

카르본산계 고성능감수제를 첨가한 시멘트 모르타르의 유동 특성

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

김 화 중*, 강 인 규**, 권 영 도***, 김 우 성***
 Kim, Wha Jung Kang, Inn Kyu Kwon, Young Do Kim, Woo Sung

황 재 현****, 김 원 기****, 박 기 청****
 Hwang, Jae Hyun Kim, Won Ki Park, Ki Cheong

Abstract

In this study, styrene-maleic anhydride copolymer (SMA) was synthesized from styrene and maleic anhydride and further reacted with sulfuric acid to obtain water-soluble SMA and 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 SSMA (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 32% and 13%, respectively, when compared to the plain. As the results, the copolymers (SSMA and SmSMA) used in this study are greatly expected as a good high range water reducers for the concrete.

1. 서론

1970년대 이후 산업사회의 급속한 발달로 건축구조물의 대형화 및 초고층화가 이루어졌으며 이에 따라 건축물 시공시 콘크리트의 운반, 타설을 위하여 펌프를 이용하는 경우가 증가하였다. 그러나 콘크리트의 낮은 작업성으로 펌프압송시 펌프의 막힘, 과대한 에너지소비 등의 난점을 유발하였다. 이를 개선하기 위하여 과량의 물을 첨가하는 경우 경화콘크리트의 강도를 저하시켜 콘크리트의 내구성에 심각한 영향을 미치게 된다.

한편 이러한 콘크리트의 작업성 및 내구성 개선을 위하여 1940년대 이후 AE제, AE감수제의 같은 화학혼화제가 사용되어 왔으나 이들 화학혼화제는 감수효과가 그다지 크지 않고 첨가량에 따라서는 시멘트의 경화 불량등의 문제점을 발생시켰다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 새로운 고분자 계면활성제의 일종인 고성능 감수제가 개발되었으며 이들은 시멘트입자에 흡착되어 고분산력을 발휘하므로 콘크리트의 고유동화 및 고강도화를 실현시킬 수 있게 되었다. 현재 국내외에서 사용되고 있는 고성능 감수제는 나프탈렌계, 멜라민계, 아미노술폰산계, 폴리카르본산계 등 4가지로 대별된다. 이 중에서 폴리카르본산계 고성능 감수제는 분산성이 우수하고 측쇄에 기능단을 도입하

* 경북대 건축공학과 부교수
 ** 경북대 고분자공학과 부교수
 *** 경북대 고분자공학과 대학원생
 **** 동양 중앙연구소 2차제품 연구실

여 새로운 성질을 갖게 할 수 있으며, 특히 시멘트 분산유지효과가 뛰어난 것으로 알려지고 있다. 본 연구에서는 스티렌과 무수말레인산 공중합체 (SMA)를 합성하고, 이들을 술폰화한 것 (SSMA), 그리고 스티렌과 무수말레인산 공중합체를 *m*-amino phenol과 환반응 시킨 것 (mSMA)을 술폰화하여 카르복시기를 가지는 수용성 공중합체 (SmSMA)를 제조하여 이들 키르본산계 공중합체를 첨가하여 시멘트/모래의 비를 변화시킨 시멘트 모르타르와 물/시멘트의 비를 변화시킨 시멘트 모르타르의 플로우 및 경화시멘트 모르타르의 강도만을 조사하여 고성능감수제로서의 성능을 평가하고자 한다.

2. 공중합체의 합성

2-1. 사용재료

공중합체의 합성에 사용된 스티렌 (Junsei Chem. Co.)은 감압정제하여 사용하였고 무수말레인산 (Showa, Chem. Inc.)은 벤젠으로 재결정하여 사용하였다. 그리고 황산, 수산화칼슘, 수산화나트륨, 염산, 테트라히드로퓨란, 디에틸에테르는 덕산제약의 1급 시약을 사용하였다.

발연황산 (Merck), *m*-아미노페놀 (Fluka chemica), α - α' azobis(isobutyronitrile) (Junsei Chem. Co. Ltd)은 특급시약을 그대로 사용하였다. 시멘트는 A사의 제품을 사용했고, 시멘트의 주성분은 Table 1과 같다.

2-2. (SMA)의 제조

2000ml 삼구 플라스크에 스티렌 52g azobis(isobutyronitrile) 1.64g (2.0 mol%)을 벤젠 500ml를 넣어 용해시켜 70°C에서 기계식교반기를 사용해 350rpm으로 교반하면서 2시간 동안 반응을 행하여 흰 침전의 합성물을 얻었다.

이 합성물을 여과지로 흡입여과하여 분리시킨 후 48시간 진공건조 하였다. 건조한 합성물을 다시 테트라히드로퓨란에 용해시킨 후 디에틸에테르 중에서 재침전시켜 분리한 후 60°C에서 48시간 진공건조하여 최종 합성물을 얻었다. 이를 SMA라 칭한다.

2-3. (SSMA)의 제조

1000ml 삼구 플라스크에 2.2.1절에서 합성한 SMA 20g (0.1mol)과 황산 200g (2.04mol)을 넣고 50°C에서 기계식 교반기를 사용해 2시간

교반하여 용해하였다. 온도를 실온으로 내린 후 30ml의 발연황산을 넣고 다시 가열하여 50°C에서 반응하였다. 다시 온도를 실온으로 내리고 200ml의 증류수로 반응물을 희석시킨 후 수산화칼슘 수용액 200ml를 적하하여 미반응 황산을 염으로 석출시켜 여과지로 흡입여과하여 제거하였다. 그리고 여과하여 얻은 용액을 0.5N 수산화나트륨 수용액으로 중화하여 pH 8 ~ 8.5로 조정하였다. 이를 SSMA라 칭한다.

2-4. (mSMA)의 합성

1000ml 삼구 플라스크에 SMA 35g (0.168mol)을 250ml의 디메틸포름아미드에 녹이고 여기에 미리 디메틸포름아미드 250ml에 *m*-amino pheno 18.3g(0.168mol)을 용해시킨 것을 실온 기류하에서 0 ~ 5°C를 유지하면서 30분에 걸쳐 적하하여 30분간 반응시킨 후 다시 상온에서 2시간 반응시켰다. 반응이 끝난 후 묽은 염산 용액에 부어 침전시켰으며 흡입여과한 후 탈이온수로 수회 세척하고 건조시켰다. 이것을 다시 탈이온수로 2시간 환류시킨 후 흡입여과하여 분리시키고 60°C에서 48시간 진공건조 하였다. 이를 mSMA라 칭한다.

2-5. (SmSMA)의 제조

1000ml 삼구 플라스크에 mSMA 20g (0.064mol)과 황산 200g (2.04mol)을 넣고 30°C에서 기계식 교반기를 사용해 2시간 교반하여 용해시켰다. 다시 온도를 실온으로 내린 후 발연 황산 30ml을 1시간에 걸쳐 천천히 적하시키고 다시 온도를 상승시켜 30°C에서 반응시켰다. 다시 온도를 내려 0 ~ 5°C를 유지하면서 200ml 증류수로 반응물을 희석시킨 후 수산화칼슘 수용액 200ml를 적하하여 미반응 황산을 염으로 석출시켜 여과지로 흡입여과하여 제거하였다. 여과하여 얻은 용액을 0.5N 수산화나트륨 수용액으로 중화하여 pH 8 ~ 8.5를 조정하였다. 이를 SmSMA라 칭한다.

3. 실험

3-1 실험재료

본 절에서는 위에서 합성한 고분자 화합물을 사용하여 시멘트 모르타르에 대한 일련의 실험을 통하여 그 성능을 평가하고자 한다.

이들 고성능감수제의 물리적 특성을 Table 1

에 나타내었고, Table 2에는 플로우 및 강도 실험에 사용된 포틀랜드 시멘트의 물리적 성질을 나타내었다. 한편 잔골재는 주문진산 표준사를 사용하였다.

Table 1. Physical properties of high range water reducers in this study

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

Table 2. Typical properties of portland cement used in this study

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
Portland cement	3.15	3,240	5 - 06	7 - 20	good	194	261	323

3-2. 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 기준 배합표에 따라 물 시멘트의 비(W/C)를 0.35~0.41로 변화시켜 시멘트 모르타르를 제조하여 플로우를 비교하였다.

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	

Table 4의 기준배합표에 따라 시멘트 모래의 비 (C/S)를 1:2 및 1:3으로 하여 C/S의 플

로우에 미치는 영향도 조사하였다.

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
					1.5	1.5
			750	1:3	0.5	0.5
					1.0	1.0
					1.5	1.5

3-3. 시멘트 모르타르의 플로우 경시변화

SSMA와 SmSMA를 첨가한 시멘트 모르타르의 플로우 경시변화를 비교 평가하기 위해 본 실험실에서 합성한 슬론화 나프탈렌-포르말린 공중합물 (NSC)을 첨가한 시멘트 모르타르의 실험도 함께 행하였다. Table 5의 기준배합표에 따라 제조한 시멘트 모르타르를 사용하여 배합 직후부터 90분까지 15분마다 플로우를 측정하였다.

3-4. 시멘트 모르타르의 감수율 측정

Table 6의 기준 배합표에 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

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

3-5. 경화 시멘트 모르타르의 강도 실험

본 연구에서 합성한 공중합체를 일정량 첨가하여 C/S를 1:2로 하고 시멘트 모르타르의 플로우값을 111 - 113 사이의 값을 나타내도록 조절한 시멘트 모르타르를 사용하여 KS L 5105의 시험체몰드 (50.8mm × 50.8mm × 50.8

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

mm)를 사용하여 압축강도용 시편을 배합비에 따라 각각 5개씩 제작하였다. 시험체는 형틀에서 24시간 양생 후 다시 2일, 6일, 27일간 수증양생시킨 후 만능 시험기 (Microprocessor universal testing, SATEC systems, Inc. U.S.A 100ton)를 사용하여 강도를 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

4-1. 시멘트 모르타르의 플로우

4-1-1. 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

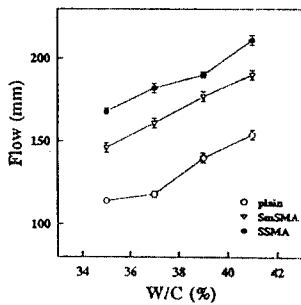


Fig. 1. Flow of the fresh cement mortar mixed with polymer as a function of ratio of water and cement (C/S=1:2)

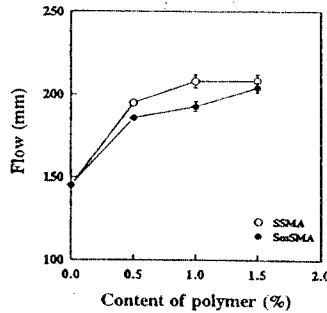


Fig. 2. Flow of the fresh cement mortar as a function of polymer concentration (W/C 0.4, C/S=1:2)

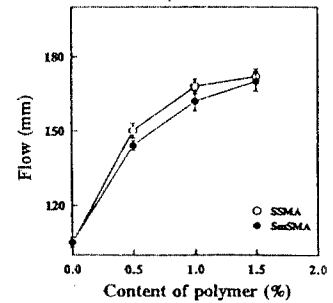


Fig. 3. Flow of the fresh cement mortar as a function of polymer concentration (W/C=0.4, C/S=1:3)

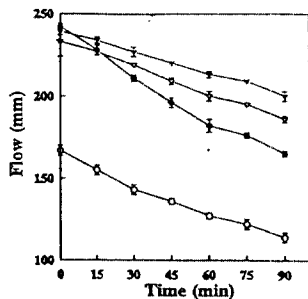


Fig. 4. Change in the flow of fresh cement mortar as a function of elapsed time (polymer=1.0%, W/C=0.45, C/S=1:2)
 ▼: SSMA ▽: SmSMA ●: NSC ○: plain

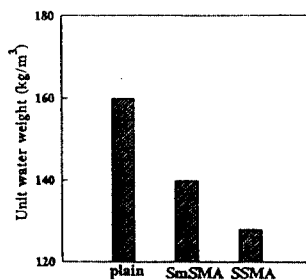


Fig. 5. Unit water weight required to maintain same flow level of fresh cement mortar (polymer=0.5%, C/S=1:2, flow:145-150mm)

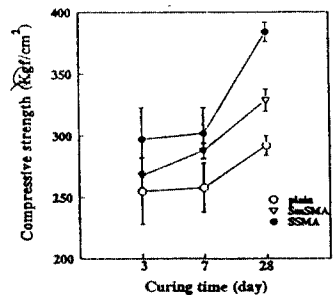


Fig. 6. Relationship between compressive strength and curing time of the fresh cement mortar containing 0.5% polymer (C/S=1:2, flow:110-113mm)

범위 내에서 모르타르의 플로우는 W/C의 증가와 함께 비례적으로 증가하였다. SmSMA를 첨가한 경우 plain에 비해 24 - 29%의 플로우 증가를 나타내었고 SSMA는 38 - 48%의 증가를 나타내었다. 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⁻), 카르본산기 (COO⁻), 수산기 (OH)를 가지고 있는데 수산기가 인접해 있는 카르본산기의 카르보닐기 (C=O)와 수소결합을 형성하여 시멘트입자에의 흡착율을 낮게 하고 그 결과 시멘트 모르타르의 유동성을 떨어뜨린 것으로 생각된다.

4-1-2. 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 결과를 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 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.

4-1-3. 시멘트 모르타르의 플로우 경시변화

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

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. 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.

4-1-4. 공중합체에 의한 시멘트 모르타르의 감수효과

한편 시멘트 모르타르에 첨가된 공중합체가 어느 정도의 감수효과를 나타내는지를 살펴보았다. 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 145~150 mm가 되도록 물의 양을 조절하여 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 5에서 알 수 있듯이 공중합체를 첨가하지 않은 plain의 경우 소요된 물의 양은 160Kg/m³ 이었으나 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.

4-2. 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 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	36	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

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.

Fig. 6에는 공중합체를 0.5% 첨가한 시멘트 모르타르의 양생시간에 따른 압축강도와외의 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.

5. 결론

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 고성능감수제로써 그 성능이 우수하다고 판단된다.

6. 참 고 문 헌

1. M. R. Rixom, "Chemical Admixtures for Concrete", London E & F.N. SPON LTD. (1978).
2. G. Dezhen, X. Dayu, and L. Zang "Model of Mechanism for Naphthalene Series Water-Reducing Agent", ACI Journal, September - October, 378 -386 (1982).
3. 김희중, 강인규, 김성훈, 김우성, 권영도, "카르복산계 고성능감수제의 제조 및 그들의 시멘트흡착성", 한국 콘크리트학회 논문집, 투고중.
4. 김희중, 강인규, 황재현, 김성훈, "나프탈렌계 고성능감수제의 합성 및 그들의 시멘트와의 상호작용", 한국 콘크리트학회 논문집 제 5권 2호, 121 (1993).
5. 김희중, 강인규, 김성훈, 권영도, 황재현, "나프탈렌계 고성능감수제를 첨가한 시멘트 모르타르의 유동성 및 강도특성", 한국 콘크리트학회 논문집 제 6권 4호, 85 (1993).
6. D. H. Napper, "Polymeric Stabilization of Colloidal Dispersion", Academic Press, N. Y. (1983).
7. 古澤邦夫 : 高分子の吸着と分散安定化作用, 高分子, 40卷, 786 -789 (1991).