

카르본산계 고성능 감수제를 첨가한 시멘트 모르타르의 유동 특성(Ⅱ)

Flow and Strength Properties of Cement Mortar Mixed with High Range Water Reducer Containing Carboxylic Acid (Ⅱ)

김화중* 강인규** 권영도*** 김우성***
Kim, Wha Jung Kang, Inn Kyu Kwon, Young Do Kim, Woo Sung
황재현**** 김원기**** 박기청****
Hwang, Jae Hyun Kim, Won Ki Park, Ki Cheong

요 약

앞 선 연구에서는 스티렌과 무수말레인산으로부터 스티렌-무수말레인산 공중합체(SMA)를 합성하고 이들을 황산화하여 수용성의 SMA를 제조하였다. 본 연구에서는 이들 카르본산계 공중합체를 첨가한 시멘트 모르타르의 플로우 및 경화시멘트 모르타르의 강도를 조사하여 고성능감수제로서의 성능을 평가하였다. 플로우 실험 결과 황산화 SMA(SSMA)를 첨가한 시멘트 모르타르의 플로우는 아미노페놀이 치환된 황산화 SMA(SmSMA)를 첨가한 경우보다 더 큰 값을 나타내었다. 또한 공중합체를 첨가한 시멘트 모르타르의 플로우 유지율은 기존의 나프탈렌계(NSC)를 첨가한 경우보다 우수하게 나타났다. 시멘트 모르타르에 SSMA와 SmSMA를 시멘트 중량에 대해 각각 0.5% 첨가하여 제조한 경화 시멘트 모르타르의 28일 압축강도를 조사하였다. 그 결과 SSMA 및 SmSMA를 첨가한 경우 plain보다 각각 31%와 13%의 강도 증가를 나타내었다. 이상의 결과로부터, 본 연구에서 사용한 SSMA 및 SmSMA의 카르본산계 공중합체는 콘크리트용 고성능감수제로서 크게 기대되어진다.

Abstract

In the previous study, styrene-maleic anhydride copolymer(SMA) was synthesized from styrene and maleic anhydride and further reacted with sulfuric acid to obtain water-soluble SMA. In this study, the flow and strength tests of cement mortar mixed with copolymers were carried out to evaluate the capability of copolymers as high range water reducer for the concrete. It was found from flow experiment that the fluidity of cement mortar mixed with sulfonated SMA(SSMA) was larger than that mixed with aminophenol-substituted SMA(SmSMA).

The decreasing rate of the flow of cement mortar mixed with SSMA and SmSMA was significantly lower than that mixed with naphthalene condensate(NSC). The compressive strength of the hardened cement mortars containing 0.5% copolymers after 28 days curing was examined. The compressive strength of hardened cement mortar containing SSMA and SmSMA was increased up to 31% and 13%, respectively, when compared to the plain. As the results, the

* 정희원, 경북대 건축공학과 부교수
** 경북대 교분자공학과 부교수
*** 경북대 교분자공학과 대학원생
**** 동양 중앙연구소 2차제품 연구실

• 본 논문에 대한 토의를 1995년 8월 31일까지 학회로 보내 주시면 1995년 10월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

copolymers(SSMA and SmSMA) used in this study are greatly expected as a good high range water reducers for the concrete.

Keywords : carboxylic acid, high range water reducer, flow properties, ulfonated SMA, aminophenol-substituted SSMA

.....

1. 서 론

콘크리트용 혼화제는 시멘트, 물, 골재에 이어 제 4의 성분으로서 현재 콘크리트의 품질 및 시공성개선을 위하여 널리 이용되고 있다.^(1,2) 2차대전을 전후로 초기에는 공기연행제(AE제)가 사용되다가 골재사정이 악화되면서 공기연행과 감수효과를 동시에 부여해 주는 AE감수제가 사용되었다.^(3,5) 1960년대 중반부터는 고성능감수제가 개발되었고 이들은 높은 감수율을 나타내어 고강도 콘크리트를 제조 할 수 있게 되었으며 PC파일 등의 제품에 사용되었다.^(5,6) 일본의 경우 1975년경부터 공사현장에 단위수량이 적은 콘크리트에 첨가되어 시공성을 개선하는 유동화제로 사용되었다.⁽⁵⁾

산업사회의 급속한 발달로 건축구조물의 대형화 및 초고층화가 이루어졌으며 이에 따라 건축물 시공시 콘크리트의 이송을 위하여 펌프를 이용하는 경우가 증가하였다. 그러나 콘크리트의 낮은 작업성으로 펌프이송시 펌프의 막힘, 과대한 에너지소비 등의 난점을 유발하였다.⁽⁷⁾ 이를 개선하기 위하여 과량의 물을 첨가하는 경우 경화콘크리트의 강도를 저하시켜 콘크리트의 내구성에 심각한 영향을 미치게 된다.^(8,9)

한편 콘크리트의 작업성 및 내구성 개선을 위하여 사용되어온 AE제, AE감수제 등의 화학혼화제는 감수효과가 그다지 크지 않고 첨가량에 따라서는 시멘트의 경화를 불량하게 하는등 문제점을 발생시켰다.⁽¹⁰⁾ 이들 문제점을 보완하기 위하여 새로운 고분자 계면활성제의 일종인 고성능 감수제가 개발되었으며 이들은 시멘트입자에 흡착되어 고분산력을 발휘하므로 콘크리트의 고유동화 및 고강도화를 실현시킬 수 있게 되었다.⁽⁶⁾

이에 관한 연구는, 1960년대부터 활발히 진행되어 많은 연구가^(24,25) 보고되고 있으나 국내에서는

1980년대 이후부터 몇몇 연구자^(22,26)들에 의한 연구가 시작되었다.

현재 국내외에서 사용되고 있는 고성능감수제는 감수성을 발휘하는 성분의 화학구조에 따라 크게 나프탈렌계, 멜라민계, 아미노술폰산계, 폴리 카르본산계 등 네가지로 분류된다.^(11,12) 이들 고성능감수제 중에서도 나프탈렌계와 멜라민계는 가장 널리 사용되고 연구되어 왔다.^(13,17) 최근에는 시멘트 모르타르의 분산성 유지효과가 뛰어나고, 동일분산성을 얻는데 소요되는 양이 적으며, 측쇄에 기능단을 도입해 여러가지 새로운 성질을 부여할 수 있는 폴리 카르본산계 고성능감수제의 연구가 쫓잡이 되고 있다.^(18,20)

앞선 연구⁽²¹⁾에서는 스티렌과 무수말레인산 공중합체(SMA)를 합성하고, 이들을 술폰화한 것(SSMA), 그리고 스티렌과 무수말레인산 공중합체를 m-amino phenol과 환반응 시킨 것(mSMA)을 술폰화하여 카르복시기체를 가지는 수용성 공중합체(SmSMA)를 제조하였으며 또한 그들의 시멘트입자에의 흡착율을 조사한 바 있다. 본 연구에서는 이들 카르본산계 공중합체를 첨가하여 시멘트/모래의 비를 변화시킨 시멘트 모르타르와 물/시멘트의 비를 변화시킨 시멘트 모르타르의 플로우 및 경화시멘트 모르타르의 강도만을 조사하여 고성능감수제로서의 성능을 평가하였다.

2. 실 험

2.1 실험재료

이전의 연구⁽²¹⁾에서 제조된 술폰화 스티렌-무수말레인산 공중합체(SSMA)와 m-aminophenol 치환 SSMA(SmSMA)를 시멘트 모르타르에 대한 혼화제로서 사용하였다. SSMA는 분자내에 술폰

Table 1 Physical properties of high range

Designation	Main component	Phase	Color
SSMA	sulfonated styrene-maleic anhydride copolmer	powder	brown
SmSMA	sulfonated(m-aminophenol substituted styrene-maleic anhydride copolmer)	powder	dark brown

Table 2 Typical properties of portland

Type	Specific gravity	Blaine (cm ² /g)	Setting time(hr-min)		Soundness	Compressive strength(kgf/cm ²)		
			Initial	Final		3 Days	7 Days	28 Days
Ordinary Portlant cement	3.15	3,240	5-06	7-20	good	194	261	323

폰산기와 카르본산기를 가지는 것이 특징이고 SmSMA는 술폰산기, 카르본산기 및 수산기를 가지는 고분자 화합물이다. 이들 고성능감수제의 물리적 특성을 Table 1에 나타내었고 Table 2에는 플로우 및 강도실험에 사용된 보통 포틀랜드 시멘트의 물리적 성질을 나타내었다. 한편 잔골재는 균질한 모르타르를 만들기 위해 주문진산 표준사를 사용하였다.

Table 4 Formulation recipe of fresh cement mortar with different ratio of cement and sand for flow test

Cement (g)	Water (g)	Water /Cement Ratio(%)	Sand (g)	Cement : Sand (Weight)	Polymer (C×%)	
					SSMA	SmSMA
250	100	40	500	1 : 2	0.5	0.5
					1.0	1.0
			750	1 : 3	1.5	1.5
					1.0	1.0
					1.5	1.5

2.2 시멘트 모르타르의 플로우 실험

SSMA와 SmSMA를 시멘트 모르타르에 첨가하여 플로우 실험을 행하여 공중합체의 시멘트 분산성을 평가하였다. 또한 공중합체 첨가에 따른 동일 플로우에서의 감수효과와 플로우 유지효과를 평가하였다. 시멘트 모르타르의 플로우 실험은 KS L 5105를 기준으로 행하였으며 Table 3의 기준배합표에 따라 물 시멘트의 비(W/C)를 0.35~0.41로 변화시켜 시멘트 모르타르를 제조하여 플로우를 비교하였다.

Table 4의 기준배합표에 따라 시멘트 모래의 비

Table 3 Formulation recipe of fresh cement mortar with different amount of water for flow test

Cement : Sand	Cement (g)	Sand (g)	Water (g)	Water /Cement ratio(%)	Polymer (g)
1 : 2	250	500	87.5	35	1.25 (0.5%)
			92.5	37	
			97.5	39	
			102.5	41	

(C/S)를 1 : 2 및 1 : 3으로 하여 C/S의 플로우에 미치는 영향도 조사하였다.

2.3 시멘트 모르타르의 플로우 경시변화

SSMA와 SmSMA를 첨가한 시멘트 모르타르의 플로우 경시변화를 비교평가하기 위해 본 실험실에서 합성한 술폰화 나프탈렌-포르말린 공축합물(NSC)^(22,23)을 첨가한 시멘트 모르타르의 실험도 함께 행하였다. Table 5의 기준배합표에 따라 제조한 시멘트 모르타르를 사용하여 배합 직후부터 90분까지 15분 마다 플로우를 측정하였다.

Table 5 Formulation recipe of fresh cement mortar for the study on relationship between elapsed time and flow

Cement : Sand (Weight)	Cement (g)	Sand (g)	Water (g)	Water /Cement Ratio(%)	Polymer(g)		
					Plain	SSMA	SmSMA
1 : 2	750	1500	338	45	0	0	0
					0	7.5	0
					0	0	7.5

Table 6 Formulation recipe of fresh cement mortar mixed with polymers for the measurement of reduced water

Cement : Sand (Weight Ratio)	Cement (g)	Sand (g)	Polymer(g)		Flow (mm)
			SSMA	SmSMA	
1 : 2	250	500	1.25	0	145~150
1 : 2	250	500	0	1.25	145~150

2.4 시멘트 모르타르의 감수율 측정

Table 6의 기준배합표에 따라 제조한 시멘트 모르타르의 플로우가 145~150mm를 유지하기 위해 소요된 물의 양을 조사하였다. 첨가된 공중합체는 시멘트입자를 분산시켜 유동성을 증가시키므로 시멘트 모르타르가 일정한 크기의 유동성을 유지하는데 필요로 하는 물의 양을 감소시키게 된다.

2.5 경화 시멘트 모르타르의 강도 실험

본 연구에서 합성한 공중합체를 일정한 첨가하여 C/S를 1 : 2로 하고 시멘트 모르타르의 플로우값을 111~113 사이의 값을 나타내도록 조절한 시멘트 모르타르를 사용하여 KS L 5105의 시험체물드(50.8mm × 50.8mm × 50.8mm)를 사용하여 압축강도용 시편을 배합비에 따라 각각 5개씩 제작하였다. 시험체는 형틀에서 24시간 양생 후 다시 2일, 6일, 27일간 수중양생시킨 후 만능 시험기(Microprocessor universal testing, SATEC systems, Inc. U.S.A 100ton)를 사용하여 강도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 시멘트 모르타르의 플로우

3.1.1 플로우에 미치는 W/C의 영향

공중합체 SSMA 및 SmSMA를 첨가한 시멘트 모르타르의 분산성을 조사하였다. 즉 C/S를 1 : 2로 고정하고 공중합체를 시멘트에 대해 0.5%씩 첨가하여 W/C를 35, 37, 39, 41%로 각각 변화시킨 후 시멘트 모르타르의 플로우를 측정하여 Fig. 1에 나타내었다. 사용한 W/C의 범위내에서 모르

타르의 플로우는 W/C의 증가와 함께 비례적으로 증가하였다. SmSMA를 첨가한 경우 plain에 비해 24~29%의 플로우 증가를 나타내었고 SSMA는 38~48%의 증가를 나타내었다. 앞선 보고⁽²¹⁾에서 시멘트 입자에 대한 SSMA의 흡착율은 SmSMA의 그것보다 크게 나타났다. 이것은 Fig. 1의 플로우 결과와 일치하고 있어 시멘트입자에의 흡착율은 시멘트 모르타르의 플로우와 비례관계가 있음을 알 수 있다. SSMA에 비해 SmSMA를 첨가한 모르타르의 플로우가 적게 나타난 것은 SmSMA의 경우 술폰산기(SO₃⁻), 카르복산기(COO⁻), 수산기(OH)를 가지고 있는데 수산기가 인접해 있는 카르복산기의 카르보닐기(C=O)와 수소결합을 형성하여 시멘트입자에의 흡착율을 낮게하고 그 결과 시멘트 모르타르의 유동성을 떨어뜨린 것으로 생각된다.

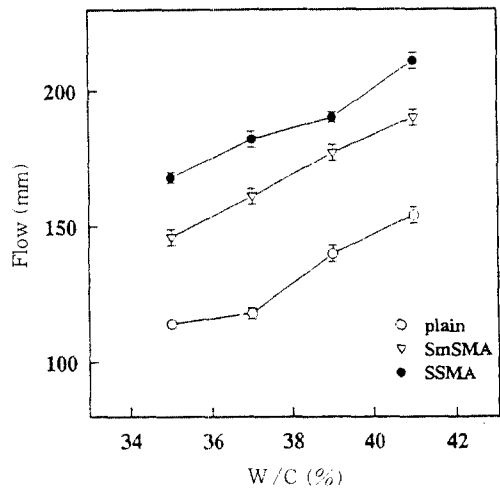


Fig. 1 Flow of the fresh cement mortar mixed with polymer as a function of ratio of water and cement(C/S=1:2).

3.1.2 플로우에 미치는 C/S의 영향

C/S를 달리했을 때 첨가된 공중합체가 시멘트 모르타르에 어떠한 영향을 미치는지를 조사하기 위하여 W/C를 40%로 고정시키고 C/S를 1 : 2, 1 : 3으로 한 후 공중합체를 시멘트중량의 0.5~1.5wt% 첨가하여 모르타르의 플로우를 측정하였다. Fig. 2는 C/S가 1 : 2인 경우의 플로우 결과

를 나타내고 있다. SSMA는 1% 첨가했을 때 최대의 플로우를 나타내었고 SmSMA는 첨가량이 증가함에 따라 플로우는 비례적으로 증가하였다. 공중합체를 1.5% 첨가한 경우 SSMA는 207mm의 플로우를 나타내어 플레인(144mm)에 비해 43%의 증가를 보였고 SmSMA는 204mm의 플로우를 나타내어 41%의 플로우 증가를 나타내었다. 한편 Fig. 3은 C/S가 1:3인 경우의 플로우 결과를 나타내고 있다. SSMA와 SmSMA의 첨가량이

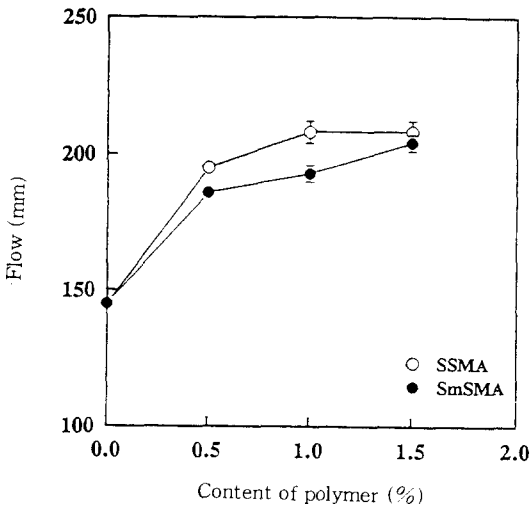


Fig. 2 Flow of fresh cement mortar as a function of polymer concentration (W/ C=0.4, C/ S=1:2).

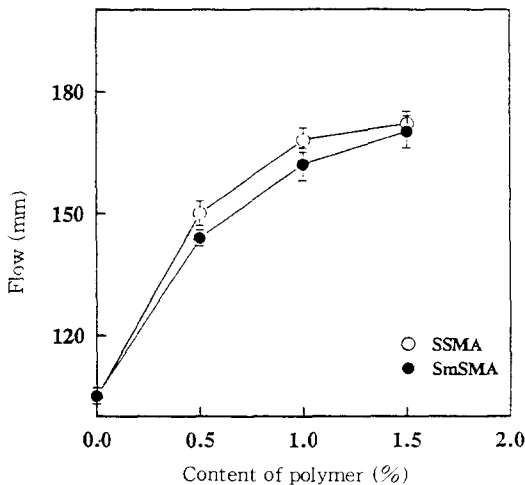


Fig. 3 Flow of fresh cement mortar as a function of polymer concentration (W/ C=0.4, C/ S=1:3).

증가함에 따라 시멘트 모르타르의 플로우는 비례적으로 증가하였다. 특히 공중합체를 1.5wt% 첨가한 경우 plain(105mm)에 비해 SSMA는 172mm를 나타내어 64%의 증가를 나타냈고, SmSMA는 170mm를 나타내어 62%의 플로우가 증가한 것을 알 수 있다. 공중합체를 첨가했을 때의 플로우 증가율은 C/S가 1:2인 경우보다 1:3인 경우 크게 나타났다. 그러나 플로우의 절대값을 비교하면 C/S 1:2인 경우가 C/S 1:3인 경우보다 크게 나타났다. 이들 결과로부터 첨가된 공중합체는 C/S가 큰 시멘트 모르타르의 유동성에 유효하게 작용한다는 것을 알 수 있다.

3.1.3 시멘트 모르타르의 플로우 경시변화

고성능감수제로서 널리 사용되어온 나프탈렌계 축합물(NSC)이 시멘트 모르타르에 첨가되었을 때 모르타르의 유동성을 대폭 향상시킨다는 것은 이미 잘 알려져 있다.⁽²⁷⁾ 그러나 NSC가 첨가된 시멘트 모르타르의 유동성은 시간이 경과함에 따라 급격하게 유동성을 잃는 것이 단점으로 지적되고 있다.⁽²⁷⁾

본 연구에서는 공중합체를 첨가한 시멘트 모르타르의 플로우 경시변화를 조사하기 위해 C/S를 1:2, W/C를 45%로 고정하고 공중합체를 시멘트 중량의 1% 첨가하여 시멘트 모르타르를 제조하였다. 또한 비교를 위해 NSC를 첨가한 시멘트 모르타르도 제조하였다. 시멘트 모르타르를 제조한 직후부터 90분까지 매 15분마다 모르타르의 플로우를 측정하여 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 시멘트 모르타르를 배합한 직후의 플로우를 살펴보면 NSC는 242mm, SSMA는 238mm, SmSMA는 233mm를 나타내었다. 즉 NSC > SSMA > SmSMA의 순으로 플로우가 증가하였다. 그러나 15분 경과 후에는 NSC의 플로우는 감소하여 SmSMA와 동일한 값을 나타내었고, 60분 후에는 NSC의 경우 182mm를 나타내어 25%의 유동성을 잃어 버렸다. 반면에 SSMA는 11%, SmSMA는 14%의 비교적 적은 유동성 손실을 나타내고 있다. 이러한 플로우 감소 형태는 90분 후에도 비슷하게 나타나고 있다. 70년대 이후 나프탈렌계 고성능감수제가 고유동화 콘크리트의 제조를 위해

널리 사용되어 온 것이 사실이나 Fig. 4에서 살펴 본 바와 같이 나프탈렌계 고성능감수제는 배합후 시간경과에 따라 모르타르의 유동성이 급격히 감소하므로 이를 보완하기 위해 나프탈렌계 축합물을 화학적으로 수식하거나 플로우 유지율을 높이기 위해 카르본산계 공중합체에 대한 연구가 활발하다.^(9,11,12)

본 연구에서 합성한 SSMA 및 SmSMA는 시멘트 모르타르에 첨가되었을 때 60분 후에 각각 89%와 86%의 플로우 유지율을 나타내어 NSC의 75%에 비해 플로우 유지율이 높은 것을 알 수 있다.

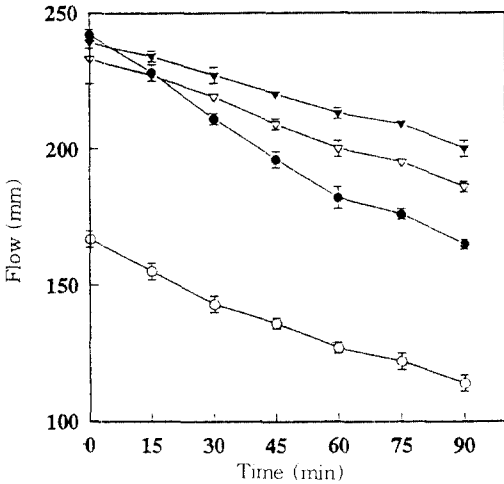


Fig. 4 Change in the flow of fresh cement mortar as a function of elapsed time (polymer=1.0%, W/C=0.45, C/S=1:2; ▼, SSMA; ▽, SmSMA; ●, NSC; ○, plain).

3.1.4 공중합체에 의한 시멘트 모르타르의 감수효과

한편 시멘트 모르타르에 첨가된 공중합체가 어느 정도의 감수효과를 나타내는지를 살펴 보았다. 즉 C/S를 1:2로 하고 공중합체를 시멘트 중량에 대해 0.5%씩 넣어 시멘트 모르타르를 제조하였다. 이 모르타르와 공중합체를 넣지 않은 시멘트 모르타르의 플로우가 145-150mm가 되도록 물의 양을 조절하여 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5에서 알 수 있듯이 공중합체를 첨가하지 않

은 plain의 경우 소요된 물의 양은 160Kg/m³이었으나 SSMA를 0.5% 첨가한 경우 소요된 물의 양은 128Kg/m³으로서 20%의 감수율을 보였고, SmSMA의 경우 140Kg/m³으로서 13%의 감수율을 나타내었다. 이와 같이 공중합체를 첨가함으로써 시멘트의 분산성이 향상되어 단위수량을 대폭 감소시킬 수 있었다. 공중합체의 첨가에 의한 감수효과는 궁극적으로 경화 시멘트 모르타르의 강도증진에도 큰 영향을 미칠 것으로 기대된다.⁽⁴⁾

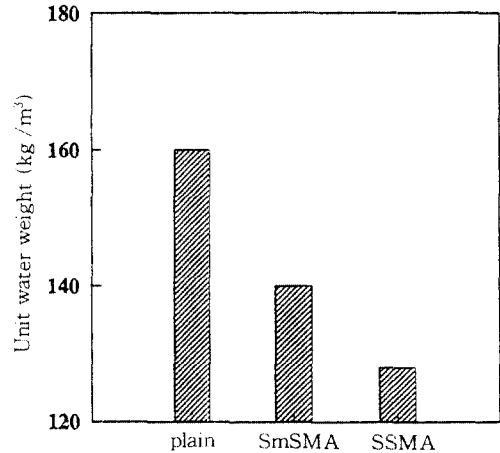


Fig. 5 Unit water weight required to maintain same flow level of fresh cement mortar (polymer=0.5%, C/S=1:2, flow=145-150mm)

3.2 경화 시멘트 모르타르의 강도

시멘트 모르타르의 강도실험을 위해 C/S를 1:2로 하고 여기에 공중합체를 시멘트에 대해 0.5wt% 씩 넣고 물을 첨가하여 시멘트 모르타르의 플로우를 111-113mm로 조절하였다. Table 7에는 이들의 배합비와 사용된 물의 양 그리고 시멘트 모르타르의 플로우 값을 나타내고 있다. 공중합체를 넣지 않은 plain 모르타르는 W/C가 35%이었다. 반면에 SSMA를 0.5% 첨가했을 때의 W/C는 31%이었고 SmSMA는 32%를 나타내었다. 즉 공중합체를 첨가하므로써 W/C가 감소하였고 SSMA가 SmSMA보다 그 감소의 폭이 크게 나타났다.

Table 7 Formulation recipe of cement mortar for the test of compressive strength

Designation	Cement : Sand (weight ratio)	Water / Cement (ratio %)	Unit Weight (kg / m ³)				Flow (mm)
			Water	Cement	Sand	Polymer	
Plain	1 : 2	35	160	457	914	0	111
SSMA	1 : 2	31	142	457	914	2.285	113
SmSMA	1 : 2	32	146	457	914	2.285	112

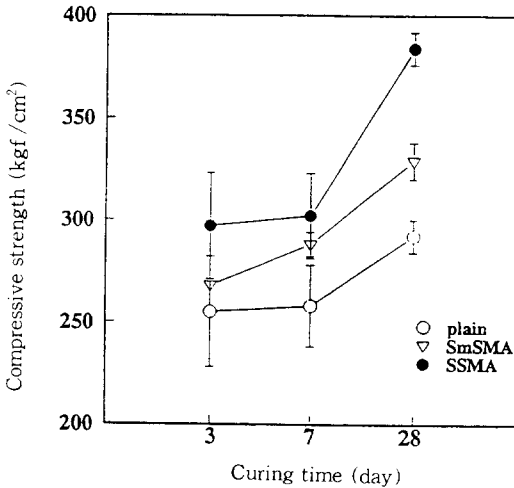


Fig. 6 Relationship between compressive strength and curing time of the fresh cement mortar containing 0.5% polymer(C/ S=1:2, flow=110-113mm).

Fig. 6에는 공중합체를 0.5% 첨가한 시멘트 모르타르의 양생시간에 따른 압축강도와와의 관계를 나타내었다. 그 결과 양생시간에 관계없이 SSMA는 가장 큰 압축강도를 나타내었고 SmSMA를 첨가한 공시체는 plain과 SSMA의 중간값을 나타내었다. 28일간의 수중양생 후 plain은 292Kgf/m²의 압축강도를 나타내었으나 SmSMA 및 SSMA는 각각 329Kgf/m²과 384Kgf/m²를 나타내어 13% 및 31%의 강도증가를 나타내었다. 이와 같은 압축강도의 증가는 첨가된 공중합체가 시멘트 입자에 흡착되어 시멘트 입자의 분산을 효과적으로 향상시키므로써 물의 양을 감소시켰기 때문이다.⁽³⁾

4. 결 론

상기 실험결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을

수 있었다.

1) 시멘트 모르타르에 SSMA와 SmSMA를 각각 첨가하여 플로우 실험을 행한 결과, SSMA를 첨가한 경우가 SmSMA를 첨가한 경우 보다 플로우 값이 크게 나타났다. 이것은 SmSMA와 비교하여 SSMA가 시멘트에 대한 흡착율이 더 컸기 때문으로 생각된다.

2) 시멘트 모르타르에 SSMA, SmSMA, NSC를 각각 첨가하여 플로우 경시변화 실험을 행한 결과, SSMA 및 SmSMA는 NSC보다 플로우 유지율이 높게 나타났다.

3) 시멘트 모르타르에 SSMA와 SmSMA를 시멘트 중량에 대해 0.5% 첨가하였을 때 각각 20%와 13%의 감수율을 나타냈다.

4) C/S를 1:2로 하고 공중합체를 0.5wt% 첨가한 시멘트 모르타르의 28일 강도에서 SSMA와 SmSMA는 각각 32%와 13%의 강도 증가를 나타내었다.

5) 본 연구에서 합성한 황산화 스티렌-무수말레인산 공중합체는 높은 시멘트 분산력과 감수율을 나타낼 뿐만 아니라 높은 플로우 유지율을 나타내어 고강도 콘크리트용의 고성능감수체로서 그 성능이 우수하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 특정목적기초 연구비(1990) 및 동양중앙연구소의 연구비 지원으로 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. V. S. Ramachandran, "Concrete Admixtures Handbook", Noyes Publications, p. 211(1984).
2. 변근주, "혼화재료", 한국레미콘공업협회, p. 13(1988).
3. シーエムシー, "新・コンクリート用混和材料, 技術と市場", (1988).
4. M. R. Rixom, "Chemical Admixtures for Concrete", London E & F. N. SPON LTD. (1978).
5. 山本常夫, "高強度コンクリートに用いる混和劑", 建築雜誌 Vol. 104, No. 1285(1989).

6. 服部健一, "콘크리트工学", 14, 12(1976).
7. 김무한, "건축재료학" p. 195(1982).
8. Della M. Roy et. al, *Cement and Concrete Research*, Vol. 3, 807-820(1973).
9. 兒玉 和己, 岡澤 知 "セメント・コンクリート", 546, 24-32(1992).
10. 大蓋 明, "콘크리트용 혼화재료-實用 콘크리트 기술(上) 建築 技術", (1974).
11. 太田, "〈高性能AE減水劑〉材料學會, 材料講習會 〈新世代의 콘크리트〉", (1993)
12. 田中・太田, "〈高性能AE減水劑의 化學構造と作用機構〉", *エヌエムビー 연구소報*, No. 9, 5-11, (1992).
13. M. Absi-Halabi, S. M. Lahalih, and A. Khaled, *J. Appl. Polym. Sci.*, 33, 2975-2984 (1987).
14. M. Absi-Halabi, S. M. Lahalih, and A. Khaled, *J. Appl. Polym. Sci.*, 33, 2997-3004 (1987).
15. M. Absi-Halabi and S. M. Lahalih, *J. Appl. Polym. Sci.*, 36, 1-9(1988).
16. M. Absi-Halabi, S. M. Lahalih, and I. S. Dairanieh, *J. Appl. Polym. Sci.* 37, 2251-2262 (1989).
17. G. Dezhnev, X. Dayu, and L. Zang "Model of Mechanism for Naphthalene Series Water-Reducing Agent", *ACI Journal*, September-October, 378-386(1982).
18. 太田, 古澤, 土谷, *セメント・コンクリート論文集*, No. 47, 220(1993).
19. 田原秀行: 日本油化學協會 油技術講座 第32集: 分散機能を持つポリカルボン酸鹽オリゴマー의 合成と應用, p. 69(1988).
20. 太田, 田中, 瓜生, *Polymer Preprints(Japan)*, Vol. 38, No. 7, 683(1989).
21. 김화중, 강인규, 김성훈, 김우성, 권영도, "카르본산계 고성능감수제의 제조 및 그들의 시멘트 흡착성", 한국 콘크리트학회 논문집, 투고중.
22. 김화중, 강인규, 황재현, 김성훈, "나프탈렌계 고성능감수제의 합성 및 그들의 시멘트와의 상호작용", 한국 콘크리트학회 논문집 제 5권 2호, 121 (1993).
23. 김화중, 강인규, 김성훈, 권영도, 황재현, "나프탈렌계 고성능감수제를 첨가한 시멘트 모르타의 유동성 및 강도특성", 한국 콘크리트학회 논문집 제 6권 4호, 85(1993).
24. D. H. Napper, "Polymeric Stabilization of Colloidal Dispersion", Academic Press, N. Y. (1983).
25. 古澤邦夫: 高分子의 吸着と分散安定化作用, 高分子, 40卷, 786-789(1991).
26. 노재성, 조현영, 홍성수, 이기준, 한국콘크리트학회 논문집, 제 3권 4호, 125(1991).
27. 山本常夫, "高性能減水劑", *콘크리트工学*, Vol. 26, No. 3, 32(1988).

(접수일자 : 1995. 3. 20)