with the increase of expanded clay content.
5. The unit weight of concrete decreased with the increase of expanded clay content, and the ratio of that was larger at the early age.

Key word : lightweight concrete, expanded clay, compressive strength, unit weight

1. 서론

콘크리트 구조물의 규모는 최근의 급속한 경제성장과 건설기술의 발달 등으로 대형화, 고층화 되어가고 있지만, 콘크리트는 강도에 비해 비중이 크기 때문에 구조물의 자중을 증대시키는 결함을 갖고 있다. 콘크리트가 갖고 있는 이

러한 결함을 보완하기 위해 제조되는 경량콘크리트는 자중을 감소시키는 직접적인 효과와 단열·방음 등의 간접적인 효과가 있으며, 천연골재의 고갈에 대한 대체재료로서의 효과도 아울러 갖추고 있다.

서구에서는 이미 19세기말부터 각종 경량골재에 대한 연구·개발로 구조용 및 비구조용

* 정회원, 대구대학교 건설환경공학부 교수, 工博
E-mail : Jikim@daegu.ac.kr

** 정회원, 대구대학교 건설환경공학부 교수, 工博
E-mail : Ywchoi@daegu.ac.kr

* prof. Dept. of Construction & Environmental Engineering, Taegu University

** prof. Dept. of Construction & Environmental Engineering, Taegu University

Table 1 실험의 요인과 수준

요 인		수 준
배합사항	물시멘트비(%)	50
	굵은골재 최대치수(mm)	13, 19
	경량골재 종류	팽창점토
	경량골재 치환율(%)	0, 25, 50, 75, 100
	목표슬럼프(cm)	18±1
실험사항	아직 굳지않은 콘크리트	슬럼프 : 직후, 30, 60, 90, 120분 공기량 : 직후 단위용적중량 : 직후, 60, 120분
	경화콘크리트	압축강도 : 3, 7, 28, 91일 탄성계수, 인장강도 : 28일 길이변화율 : 3, 7, 14, 28, 56, 91일 질량감소율 : 3, 7, 14, 28, 56, 91일 단위용적중량 : 3, 7, 28, 91일 흡수율 : 28일

Table 2 시멘트의 화학적 성분

화합물	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig.loss	Free Lime
함유량(%)	20.7	5.7	3.3	61.2	2.4	2.5	1.8	1.8

Table 3 시멘트의 물리적 성질

비중	안정도 (%)	분말도 (cm ² /g)	응결시간 (h:m)		압축강도 (kgf/cm ²)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.14	0.19	3190	4:40	6:55	204	283	377

건축재료로 폭넓게 사용되어 왔으며 해양구조물과 같은 특수구조물에도 사용되고 있다. 그러나 국내에서는 자중감소의 직접효과에 의한 구조용 콘크리트로서의 이용보다는 단열 및 방음 등의 간접효과를 위한 비구조용 콘크리트로써 다소 이용되고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구는 경량골재를 사용한 콘크리트의 역학적 특성을 규명하고 구조용 재료로서의 사용가능성을 파악하고자 팽창점토를 소성가공하여 굵은골재로 사용한 경량콘크리트의 굳지않은 상태 및 경화상태의 특성을 비교·분석하였다.

2. 경량콘크리트의 특성실험

2.1 실험개요

본 실험에서는 국내에서 구입할 수 있고, 구조용으로 사용이 가능한 것으로 생각되는 팽창점토(Expanded clay)를 소성가공한 것을 사용하였으며, 이를 사용한 콘크리트의 특성을 규명하기 위한 실험요인과 수준은 Table 1과 같다.

1) 골재

잔골재는 경북 칠곡군 하빈산의 낙동강사를 입도조정하여 사용하였고, 굵은골재는 경북 경주시 건천읍 Y사에서 생산되는 13, 19mm 쇄석 및 H사에서 제조된 13, 19mm 팽창점토인 경량골재를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Table 4와 같고, 경량골재의 입도곡선은 Fig. 1과 같다.

Table 4 골재의 물리적 성질

Type	Max. Size (mm)	F.M	Specific Gravity	Absorption(%)	Bulk Density (kg/m ³)	Solid Volume (%)	Note
Fine Agg.	5	2.90	2.56	2.00	1609	62.9	강모래
Coarse Agg.	13	6.26	2.70	1.06	1535	57.5	쇄석
	19	6.54	2.71	0.96	1558	57.7	
	13	6.41	1.27	17.81	660	61.2	경량
	19	6.74	1.19	19.95	671	67.6	골재

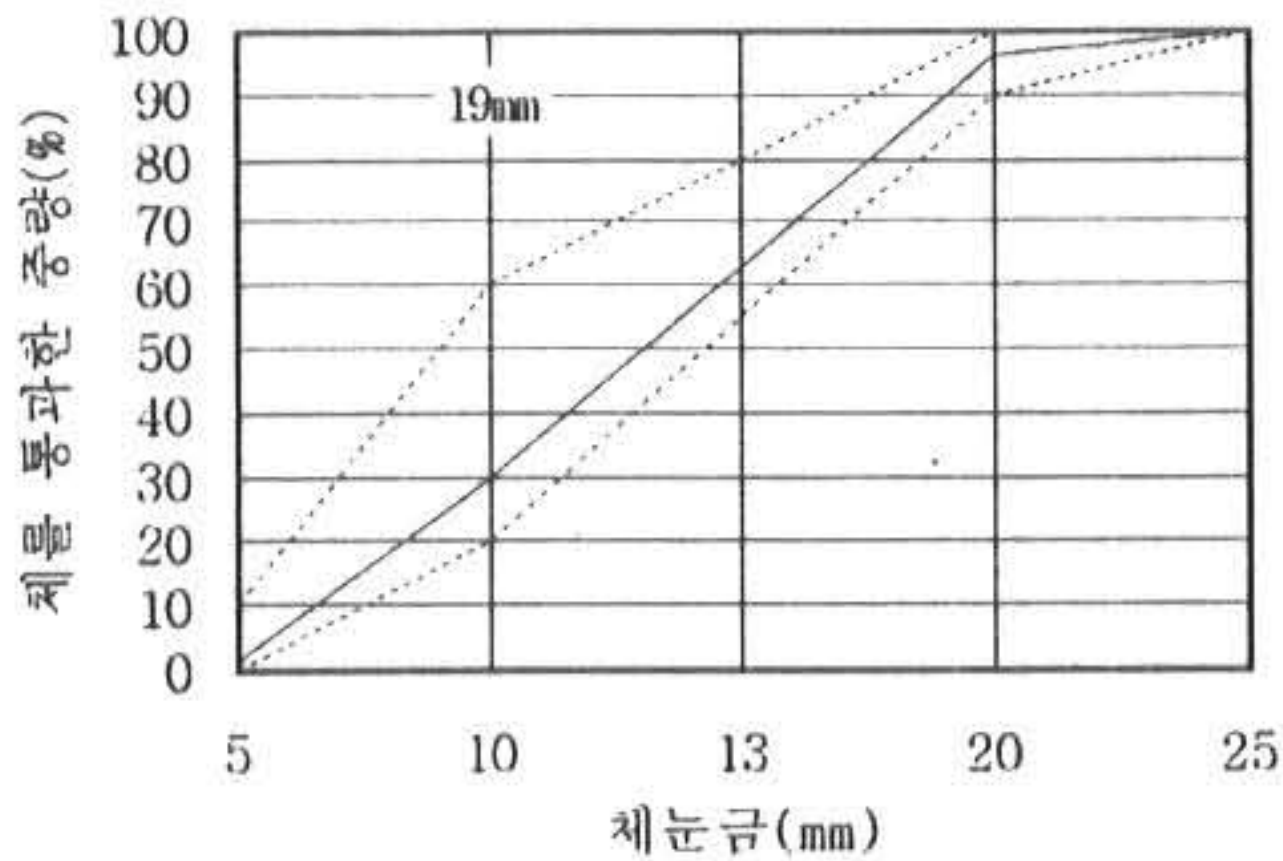
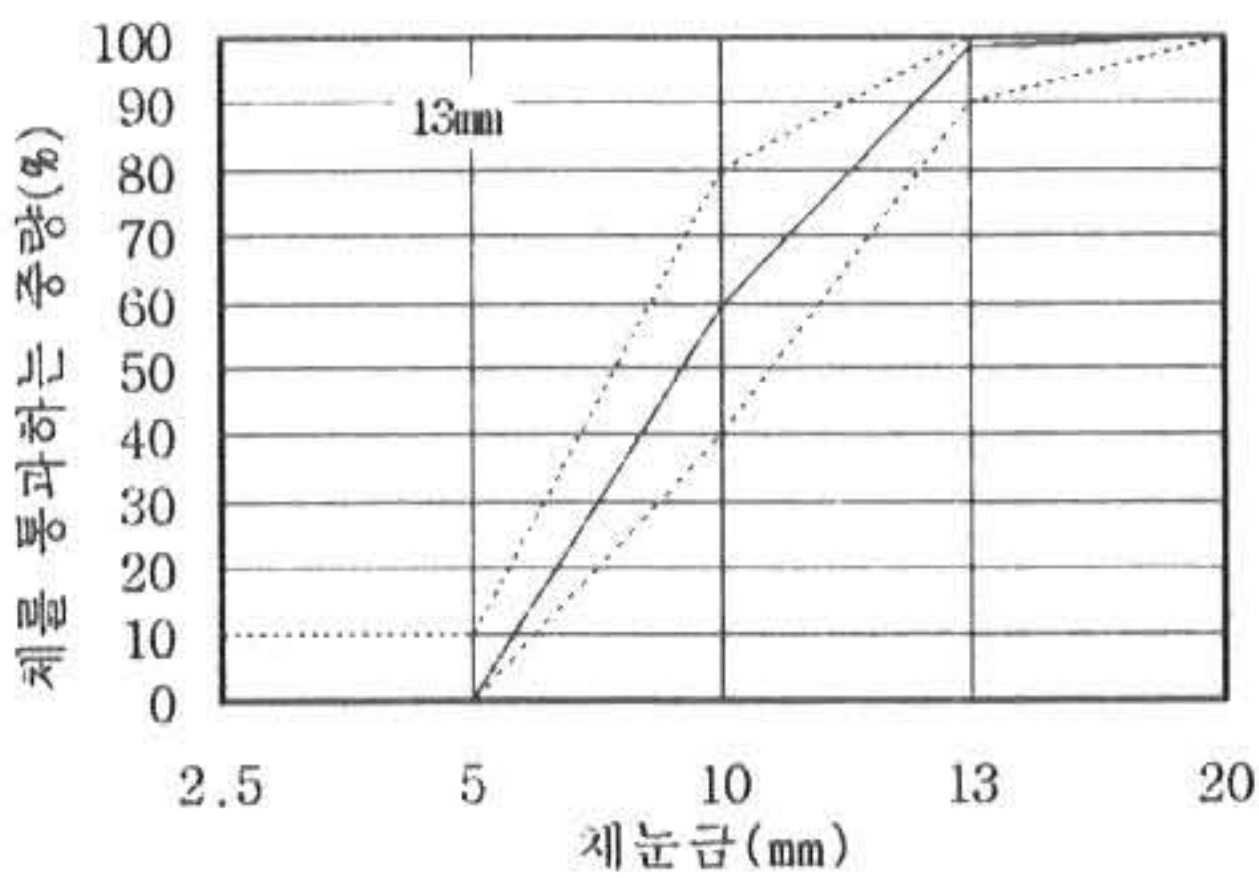


Fig. 1 경량골재의 입도곡선

2) 고성능감수제

고성능감수제는 멜라민계로 비중이 1.20±0.02 인 국내 S사 제품을 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Table 5와 같다.

Table 5 고성능감수제의 물리적 성질

제품명	비중	주성분	유형	색상
Sikament-1000x	1.20±0.02	멜라민계	액상	암갈색

2.2 배합설계

경량골재를 사용함에 따른 특성변화를 알아보고자 단위시멘트량을 400kg, 물시멘트비를 50%,

잔골재율(S/a)을 42%로 고정하였다. 굵은골재 최대치수를 13, 19mm의 2개 수준으로 구분하고, 골재치수별로 경량골재를 0, 25, 50, 75, 100%의 5수준으로 치환하였다. 그리고, 목표슬럼프 18±1cm를 만족하도록 고성능감수제의 사용량을 조절하여 실험하였으며 그 배합은 표 6에 나타내었다.

2.3 실험방법

아직 굳지않은 상태와 경화상태로 구분하여 실험하였으며, 실험요인에 따른 실험방법은 KS 규준에 따른 표준적인 방법으로 행하였다.

3. 시험결과 및 고찰

3.1 아직 굳지않은 콘크리트의 특성

아직 굳지않은 콘크리트의 실험요인별 결과를 Table 7에 나타내었다.

1) 경시변화에 따른 슬럼프

치환율에 따른 13, 19mm 경량골재를 사용한 콘크리트의 슬럼프시험을 한 결과를 나타낸 것이 Fig. 2이다. 전반적으로 슬럼프손실이 초기에는 급격히 나타났고 시간이 경과할수록 완만한 변화를 나타내는 경향을 보였다. 13mm골재를 사용한 콘크리트가 19mm골재를 사용한 콘크리트보다 슬럼프손실이 더 크게 나타났는데, 이는 13mm골재의 비표면적이 19mm골재보다 크기 때문에 모르타르중의 수분을 좀 더 많이 흡착하여 나타난 결과로 판단된다. 13 및 19mm골재를 사용한 콘크리트 모두 경량골재 치환율이 증가할수록 슬럼프손실이 더 크게 나

Table 6 콘크리트의 배합표

배합 기호	W/C (%)	굵은 골재 최대 치수 (mm)	목표 슬럼프 (cm)	잔골재율 (%)	경량 골재 치환율 (%)	중량배합(kg/m ³)					SP/C (%)
						W	C	S	G1	G2	
13-0	50	13	18±1	42	0	200	400	712.4	1037.6	0	2.2
13-25					778.2				122.0	1.28	
13-50					518.8				244.0	0.88	
13-75					259.4				366.1	0.44	
13-100					0				488.1	0.24	
19-0	50	19	18±1	42	0	200	400	712.4	1041.5	0	2.0
19-25					781.1				114.3	1.2	
19-50					520.7				228.7	0.8	
19-75					260.4				343.0	0.4	
19-100					0				457.3	0.2	

Table 7 아직 굳지않은 콘크리트의 실험결과

배합 기호	W/C (%)	굵은 골재 최대 치수 (mm)	목표 슬럼프 (cm)	경량 골재 치환율 (%)	슬럼프 (cm)					공기 량 (%)	단위용적중량 (kg/m ³)			(SP/C) (%)
					직후	30 분	60 분	90 분	120 분		직후	60 분	120 분	
13-0	50	13	18±1	0	17.8	16.2	14.0	9.7	7.3	2.9	2368	2375	2398	2.2
13-25				17.7	14.7	12.0	8.0	5.7	3.0	2246	2260	2272	1.28	
13-50				18.2	12.7	9.3	7.0	5.0	3.9	2085	2123	2137	0.88	
13-75				17.7	10.2	7.7	6.3	4.5	4.1	1953	1991	1995	0.44	
13-100				17.2	8.5	5.7	5.0	3.7	4.5	1865	1876	1892	0.24	
19-0	50	19	18±1	0	18.2	16.7	15.2	12.2	10.7	2.5	2405	2409	2413	2.0
19-25				17.8	16.0	13.2	10.8	8.0	2.5	2274	2277	2283	1.2	
19-50				18.2	14.7	11.5	9.7	7.5	3.0	2119	2121	2132	0.8	
19-75				17.3	12.8	10.3	9.0	6.5	3.3	1960	2000	2005	0.4	
19-100				17.7	12.2	10.2	9.0	6.5	3.5	1818	1822	1825	0.2	

타났는데, 이는 경량골재의 흡수율이 크기 때문에 나타난 결과로 본다. 그리고, 경량골재 치환율이 적을수록 급격한 슬럼프감소율이 나타났

다. 이는 혼화제로 사용한 고성능감수제의 첨가량에 영향을 받은 것으로 분석된다.

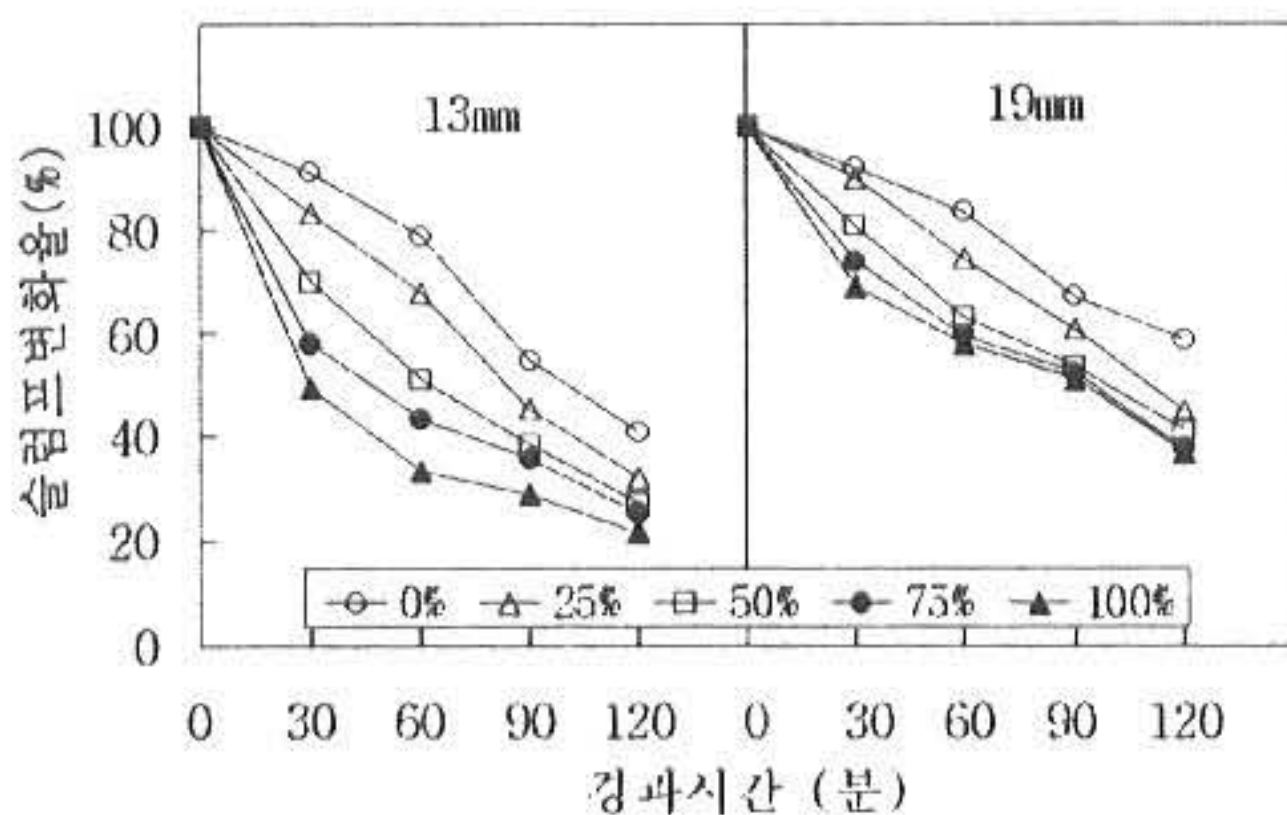


Fig. 2 경시변화에 따른 치환율별 슬럼프변화율

2) 공기량

Fig. 3은 배합직후에 측정된 공기량을 나타낸 것으로 실험결과 공기량이 2.5~4.5%의 범위로 나타났다. 13mm골재를 사용한 배합에서 다소 많은 공기량을 나타내었으며, 경량골재의 치환율이 증가할수록 많은 공기량을 나타내었다. 이는 굵은골재의 최대치수가 작을수록, 경량골재 치환율이 증가할수록 특유의 다공성 구조로 인해 비표면적이 증가하는 것과 골재자체의 공극에 기인한 결과라 생각된다.

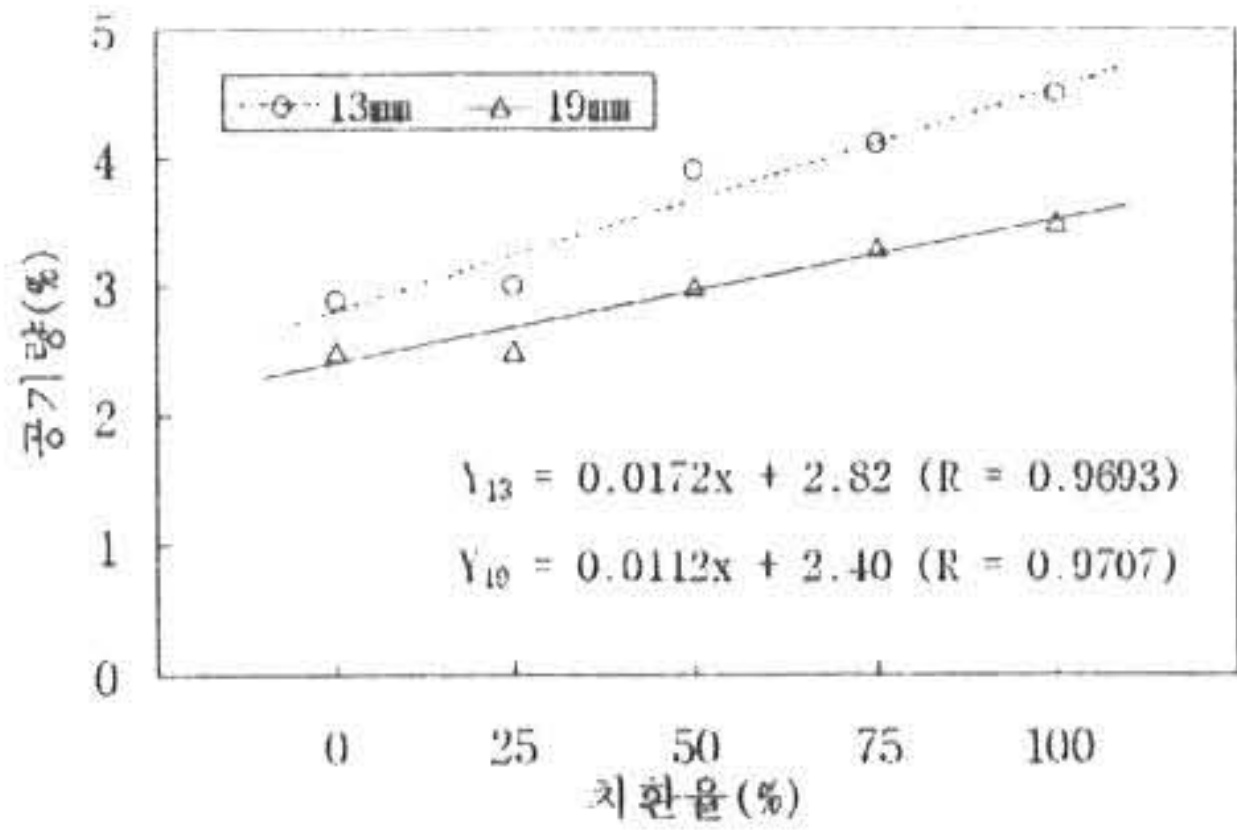


Fig. 3 치환율에 따른 골재크기별 공기량

3) 단위용적중량

Fig. 4는 경량골재 치환율에 따른 단위용적중량의 변화를 나타낸 것이다. 전반적으로 시간이 경과함에 따라 소폭으로 증가하는 경향을 나타내었는데, 이는 시간이 경과함에 따라 공기량이 감소한 결과라 판단된다. 그러나, 골재크기나 치환율을 달리한 경우에도 경시변화에 따른 증가율은 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다. 경량콘크리트는 단위용적중량 2000kg/m³이하인 콘크리트이므로 본 실험에서는 치환율 75%부터 이를 만족하는 것으로 나타났다.

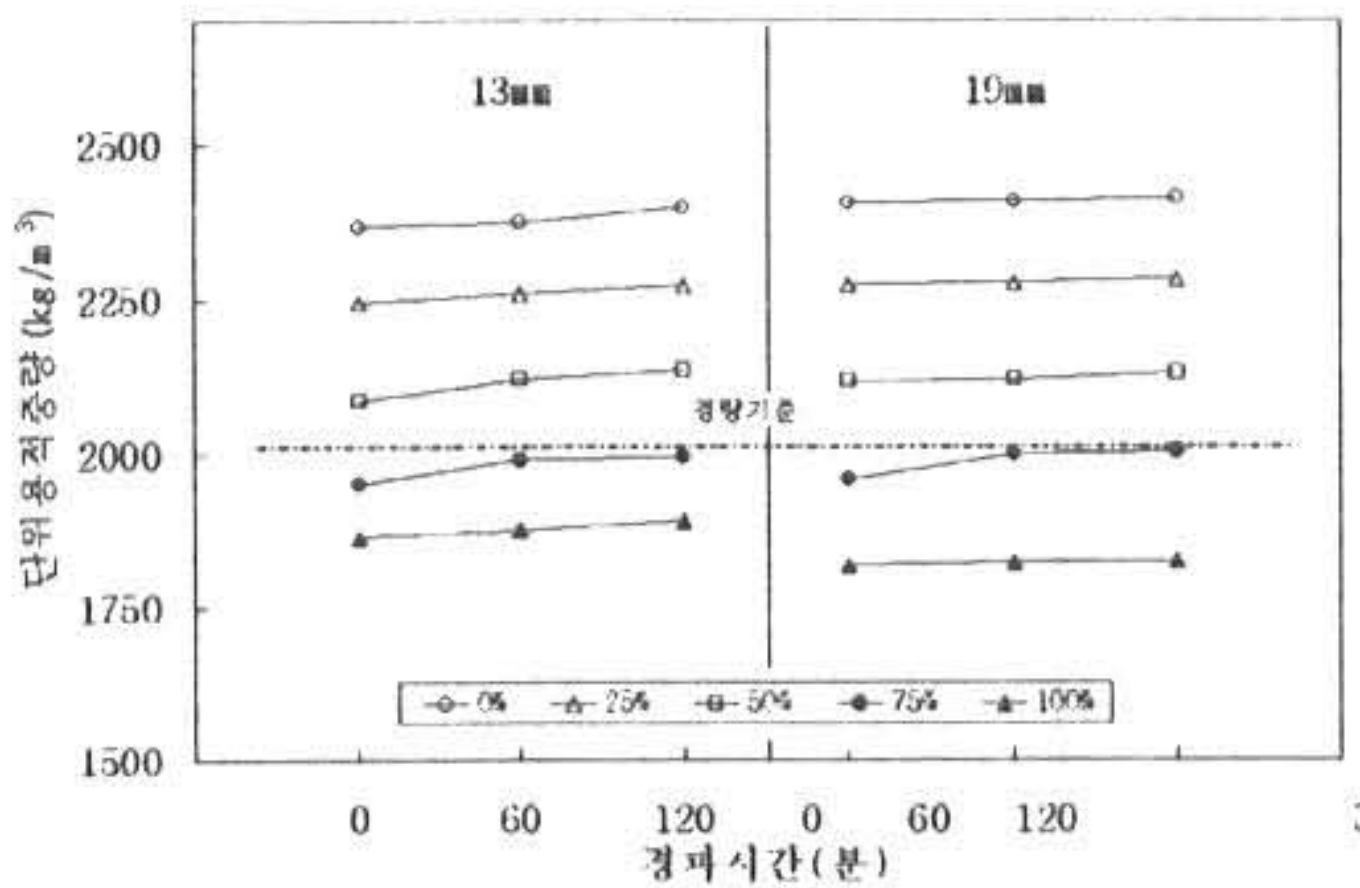


Fig. 4 경시변화에 따른 치환율별 단위용적중량

4) 고성능감수제

경량골재 치환율에 따라 동일 슬럼프치를 확보하기 위한 고성능 감수제의 사용량에 대한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 13mm골재를 사용하였을 경우에 19mm골재를 사용하였을 경우보다 고성능감수제의 사용량이 약간 증가하였다. 이는 13mm골재의 경우 19mm골재보다 비표면적이 크기 때문에 모르타르의 수분을 좀 더 많이 흡착한

결과로 판단된다. 또한, 경량골재 치환율이 증가할수록 고성능감수제의 사용량이 감소하는 결과를 나타내었는데, 이는 경량골재의 입형이 구형에 가깝고 입도가 고르며 표면이 피복처리되어있는 것에 의한 결과로 보이며 공기량의 증가로 인한 영향도 작용한 것으로 판단된다.

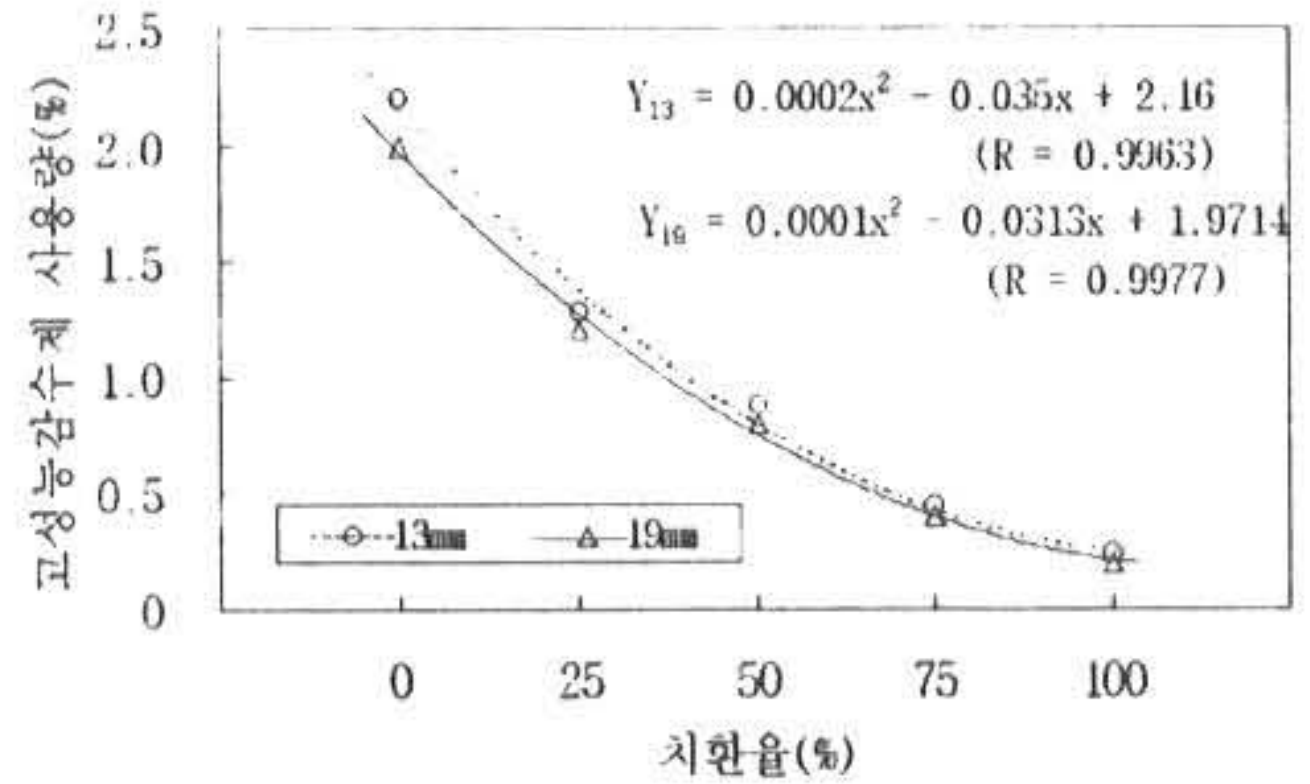


Fig. 5 치환율에 따른 골재크기별 고성능감수제 사용량

3.2 경화콘크리트의 특성

경화콘크리트의 실험요인에 따른 결과를 Table 8에 나타내었다.

1) 압축강도

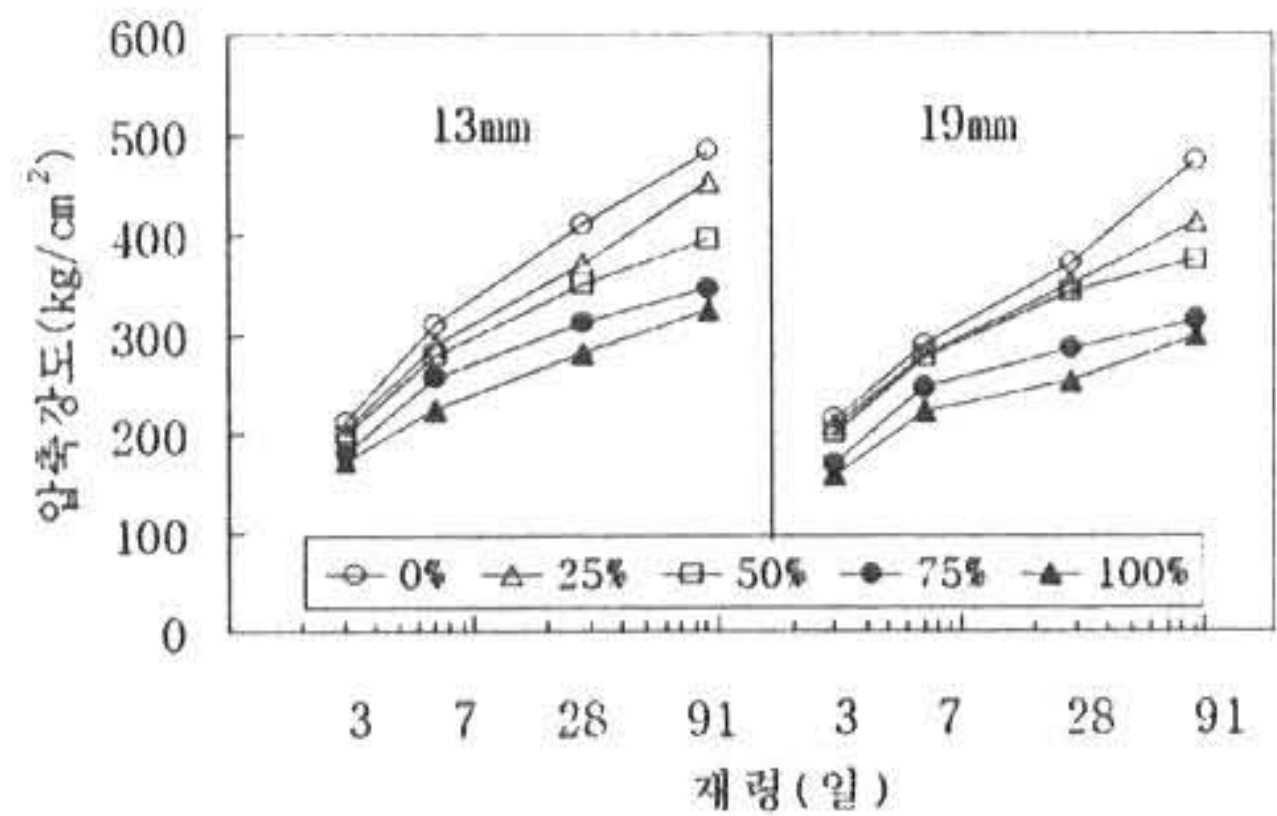


Fig. 6 재령에 따른 치환율별 압축강도

치환율에 따라 압축강도를 측정된 것이 Fig. 6이다. 전반적으로 재령이 증가할수록 13mm골재를 사용한 콘크리트가 19mm골재를 사용한 콘크리트보다 압축강도가 크게 나타났으며, 그 증가율도 조금 큰 경향으로 나타났다. 경량골재의 치환율이 증가할수록 압축강도는 감소하는 경향으로 나타났는데, 치환율 0%인 플레인콘크리

Table 8 경화콘크리트의 실험결과

배합 기호	W/C (%)	굵은 골재 최대 치수 (mm)	경량 골재 치환율 (%)	압축강도 (kgf/cm ²)				탄성계수 (×10 ⁵) (kgf/cm ²)	인장 강도 (kgf/cm ²)	취도 계수
				3일	7일	28일	91일			
13-0	50	13	0	212.3	309.7	410.1	484.2	3.42	37.6	10.9
13-25			25	201.7	290.0	371.2	453.2			
13-50			50	197.2	280.1	352.0	395.4			
13-75			75	178.6	256.4	311.3	347.3			
13-100			100	170.7	223.5	281.5	324.6			
19-0	50	19	0	214.2	290.6	370.6	473.7	3.15	32.1	11.5
19-25			25	207.6	280.5	350.7	413.2			
19-50			50	200.8	276.8	343.4	376.2			
19-75			75	169.6	247.6	285.2	314.2			
19-100			100	157.9	223.1	252.4	298.4			

트와 치환율 100%인 콘크리트를 비교하면 13mm와 19mm골재를 사용한 경우, 각각 재령 3일에서는 41.6, 56.3kgf/cm², 재령 7일에는 86.2, 67.5 kgf/cm², 재령 28일에는 128.6, 118.2kgf/cm², 재령 91일에는 159.9, 175.3 kgf/cm²으로 차이가 나타났다.

2) 탄성계수

Table 8에서 알 수 있는 바와 같이 탄성계수는 13mm골재를 사용한 콘크리트에서는 1.65~3.42×10⁵kgf/cm², 19mm골재를 사용한 콘크리트에서는 1.46~3.15×10⁵kgf/cm²의 범위로 나타났다.

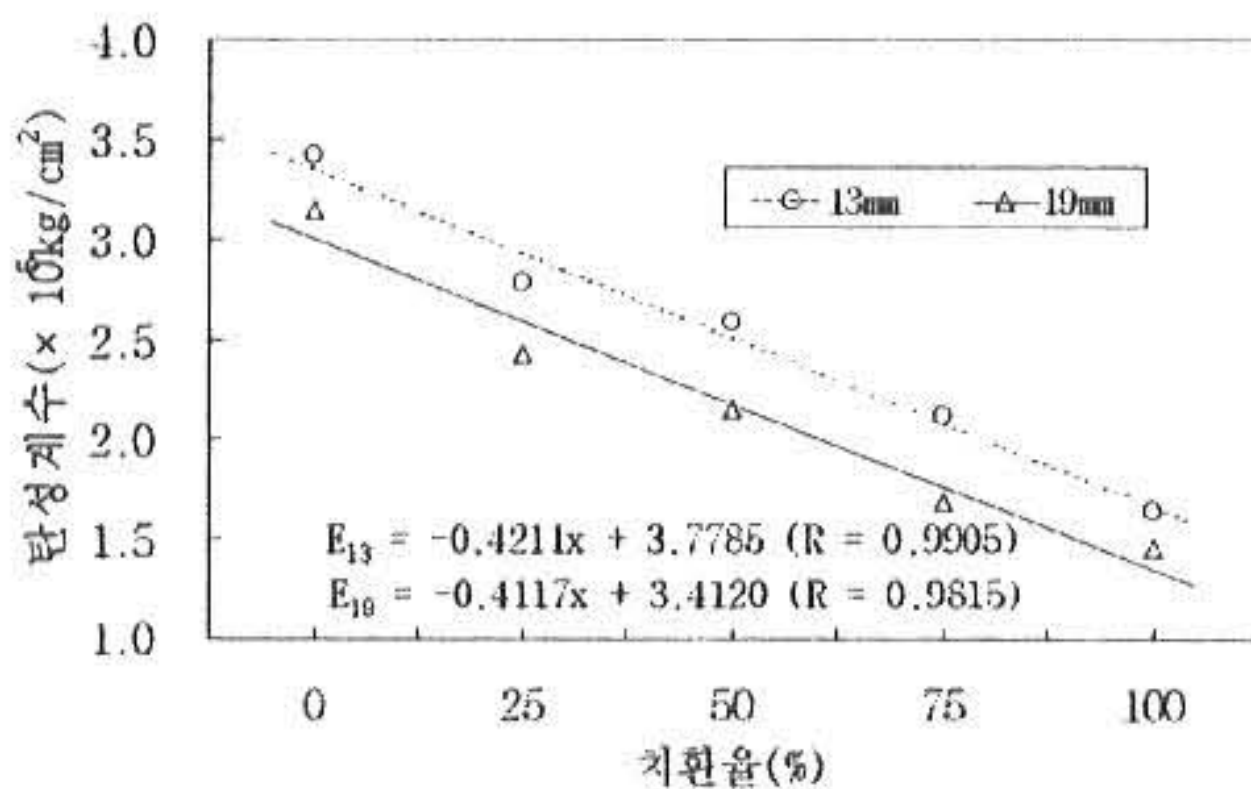


Fig. 7 치환율에 따른 골재크기별 탄성계수

탄성계수는 압축강도와 비슷한 경향을 나타내었는데, 13mm골재를 사용한 콘크리트가 19mm골재를 사용한 콘크리트보다 큰 값을 나타내었고, 경량골재 치환율에 따라서는 치환율이 증가할수록 탄성계수는 감소하였다. 이것은 파괴성향이 골재 자체의 파괴에 의한 것이기 때문에 치

환율이 증가할수록 취성적인 파괴로 인해 탄성계수는 감소하는 것으로 보여진다.

3) 인장강도

Fig. 8은 경량골재 치환율에 따른 재령 28일의 인장강도를 나타낸 것이다. 전반적으로 압축강도와 같은 경향을 나타내었는데, 경량골재 치환율별 인장강도는 13mm골재를 사용한 경우에 19mm골재를 사용한 경우보다 조금 크게 나타났다.

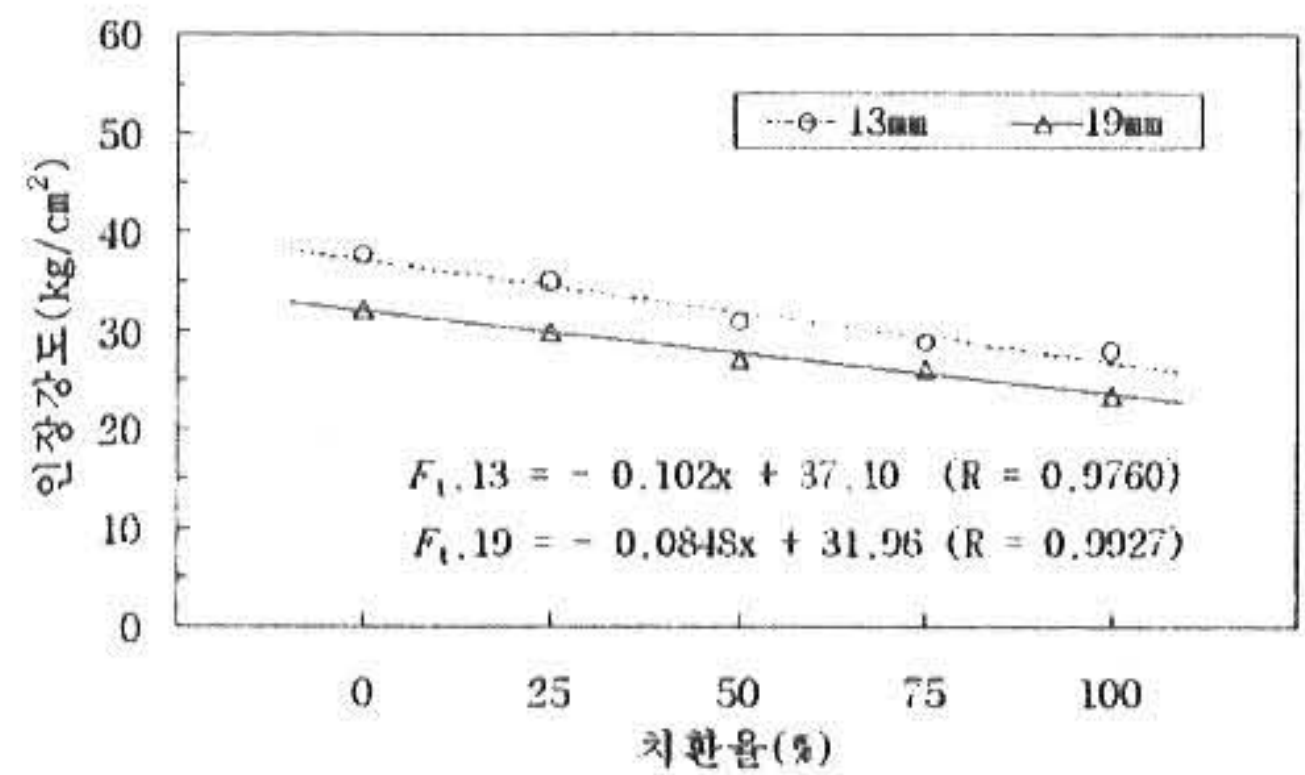


Fig. 8 치환율에 따른 골재크기별 인장강도

또한, 경량골재 치환율이 증가할수록 인장강도는 감소하였는데 100%치환하였을 경우 플레인 콘크리트에 비하여 13mm골재는 74.2%, 19mm골재는 72.9%정도의 발현율을 나타내어, 압축강도와 마찬가지로 치환율의 증가에 따라 인장강도도 감소하였다. 압축강도를 인장강도로 나눈 취도계수는 10.1~12.7의 범위로, 이는 천연 강자갈을 사용한 콘크리트의 범위인 10~13

과 비슷한 값으로 나타났다.

4) 길이변화율

Fig. 9는 치환율별 경량골재 콘크리트의 길이 변화율을 나타낸 것이다. 전반적으로 초기재령에서는 급격한 길이변화율을 나타내었으며 재령이 지날수록 완만한 값을 나타내었다. 골재크기에 따른 길이변화율은 굵은골재의 최대치수가 작은 경우 길이변화율도 작은 것을 알 수 있는데 재령 28일에서 13mm와 19mm골재를 사용한 콘크리트간에 $0.11 \sim 0.331 \times 10^{-3}$ 범위의 차이를 나타내었다. 플레인콘크리트와 경량골재로 100% 치환한 콘크리트와의 차이는 13mm골재를 사용한 콘크리트의 경우 0.763×10^{-3} , 19mm골재를 사용한 콘크리트의 경우는 0.745×10^{-3} 정도의 길이변화율의 감소를 나타내었고 경량골재 치환율이 증가할수록 길이변화율이 작은 값을 나타내었다. 이는 경량골재의 흡수율이 크기 때문에 콘크리트 표면은 건조수축이 빨리 진행되나 내부에 흡수된 수분의 영향으로 건조수축이 어느 정도 억제되어 전체적인 길이변화가 작게 나타난 것으로 판단된다.

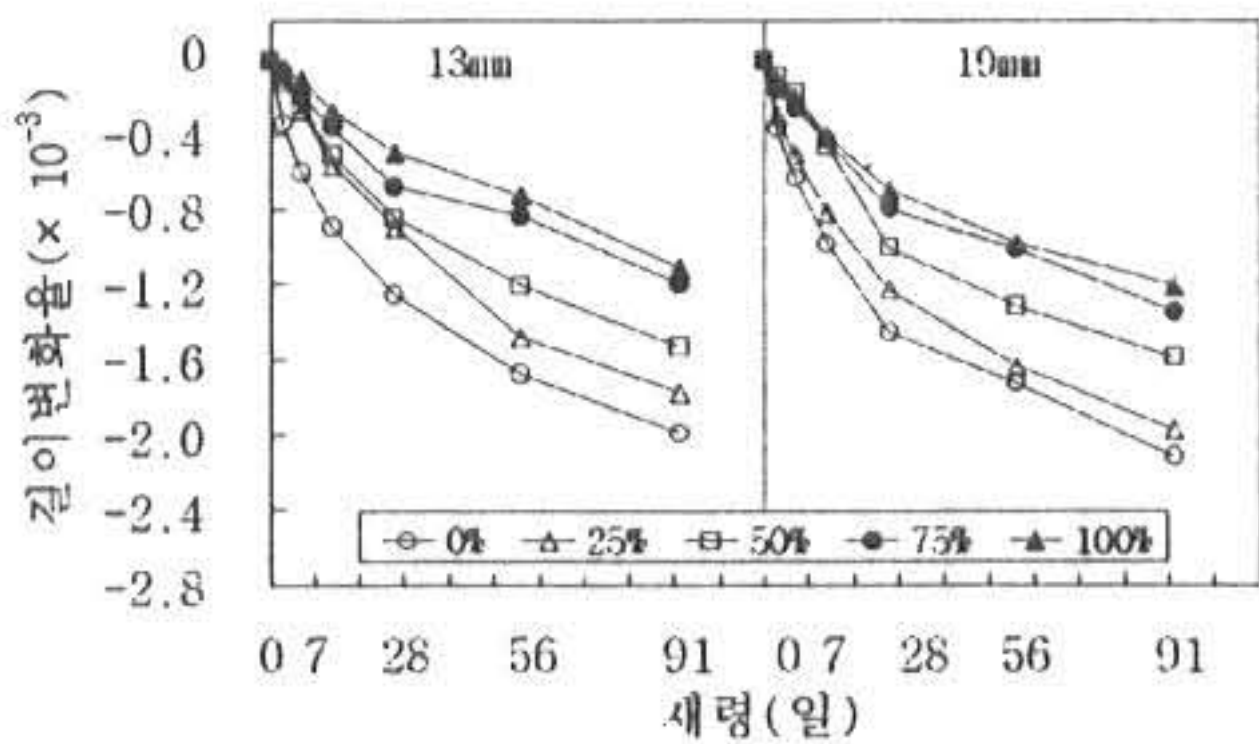


Fig. 9 재령에 따른 치환율별 길이변화율

5) 질량감소율

재령에 따른 질량감소율을 측정된 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 플레인콘크리트의 경우 재령 28일의 측정결과 13mm골재를 사용하였을 때 1.5%, 19mm골재를 사용하였을 때 1.4%의 질량감소율을 나타내었으며, 100% 경량골재로 치환한 경우는 각각 5.3%, 5.0%로 나타났다. 전반적으로 초기재령에서는 급격한 질량감소율을 나타내다가 재령이 경과할수록 질량감소율은 작아지는 경향을 나타내었다. 골재크기에 따른 질량감소율은 13mm골재를 사용한 콘크리트가

19mm골재의 경우보다 조금 큰 경향을 나타내었고, 치환율에 따른 질량감소율은 치환율이 증가할수록 더욱 큰 차이를 나타내었다. 이것은 경량골재의 흡수율이 커서 나타난 결과로 판단된다.

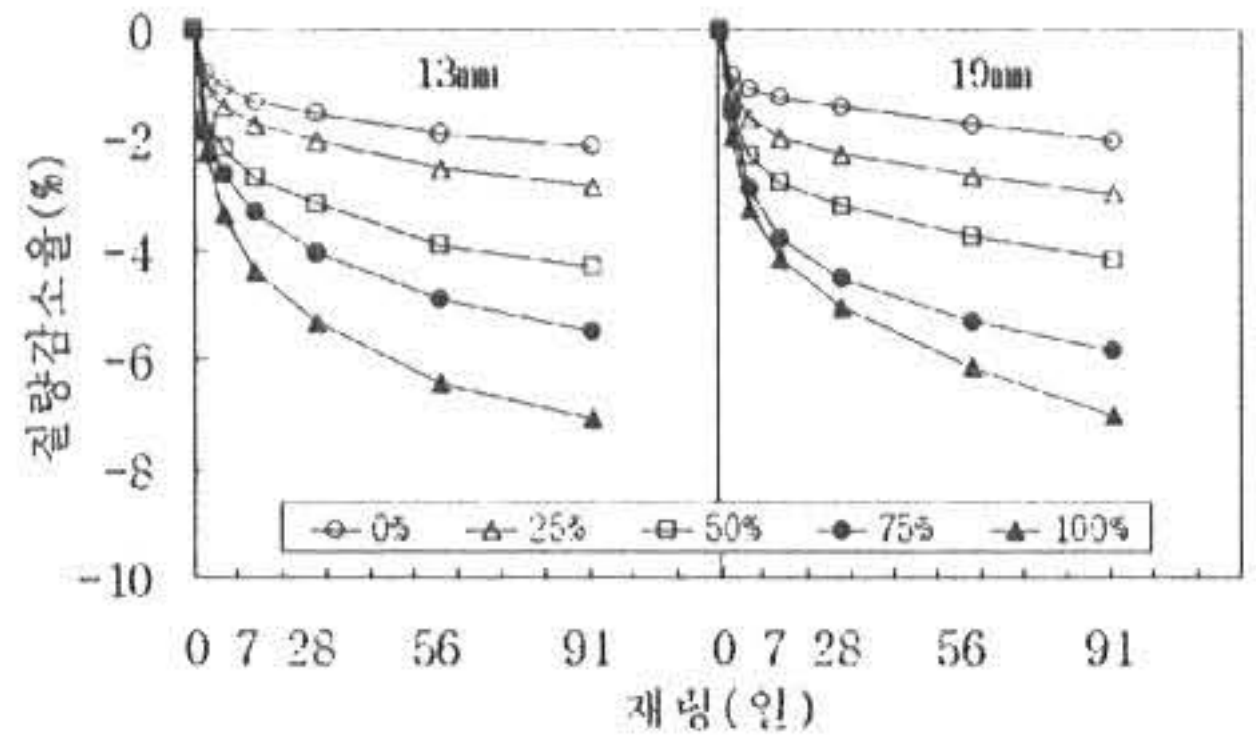


Fig. 10 재령에 따른 치환율별 질량감소율

6) 단위용적중량

재령에 따른 치환율별 단위용적중량을 Fig. 11에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 재령이 경과할수록 단위용적중량은 소폭으로 증가하는 경향을 나타내었다. 13mm와 19mm골재를 사용한 콘크리트에 대해서는 그 증가율의 차이를 거의 보이지 않았으며, 경량골재 치환율에 따라서도 증가율의 변화는 뚜렷한 차이를 보이지 않았다.

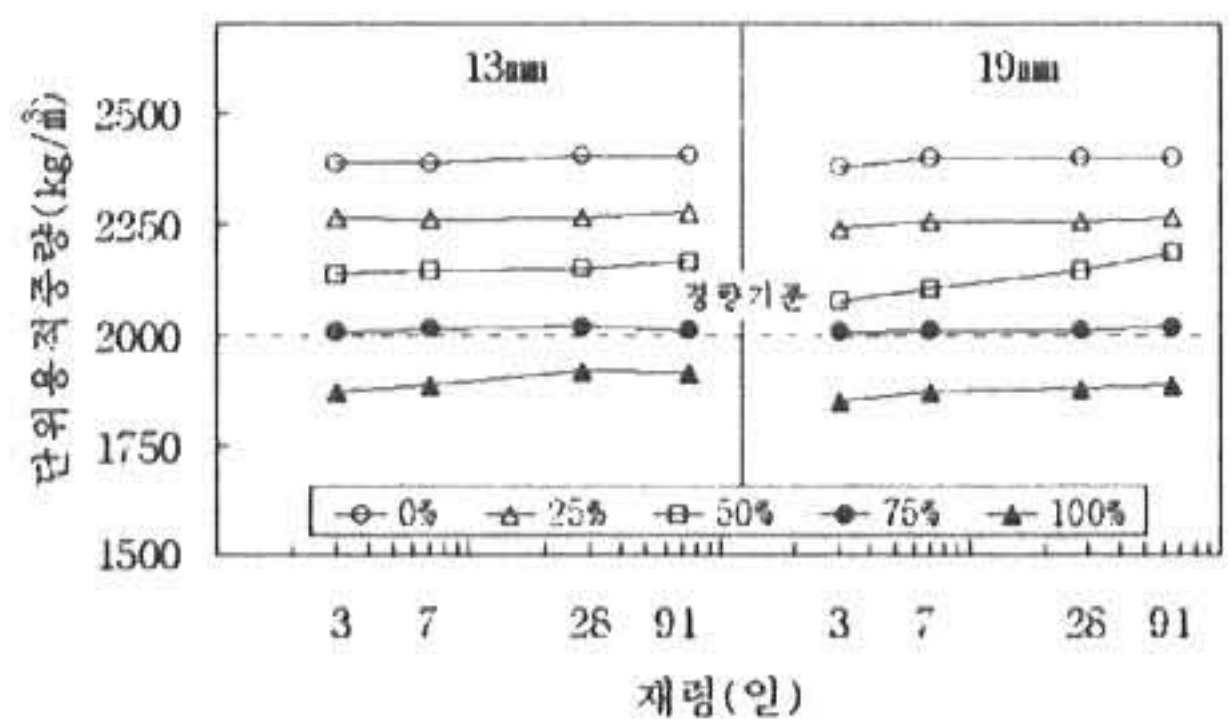


Fig. 11 재령에 따른 치환율별 단위용적중량

플레인콘크리트와 100% 치환한 콘크리트는 골재크기 13mm의 경우 485kg/m^3 , 19mm의 경우 521kg/m^3 의 차이를 보이고 있으나, 치환율에 따른 굵은골재별 단위용적중량의 차이는 거의 나타나지 않았다. 또한 본 실험에서는 표면건조내부포수상태로 실험을 행하였는데 기건상태의 단위용적중량을 질량감소율에 따라 추정된 결과 재령 28일, 13mm 및 19mm골재의 경우, 치환율 75%에서 1938, 1922 kg/m^3 , 치환율 100%에서 1816,

1784kg/m³의 값을 나타내었다. 따라서, 기건비중 2,000kg/m³이하를 경량콘크리트라고 할 때, 치환율 75%부터 이를 만족하는 것으로 나타났다.

7) 흡수율

Fig. 12에서 보는 바와 같이 13mm골재를 사용한 콘크리트와 19mm골재를 사용한 콘크리트의 골재크기에 따른 뚜렷한 흡수율의 차이는 나타나지 않았다. 이는 골재의 성분 및 성상이 같은 종류의 골재이기 때문이라고 생각된다. 그러나, 경량골재 치환율이 증가할수록 흡수율은 크게 증가하였다.

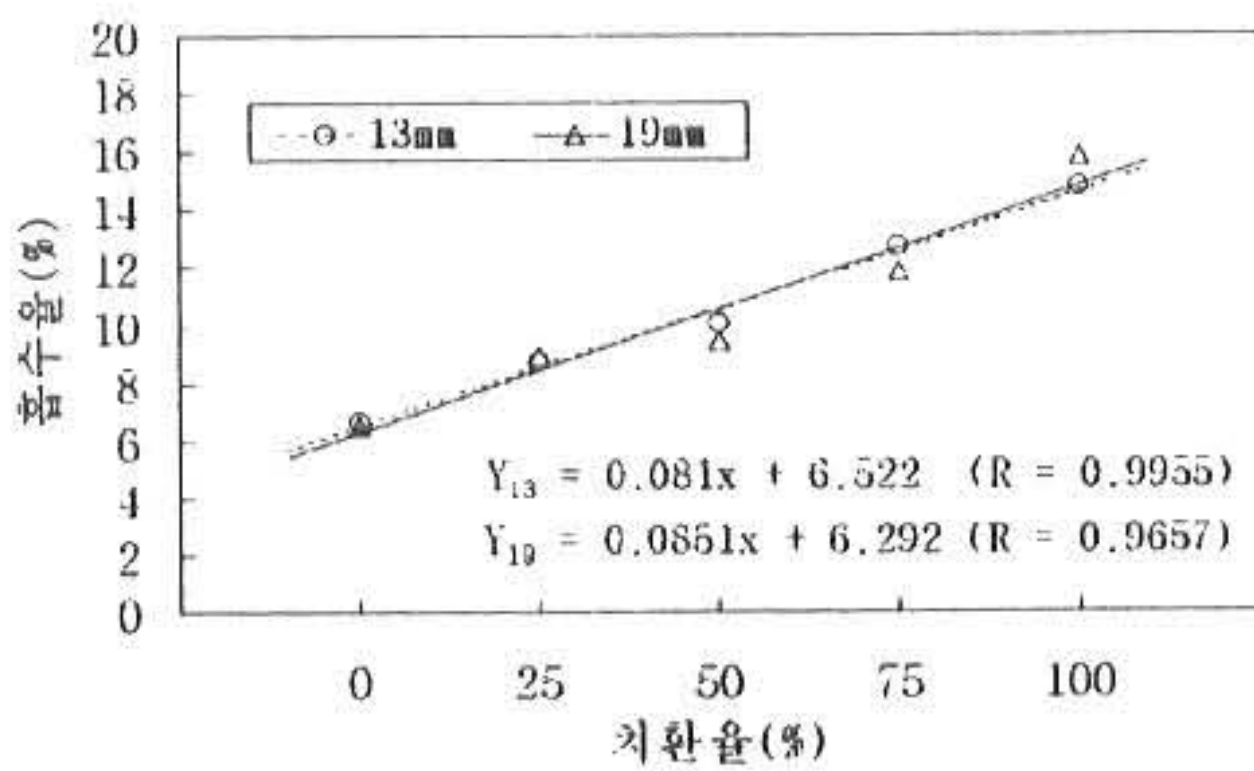


Fig. 12 치환율에 따른 골재크기별 흡수율

4. 결론

본 연구는 팽창점토를 굵은골재로 사용한 물시멘트비 50%, 치환율 5종의 경량콘크리트에 대한 아직 굳지않은 상태 및 경화상태의 제성질을 비교·검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 경량골재의 크기가 작을수록, 치환율이 증가할수록 슬럼프손실 및 공기량은 증가하였다.
2. 경량골재 치환율이 증가할수록 아직 굳지않은 콘크리트의 단위용적중량 및 고성능감수제의 사용량은 감소하였다.
3. 압축강도는 경량골재 치환율이 증가할수록 감소하였으나 재령 28일 강도가 13, 19mm 골재별 치환율 75%에서 311.3, 285.2kgf/cm², 그리고 치환율 100%에서 281.5, 252.4kgf/cm²으로 나타나 구조용콘크리트로 충분히 사용 가능성을 보여주었다.
4. 탄성계수는 13mm와 19mm골재를 사용하고 치환율 25~100%인 콘크리트에서 각각 2.13~3.42×10⁵kgf/cm², 1.69~3.15×10⁵kgf/cm²의 범

위로 나타났고, 탄성계수 및 인장강도는 치환율이 증가할수록 감소하였으나 압축강도에 비례하여 변화하는 경향을 나타내었다.

5. 길이변화율은 경량골재의 크기가 커질수록 큰 경향을 보였고, 치환율이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났으며, 초기재령에서 급격히 감소하고 재령이 경과할수록 감소율은 낮아지는 것으로 나타났다.
6. 질량감소율은 경량골재 치환율이 증가할수록 증대되었고, 초기재령에서 급격한 감소율을 나타내었으며, 재령이 경과할수록 완만한 감소율을 나타내었다.
7. 경량골재 콘크리트의 단위용적중량은 치환율이 증가할수록 감소하였고, 치환율 75% 이상에서 단위용적중량이 2,000kg/m³ 이하인 경량콘크리트 제조가 가능하였다.

본 논문은 2002학년도
대구대학교 학술연구비 지원에 의한 논문임.

참고문헌

- 1) 민정기, “인공경량골재 콘크리트의 물리·역학적 성상”, 충남대학교 대학원 박사학위 청구논문, (1996)
- 2) 김태섭, “제올라이트를 사용한 고강도 경량콘크리트에 관한 실험적 연구”, 한양대학교 대학원 박사학위 청구논문, (1993)
- 3) 서치호, “輕量 콘크리트의 性狀에 관한 實驗的 研究”, 한양대학교 대학원 박사학위 청구논문, (1985)
- 4) 上村克郎, “輕量コンクリート”, 日本コンクリート工學協會, Vol. 13, No. 5, 1-11, 1975.
- 5) 日本コンクリート會議, “輕量コンクリート工學”, 第 13卷 5號, 1-85, (1975)
- 6) 西岡思郎, “人工輕量骨材の使用の吸水量に關する考察”, 日本建築學會大會學術講演梗概集(近畿), 昭和 46年 11月.
- 7) 笠井芳夫, 池田尚治, “コンクリートの實驗方法(上·下)”, 株式會社技術書院, (1993)

(2002년 5월 15일 접수, 2002년 8월 20일 채택)