

커들란을 이용한 콘크리트의 유동성 및 강도증가에 관한 연구

신성의 · 이종현[†] · 이기형*

조선대학교 화학공학과

*공주대학교 생물학과

(2001년 10월 5일 접수, 2002년 3월 21일 채택)

An Experimental Study on the Enhancement of Fluidity and Strength of Concrete with Curdlan

Sung Euy Shin, Jung Heon Lee[†] and Ki-Hyeong Rhee*

Department of Chemical Engineering, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea

*Department of Biological Science, Kongju National University, Kongju 314-701, Korea

(Received 5 October 2001; accepted 21 March 2002)

요 약

본 논문에서는 콘크리트 혼화제로의 커들란의 영향을 연구한 논문으로 콘크리트 혼화제로서의 커들란의 효과를 높이는 방법을 연구하였다. 분말상태의 커들란의 혼화제로서의 효과는 웰란에 비해 많은 양을 필요로 하였으나 NaOH에 녹여 사용한 결과 우수한 유동화 특성을 보유하게 되었다. 커들란을 녹인 용액의 pH가 12.7일 때 가장 좋은 슬럼프 값을 나타냈다. 레미콘 크기의 pilot 시험기에서의 슬럼프 값의 변화는 커들란을 초유동화제로 사용했을 경우 효과가 우수하게 나타나 미생물유래 다당류는 콘크리트 혼합의 훌륭한 초유동화제로 사용될 수 있음을 밝혀냈다.

Abstract—One of biopolymer, curdlan, was mixed with concrete to enhance the fluidity and to increase the strength of concrete. Using powder type of curdlan, its effect on fluidity was very low relative to that of welan due to solubility during mixing. To increase the solubility of curdlan, small amount of NaOH was added. As a result, the fluidity of concrete was greatly improved with NaOH addition and the strength of concrete was also improved. The optimal pH of dissolving solution for the best quality concrete was pH 12.7. The pilot scale experiment also showed good performance in the slump value and also in concrete strength. From these experiments, we can approve that curdlan produced from microorganism is a good super plasticizer for concrete mixture.

Key words: Concrete, Curdlan, Super Plasticizer, Alkali Solution

1. 서 론

시멘트, 모래, 및 자갈에 의해 만들어지는 콘크리트 구조물은 급격히 늘어가고 있으며 이에 따른 각종 콘크리트 첨가제의 개발이 진행되고 있다[1, 2]. 감수제, 소포제, 지연제, 초유동화제 등의 다양한 첨가제는 콘크리트 품질의 향상을 위해 사용한다. 그럼에도 불구하고, 이러한 혼화제 적용과정에서 강도저하, 공기량의 변화, 재료분리, 블리딩, 슬럼프 유지성능의 저하, 응결의 지연 등 여러 가지 문제점을 가지고 있다[3]. 혼화제는 제품마다 특성이 달라서 제품에 따른 콘크리트 품질을 평가하는 기술이 필요하며, 고강도 콘크리트에 사용되는 감수제, 혼화제 및 지연제의 기초적인 특성을 파악하고 이를 적극적으로 활용하여 현장에 적용하여 고강도 콘크리트의 품질 향상에 상당한 기여를 하고 있다[4]. 콘크리트를 시공함에 있어 슬럼프는 중요한 요소이며, 특히 낮은 물-

시멘트비를 가진 고강도 콘크리트에서의 슬럼프 손실은 작업성에 큰 영향을 미친다[5, 6]. 그러나, 현재 주로 사용 중인 나프탈렌계나 멜라민계의 일반형 고성능 감수제를 고강도 콘크리트에 적용시킬 경우, 경과시간에 따른 슬럼프 손실이 심하게 발생하여 시공에 어려움이 생기게 된다[7]. 따라서 실험을 통하여 슬럼프의 증가에 따른 재료분리와 블리딩, 슬럼프 손실에 미치는 초기 슬럼프의 영향, 슬럼프 손실 저감형 고성능 감수제의 슬럼프 손실 실험을 통하여 이러한 문제점을 해결하고자 하였다.

초유동화제는 콘크리트의 재료 분리를 저감시킴으로써 강도를 증가시킬 뿐만 아니라 Air-Entraining(AE)제는 콘크리트 내부에 미세한 기포를 발생시켜 시공연도의 증진은 물론 단위수량을 감소시키며 콘크리트 내부에 발생하는 기포는 일반적으로 수분을 함유하지 않기 때문에, 수분이 동결할 때 팽창응력을 완충시키는 역할을 하게 된다[8, 9].

본 논문에서는 초유동화제로의 미생물 다당류인 커들란의 적용성을 검토하였으며 이를 이용한 콘크리트의 품질향상 방법 및 적용효율을 증대시키는 방법을 연구하여 새로운 소재로의 가능성을 제시하고자 한다.

[†]To whom correspondence should be addressed.
E-mail: leejh@mail.chosun.ac.kr

2. 재료 및 방법

시험재료의 강도 인정을 받기 위해 본 연구에 사용된 재료는 품질이 인증된 재료를 사용하였다. 본 연구에서 사용된 재료는 골재, 모래, 시멘트, 감수제 및 증점제 등이다. 본 실험에 사용된 시멘트는 KS L 5201의 규정에 적합한 쌍용 시멘트의 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 골재로는 먼지, 흙, 유기불순물, 염분 등 해로운 물질을 함유하지 않은 골재로 모래의 경우 입도는 120 mesh를 이용하여 거른 모래를 사용하였다. 품질이 좋은 콘크리트를 만들기 위해서 굵은 골재는 최대치수 19 mm의 쇠식골재를 사용하였다. 고성능 감수제는 (주)진웅의 나프탈렌계를 사용하였으며 AE제와 감수제 양자효과를 보유하고 있다. 주로 계면활성작용에 따라, 콘크리트제 성질을 개선하기 위하여 사용하는 초유동화제로 미생물 다당류 계통의 물질인 커들란(더멋진 바이오텍, 대전)과 웰란(Zeus Chemtech, 서울)을 사용하였다.

본 실험에 사용된 실험 장치는 원통형 슬럼프 시험기로 실험실 규모에서 초유동화제의 성능을 측정하기 위해 직경이 2 cm 높이가 5 cm인 스테인레스 강관을 이용하였다. 시험에 사용된 몰타르의 조성은 시멘트 135 g, 모래 267 g, 물 57.1 mL, 감수제 3.92 g 및 증점제로는 생물다당류의 양을 변화시켜 사용하였다. Pilot Scale 레미콘 믹서기를 사용한 경우에는 강제식 믹서 1분, 가경식 믹서 3분, 미리 혼합수를 혼합한 혼합제를 사용하였다(온도 $20 \pm 3^\circ\text{C}$). 실험조건은 콘크리트 배합조건과 동일하며 실험에 쓰인 재료의 조성은 다음과 같다.

콘크리트의 강도측정과 시험 시료의 제작방법은 KS F 2403에 따랐다. 콘크리트의 강도는 일반적으로 표준 양생한 콘크리트를 3, 7, 28일에서의 콘크리트 압축강도를 측정하였다. 콘크리트의 압축강도시험은 KS F 2405에 따랐다[9].

Table 1. Composition of raw materials used for the concrete strength test

Materials	Composition(per m^3)
Cement	13.5 Kg
Sand	26.67 Kg
Gravel	24.63 Kg
Water	15.71 Kg
AE agent	0.392 Kg
Admixture	Welan 0.16 Kg(standard) or curdlan

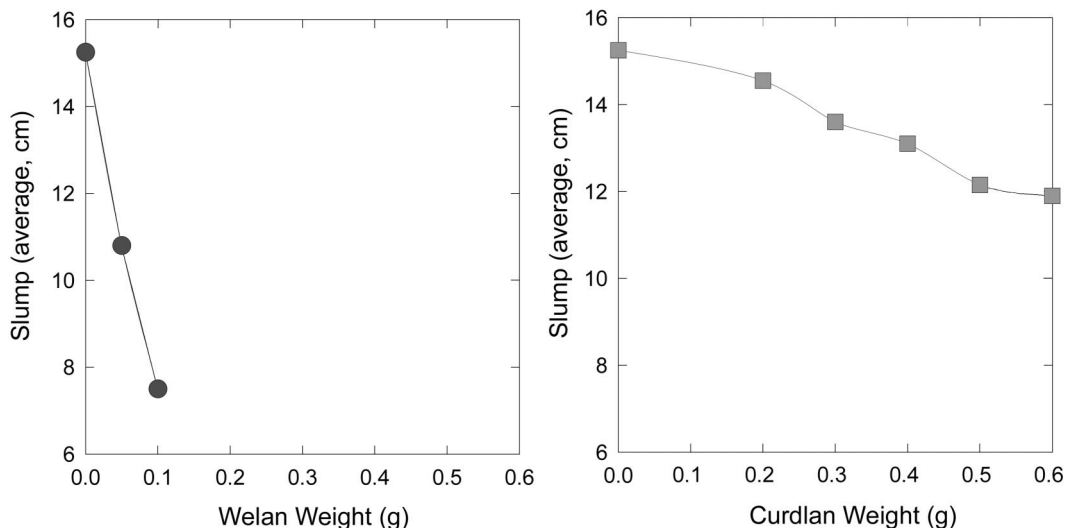


Fig. 1. Effect of welan and curdlan addition on the mortar slump variation with tube test.

3. 실험결과

3-1. 콘크리트 혼화제로서의 미생물 다당류(biopolymer)의 효과

미생물 다당류를 첨가한 몰타르와 첨가하지 않은 몰타르의 흐르는 형태가 서로 다를 수 있다. 커들란을 넣지 않은 경우 몰타르 경계 부위에서 재료분리가 일어남을 볼 수 있었다.

Fig. 1은 현재 사용되고 있는 초유동화 증점제인 웰란과 커들란의 slump 특성을 측정하여 비교한 것이다. 커들란의 초유동화제 및 콘크리트 강화제로의 유용성을 평가하기 위하여 현재 많이 쓰이고 있는 웰란과의 효용성을 비교하였다. 웰란의 경우 소량을 넣어도 효과가 우수하나 커들란의 경우에는 효능이 웰란과 비교하여 효용성이 떨어지는 것으로 나타나 커들란의 품질개선이 필요하게 되었다. 혼화제의 양과 슬럼프 값의 변화는 아주 밀접한 관계를 갖고 있었으며 커들란의 양이 증가할수록 슬럼프 값이 줄어들고 분리가 저감되는 현상을 관찰할 수 있었다. 커들란의 양을 증가함에 따라 분리가 저감되는 현상과 슬럼프 값의 변화를 보면 커들란이 초유동화제로서의 가능성을 보여주고 있다. 본 실험에서 커들란의 성능이 웰란에 비해 현저히 떨어진 것은 사용된 시료가 미생물 배양을 통하여 생산된 배양물을 원심 분리하여 자연건조를 한 후 분말을 제조한 것을 사용한 것으로 입도의 크기가 크고 용해도도 높지 않았을 것이라는 예상에 따라 분말의 크기를 작게 하여 동일한 실험을 반복하였다.

3-2. 커들란의 입자 크기에 따른 슬럼프 변화

커들란 첨가에 따른 슬럼프의 영향을 보기 위해서 연구한 커들란 입자의 크기는 자연건조를 통해서 생산된 0.212 mm 이하인 것으로 welan의 입자의 크기에 비해서 상대적으로 크다. 그러므로, 증점의 효과를 증가시키기 위해 입자의 크기를 줄여 증점제의 입도 변화에 따른 슬럼프의 변화를 측정하였다.

입자의 크기가 작을수록 슬럼프 효과가 좋은 것은 커들란 입자의 용해도에 따른 것으로 예상되었다. 입도의 크기는 입자를 만드는데 필요한 동력에 반비례하므로 입자의 크기가 작을 경우 효과가 좋다고 해도 입자의 크기를 조절할 필요가 있다(Fig. 2). 제품제조시 입도의 크기를 최적화하고 입자를 만드는 동력을 최적화하여 효과를 극대화 할 수 있는 제품의 개발이 필요하다.

3-3. 커들란을 알칼리 용액에 녹여 사용한 결과

커들란은 원래 중성인 용액 상태에서 녹지 않고 입자인 상태로 존재

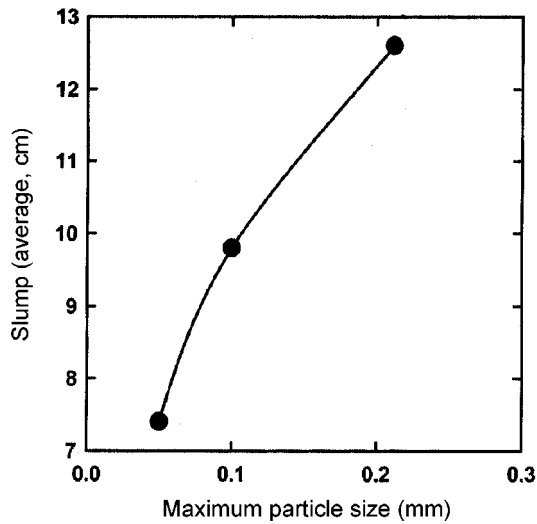


Fig. 2. Effect of curdian particle size on the size of mortar slump.

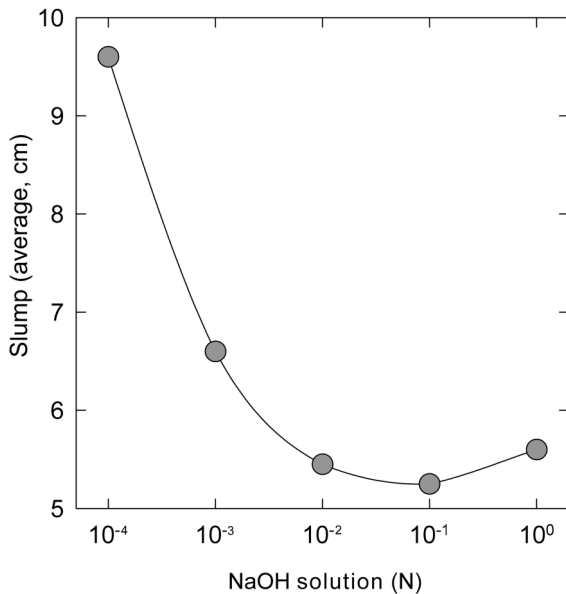


Fig. 3. Effect of NaOH concentration on mortar slump variation (NaOH was added to resolve curdian).

하다가 시멘트와 물이 섞이어 용액의 pH가 증가함에 따라 커들란이 용해되어 유동화제로서의 역할을 하고 있다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 입자의 크기에 따라서 슬럼프 값의 변화가 심하기 때문에 커들란을 콘크리트 혼합물에 넣기 전에 알칼리 용액에 녹여서 슬럼프 값을 측정하는 실험을 하였다.

NaOH의 농도(pH의 변화)에 따라 슬럼프 값의 변화가 큰 것으로 나타났다. pH 12.7에서 효과가 가장 우수한 것으로 나타났다. 이는 최적 pH에서 슬럼프값이 가장 적게 나오다가 용액의 pH가 증가함에 따라서 slump 값이 증가하게 되었다.

3-4. Pilot Scale Experiments

커들란의 필드에서의 적용성을 측정하기 위해 pilot scale에서 콘크리트를 제조하여 슬럼프 값과 콘크리트 강도를 측정하였다.

Fig. 4는 웰란과 커들란을 초유동 콘크리트로 사용했을 때 3, 7, 28일 강도를 측정된 결과를 도식화 한 것이다. 커들란의 양을 증가시킬수록

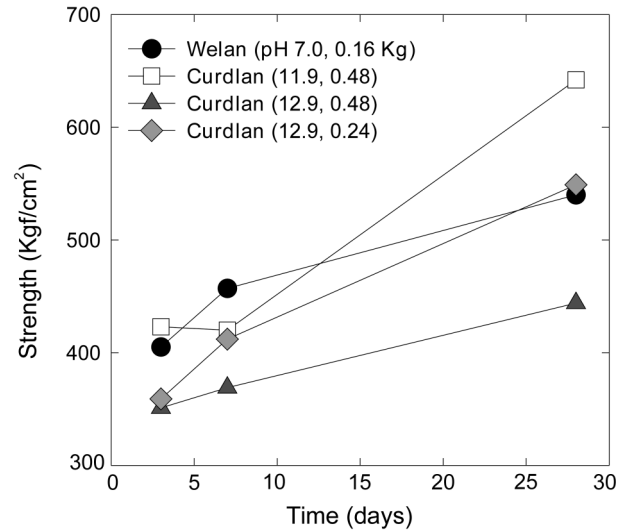


Fig. 4. Effect of pH and curdian concentration on the concrete strength (The pH of solution was changed from 11.9 to 12.9 and the added amount of curdian was 0.24 Kg and 0.48 Kg).

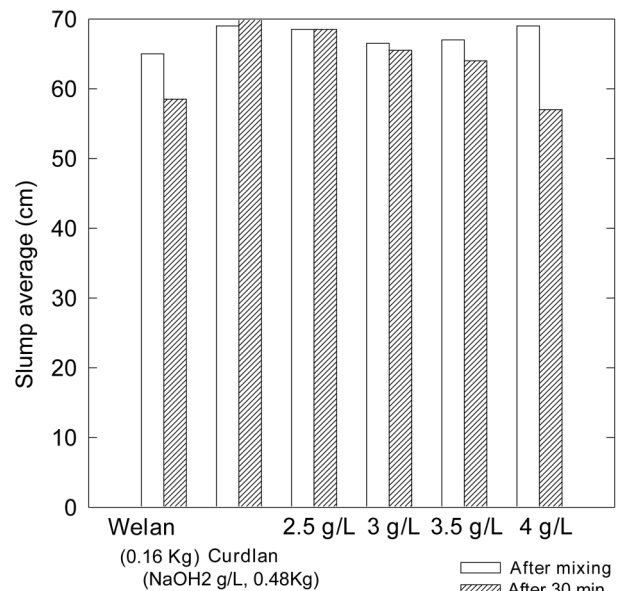


Fig. 5. Effect of NaOH concentration on the concrete slump loss (NaOH concentration of the solution was changed from 2 g/L to 4 g/L).

강도가 증가되는 것으로 관찰되었으며 첨가 수용액의 pH를 증가시키면 강도가 감소하는 현상을 관찰할 수 있었다. 본 실험을 통하여 측정된 커들란을 이용한 초유동화 콘크리트 강도는 기존에 사용되고 있는 웰란에 비해 첨가량은 많으나 강도 및 슬럼프 값에서 우수한 것으로 나타났다. Fig. 5에서 보면, 비빔 직후의 슬럼프 값과 30분 후의 슬럼프 값을 변화 시킴으로서 경시 변화를 관찰하였다. NaOH 첨가에 따른 슬럼프 값의 변화는 30분 후에도 거의 동일한 슬럼프 값을 보여주는 3 g/L 정도가 가장 우수한 것으로 나타났으며 슬럼프 값도 증점제 사용수준으로 우수한 것으로 나타났다. 따라서, 커들란을 사용하여 증점효과를 보완한다면 운반 시 소요되는 시간에도 슬럼프 값의 변화 없이 우수한 콘크리트를 제조할 수 있게 된다.

시멘트는 물과 접촉하자마자 수화반응이 시작되어 차츰 유동성을 잃고 응결을 하게 되고 시간의 경과와 함께 경화가 일어나게 된다. 본 연

구에서 사용 한 초유동화제는 이러한 콘크리트의 응결시간을 조절하여 운반 시간 지연에 의한 유동성 저하를 억제하여 시공성과 작업성을 확보할 수 있었으며 콘크리트 유동성을 확보함으로써 각 구성 성분이 골고루 섞이게 하여 강도를 증가시켰다.

4. 결 론

콘크리트 혼화제인 일종의 증점제로서의 커들란의 특성을 연구함으로써 소량으로 우수한 증점효과를 보유하는 방법을 개발하였다. 커들란과 유사한 특성을 보유한 웰란과의 특성을 비교 분석함으로써 커들란 사용의 경제적인 효과를 향상시키려 하였다.

커들란을 분말로 사용하여 콘크리트의 증점효과를 높이려 한 결과 분말을 사용할 경우 커들란이 순간적인 용해도가 작기 때문에 효과가 감소하는 것을 볼 수 있었다. 분말의 크기를 작게 할 경우 용해도의 증가로 증점효과가 증가하는 것으로 나타났으나, 커들란의 양을 늘릴 경우 커들란의 가격에 따른 경제적인 문제를 해결하고자 커들란을 NaOH 용액에 녹여 사용하는 방법을 고안하였다. 커들란의 경우 pH가 11이상인 경우 녹기 때문에 알칼리성 용액에 녹여 사용하였다. 그 결과로 증점효과는 거의 4배에 달하였으며 경제적인 효과는 매우 우수하였다.

실공정인 현장에 적용하기 위하여 pilot scale에서 콘크리트 제조시 슬럼프 값의 변화와 강도변화를 측정하였다. 커들란을 알칼리 용액에 녹여 pilot scale 레미콘에 넣어 혼합기에서 혼합한 다음 슬럼프 값의 변화와 강도 변화를 측정하였다. 슬럼프 값과 강도변화를 측정한 결과 pH 12.7인 용액에 커들란을 녹여 사용하는 경우 최적인 슬럼프 값과 강도를 유지할 수 있었다.

감 사

본 연구는 2000년도 조선대학교 학술연구진흥 사업비로 추진되었습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Rho, J. S., Hong, S. S. and Cho, H. Y.: *Chemical Industry and Technology*, **12**, 397(1994).
2. Eum, M. H., Choi, J. J. and Lee, J. S.: *Korean Solid Wastes Engineering Society*, **12**, 69(1995).
3. Rho, J. S.: *Proceedings of Chemical Technology Meeting*, PL-1 (1993).
4. Kim, J. K., Han, S. H., Park, Y. D. and Noh, J. H.: *J. Korea Concrete Institute*, **8**, 135(1996).
5. Bae, S. H., Youn, S. D., Jeong, Y. S. and Kim, Y. E.: *J. Korea Concrete Institute*, **6**, 135(1994).
6. Rho, J. S., Hong, S. S. and Kim, D. S.: *J. Korea Concrete Institute*, **7**, 189(1995).
7. Kim, M. H. and Kim, M. H.: *J. Association of Architectural Institute of Korea*, **2**, 135(1986).
8. Han, C. G. and Kim, G. C.: *J. Korea Concrete Institute*, **10**, 147(1998).
9. Kim, G. S. and Kim, Y. J.: *J. Association of Architectural Institute of Korea*, **12**, 257(1996).