

고유동 콘크리트

박 영 근

〈한국레미콘공업협동조합연합회, 인증심사원〉

1. 개요

콘크리트의 고유동화는, 시공성의 향상, 성력화의 실현, 품질의 확보등의 면에서 콘크리트의 고성능화의 하나라고 말할 수 있다.

고유동 콘크리트는 〈굳지않은 콘크리트의 재료분리저항성을 손상하는 것 없이, 유동성을 현저하게 개선 (높인다) 한 콘크리트〉라고 정의되고 있지만, 본고에서는 다짐을 하지 않고 형틀내에 충전하게 하는 자기충전성을 가진 고유동 콘크리트를 대상으로 한다. 이하, 고유동성의 일반사항, 고유동성 콘크리트의 종류, 및 그 평가방법에 대하여 기술한다.

콘크리트의 자기충전성을 확보하기위해 레오로지 특성으로서 평가하면, 항복치를 적게 하고, 적당한 소성점도를 유지하는 것이 필요하다. 더우기 간극통과성 (철근간 통과성능)을 가지는 것이 필요하고, 이를 위해서는, 조골재의 용적을 일정한 한도이하로 배합 하는 것이 필요하게 된다.

고유동 콘크리트의 높은 유동성은, 고성능 (AE) 감수제의 첨가에 의해 단위수량을 증가

시키는 것 없이 얻을 수 있다. 한편, 적당한 재료분리 저항성을 얻기 위한 방법으로서, 다음의 3가지 방법이 있다. 1)증점제를 첨가하는 방법, 2)시멘트나 혼화재료등 분체량을 증가시켜 물결합재비를 적게 하는 방법, 3)양자를 병용하는 방법이다. 각각의 배합과 사용방법에 따라 특징이 있다.

고유동 콘크리트의 유동성과 충전성의 평가 방법에 대하여, 현장에서 많이 사용되고 있는 방법으로서, 슬럼프 플로우시험과 간극통과성 시험이 있다. 슬럼프 플로우시험은, 유동성과 재료 분리저항성의 개략치를 파악하고, 간극통과성시험은, 철근의 간극을 통과하는 성능을 파악할 목적으로 사용되고 있다.

2. 고유동화 콘크리트의 일반사항

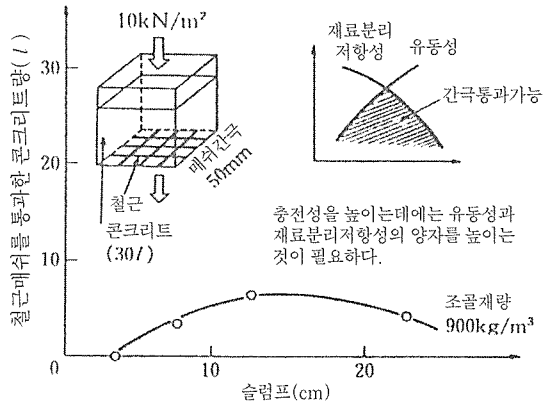
콘크리트가 자기충전성을 가지기 위해서는, 높은 유동성과 적당한 재료 분리 저항성이 필요하다. 그 때문에 레오로지 특성의 소성점도를 확보하면서 항복치를 적게 할 필요가 있다. 통상의 콘크리트에서는, 단위수량을 증대시켜

항복치를 저감, 즉 슬럼프를 증대시키면 소성점도도 저감하여 재료분리가 생긴다. 그 때문에 [그림 2.1]에 나타난 바와 같이 간극통과성은 유동성이 증가하면 오히려 저하한다. 이 때문에, 고유동 콘크리트의 출현 이전은, 유동성과 재료 분리 저항성은 상반하는 특성이라고 생각되어지고 있다. 이 생각을 뒤집은 것이 고유동 콘크리트이고, 증점제나 다량의 혼화제의 이용에 의해, 몰타르 혹은 페스트의 점성을 높이는 재료 분리를 방지하면서, 고성능 (AE) 감수제의 높은 분산 효과에 의해 고유동성을 확보하는 것이다. 또한 고성능 (AE) 감수제의 높은 분산 효과를 보다 유효하게 발휘시키기 위해서, 보통 포틀랜드 시멘트에서는 없는 고비라이트계 시멘트나 중용열 포틀랜드 시멘트를 이용하는 예도증가하고 있다. 이들의 시멘트는, C_3A 나 C_4AF 가 적기 때문에, 고성능 (AE) 감수제가 이들에 다량으로 흡착되는 것 없이, 시멘트의 주된 구성화합물인 C_3S 나 C_2S 에 흡착하는 양이 증가하기 때문에 혼화제의 분산 효과가 발휘되기 쉽다. 즉, 중용열 포틀랜드 시멘트나 고비라이트계 시멘트는, 고성능 (AE) 감수제의 분산효과를 유효하게 발휘시키고, 적절한 소성점도를 얻을 수 있는 저물시멘트비에서도, 낮은 항복치를 얻을 수 있기 때문에, 고유동 콘크리트에 적합하다고 말한다.

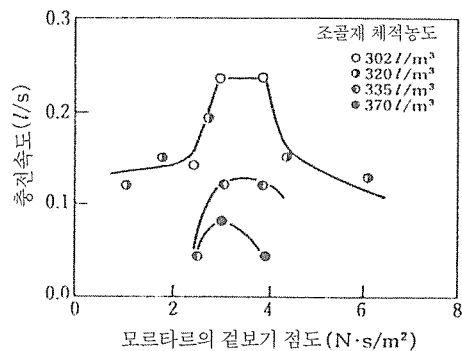
[그림 2.2]에서, 몰타르의 걸보기점도와 철근간을 통과시킨 콘크리트의 충전성의 관계를 나타낸다. 그림중에서 충전속도는 충전성능을 표시하고 있고 견-점도는 소성점도에 해당한다. 콘크리트의 충전성이 몰타르의 소성점도에 있어서 지배되는, 최적의 소성점도가 존재한다. 즉, 소성점도가 낮은 경우에는 조골재와 몰타르의 재료 분산을 일으키고, 조골재가 편석이 심한 경우에는, 간극에 제한이 생긴다. 그 때문에 충전성 (충전속도)가 저하한다. 몰타

르가 소성점도가 있을 정도로 높은 경우에는, 간극에서도 조골재는 몰타르와 분산하는 것 없이 유동하기 때문에, 충전성이 증대한다. 그러나, 소성점도가 더욱더 커지면 제한된다. 콘크리트의 간극 통과성에 미치는 몰타르의 레오로지특성의 영향을 정상적으로 나타내면, [그림 2.3]과 같게 된다.

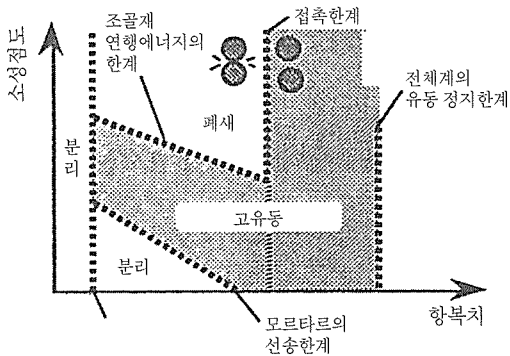
모르타르의 소성점도는, 세골재량을 증대시켜도 증가한다. 그러나 [그림 2.4]는, 물시멘트비 45%의 플레인 페이스트에 단일 입경의 세골재를 혼합한 경우, 세골재의 입경이 모르타르의 소성점도에 미치는 영향을, 고체 (시멘트 + 세골재) 용적비율과 소성점도와의 관계로 나타낸 것이다. 이 그림에 나타난 바와 같이, 0.15mm이상의 세골재는, 시멘트 및 0.15mm



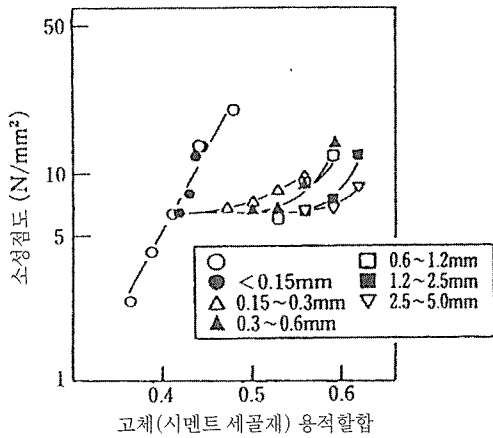
(그림 2.1) 슬럼프와 충전성의 관계



(그림 2.2) 모르탈의 걸보기 점도와 충전성의 관계



[그림 2.3] 간극 통과성에 미치는 모르타르의 레올로지 특



[그림 2.4] 고체용적 비율과 소성점도의 관계에 미치는 입자경의 영향

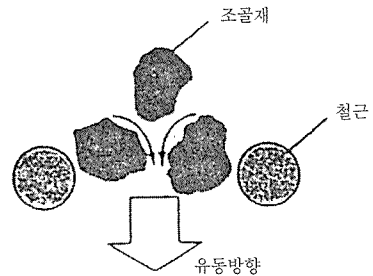
이하의 세골재와 비례해서 용적증가에 따른 소성점도의 증가 경향이 다르다. 즉, 세골재의 0.15mm이하의 미립분은, 용적증가에 따른 소성점도의 증가 비율이 시멘트 단독의 경우와 같고, 시멘트와 같은 분체로서의 역할을 수행하고 있다. 한편, 0.15mm 이상의 세골재는, 용적증가가 같은 입상체로서 거동하고 있다. 이것으로부터 모르타르의 소성점도를 효과적으로 증가시키기 위해서는, 분체량의 증대가 필요하다. 또, 모르타르중의 세골재량을 증가시키는 것은, 콘크리트의 재료분리를 제어한다고 할 수 없다는 사실과 일치하다.

[그림 2.2]에 나타낸 것 같이 콘크리트중의

조골재량도 충전성에 영향을 미치며, 조골재 체적 농도가 높아지면, 몰타르의 소성점도가 적정하더라도 충전성이 저하한다. 이것은, 조골재가 편석에 의한 결과이며 아치 액션이 생기는 것에 기인한다. 따라서, 자기충전성을 얻기에는, 조골재 체적 농도를 저감하고, 조골재 입자간의 거리를 넓히고, 입자가 서로 접촉하거나 충돌하는 기회를 적게 하고, 간극 통과성을 향상시킬 필요가 있다.

철근간극을 조골재가 통과할 때는, 조골재의 아치액션을 생기지 않게 하는 것이 필요하다. 실제 시공되고 있는 고유동 콘크리트의 조골재 체적 농도는 최대크기 20mm의 쇄석의 경우에서 $0.285 \sim 0.325 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 가 대부분이다. 통상의 콘크리트와 비교하면 상당히 조골재 체적 농도 V_g 가 낮고, 또한, 최근의 연구에서는 철근의 틈과 조골재 체적 농도와를 파라메타로서, 조골재가 철근간극을 통과하는 경우는, [그림 2.5]에 나타내듯이 조골재는 회전하면서 통과한다고 가정해서, 조골재가 회전운동을 일으키면서도 접촉하지 않는 한계의 조골재 체적 농도를 제안하고 있다.

이상에서, 콘크리트의 고유동화는, 기본적으로는 몰타르에 적정한 레올로지특성, 즉 적절한 항복치와 소성점도를 주는 것이 필요하고, 나아가서 조골재 체적 농도를 어떤 한계이하에서 저감하는 것에 의해 달성시키는 것이라고 말할 수 있다.



[그림 2.5] 철근통과시의 조골재의 거동

3. 고유동콘크리트의 종류와 그 특성

현재까지 제안되고 있는 고유동 콘크리트는, 재료 분리를 저감하는 방법, 즉 페이스트의 소성점도를 증대시키는 방법에 의해, ① 증점제를 첨가하는 증점체계, ②분체량을 증가시키는 분체계, 및 ③양자를 병용하는 병용계의 3가지로 크게 나눌 수 있다. [표 3.1]에서, 각 고유동 콘크리트의 배합예를 나타낸다.

또한, 이상의 3가지 방법을 이용한 고유동 콘크리트에서, 항복치와 소성점도의 범위는 큰 차이는 없지만, 방법에 의해 철근간극 통과성 등의 특성은 레오로지정수에 의해 상이하다고 하는 보고도 있다. 따라서, 고유동 콘크리트에서는 각각의 방법에 의해 최적의 레오로지특성이 다른 것으로 생각할 수 있다. 다음은 각각의 고유동 콘크리트의 특징에 대해서 서술한 것이다.

(1) 증점제 첨가에 의한 고유동 콘크리트

이 방법은 수중 불분리성 콘크리트 기술을 연장한 것이다. 이 고유동 콘크리트 (이하, 증점체계라고 부른다)의 특징은, 분체량이 적은 영역이라도 고유동 콘크리트를 제조할 수 있는 것이다. 증점제는, 셀룰로오스계 및 아크릴

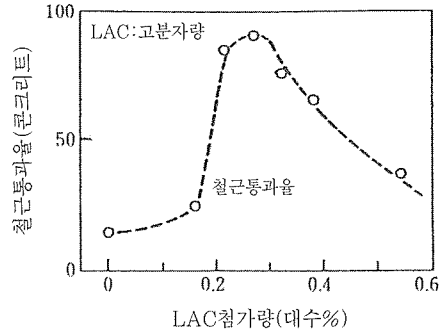


그림 3.1 증점제 첨가량과 철근통과율의 관계 (LAC:비이온성 셀룰로오스계 증점제)

계의 수밀성 고분자가 사용되고 있다. [그림 3.1]에서, 격자상의 철근의 간극을 통과하는 콘크리트량에 미치는 증점제의 첨가의 영향을 나타낸다. 먼저 서술한 바와 같이 철근간극을 통과하는 최적의 첨가량 즉 점도가 존재한다.

단지, 증점제와 고성능 (AE)감수제와의 조합에 의해서는 양자간의 상호 작용에 의해, 부적합성이 확인되는 경우가 있기 때문에, 충분한 주의를 요한다. 그림 3.2에서 셀룰로오스계 증점제와 나프타린계 고성능 감수제, 또는 멜라민계 고성능 감수제를 이용한 콘크리트의 고성능 감수제 첨가율과 슬럼프 플로우의 관계를 나타낸다. 멜라민계의 고성능 감수제를 사용한 경우에는, 고성능 감수제의 첨가율의 증가에 따라 슬럼프 플로우는 증가하고 있다.

[표 3.1] 고유동콘크리트의 배합예

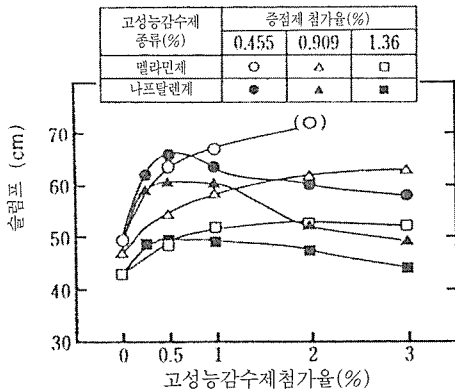
(kg/m³)

종류	W/B (%)	S/a (%)	W (kg/m ³)	B (kg/m ³)	G (kg/m ³)	고성능AE감수제 (C×%)	증점제 (g/m ³)	슬럼프 플로우 (cm)	공기량 (%)	압축강도 (N/mm ²)	
										7d	28d
증점체계	52.9	50	185	350	873	3.0	500	64	4.5	24.6	36.5
분 체계	30.0	50	170	567	842	1.25	-	61.3	2.1	66.8	99
병 용 계	45	45	165	550	900	1.96	500	66	3.6	35.9	63.7

주1)분체의 종류:증점체계(보통시멘트),분체계(고비라이트시멘트),병용계(고비라이트시멘트:플라이애쉬=10:1)

주2)고성능(AE)감수제:멜라민계(증점체계),폴리카르보산계(분체계,병용계)

주3)증점제의 종류:셀룰로오스계(증점체계),다당류폴리마(병용계)



(그림 3.2) 고성능감수제와 슬럼프 플로우의 관계

나프탈렌계의 고성능 감수제를 사용한 경우에는, 고성능 감수제의 첨가율의 증가에 따라서, 시멘트질량에 대한 첨가율 0.5%까지는 슬럼프 플로우는 증가하기는 하였으나, 그것 이상에서는 슬럼프 플로우는 반대로 감소하고 있다. 이것은 나프탈렌계 고성능 감수제와 셀룰로스계 증점제를 조합한 경우, 어떤 농도이상에서는 겔상 물질이 생기는 것에 기인하는 것이다. 또, 아크릴계 증점제에 있어서도 일부의 폴리카르본산계 고성능 (AE) 감수제와 조합한 경우, 증점제의 첨가율에 의해서는 이상한 응집현상이 생기는 것이 보고되고 있다.

이와 같이, 증점제와 고성능 AE감수제를 조합해서 사용하는 경우에는, 사전에 그 적합성의 가부를 확인해 둘 필요가 있다.

(2) 분체량을 증가한 고성능 콘크리트

페이스트중의 분체량을 증가하면, 페이스트의 항복치 및 소성점도는 지수관수적으로 증대한다. 한편, 고성능 (AE) 감수제를 첨가하면, 페이스트의 항복치는 현저하게 저하하지만, 소성점도는 그다지 저하하지 않는다. 이 특성을 살려서 콘크리트중의 분체량을 증대시키는 것에 의해, 고성능 콘크리트를 제조할 수 있다.

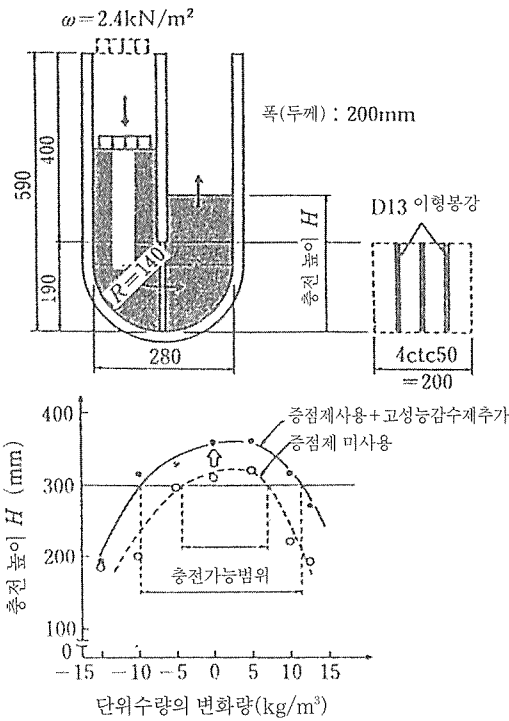
또한, 본 타입의 고성능 콘크리트 (이하, 분체계라고 부른다) 는, 분체량이 많아지기 때문에, 적용하는 구조물에 의해서는, 시멘트 하나로 사용한 경우에는 수화열에 의한 온도 균열이 발생할 우려가 있다. 이 때문에, 고로 슬래그 미분말이나 플라이 애쉬나 석회석 미분말 등의 혼화제를 사용하고 있는 예가 많다. 자기 수축이 문제가 되는 경우는, 분말도가 높은 고로슬래그 미분말의 사용을 피하고 있다.

분체계 고성능 콘크리트는 물분체비가 적고, 그 때문에, 일반적으로는 물결합재비도 적어지는 압축강도는 40N/mm^2 이상의 고강도를 나타내는 경우가 대부분이다. 그러나, 혼화제에 활성도가 낮은 석회석 미분말을 사용한 경우에는, 석회석 미분말량에 의해 강도를 조절할 수 있기 때문에, 통상의 콘크리트와 동 정도의 압축강도의 고유동 콘크리트가 가능하게 된다.

(3) 분체 및 증점제의 병용에 의한 고유동 콘크리트

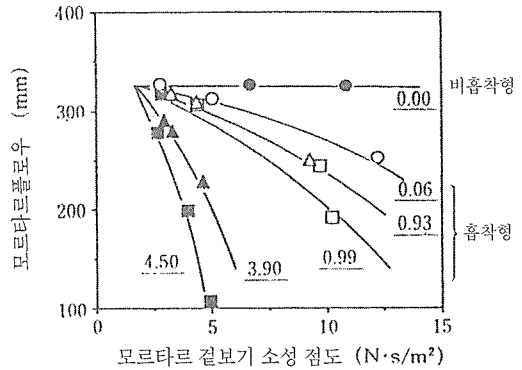
분체계 고유동 콘크리트에서는, 세골제의 표면수율이나 입도 분포의 변화에 의해 콘크리트의 유동성이 크게 변동하기 쉽다. 이 때문에, 분체계 고유동 콘크리트에서, 증점제를 병용해서, 이것들이 유동성에 미치는 영향을 적게 한 고유동 콘크리트 (이하, 병용계라고 부른다) 가 있다. [그림 3.3]은, 간극 통과성 시험에 의해 분체계와 병용계 고성능 콘크리트의 충전성능 (높이)에 미치는 단위수량 변동의 영향을 나타낸 것이다. 병용계의 쪽이 분체계에 비해서 충전성에 미치는 단위수량의 영향이 적어지고 있다.

또한, 병용계의 증점제로서는, 일반적으로 증점제계에서 사용되고 있는 셀룰로스계나 아크릴계에 비해서 증점작용이 적은 천연 고분



(그림 3.3) 증점제의 사용에 의한 간극통과성의 향상

자 (다당류)가 이용되어져 왔다. 일반적으로 증점제는 시멘트 분자에 흡착하지만, 최근, 전혀 시멘트에 흡착하지 않는 비흡착형의 그리 콜계 증점제도 개발되고 있다. [그림 3.4]에 나타낸 바와 같이, 흡착형의 증점제를 이용한



(그림 3.4) 증점제의 흡착능이 모르타르의 유동성에 미치는 영향

경우 모르타르의 소성점도를 증가시키면 모르타르 플로우도 저하하고 있다. 이것에 대해, 비흡착형의 증점제에서는, 모르타르의 플로우를 변화시키지 않고 소성점도를 자유롭게 변화시킬 수 있다.

4 고유동 콘크리트의 유동 특성 평가

4.1 유동 특성의 평가방법

고유동 콘크리트의 유동 특성을 평가하는 방법으로서, 많은 방법이 제안되고 있다. 그 유동 특성의 평가는 콘크리트의 항복치와 소

(표 4.1) 고유동콘크리트의 종류 및 사용재료

종 류	분 체	증 점 제	조 골 재		세 골 재	
			비 중	FM	비 중	FM
분 체 계 A	고비라이트계시멘트+석회석분말	-	2.67	6.70	2.56	2.70
분 체 계 B	보통시멘트+슬래그분말	-	2.61	6.58	2.57	2.63
분 체 계 C	보통시멘트+플라이애쉬	-	2.70	6.73	2.57	2.55
증 점 제 계 D	플라이애쉬시멘트B종	셀룰로즈에테르	2.70	6.76	2.59	2.65
증 점 제 계 E	보통시멘트+슬래그분말+석고	셀룰로즈에테르	2.61	6.63	2.55	2.92
병 용 계 F	고비라이트계시멘트+석회석분말	폴리젠타카라이트	2.70	6.40	2.61	2.52
병 용 계 G	고로시멘트B종	미생물균체	2.71	6.62	2.57	2.77

주)고성능AE감수제는 모두 폴리카르본산계

성점도를 측정하는 것이 바람직하다. 그러나 이들은 간편하면서도 정확하게 측정할 방법은 없다. 고유동 콘크리트의 슬럼프 플로우와 콘크리트의 항복치와, 슬럼프 플로우와 동시에 측정할 수 있는 50cm 플로우 도달 시간은 콘크리트의 소성점도와 관련하고 있기 때문에, 간편하게 범용성이 높은 슬럼프 플로우 시험을 고유동 콘크리트의 유동특성을 평가하는 시험방법으로서 채용하는 것이 합리적이라고 생각할 수 있다.

고유동 콘크리트가 자기 충전성을 달성하기 위해서는, 고유동성 및 적절한 분리저항성이 외에, 나아가서 철근간을 통과하는 성능인 소요의 간극통과성을 가지는 것이 필요하다. 그 철근의 틈에 의존하지 않고, 재료 특성으로서의 간극 통과성을 평가하는 것은 쉽지는 않다. 또, 이 간극 통과성은 콘크리트 부재의 배근조건의 영향을 강하게 받기 때문에, 구조물만의 배근조건을 고려한 시험 방법이 채택되고 있는 것이 현실이다. 토목학회에서는, 간극통과성의 평가에는, U형의 간극통과성 시험 장치를 제안하고 있다.

토목학회에서는, 실제의 구조물에 이용된 7

종의 고유동 콘크리트에 대해서 평가 시험을 하고 있다. [표 4.1]에 시험을 한 고유동 콘크리트의 종류 및 사용 재료를, [표 4.2]에 각각의 배합조건을 나타낸다. 이들 콘크리트의 유동특성의 평가 시험으로서, 슬럼프 플로우 시험과 간극 통과성 시험에 의해 평가한 결과를 이하에 기술한다.

또한, L형 플로우 시험이나 회전형 점도계를 이용해서 고유동 콘크리트의 레오로지 특성에서 유동특성의 평가를 하는 방법도 검토되고 있다. 또, 현장에서는, V, O, S 형등의 각종 시험설비 유하시간에 의해, 콘크리트의 소성점도나 간극통과성의 평가를 간편하게 하는 품질관리 시험방법이 제안되고 있다.

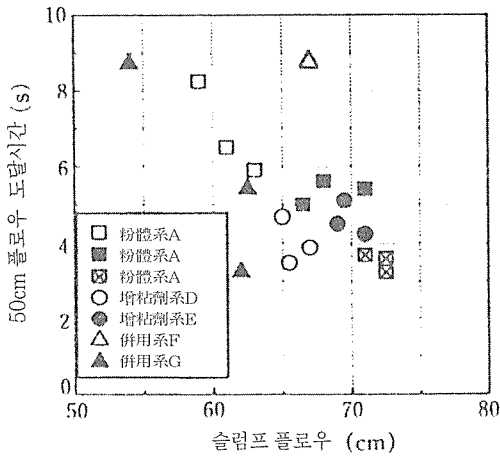
4.2 슬럼프 플로우 시험에 의한 평가

슬럼프 콘은, JIS A 1101에 규정되어 있는 것을 이용하고, 콘크리트를 다지거나 진동을 주어 1층으로 채워넣는다. 콘크리트의 윗면을 고르게 한후, 즉시 슬럼프 콘을 끌어 올려서, 콘크리트의 움직임이 멈춘 후에, 넓이의 최대 직경과, 그것과 직교하는 위치에서의 직경을

[표 4.2] 고유동콘크리트의 배합조건

종류	슬럼프 플로우 (cm)	공기량 (%)	s/a (%)	w/c (%)	w/B (%)	단위량(kg/m³)										
						C	W	S	G	BFS	LSP	FA	CS	VCA	ADI	AD2
A	60	4.5	51	47	32.9	351	165	817	821	-	150	-			8.0	-
B	65	5.0 이하	50	100	30	176	176	771	783	411	-	-			8~8.3	-
C	70	4.5	48.9	50.1	30	335	168	712	783	-	-	225			8.4	0.011
D	65	4.5	54.2	51.5	51.5	330	170	946	833	-	-	-		0.40	9.8	-
E	65	4.5	50	54.5	40.2	328	180	802	821	87	-	-	33	0.36	8.1	0.013
F	65	2.0	45	35	30	471	165	751	950	-	79	-		0.62	11.0	-
G	60	4.5	50	33	33	500	165	799	846	-	-	-		0.80	8.0	0.01

주) BFS: 슬래그분말, LSP: 석회석분말, FA: 플라이애쉬, CS: 석고, VCA: 증점제, AD1: 고성능 AE감수제, AD2: AE제



(그림 4.1) 슬럼프 플로우와 50cm 플로우 도달시간의 관계

재고, 양직경의 평균치를 슬럼프 플로우라고 한다. 50cm 플로우 도달시간은, 슬럼프 콘을 끌어올린 직후부터 넓이의 최대직경이 50cm에 도달한 때까지의 시간이다.

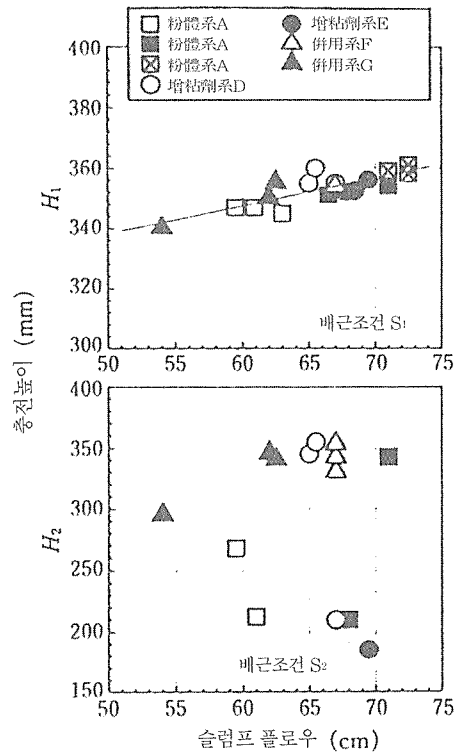
측정한 고유동 콘크리트의 슬럼프 플로우와 50cm 플로 도달 시간을 [그림 4.1]에 나타낸다. 슬럼프 플로우는 대체로 60~75cm의 범위에 있다. 일부에서 병용계 고유동 콘크리트에 슬럼프 플로우가 55cm를 밑도는 것이 있지만, 타설 대상구조물이, 비교적 철근 간극이 넓은 배근 조건이기 때문에 충전성에 문제는 없었다. 또, 50cm 플로우 도달시간은 3~9초의 범위에서 분포하고 있고, 슬럼프 플로우가 커짐에 따라서 50cm 플로우 도달 시간이 짧아지는 경향이 확인되었다. 이것은, 콘크리트의 항복치가 저하함에 따른 소성점도도 저하하는 것을 나타내고 있다. 소성점도의 저하는 조골재와 모르타르의 재료분리를 유발하지만, 시험에 이용한 콘크리트는 모든 배합의 실시공에 있어서 현저한 재료분리는 확인되지 않았다.

이후에는 다수의 데이터를 수집해서, 적절한 유동성을 확보하기 위한 슬럼프 플로우 및

소정의 재료분리 저항성을 확보해서 50cm 플로우 도달 시간에 관해 각각, 적절한 추정범위를 정할 필요가 있다.

4.3 간극 통과성 시험에 의한 평가

간극 통과성 시험장치를 [그림 3.3]에 나타낸다. 용기의 중앙부에는 이형봉강을 배치하고 있고, 배근 조건으로서 이형봉강 D13을 3개 배치한 것 (S_1) 과 이형봉강 D10을 5개 배치한 것 (S_2)의 2종류가 있다. 배근조건은 표준으로서는 S_1 를 이용하지만, 철근이 조밀하게 배치하고 있는 경우에는, 배근조건 S_2 를 이용한다. 콘크리트를 게이트를 닫은 상태에서 U형 용기의 한쪽에 집어넣고, 고르게한 후 1시간 정치한다. 다음으로 게이트를 순식간에 열고, 콘크리트를 유동시킨다. 유동이 정지한



(그림 4.2) 슬럼프 플로우와 충전높이의 관계

시점에서, 유입한 측에서의 하단부터 콘크리트의 윗면까지의 높이를 재고, 이것을 충전높이 H 로 한다. 충전높이 H 의 최대치는 36.5 cm이고, 이것에 가까운 만큼 충전성이 좋다.

[그림 4.2]에 배근조건 S_1 과 S_2 에 있어서 각종 고유동 콘크리트의 슬럼프 플로우와 충전높이의 관계를 나타낸다. 대상으로 한 고유동 콘크리트의 슬럼프 플로우는 54~72cm의 범위에 있고, 이 범위에서 배근조건 S_1 에서의 충전높이 H_1 는 34.0~36.0cm를 나타내고 있

다. 또, 전체적으로는 슬럼프 플로우의 증가에 따른 충전높이도 높아지는 경향이 있고, 고유동 콘크리트의 종류의 상이에 의한 충전높이의 차이도 조금이다. 한편, S_1 보다 배근조건이 심한 S_2 에서는, 분체계와 증점제계의 것에 현저하게 충전높이 H_2 가 적어지는 것이 확인되었다. 따라서 보다 고밀도의 배근조건을 대상으로 한 경우에는 배근조건 S_2 를 이용하는 것이 적당하다고 생각할 수 있다.

(출처: 콘크리트의高性能化, 技報堂出版)