

고강도 경량콘크리트의 제조와 시공(I)

徐 致 煥* 柳 澤 東**

〈* 建國大學校 建築工學科 教授, ** 建國大學校 建築工學科 博士課程〉

目 次

1. 서 론	(5) 골재의 흡수량 관리
2. 고강도 경량콘크리트용 골재	3. 고강도 경량콘크리트의 배합
2. 1 정 의	3. 1 배합조건의 설정
2. 2 원석의 성분	(1) 단위용적중량
2. 3 경량골재의 종류	(2) 콘시스턴시
2. 4 경량골재의 제조	(3) 공기량
2. 5 경량골재의 성질	3. 2 배합강도 결정법
(1) 입도 및 최대치수	(1) 단위용적중량의 결정
(2) 단위용적중량	(2) 물시멘트비 결정
(3) 비 중	(3) 단위시멘트량 결정
(4) 흡수율	(4) 단위수량 결정
(5) 유해물 함유량	(5) 굵은골재량 결정
(6) 내구성	(6) 잔골재량 결정
2. 6 골재의 품질관리	(7) 잔골재율의 결정
(1) 골재의 흡수 및 압력흡수	3. 3 물시멘트비
(2) 흡수처리법	3. 4 단위시멘트량
(3) 흡수량의 측정	3. 5 잔골재율 및 단위수량
(4) 골재의 입도분포	3. 6 공기량

1. 서 론

최근 급속한 경제성장과 건축기술의 발달 등으로 콘크리트 구조물이 대형화·고층화 되어

감에 따라 콘크리트가 갖고 있는 결함들을 개선함과 동시에 콘크리트의 성능개선에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

특히 콘크리트의 결점을 개선시키는 측면에서 비교적 큰 단위용적중량을 줄여 특수한 용

도로 활용하기 위하여 제조된 콘크리트가 경량 콘크리트이며, 우리나라에서는 대한건축학회가 제정한 건축공사표준시방서 5. 1. 2에서 콘크리트의 중량경감을 목적으로 만든 기건비중 2.0이하인 콘크리트를 경량콘크리트로 정의하고 있다.

이러한 경량골재콘크리트에 대한 연구가 선진각국에서는 이미 19세기 말부터 시작되어 상당한 수준의 성과가 있으며, 비구조용뿐만 아니라 구조용으로 폭넓게 활용되고 있으나 국내에서는 대체적으로 구조용 경량골재의 부족, 경량콘크리트의 배합설계 미숙, 경량콘크리트의 인식 부족 등으로 단열이나 방음 정도의 요구성능이 충족된 단지 콘크리트의 중량을 줄인 비구조용 경량콘크리트가 제조, 생산되어 활용되었으나, 적절한 혼화제의 사용, 경량콘크리트의 특성 연구, 새로운 구조용 경량골재의 등장으로 구조용 재료로써 경량골재콘크리트의 사용이 건축생산에 적용되어질 가능성이 크다.

경량골재에 대한 연구와 개발과정을 살펴보면 미국에서는 1917년 Stephen, J. Hayde가 Rotary Kiln으로 혈암과 점토를 열팽창시켜 단단하고 가벼운 재료를 만드는데 성공하였으며, 같은 시기에 F. J. Straud는 벽돌용 콘크리트의 생산에 유연탄재의 사용법을 개발하였다.

제1차 세계대전 당시에는 The Emergency Fleet Building Corp에 의해 바지선 제작에 팽창혈암을 이용하여 배합설계강도 $350\text{kg}/\text{cm}^2$, 단위용적중량 $1,760\text{kg}/\text{m}^3$ 을 목표로 한 최초의 구조용 콘크리트가 사용되었으며, 그 후 효과를 인정받아 건축구조물, 교량상판, 프리캐스트 구조물 등에 본격적으로 적용되기 시작하여 시카고의 42층짜리 Prudent Life Building과 달라스의 12층짜리 Statler Hilton Hotel 등이 경량콘크리트로써 건축되었다.

영국에서는 1930년에는 경석과 고로 슬래그를 이용한 골재 제조법을 개발하기 시작하여 최근에는 P. S. 콘크리트 구조물에 까지 사용하고 있다.

독일에서는 19세기말에 천연경석을 이용한 것이 최초이고 1919년 Heinrich Pferdmen-gesm에 의해 10여종에 달하는 경량골재가 개발되었으며, 1965년 팽창혈암과 점토를 사용한 인공경량골재가 제조되었다.

1966년 초기에는 P. S. 콘크리트 구조물에 이용하였고 1967년에는 P. S. 교량, Rahmen 구조물 등에 계속 시도되었다.

경량골재 콘크리트에 대한 표준시방과 규준도 최근 정비되어 고강도 콘크리트공법의 방향으로 돌입하고 있는 상태이다.

일본에서는 1964년 미국과 기술제휴하여 골재소성용의 회전로를 설치하고 팽창혈암을 원료로 한 구조용 경량골재인 “메사라이트”와 팽창점토를 원료로 한 “케리브리지트”, “지오라이트” 등을 생산하여 각종 구조물에 이용하고 있다.

우리나라에서는 세계각국의 인공경량골재에 관한 개발의 급진전에도 불구하고 천연골재의 풍부한 여건으로 말미암아 거의 이 방면에 소홀히 하여 오다가 최근 급격한 건설공사의 팽창으로 인한 골재 수요량의 급증과 이에 따른 천연골재의 고갈현상으로 인하여 수년전 부터 이 방면에 눈을 돌리게 되므로써 현재는 수종의 인공경량골재가 소개되고 있다.

1966년 팽창혈암 소성골재가 개발되었으며 내륙점토에 매용제를 첨가하여 조립소성하여 소결시킨 불팽창성 점토소성골재가 개발되었다.

1977년에는 직경 4~16mm 정도의 구형발포 플라스틱 표면에 강력접착제를 도포한 후 시멘트 몰탈을 피복시켜 양생시킨 골재를 개발하여 현재 각종 구조물에 이용하고 있으며, 1989년에는 팽창점토 소성 경량골재가 생산되기 시작하여 이를 사용한 경량콘크리트에 대한 성능시험과 활용을 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

최근에 이르러 결합재의 공극감소에 의한 강도 개선과 결합재 자체의 품질 개선, 시멘트 이외의 결합재 이용에 의한 강도 개선 및 구조

용 경량골재의 사용과 골재와 결합재와의 부착 강도 개선 등으로 고강도 경량콘크리트의 제조가 가능하게 되었으며, 이의 실용화를 위한 연구가 계속적으로 진행되고 있다.

절건비중이 1.8미만, 굵은골재의 경우 절건비중이 1.5미만의 것으로 되어있고 JIS A 5002 (구조용 경량콘크리트 골재)에 규정된 것에는 다음 4종류가 있다.

2. 고강도 경량콘크리트용 골재

2. 1. 정 의

팽창성 혈암, 팽창성 점토, 플라이애쉬 등을 원료로 하여 이를 인공적으로 약 1,000 ~ 1,200℃의 고온에서 소성하여 얻은 구조용 경량콘크리트 골재(잔골재, 굵은골재)를 말한다.

골재의 내부에 공극을 보유하고 표면에는 밀실한 유리질로 된 골재로서 잔골재의 경우는

- 인공경량 잔골재 MA-3-17
- 인공경량 잔골재 MA-4-17
- 인공경량 굵은골재 MA-3-17
- 인공경량 굵은골재 MA-4-17

표 2. 1 경량골재 원석의 화학성분

(중량백분율)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O ₃
52.0	12.0	0.3	1.0	0.5	0.2	1.5	1.0
~72.0	~20.0	~6.0	~5.0	~10.0	~3.0	~3.5	~2.0

표 2. 2 경량골재의 종류

분류	종 류	주요 원료	제 법	형 상	골재의 범위	
구	인공경량골재	비구조용	팽창혈암, 팽창점토	분쇄-소성-분류	하천모래형	굵은골재, 잔골재
		조립형	팽창혈암, 팽창점토	미분쇄-조립-건조-소성-분류	구형	굵은골재
		성형형	팽창혈암, 팽창점토	분쇄-성형-건조-소성-분류	고치형	잔골재
		파쇄형	팽창혈암, 팽창점토	분쇄-소결-분쇄-분류	쇄석형	굵은골재, 잔골재
조	부산경량골재	소성플라이애쉬	플라이애쉬 점토	분쇄-조립-건조-소성-분류	구형	굵은골재
		팽창슬래그	제철 슬래그	수쇄-폭기팽창-분류	쇄석형	굵은골재
		팽창석탄	석탄, 팽창점토	분쇄-조립-건조-소성-분류	구형	굵은골재
		가공석탄재	석탄재	분류-시멘트페이스트피복가공	쇄석형	굵은골재
천연경량골재	화산력	화산력	굴삭-분쇄-분류	쇄석형	굵은골재	
	가공화산력	화산력	화산력-시멘트페이스트피복가공	쇄석형	굵은골재	
비구조용	팽창 진주암	진주암	분쇄-소성-분류	하천모래형	잔골재	
	팽창 질석	질 석	분쇄-소성-분류	쇄사형	잔골재, 굵은골재	
	팽창 규조토	규조토	분쇄-조립-건조-소성-분류	구형	굵은골재	
	팽창 흑요석	흑요석	분쇄-소성-분류	쇄사형	잔골재, 굵은골재	
	발포 합성수지	합성수지	폴리스틸렌을 증기팽창 제조	구형	잔골재	
	미네랄 울	슬래그울, 합성수지	합성수지로 등글게 제조			
	석탄재	석탄재	분류-수쇄			
	화산사	화산계	채굴-수쇄-분류	쇄사형	굵은골재	
갱화석	갱화석	채굴-가공성형	볼록형			

M은 절건비중이 잔골재로서 1.3이상 1.8미만, 굵은골재로서 1.0이상 1.5미만을 말하며, A는 실적율이 잔골재로서 50%이상, 조골재로서 60%이상을 말한다. 3은 콘크리트의 압축강도가 300kg/cm²이상 400kg/cm²미만, 4는 400kg/cm²이상의 콘크리트를 사용한 것을 가리키고, 17은 콘크리트의 단위용적중량이 1.6 t/m³ ~ 1.8 t/m³이 되는 것을 말하고 있다.

국내에는 KS F 2534에서 콘크리트의 경량성과 압축강도를 고려하여 구조용 경량콘크리트 골재에 대하여 규정하고 있다.

2. 2 원석의 성분

경량골재의 원료가 팽창성혈암이 주체인 경우 원석의 성분은 표 2.1에 나타낸것과 같다.

2. 3 경량골재의 종류

경량골재의 종류에는 여러가지가 있으나 그 용도에 따라 구조용과 비구조용(단열, 방음이 목적)으로 분류할 수 있으며, 생산과정에 의해서는 인공 경량골재, 제철소 등에서 산출되는 부산 경량골재, 그리고 천연 경량골재 등으로 분류할 수 있다.

2. 4 경량골재의 제조

경량골재는 일반적으로 천연경량골재와 인공경량골재로 분류하며, 천연 경량골재의 생산방식은 우선 표토를 제거하고 퇴적층을 채굴해 생산하지만 채취한 원석은 일반적으로 체를 통과시켜 크기별로 저장한다.

천연 경량골재의 개량방법은 그림 2. 1과 같이 원석을 체가름한 다음 피복기에 넣어서 그 표면에 적당한 두께의 특수 혼합물질의 피복을 만드는 것이다.

피복기는 회전드럼형으로 내부에 분산장치 및 분무장치가 각각 2개씩 구성되어 있으며 미리 습윤상태로 된 골재는 피복기 안에서 분산-분무-분산-분무의 공정을 거쳐서 표면에 피복이 만들어 지고 드럼내를 굴러가는 사

이 피복이 압착된다.

피복골재에 부착된 여분의 피복재는 피복기의 출구에 설치된 스크린에 의하여 털려 떨어진 다음 양생실로 보내어 진다.

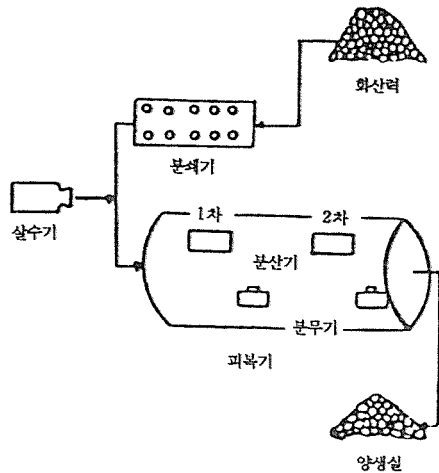


그림 2. 1 천연 경량골재의 개량과정

인공경량골재의 소성에는 일반적으로 회전로가 사용되며 제조된 인공경량골재는 비조립형, 조립형과 분쇄형으로 나누어 지며, 그림 2. 2는 회전로에 의한 인공경량골재 소성의 제조공정을 나타낸 것이다.

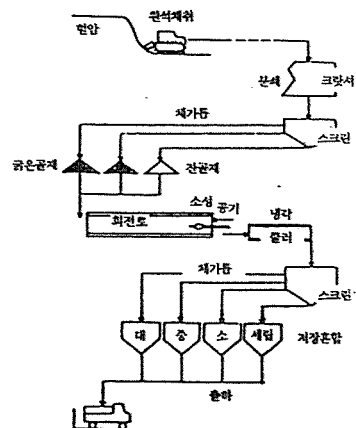


그림 2. 2 인공경량골재의 제조과정 (회전로에 의한 방법)

2. 5 경량골재의 성질

경량골재를 사용한 경량콘크리트에 대하여는 대한건축학회에서 제정한 건축공사표준시방서 5. 1. 2에서 콘크리트 중량 경감의 목적으로 만든 기건비중 2.0이하인 콘크리트의 총칭이라 정의하고 있다.

(1) 입도와 최대골재 치수

경량콘크리트의 강도구성과 그 시공연도의 적합성을 위하여 각국에서는 굵은 골재의 최대 치수를 25mm로 제한하고 있다. 그리고 미세립 잔골재의 증가는 콘크리트의 단위수량을 증가시키는 원인이 되고, 또한 미세립량의 변동은 콘크리트의 반죽질기와 공기량에 현저한 영향을 미치고 콘크리트의 품질관리를 곤란하게 한다.

따라서 배합 중 허용되는 경량잔골재조립율의 변화는 $\pm 0.15\%$ 정도 이하는 하는 것이 바람직하며, ASTM C 330에서는 「경량 잔골재의 조립율이 7% 이상 틀리는 경우에는 소요 품질의 콘크리트가 만들어지는 것이 확인되지 않으므로 새로운 배합설계를 하여야 한다」고 규정되어 있다. 또한 골재입도의 크기에 따라 골재비중이 변화하며, 일반적으로 골재의 입경이 클수록 비중이 작아지는 경향을 나타내고 있다.

(2) 단위용적중량

인공경량골재의 단위용적중량은 골재의 겉보기비중, 형상 및 입자의 조성, 함수율, 계량방법 등에 따라 달라지며 동일한 등급과 입자의 형태에서 골재의 단위용적중량은 비중에 비례한다. 그러나 동일한 비중이라도 단위용적중량이 다르게 나타나는 것은 서로의 공극율이 다르기 때문이다. 즉 그 입형이 구형일수록 무겁고, 부정형 또는 모가나 있을수록 가볍다. RILEM은 경량골재의 단위용적중량을 굵은골재는 0.98 t/m^3 이하 잔골재는 1.2 t/m^3 로 정의하고 있다.

(3) 비 중

경량골재는 특유의 다공성 내부구조로 인해 보통골재에 비해 비중이 낮다. 이러한 비중은 골재의 입경에 따라 변하는데 골재의 입경이 클수록 작아지는 경향이 있다.

또한 골재의 비중은 생산되는 경량콘크리트의 중량에 직접 영향이 있으므로 적절한 경량 콘크리트를 만들려면 골재의 비중을 적당한 값 이하로 하지 않으면 안된다. 그러나 인공경량 골재의 비중은 작을수록 좋은 것만은 아니며, 비중이 지나치게 작으면 일반적으로 골재의 강도가 약하고 콘크리트의 강도, 강성, 내구성도 저하하는 경향을 나타내며 재료분리 및 Bleeding 현상이 생겨 콘크리트의 균질성을 잃어 버리기 쉽다.

(4) 흡수율

24시간 침수시험에 의하면 인공경량골재는 기건상태 골재중량의 5~20% 정도를 흡수하는 반면 보통골재는 2% 이하를 흡수한다. 그러나 야적상태시의 흡수량은 경량골재가 3~13%, 보통골재가 5~10% 혹은 그 이상이다. 이와 같이 경량골재와 보통골재의 24시간 침수시험과 야적상태시의 흡수량 결과가 서로 반대로 나타나는 것은 경량골재의 수분은 골재내부로 흡수되지만 보통골재는 유동수량의 대부분이 골재표면에 있기 때문이다. 이러한 차이점은 배합의 설계단계에서 부터 관리에 이르기 까지 전과정에 걸쳐 유의해야 한다.

또한 사전 흡수된 경량골재의 잔존수량에 대하여 小阪義夫는 재령이 6년 경과한 경량콘크리트내의 경량골재에 수분이 잔존하고 있다고 밝혔으며, 이는 자연건조에 의해 증발된 수량 이외의 수량을 나타내며, 이는 사용하는 골재, 시험체의 크기, 비중변화 상황에 따라 크게 달라진다. 따라서 西岡思郎은 콘크리트 비빔중에 생기는 골재의 수분이동에 대한 실험결과로 보통포틀랜드 시멘트를 사용할 경우 최적경량골재 흡수량을 18%, 조강포틀랜드 시멘트를 사용할 경우 약 10%로 하여야 된다고 보고하고

있으며 초고강도 경량콘크리트를 만들기 위하여 높고 빠른 흡수력을 지닌 인공경량골재에 대하여 특별한 제조과정이나 피복에 의하여 흡수율의 저하방안이 강구되어야 한다.

(5) 유해물 함유량

경량골재의 유기불순물 시험은 KS F 2510 (콘크리트용 모래에 포함되어 있는 유기불순물 시험방법)에 따르며, 유해물 함유량의 한도를 나타내면 표 2. 3과 같다.

표 2. 3 유해물 함유량의 한도

(중량백분율)

종 류	최 대 치	품 질
강 열 감 량	1.0	0.3이하
무 수 유 산 (SiO ₂)	0.5	0.5이하
염 화 물 (NaCl)	0.01	흔 적
유기불순물	표준색보다 진 하지 않은 것	—
점 토	1.0	0.5이하
조골재중의 부 립 율	10.0	10.0이하

(6) 내구성

① 안전성

골재의 안전성은 화학적 안전성과 물리적 안전성으로 분류하여 생각할 수 있다. 화학적 안전성은 경량골재의 제조과정이 1,200°C에 가까운 고온에서 소성하기 때문에 자연조건에서 화학적용에 대하여는 거의 영향을 받지 않는다고 생각할 수 있다. 또 물리적 안전성은 동결융해 작용에 대한 저항성의 지표까지 고려할 경우 시험방법으로써 JIS A 1122(유산나트륨에 의한 골재의 안전성 시험)이 있다. 경량콘크리트에 있어서는 JIS A 1122의 시험결과와 실제의 동결융해에 대한 저항성과의 사이에 관련이 인정되지 않기 때문에 다른 방법에 의한

이 바람직하다. 따라서 동결융해작용에 대한 저항성이 필요한 장소에 경량골재를 사용한 경우는 신뢰할 수 있는 자료에 의하며, 시험방법으로써 ASTM C 6667(A 또는 B법)에 의해 확인할 필요가 있다. 동결융해의 염려가 있는 경우에는 골재의 흡수율을 5%이하로 버킷타설하고 굵은 골재의 일부에 보통골재를 사용하면 내동결융해성이 좋게 된다.

경량골재의 종류로서는 조립형 경량골재가 비조립형에 비하여 약간 내동결융해성에 유리하다.

② 내마모성

경량골재는 보통골재에 비하여 내마모성이 떨어진다고 생각하고 있지만 콘크리트 중의 골재 상호간의 마모는 재료의 반죽혼합시험의 결과로부터 인정할 수 없다.

2. 5 골재의 품질관리

(1) 골재의 흡수와 압력흡수

경량골재의 사용시 흡수율은 일반 펌프시공의 경우 굵은골재 25% 이상, 잔골재 16% 이상으로 하는 것이 필요하며, 골재의 포화도는 콘크리트의 펌프압송성에 영향을 미친다. 골재의 흡수포화도 정도는 펌프압송에 있어서 콘크리트의 제성질(콘시스턴시, 단위용적중량 등)의 변화를 좌우, 콘크리트의 품질관리상 중요한 요소가 된다.

골재의 흡수포화도가 큰 것은 펌프압송시의 콘크리트의 물리적 성질의 변화가 적게 되고, 펌프압송으로 하는 콘크리트 타설 경우에 유리하다.

통상 최대흡수율은 잔골재 20%, 굵은골재 35%로 한다. 경량골재의 소요흡수율은 각 제조회사의 제조공장에 의해 확보하는 것이 필요하고, 소정의 품질증명서에 명시하고 레미콘공장에서 제품과 함께 송부하며, 그 기재사항을 확인하는 것이 필요하다. 또 레미콘공장에서의 경량골재의 흡수율은 골재의 방책안에 저장하는 경우에는 제조공장 출하시의 흡수율을 확보할 수 있는 저장설비로 스프링쿨러 등의 물을

분사하는 설비를 필요로 한다.

(2) 흡수처리법

경량골재는 대기압하에서 흡수가 거의 이루어지지 않고 제조공장에서의 급속처리에 의해서 흡수하는 실정이다. 이 흡수처리법으로는 진공처리방법과 열간처리방법의 두가지 방법이 있다. 일반적으로 이루어지고 있는 방법은 거의 대부분이 열간처리방법이다.

열간처리방법은 골재 소성 후 창고처리도중에 골재온도가 200~300℃의 상태에서 물을 분무하여 골재냉각시킨 것에서 골재내부에 흡수시키는 방법이다.

열간처리흡수방법에 의한 흡수율을 그림 2. 3에 나타내었으며, 그림 2. 4에는 동일한 골재를 이용한 수중흡수시험의 결과를 나타내었다. 이 그림에 따르면 골재저장시 건조를 마치고 장기간 수중에 적시지 않으면 제조시 약간의 흡수율 회복이 불가능한 것을 알 수 있다.

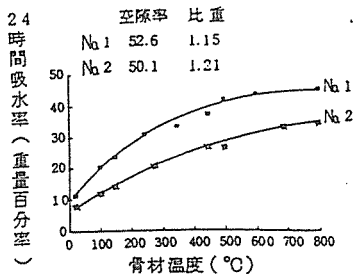


그림 2. 3 골재온도와 열간흡수율

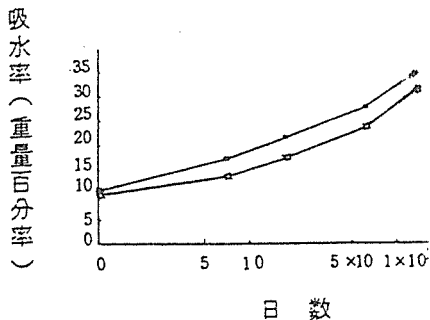


그림 2. 4 상온하의 골재의 흡수율

(3) 흡수량의 측정

경량콘크리트의 시공은 콘크리트 펌프에 의해서 압송되는 공법을 채용한 경우에 펌프압송중의 골재 압력흡수현상이 발생한다.

경량골재의 흡수량은 큰 압력에서 약간 증대하고 압력을 내리는 약 10분 정도에서 압력흡수량의 50%정도를 방출한다.

이러한 탄력적 흡수작용이 압송 중 콘크리트의 콘시스턴시를 변화시키며, 경우에 따라서는 수송관이 막히는 폐쇄현상을 일으키기도 한다. 이러한 현상에 대처하기 위하여 프리웨팅에 의해서 만들어진, 사전 흡수율을 크게한 골재를 사용하는 것이 바람직하다.

흡수량 시험방법에 관해서는 JIS A 1134 및 KS F 2529(구조용 경량골재의 비중 및 흡수량 시험방법)와 JIS A 1135 및 KS F 2533(구조용 경량골재의 비중 및 흡수량 시험방법)에 표시되어 있다.

(4) 골재의 입도분포

경량골재의 입도는 JIS A 5002 및 KS F 2534(구조용 경량콘크리트 골재)에 표시한 범위의 것으로 하지 않으면 안된다고 규정되어 있다.

잔골재, 굵은골재는 항상 소요의 입도분포에 사용할 수 있도록 입경마다 구분하여 저장하는 것이 필요하다. 또 각 회사의 경량골재 입도분포를 사전에 조사하여 두는 것이 좋다.

(5) 골재의 흡수량 관리

경량콘크리트는 보통 골재를 이용한 콘크리트에 비하여 펌프압송후의 슬럼프저하가 커진다. 이것은 골재의 프리웨팅이 충분하지 않은 경우에 크게 나타난다. 그러므로 펌프압송에 의하는 시공에는 압송시의 압력흡수를 가능한 한 적게하여 슬럼프 저하를 막기위해 골재의 사전흡수율을 많게 하여 두고 레미콘공장에서의 흡수율 유지를 위하여 잔골재, 굵은골재의 관리를 충분히 하는 것이 중요하다.

적치된 굵은골재의 표층부분(깊이 10cm)의

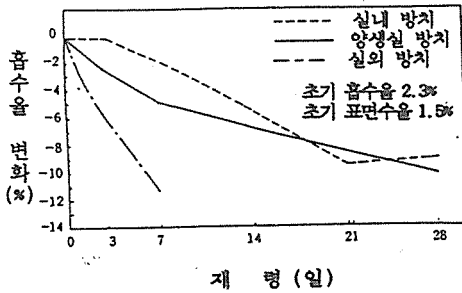


그림 2. 5 표층부분의 흡수율 경시변화

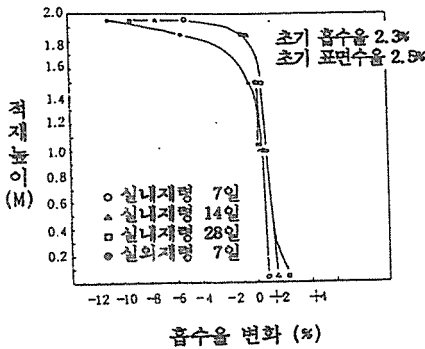


그림 2. 6 내층부분의 흡수율 경시변화

관리를 충분히 하는 것이 중요하다.

적치된 굵은골재의 표층부분(깊이 10cm)의 흡수율 경시변화를 그림 2. 5에 내부의 것을 그림 2. 6에 나타내었다. 그림에서 표층부분에 옥외방치 경우의 흡수율을 저하는 방치기간 7일에서 12% 정도이다. 한편 옥외방치일 때 7일에 흡수율을 저하 영향범위는 표층에서부터 60cm 정도에 있다.

3. 고강도 경량콘크리트의 배합

3. 1 배합조건 설정

경량콘크리트의 배합설계에서는 아래의 사항

을 고려하여 배합조건을 설정하여야 한다.

- 1) 설계상으로부터 요구되는 단위용적중량 및 배합강도
- 2) 경량콘크리트의 용도, 환경조건으로부터 요구되는 내구성
- 3) 현장의 시공조건으로부터 요구되는 콘크리트의 콘시스턴시

(1) 단위용적중량

경량골재콘크리트의 단위용적중량은 사용하는 골재의 종류·배합비·경화후의 양생조건에 따라 차이가 있으나, 이중 가장 큰 변화요인은 골재의 배합비이며 구조물을 경량화하기 위한 경량골재콘크리트의 사용에서 가장 중요한 것은 단위용적중량이다.

일반적으로 경량골재콘크리트의 단위용적중량은 0.5~2.0 t/m³정도로써, 굳지 않은 경량골재콘크리트와 경화한 기건상태의 경량골재콘크리트는 약 0.1 t/m³의 중량차이가 있다. 이는 수분의 증발로 인한 단위용적중량의 감소에 기인하는 것이다.

경량골재콘크리트의 단위용적중량은 경량성·강도·단열성·시공성 등과 관련이 깊은 특히 중요한 성질이다. 그러므로 현장시공시의 배합설계 및 시공관리에 있어서 단위용적 변동에 대한 고려가 필요하다.

일본건축학회의 경량골재콘크리트 배합설계·시공지침편에 따르면 계획배합을 정하는 경우 콘크리트 1m³당 소요량을 단위시멘트량 및 잔골재·굵은골재의 절건비중으로 표시하고, 기건단위용적중량은 다음의 식으로 추정하여, 그 추정값이 소요의 기건단위 용적중량 이하가 되게 하고 있다.

$$Wd = G_o + S_o + S_o' + 1.25C_o + 120 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

여기서, G_o : 계획배합에 있어서 굵은골재량(kg/m³)

S_o : 계획배합에 있어서 경량잔골재량(絶乾)(kg/m³)

S_o' : 계획배합에 있어서 보통잔골

(2) 콘스텐시스

경량콘크리트의 콘스텐시스는 작업에 적당한 범위가 되도록 적은 슬럼프를 사용, 베이스콘크리트 슬럼프의 표준치로 하여 일반의 경우 5~8cm가 좋다.

이것은 경량콘크리트 소요강도, 내구성 등을 유지하고 작업에 적합한 워커빌리티의 범위내에 단위수량을 가능한 적게한 것을 목표로 한 것이다. 그러나 베이스콘크리트는 펌프시공의 경우에는 펌프의 타설능력, 성능, 운반거리에 의한 시공성을 고려하여 12cm에 관해서도 검토하여 실제 시공한 예도 있다.

경량콘크리트의 경우 잔골재, 굵은골재의 조합에 있어서는 동일 슬럼프에도 압송성에 차이가 발생하는 일이 있는데 이러한 점을 고려한 슬럼프 설정이 필요하다.

(3) 공기량

경량콘크리트의 공기량은 RC표준시방서에 콘크리트용적의 4~7%로 하도록 규정되어 있다. 이 공기량은 레드믹스트의 경우에 지정 공기량을 규정에 맞추어 현장내 운반에 의해 공기량의 저하를 고려할 필요가 있다.

또한 유동화 콘크리트로 한 경우에는 베이스콘크리트의 공기량이 변화하는 경우가 있는데 그에 관해서도 고려하지 않으면 안된다.

3. 2 배합강도 결정법

경량콘크리트의 배합설계는 목표단위용적중량과 설계기준강도 등 콘크리트의 소요성질을 얻기 위한 콘크리트의 경제적인 품질관리 방법이며 구조물이 설치된 장소, 용도, 기상조건 등으로 부터 요구되는 내구성과 현장, 시공조건에 의한 경량콘크리트의 워커빌리티에 따른 배합설계가 이루어져야 한다.

경량콘크리트의 배합은 소요 워커빌리티, 반죽콘크리트의 단위용적중량, 공기량, 압축강도 등을 얻기위해 시험반죽을 행하여 결정하는 것이 좋다.

설정된 설계기준강도와 실제 사용한 경량골

재의 종류, 시공 등의 조건을 고려하여 대한건축학회제정 건축공사표준시방서 5. 3. 5에 따르는 강도 보정을 하여 배합강도를 정한다.

(1) 단위용적중량의 결정

단위용적중량을 추정하는 일본건축학회의 추정식($Wd=Go+So+S_o'+1.25Co+120$)을 참조로 하여 단위용적중량을 결정한다.

이 추정값이 소정의 기건단위용적중량보다 클 경우에는 사용 골재량을 변화시켜야 한다.

(2) 물시멘트비의 결정방법

경량콘크리트의 경우도 보통콘크리트의 경우와 마찬가지로 강도, 내구성, 수밀성 등을 고려하여 정해야 한다. 일본토목학회의 경우, 압축강도 및 내구성으로 부터 물시멘트비를 결정하는데, 그 순서와 표준값은 보통 콘크리트에 대한 것과 동일하다. 반면 일본건축학회의 경우는 배합강도에 의하여 물시멘트비를 정하는데 배합강도 F에 따른 물시멘트비 X는 표 3. 2에 주어진 시멘트를 사용하는 한편 A. E제를 사용하는 경우 시멘트 강도 K에 따라 아래식과 같이 정한다.

$$X = \beta \times \frac{61}{F/K + 0.34} \%$$

여기서 X : 물시멘트비(%)

β : 물시멘트비의 보정계수

F : 배합강도(kg/cm²)

K : 시멘트 강도(kg/cm²)

위 식에서 콘크리트의 배합강도 F는 보통콘크리트의 배합강도 결정식인 아래식과 같지만, 아래식 중 기온에 대한 보정값 t는 경량콘크리트에 대한 표 3. 1에 따르며, 시멘트 강도 K와 경량콘크리트 종류에 따른 물시멘트비의 보정계수 β 는 각각 표 3. 2, 3. 3와 같다. 다만, 표 3. 1이외의 시멘트를 사용할 경우에는 신뢰할 수 있는 자료에 따라 물시멘트비를

정해야 한다. 또한 물시멘트비의 범위는 표 3. 4와 같이 정하고 항상 흙이나 물에 직접 접해있는 부분의 경량콘크리트의 물시멘트비는 55% (중량백분율)이하로 한다. 특히 콘크리트의 내구성, 균일성을 가질 필요가 있는 경우는 강도상 필요한 물시멘트비 또는 앞에서 기술한 물시멘트비의 상한값보다 작은 값으로 결정하여야 한다.

$$F = F_0 + \sigma + t \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

여기서, F : 배합강도(28일 압축강도 kg/cm²)
 F₀ : 타설기준강도(kg/cm²)
 σ : 콘크리트강도의 표준편차(kg/cm²)
 t : 기온에 대한 콘크리트강도 보정값(kg/cm²)

(3) 단위시멘트량의 결정

단위시멘트량은 표 3. 5에서의 최소값인 300kg/m³부터 400kg/m³까지의 범위에서, 그 단계별 변화량을 선정한다.

표 3. 1 기온에 따른 경량콘크리트 강도 보정값(kg/cm²)

콘크리트타설후 예상되는 평균기온 경량콘크리트의 종류 시멘트의 종류		10~15℃	5~10℃	2~5℃
		조강 포틀랜드 시멘트	1~3종 4종 5종	15 10 10
보통 포틀랜드 시멘트	1~3종	20	40	50
고로 시멘트 A종	4종	15	30	40
플라이애쉬 시멘트 A종 실리카 시멘트 A종	5종	10	20	30

표 3. 2 시멘트 강도 K의 최대값

시멘트의 종류	K의 최대값(kg/cm ²)
조강 포틀랜드 시멘트	400
보통 포틀랜드 시멘트 고로 시멘트 A종 플라이애쉬 시멘트 A종 실리카 시멘트 A종	370
고로 시멘트 B종	350
플라이애쉬 시멘트 B종 실리카 시멘트 B종	320

표 3. 3 경량콘크리트의 물시멘트비 보정계수β의 표준값

경량콘크리트의 종별	보정계수β의 표준값
1종, 2종	0.9
3종	0.85
4종	0.75
5종	0.65

(4) 단위수량의 결정

경량골재는 보통골재에 비하여 흡수율이 크

표 3. 4 경량콘크리트의 물시멘트비 범위(%)

시멘트의 종류 경량콘크리트의 종류	조강포틀랜드 시멘트 보통 포틀랜드 시멘트 고로 시멘트 A종 플라이애쉬 시멘트 A종 실리카 시멘트 A종	고로 시멘트 B종 플라이애쉬 시멘트 B종 실리카 시멘트 B종
	1종, 2종, 3종 4종 5종	40~65 40~67 40~70

표 3. 5 단위시멘트량의 최소값

콘크리트의 품질 등급	경량콘크리트
고 급	300(1, 2종)
상 용	300(1, 2종)
	320(3, 4종)

므로 사용시에 함수율에 주의 하여야 한다.
단위수량은 위에서 구한 물시멘트비와 단위시멘트량에 따라 아래의 식에 의해 결정한다.

$$W = C \cdot X \times 100 (\text{kg/m}^3)$$

여기서, W : 단위수량(kg/m³)
C : 단위시멘트량(kg/m³)
X : 물시멘트비(%)

(5) 굵은골재량의 결정방법

굵은골재량은 원칙적으로 단위굵은골재 용적을 기준으로 하여 정한다. 콘크리트 1m³에 포함된 굵은골재량 및 잔골재량의 절대용적은 아래식에 의해 산출한다.

굵은골재량(ℓ/m³) = 단위굵은골재부피용적

$$(\text{m}^3/\text{m}^3) \times \text{굵은골재의 실적율}(\%) \times \frac{1,000}{100} \\ = \frac{\text{단위 굵은골재량}(\text{kg/m}^3)}{\text{굵은 골재의 절건비중}}$$

(6) 잔골재량의 결정방법

잔골재량은 위에서 산출한 단위수량, 단위시

멘트량, 단위잔골재량 및 결정되어 있는 공기량에 따라 다음과 같이 구한다.

$$V_s = 1,000 - (V_w + V_c + V_g + V_a)$$

$$\text{잔골재량}(\text{kg/m}^3) = V_s \times \rho_s$$

V_s : 잔골재의 절대용적(ℓ/m³)

V_w : 물의 절대용적(단위수량)(ℓ/m³)

V_c : 시멘트의 절대용적(ℓ/m³)

V_a : 굵은 골재의 절대용적(ℓ/m³) =

$$\text{공기량}(\%) \times \frac{1,000}{100}$$

ρ_s : 잔골재의 절건비중

또한, 보통잔골재와 경량잔골재를 혼합한 경우의 비중은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\text{혼합잔골재의 비중} = \frac{1}{\frac{w_o'}{\rho_o'} + \frac{w_o}{\rho_o}}$$

w_o' : 보통 잔골재의 중량비율(1-w_o)

w_o : 경량 잔골재의 중량비율(1-w_o)

ρ_o : 보통 잔골재의 절건비중

ρ_o' : 경량 잔골재의 절건비중

(7) 잔골재율의 결정

일반적으로 잔골재율의 적합한 범위를 40~50%로 추정하여, 계산되는 잔골재율은 다음식에 의하여 정한다.

$$\text{잔골재율} : S/A \frac{V_s + V_s'}{V_s + V_s' + V_g} \times 100(\%)$$

V_s : 경량 잔골재의 절대용적(ℓ/m^3)

V_s' : 보통 잔골재의 절대용적(ℓ/m^3)

V_g : 굵은 골재의 절대용적(ℓ/m^3)

위와 같이 계산되어진 잔골재율과 실험결과의 최적 잔골재율이 일치되는 배합량을 구한다.

3. 3 물시멘트비

강도에 따라 정하여지는 물시멘트비는 콘크리트의 내구성에 영향을 미치므로, 물시멘트비

의 상한값을 정할 필요가 있다.

일반적으로 물시멘트비의 상한값은 경량콘크리트의 종류, 사용하는 시멘트의 종류 및 콘크리트의 품질등급에 따라 다르며 일본건축학회의 경량콘크리트 배합설계에서 시멘트 종류에 따른 물시멘트비는 표 3. 6과 같다.

3. 4 단위시멘트량

경량콘크리트에 있어서 단위시멘트량이 과대하면 콘크리트의 건조수축이 증대하고, 수화열

표 3. 6 물시멘트비의 최대값(%)

시멘트의 종류	콘크리트의 품질등급	경량 콘크리트
보통 포틀랜드 시멘트 조강 포틀랜드 시멘트 초조강 포틀랜드 시멘트	고 급	60 (1종, 2종)
고로 시멘트 A종 실리카 시멘트 A종 플라이애쉬 시멘트 A종	상 용	65 (1~4종)
고로 시멘트 B종 실리카 시멘트 B종	고 급	65종 (1종, 4종)
플라이애쉬 시멘트 B종	상 용	60 (1~4종)

이 증대하는 등 불리한 점이 있으며, 반대로 과소한 경우에는 Workability, 수밀성 등이 불리하게 된다. 그러므로 경량콘크리트의 단위시멘트량의 최소값은 경량콘크리트의 종류 및 품질의 등급에 따라 제시한 표 3. 5와 같이 일본 건축학회에서 정하고 있다.

3. 5 잔골재율 및 단위수량

경량콘크리트에 대한 현재까지의 실험결과에 따르면 경량콘크리트에서 잔골재율(S/a)은 잔골재의 입도(F. M), 입형, 시공성, 단위시멘트량 등에 의해서도 다르게 나타나기 때문에 보통콘크리트 보다도 잔골재율을 약간 크게 하고, 골재형상이 불량한 골재에서는 잔골재율을

미리 크게 하는 것이 좋다.

단위수량은 배합에서 목표슬럼프값에 따라 정하여지지만 그 값은 경량골재의 종류나 잔골재의 종류, 산지에 따라 다르기 때문에 경량골재 생산회사가 보유하고 있는 단위수량과 슬럼프의 관계 데이터를 참고로 하여 단위수량을 결정하는 것이 좋다.

일반적으로 경량콘크리트의 단위수량은 잔골재율, 공기량과의 관계 등을 고려하여 결정하며, 경량콘크리트의 특성을 손상시키지 않는 범위내에서 가능하면 단위수량을 줄이는 것이 바람직하다.

시험배합을 정할 때의 잔골재율 및 단위수량의 표준은 표 3. 7에 표시되었다.

3. 6 공기량

경량콘크리트는 워커빌리티의 개선, 내구성 향상을 고려하여 일반적으로는 A. E콘크리트로 하고 있는 경우가 대부분이다. 공기량은 단위수량, 슬럼프, 잔골재율, 단위시멘트량 등과 서로 관계하기 때문에 일률적으로 결정하는 것은 곤란하지만 과거의 시공실적을 보아 4~

7%가 표준이다. 또한 타설한 콘크리트의 공기량은 강도나 내구성 등을 고려한 5% 정도가 좋다.

또한 유동화콘크리트로 한 경우에는 베이스 콘크리트의 공기량이 변화하는 경우가 있는데 그에 관하여서도 고려하지 않으면 안된다. 이는 일반적으로 경량골재의 경우 공기량 저하가 적어지고, 경량골재 일부에 쇄석을 포함하게 되면 공기량이 크게 되는 경향이 있다.

표 3. 7 굵은골재의 최대치수에 대한 적당한 잔골재율 및 단위수량값

굵은골재의 최대치수(mm)	AE콘크리트					AE제를 쓰지 않은 콘크리트	
	적당한 공기량 (%)	포조리스 같은 감수제 쓴 경우		비중 기타의 AE제 쓴 경우		잔골재율 S/a(%)	단위수량
		잔골재율 S/a(%)	단위수량 (kg)	잔골재율 S/a(%)	단위수량 (kg)		
15	6±1	40	163	40	172	41	158
20	5±1	38	157	38	165	41	178
20	5±1	38	150	38	157	41	170

주) 물시멘트비 약 0.55, 슬럼프 7.5cm, 모래조립률 2.75

표 3. 8 조건변화에 따른 잔골재율과 단위수량의 수정값

조건의 변화	수 정 값	
	잔골재율(S/a)	단 위 수 량
물시멘트 중량비 0.05의 증가에 대해	±0.1%	0
모래 조립율 0.1의 증가에 대해	±0.5%	0
슬럼프 1cm의 증가에 대해	0	±1/2%
공기량 1%의 증가에 대해	±(0.5~1%)	±3.0%
잔골재율 1%의 증가에 대해	-	±1.5kg

주 1) 표의 값은 보통골재와 함께 비조립형 경량골재를 사용한 경우에 적용한다. 굵은골재로 조립형의 것을 사용한 경우는 단위수량을 2~3% 적게하는 것이 좋다.

2) 표의 값은 잔골재의 조립율이 용적백분을 표시로 2.75의 경우이다. 사용잔골재의 체가름시험 결과(중량백분율)에서 계산한 조립율을 용적백분율로 환산하여 통상 0.15를 더 하는 것이 좋다.

3) 표의 값은 물시멘트비가 45% 정도 이상의 보통철근콘크리트 부재에 사용한 콘크리트에 적용한다. 물시멘트비가 37~38% 이하의 프리스트레스트콘크리트 부재에 사용한 콘크리트의 경우는 단위수량을 15~20% 증가할 필요가 있다. 이 경우 슬럼프 1cm의 증감에 대한 단위수량의 증감도 약 3.5%로 된다.

4) 표의 값은 골재를 프리웨팅한 콘크리트의 비빔중에 나머지 흡수하지 않은 상태가 된것을 이용한 경우이다.