

그라우트재의 물시멘트비 및 혼합속도에 의한 물성변화에 관한 연구

A Study on the Variation of Physical Properties by the Water to Cement Ratio and the Mixing Speed for Grout Materials

천병식¹⁾, Byung-Sik Chun, 김진춘²⁾, Jin-Chun Kim, 장의웅³⁾, Eui-Woong Jang, 송성호⁴⁾, Sung-Ho Song, 이준우⁵⁾ Jun-Woo Lee

¹⁾ 정회원, 한양대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Hanyang Univ.

²⁾ (주)한국지오테크 대표이사, President, Korea Institute of Geo Technology, Inc.

³⁾ 농업기반공사 농어촌연구원 연구실장, Director, Rural Research Institute, KARICO

⁴⁾ 농업기반공사 농어촌연구원 주임연구원, Researcher, Rural Research Institute, KARICO

⁵⁾ 한양대학교 대학원 박사과정, Doctoral candidate, Dept. of Civil Eng. Hanyang Univ.

SYNOPSIS : Generally, OPC(ordinary portland cement) is used for grouting in Korea, and bentonite has usually been added to prevent the deposition of cement particles. The dispersion of CB(cement bentonite) grout is influenced by variable factors i.e. water to cement ratio, particle size of cement, kind of bentonite, adding volume, methods of adding, viscosity of CB grout materials and curdling time. Among variable factors, the viscosity of CB grout materials is influenced by the dispersion, and dispersion is improved as increasing the mixing speed. In this paper, described a suitable mixing speed of the High Speed Mixer in field, engineering characteristics of CB grout materials vary with the water to cement ratio and the mixing speed as well as confirming the state of dispersion.

Key words : Bentonite, Cement bentonite grout materials, Ratio of water to cement, mixing Speed, High speed mixer, Viscosity, Dispersion

1. 서론

국내 건설분야에서는 1970년대 중반부터 시작된 지하철건설을 계기로 지반보강을 목적으로 지반주입 공법이 본격적으로 활용되기 시작하였으나 기술의 중요성에 대한 인식부족으로 전문지식과 기술 축적자료가 매우 부족한 실정이다. 그러나 지반주입공법은 댐과 터널공사의 핵심적인 기술로 기초지반을 강화시키고 누수현상을 막아주는 중요한 기반기술로서 선진 각국에서는 지반주입기술의 용도가 매우 폭넓게 적용되고 있는 토목기술 중에서 첨단기술로 인식되고 있다.

한편, 국내 그라우팅공사에서는 일반적으로 사용되고 있는 경화재인 보통포틀랜드시멘트와 침강방지 목적으로 벤토나이트를 첨가한 현탁형 그라우트 즉, CB그라우트가 댐기초처리 공사에 일반적으로 적용되고 있다. CB그라우트의 침투성에 영향을 미치는 주요 영향인자는 물시멘트비, 시멘트 입자크기, 벤토나이트의 종류, 첨가량, 첨가방법, CB그라우트의 점도, 응결시간 등을 들 수 있다. 이 가운데서 CB그라우트의 점도는 분산성에 의해서 좌우되며 분산성은 혼합기의 교반속도가 클수록 분산성이 향상되는 것으로 보고되고 있다. 따라서 본 연구에서는 현장에서 적용될 수 있는 범위의 고속혼합기(High Speed Mixer)의 혼합속도와 물시멘트비에 따라서 CB그라우트의 물리적 특성을 평가하고 분산상태를 확인함으로써 주입재의 혼합조건에 관한 시공관리 지침을 제시할 수 있는 결과를 도출하고자 한다.

2. 실험

2.1 벤토나이트 선정 실험계획

CB그라우트에 적용할 최적의 벤토나이트를 선정하기 위하여 4종에 대한 기본물성 시험 및 화학성분을 실시하였다. 한편, 함수비 실험은 KS F 2306, 입도분석은 KS F 2309, 아터버그 한계 실험은 KS F 2303 & 2304에 의거하여 실험을 실시하고, 팽윤도 실험은 시료 1g을 24시간 방치하여 흡수하고 수분을 취한정도를 나타내며, 투과량은 API(미국석유화학협회) test를 기준으로 실시된 기술자료를 인용하였다.((주)한국수드케미, 2000)

2.2 실험용 고속혼합기

본 연구에 사용된 고속혼합기는 선진기술을 조사하여 특수제작된 혼합날개 회전식 단조형 모델로 최대용량은 50ℓ이며, 가변회전수의 범위는 0~1800rpm로써 rpm조절의 정확성을 높일 수 있는 주파수 변조방식으로 제작되었다. 또한 혼합기의 내부는 교반에 유리하도록 3개의 날개를 설치하고 혼합기 옆면에 날개를 부착하여 난류를 형성하도록 하였으며, 혼합기의 아래부분에 별도의 배출구를 만들어 작업 및 정리가 용이하도록 제작되었다.(사진 1 참조)

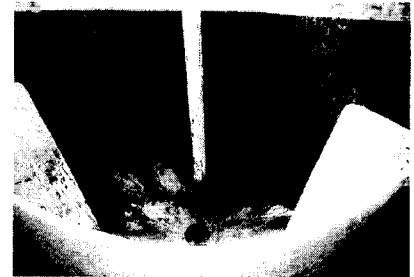


사진 1. 고속혼합기의 내부 모습

2.3 실험 조건

신뢰성 있는 실험을 위해서 실험실의 온도는 20℃, 상대습도는 50~70%를 유지하였으며, 고속교반기의 혼합용량은 20ℓ, 혼합시간은 2분으로 표준화 하였다. 또한 시멘트는 KS규격에 적합한 국내 HS사의 보통시멘트를 사용했으며 벤토나이트는 4종의 벤토나이트중에서 최적으로 평가되는 제품을 선정하여 사용하기로 하였다. 한편, 벤토나이트 첨가시 물 흡수율이 매우 높으므로 물과 희석 후 충분히 안정하도록 10시간 이상 방치한 후 시멘트와 혼합하였다.

2.4 그라우트 특성 평가 실험계획 및 방법

본 연구에 사용된 물시멘트비 및 고속혼합기의 회전수와 벤토나이트 첨가량등 배합계획은 표 1과 같다. 현탁형 그라우트의 공학적 특성 파악을 위하여 블리딩 실험을 실시하고, 점도 실험, 응결 실험, 층분리 실험 및 혼합상태를 확인하고, 경화체 조직에 대한 SEM 촬영과 경화된 현탁형 시편에 대한 일축압축강도 실험을 실시하였다. 한편 표 1의 물시멘트비는 부피비를 기준으로 하였다.

표 1. 실험조건과 측정항목

실험 조건		측 정 항 목
물시멘트비(%)	200, 300, 500, 800, 1100	① 블리딩 측정 ② 점도 측정 ③ 응결 실험 ④ 층분리 실험 ⑤ 혼합상태 목시판정실험 ⑥ SEM(전자현미경) 촬영 ⑦ 일축압축강도 실험
고속혼합기 회전수(rpm)	300, 700, 1100, 1500	
벤토나이트 첨가량(%)	0, 3	

2.4.1 블리딩 시험

본 연구의 현탁형 그라우트에 대한 블리딩 시험은 고속혼합기에서 혼합한 시료를 정해진 회전수에 맞추어서 혼합한 후, 1000ml용량의 메스실린더에 넣어 침하량(ml)을 30분, 60분, 90분, 120분, 180분에 측정하였으며 만약 180분 후에 침하량이 안정되지 않을 경우에는 60분 간격으로 안정될 때까지 측정한다.

2.4.2 점도 시험

고속혼합기에서 혼합한 현탁액의 점도측정은 시료를 1000ml용량의 비이커에 받아서 1분내에 일본의 RION社의 VISCOMETER VT-03 점도계를 사용하였다. 시간을 1분으로 설정한 이유는 현탁형 그라우트의 침강을 방지하여 시험을 실시함으로써 보다 신뢰성 있고 정확한 결과를 얻고자 하기 위함이다.

2.4.3 응결 시험

주입 현탁액의 응결특성을 평가하기 위해서 KS L 5103(길모어 침에 의한 응결 시간 시험법)을 준용하였다. 현탁액을 ϕ 8cm×H 5cm 원통에 약 3시간 정치한 후 블리딩수를 조심스럽게 제거한 후 침강된 시멘트 페이스트를 응결측정 시편으로 정하였다. 이와 같이 시편을 선정한 것은 현탁액이 지반에 주입된 상태에 가장 가깝다고 판단하였기 때문이다. 이때 길모어 침을 수직 위치로 놓고 KS L 5103의 응결 시간 평가방법으로 초결과 종결을 측정하였다.

2.4.4 층분리 및 혼합상태 목시판정

층분리 현상을 육안으로 관찰하기 위하여 현탁형 그라우트를 ϕ 6cm×H 7cm 원통형 용기에 담아둔 후 7일재령에서 경화상태를 관찰하였다.

2.4.5 SEM 촬영

그라우트 분체의 분산상태 및 수화물의 발달상태를 정밀하게 분석하기 위하여 SEM(전자현미경)을 이용하여 미세한 표면형상을 촬영하였다. 동일한 조건의 시편에서 입자의 분산상태를 확인하기 위해서 200배율로 촬영하였으며 수화물의 발달상태 및 형상을 확인하기 위하여 5000배, 10000배, 20000배율로 확대하여 촬영하였다. 또한, 일정한 물시멘트비에 대하여 고속혼합기 회전수를 변화시켰을 경우 회전수가 분산정도에 미치는 영향을 평가하기 위해서 시편의 같은 위치(하단으로 부터 20mm)에서 SEM사진을 촬영하여 관찰하였다.

2.4.6 일축압축강도 시험

일축압축강도 시험을 위한 시험체는 5cm×5cm×5cm의 큐빅 시편을 제작하였으며 재령 28일에서 디지털형 만능재료시험기를 이용하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 최적의 벤토나이트 선정

본 연구에서는 국내에서 생산공급 되고 있는 벤토나이트 4종에 대하여 물리특성 및 화학성분 검토하여 최적의 벤토나이트를 선정하고자 시험을 수행하였다. 벤토나이트에 대한 물리적 성질은 표 2와 같고 입도분포 곡선과 블리딩 곡선은 그림 2, 3과 같다. 또한, 그림 1은 벤토나이트의 종류에 따른 응결시험 (초결, 종결)에 대한 결과다.

표 2. 벤토나이트의 물리적 성질

	종류			
	와이오밍	MONTI GEL-F	BENTONIL GTC4	TIXOTON STAND
함수비 (%)	4.65	4.67	8.65	6.8
입도(#200 잔류량) (%)	7.5	5.5	7.3	6.97
팽윤도 (ml/2g)	35	13	27	22
투과량(7kg/cm ² 에서 30분간)	-	-	19.7*	19.3*
아터버그한계 (소성지수, %)	603.8%	451.9%	430%	294.9%

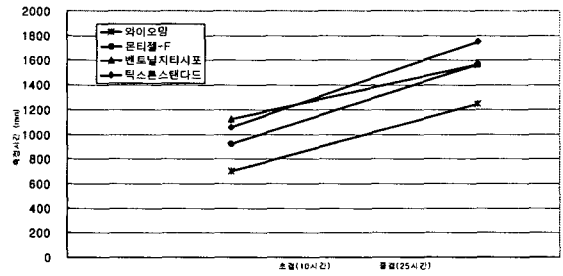


그림 1. 벤토나이트 종류에 따른 응결 시험 결과

주) * : 해당사의 기술홍보자료 인용

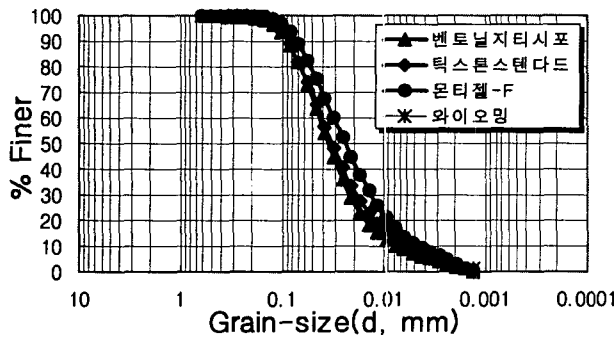


그림 2. 벤토나이트 입도분포 곡선

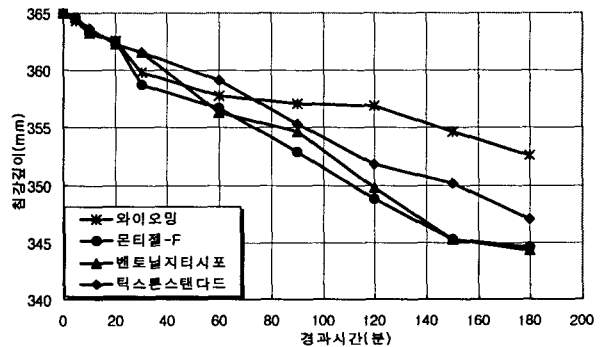


그림 3. 벤토나이트 블리딩 곡선

이상의 시험결과로부터 벤토나이트 종류별 입도는 큰 차이가 없지만 블리딩과 응결시간은 상당한 차이가 있음을 알 수 있다. 즉 벤토나이트를 소량 첨가하여 사용하는 경우의 블리딩량은 수입제품인 와이오밍이 가장 적었으며 국내산은 텍스톤스탠다드가 상대적으로 우수하고 몬티젤-F나 벤토닐지티시포는 블리딩량이 많았다. 한편 응결특성 측면에서도 몬티젤-F를 첨가하여 사용하는 것이 가장 우수하였으며 국산제품을 사용하는 경우 벤토나이트의 규준에 적합하고 응결특성이 상당히 지연되는 것을 알 수 있었다. 그러나 경제성과 기타 공학적 특성을 만족하는 국내산 HS社의 몬티젤-에프(MONTIGEL-F)를 최적의 그라우팅용 벤토나이트로 선정하였다.

3.2 블리딩 시험

몰시멘트비와 고속혼합기의 회전수를 변화시키면서 블리딩량을 측정된 결과는 그림 4, 5와 같다. 그림에서도 볼 수 있듯이 몰시멘트비가 증가할수록 블리딩량의 크기가 현저하게 커지는 것을 알 수 있다.

한편 벤토나이트를 첨가할 경우는 블리딩이 현저하게 감소하는데 이는 벤토나이트의 팽윤성 때문에 점도가 높아지고 시멘트 입자와 벤토나이트 입자간의 전기화학적 반발력에 의한 것으로 판단되고, 물시멘트비가 500% 이하인 경우는 블리딩이 5분의 1 이하로 현저하게 감소하여 벤토나이트를 첨가하는 효과가 확실히 나타남을 알 수 있다. 또한 벤토나이트를 첨가하지 않은 경우는 고속혼합기 회전수별 블리딩량의 변화가 거의 없으나 벤토나이트를 첨가한 경우에는 회전수별 차이가 현저하게 감소하는 것을 볼 수 있다.

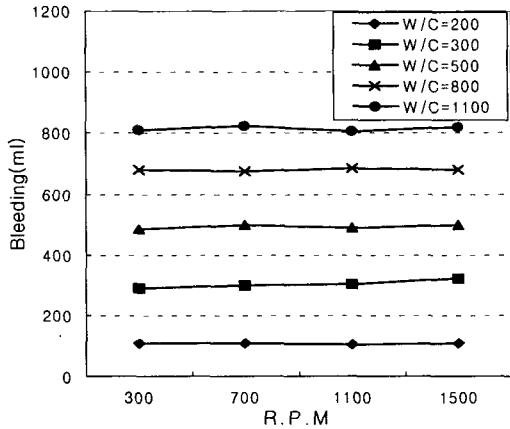


그림 4. 벤토나이트 무첨가 경우 물시멘트비별 최종 블리딩

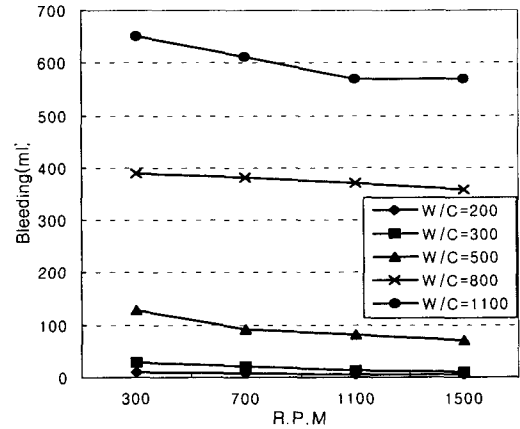


그림 5. 벤토나이트 3%첨가 경우 물시멘트비별 최종 블리딩

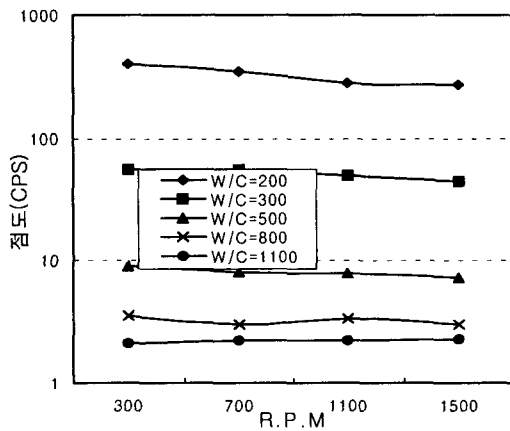


그림 6. 벤토나이트 무첨가 경우 물시멘트비별 회전수에 따른 점도 변화

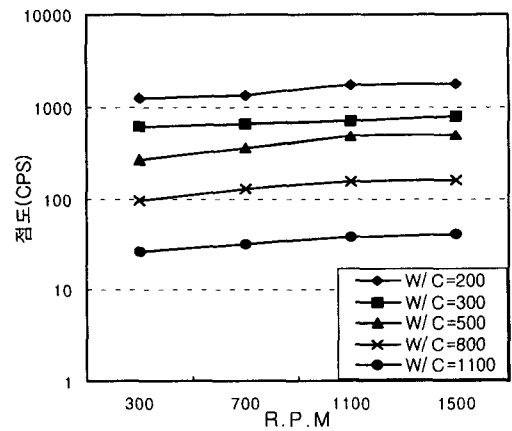


그림 7. 벤토나이트 3%첨가 경우 물시멘트비별 회전수에 따른 점도 변화

3.3 점도 시험

물시멘트비와 고속혼합기 회전수 변화에 따른 점도측정 결과는 그림 6, 7과 같다. 그림 6에서 벤토나이트를 첨가하지 않은 경우는 고속혼합기 회전수가 증가함에 따라 점도가 다소 저하되는 경향을 보이고 있는데 이는 분산상태가 양호해지면서 현탁액의 전단저항력이 감소하기 때문으로 판단된다. 한편, 벤토나이트를 3% 첨가한 경우는 고속혼합기 회전수가 증가함에 따라 점도가 증가하는 경향을 보이고 있는데 이와 같은 경향은 벤토나이트의 분산상태가 좋아지면서 팽윤성도 커지기 때문에 오히려 현탁액의 전

단저항력이 커지는 것으로 판단된다.

3.4 응결 시험

물시멘트비가 300%인 현탁액에 벤토나이트를 무첨가한 경우와 3% 첨가한 경우에 대해서 응결시험을 실시한 결과는 그림 8~9와 같다. 벤토나이트 무첨가의 경우는 고속혼합기의 회전수가 증가함에 따라 초결 및 종결 시간이 현저하게 감소함을 확인할 수 있다. 또한 벤토나이트를 3%첨가한 경우에도 회전수가 증가함에 따라 초결 및 종결이 점진적으로 감소하고 있는 것을 볼 때, 회전수가 증가함에 따라 현탁형 그라우트의 입자의 분산정도가 향상되어 경화속도를 촉진시켜 준다고 판단된다.

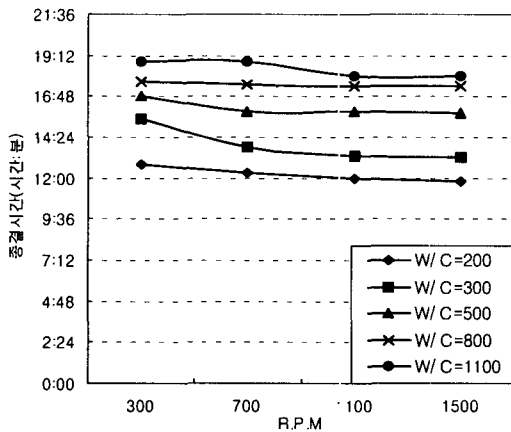


그림 8. 벤토나이트 무첨가 경우 물시멘트 비별 회전수에 따른 종결 시간

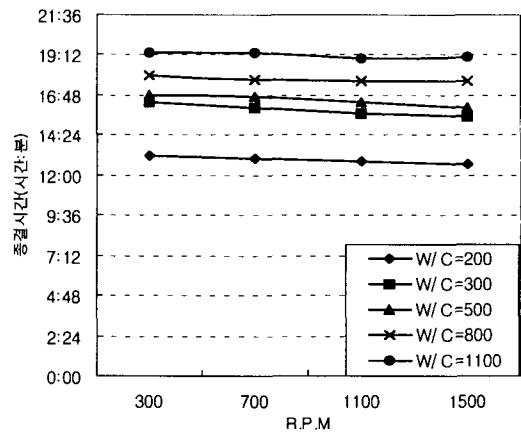


그림 9. 벤토나이트 3%첨가 경우 물시멘트 비별 회전수에 따른 종결 시간

3.5 층분리 및 혼합상태 목시판정 시험

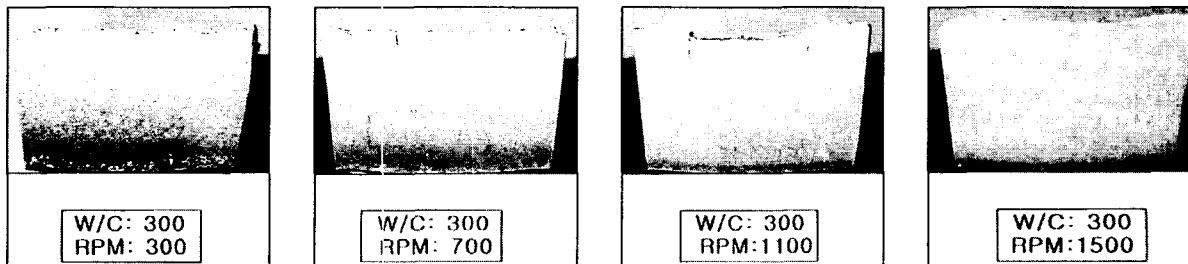
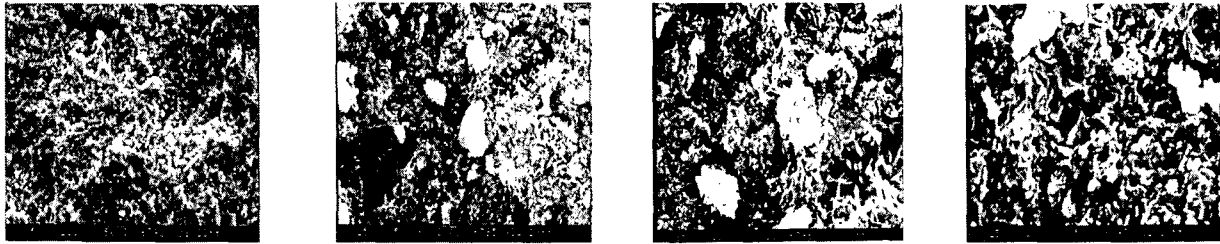


사진 2. 고속혼합기의 회전수에 따른 층분리 사진(W/C=300%, 벤토나이트 3%첨가)

고속혼합기의 회전수 변화에 따른 분산상태를 확인하기 위하여 벤토나이트를 3% 첨가한 현탁액에 대해서 층분리 및 혼합상태에 대한 목시판정을 실시하였다. 층분리의 상태는 사진 2와 같이 목시판정이 가능하였다. 본 실험에서 벤토나이트를 첨가하지 않은 경우 고속혼합기의 회전수에 따라서 층분리가 뚜렷하지 않았으나 벤토나이트를 첨가한 경우는 고속혼합기의 회전수가 증가함에 따라 층분리 경향이 감소하는 것을 뚜렷하게 판정할 수 있었다.

3.6 분산상태 확인을 위한 SEM 시험

목시판정용 시편에 대하여 좀 더 세부적이고 구체적인 결과 관측을 위하여 SEM 촬영시험을 실시하였다. SEM 촬영은 고속혼합기의 회전수를 700rpm으로 같은 위치를 선정하여 실시하였다. 사진 3의 200배 확대사진을 보면 고속혼합기의 회전수가 증가할수록 입자의 조직과 분포가 치밀함을 알 수 있고, 5000배, 10000배, 20000배 확대사진을 보면 고속혼합기 회전수가 클수록 분산상태가 양호해서 수화물의 발달이 활발하고 수화물의 조직도 치밀함을 확인 할 수 있다.



(a) 200배율 (b) 5000배율 (c) 10000배율 (d) 20000배율

사진 3. SEM 사진 촬영에 의한 입도분리상태(W/C=300%, RPM=700, 벤토나이트 3%첨가)

3.7 일축압축강도 시험

물시멘트비 및 고속혼합기 회전수 변화에 따른 일축압축강도를 재령 28일을 기준으로 측정된 결과는 그림 10, 11과 같다.

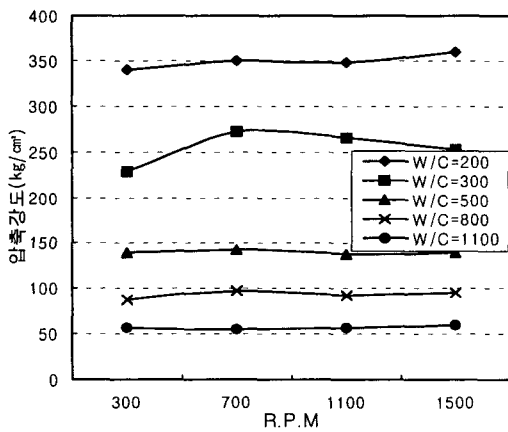


그림 10. 벤토나이트 무첨가 경우 물시멘트비별 회전수에 따른 재령 28일 강도변화

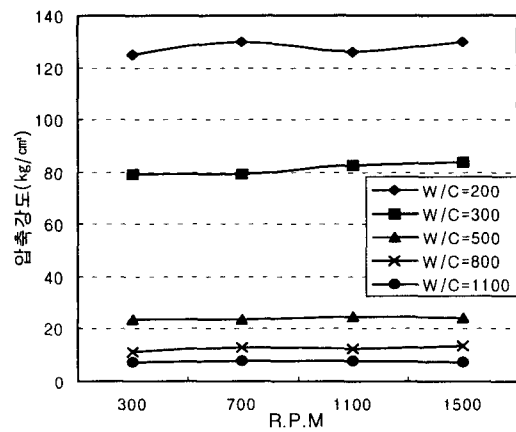


그림 11. 벤토나이트 3%첨가 경우 물시멘트비별 회전수에 따른 재령 28일 강도변화

벤토나이트 첨가 유무에 관계없이 물시멘트비와 강도는 거의 직선적인 관계로 비례하지만 고속혼합기의 회전수에 의한 품질변동의 유의성이 거의 없었다.

4. 결론

그라우트재 물성변화 분석을 위한 물시멘트비 및 혼합속도에 관한 실험적 평가 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. 국내 HS사에서 공급되는 몬티젤-F가 CB공법용 벤토나이트로서 요구되는 특성과 경제성에서 가장 적합하여 이 제품을 연구용 시료로 선정하였다.
2. CB현탁액의 블리딩량은 물시멘트비가 500% 이하의 된배합에서는 대폭 감소하였지만 800% 이상의 묽은배합에서는 블리딩량이 뚜렷하게 감소하지는 않았다.
3. 벤토나이트 첨가유무와 회전수에 따라서 점도경향은 서로 상반되는 결과를 나타냈는데, 이는 CB현탁액에서 점도가 높아지는 것은 고속회전에 의해서 벤토나이트의 활성이 커지기 때문에 팽윤성이 커지고 이로 인해서 CB현탁액의 전단저항력이 커지는 것으로 추정된다.
4. 현탁액 입자의 분산정도가 향상되어 경화속도가 촉진되기 때문 고속혼합기의 회전수가 증가함에 따라 응결시간이 현저히 감소하는 경향을 보였다.
5. CB현탁액의 물시멘트비 300%인 배합에 대해서 경화체의 층분리상태를 관찰한 결과 회전수가 클수록 분산상태가 양호해지고 특히, 1100rpm이상으로 교반할 경우 상당히 균질한 분산상태를 보여주고 있다. 각 층분리 부위에 대한 SEM사진을 관찰한 결과 200배의 저배율에서는 회전수가 증가할수록 입자의 조직과 분포가 치밀함을 관측할 수 있었고, 5,000~20,000배의 고배율에서는 회전수가 클수록 분산상태가 양호해져서 수화물의 발달이 활발하여 수화조직이 치밀함을 볼 수 있었다.
6. 이상과 같은 연구결과로부터 시멘트현탁액 또는 CB현탁액을 파이롯트 믹서로 1100rpm 이상 고속 혼합할 경우 현탁액의 분산상태가 매우 양호해지고, 물시멘트비가 500% 이하인 된배합에서 그 효과가 더욱 뚜렷하였다. 따라서 향후 그라우팅 현장에서 고속혼합기를 적용할 경우 품질향상을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2000년도 농업기반공사의 농어촌연구원의 지원에 의한 것으로, 이에 심심한 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 천병식, 김진춘, 최영철, 정종주, 신상재, 이홍재(2000), 마이크로 복합실리카 그라우트의 공학적 특성에 관한 연구, 한국지반공학회 2000 가을 학술발표회 논문집, 한국지반공학회, pp. 64~65.
2. 토목공법연구회(1999), 그라우팅편람, 창우출판, pp. 231~240.
3. 한국벤토나이트(주)(1999), 벤토나이트 기술자료, pp. 1~6.
4. (주)한국수드케미(2000), 기술정보 자료, pp. 1~3.
5. ASCE(1982), Proceedings of the conference on Grouting In Geotechnical Engineering, New Orleans, Louisiana, February 10-12, pp. 11~16.
6. Grim, R. E.(1967), Clay Mineralogy, McGraw-Hill, New York, pp. 6~7.