

소포제 종류 및 혼입률에 따른 초속경 라텍스개질 모르타르의 역학적 특성

Mechanical Properties of Rapid-Setting Latex Modified Mortar for Antifoam Agent Type and Content

이 봉 학^{*} 홍 창 우^{**} 이 주 형^{**} 김 동 호^{***}
Lee, Bong-Hak Hong, Chang-Woo Lee, Joo-Hyung Kim, Dong-Ho

Abstract

The purpose of this study was to remove the excessive air foaming which was produced in mixing the RSLMC(latex-modified concrete with rapid-setting cement) by choosing the best antifoam agent type. A series of RSLMM(latex-modified mortar with rapid-setting cement) experiments were carried out as a basic experiments for RSLMC with the main experimental variables such as antifiamer types(A, B, C, D), antifoamer contents(0, 1, 2, 3%), and latex contents(10, 15%). Air content test and compressive strength tests were carried out to measure the improved properties of RSLMM. SEM analysis, also, was carried to observe the formation of latex film.

The results of RSLMM showed that the decrease of 50% air content was obtained by admixturing an antifoam agent by 1%. This made the strength enhanced and the workability be within the purposed. The best properties of compressive strengths was obtained at latex content of 15% and D antifoam agent of 1%. compressive strength increased about 32.6%. The analysis of SEM results no difference in a formation of later film.

키워드 : 초속경 라텍스 개질 모르타르, 소포제, 라텍스
Keywords : *rslmm, antifoam agent, latex*

1. 서론

기존 덧씌우기 재료의 문제점으로 대두되고 있는 잦은 보수에 의한 방수층 손실과 이에 따른 유지보수비의 과다 등의 문제점을 최근 초속경 시멘트에 SB 라텍스를 사용한 콘크리트의 적용으로 개선하려는 연구가 진행되고 있다.

그러나, 초속경 시멘트에 사용되어지는 실리콘

계열의 라텍스 수지는 콘크리트 배합시 라텍스에 포함된 유화제 및 안정제와 같은 계면활성제의 작용은 보통 시멘트 콘크리트보다 많은 공기가 연행되어 콘크리트의 강도 및 내구특성 저하를 유발하게 된다. 따라서, SB 라텍스 혼입 초속경 콘크리트 타설시 발생하는 기포를 억제하기 위한 방법이 소포제의 사용이며, SB 라텍스 혼입 초속경 콘크리트에 알맞은 소포제 종류와 적정 혼입률 범위를 선정하여 강도 및 내구 특성의 증진이 이루어져야 할 것이다.

본 연구에서는 소포제를 사용한 SB 라텍스 혼입 초속경 콘크리트의 역학적 특성을 규명하여 소

* 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사
** 강원대학교 토목공학과 박사후과정, 공학박사
*** 강원대학교 토목공학과 박사과정,

포제 첨가에 따른 초속경 라텍스 개질 콘크리트의 성능개선과 강도특성 및 내구특성을 분석하고자 하였다.

2. 실험계획 및 사용재료

2.1 실험계획

RSLMC에 알맞은 소포제 종류 및 적정 혼입률 범위를 산정하기 위한 RSLMM(latex modified mortar with rapid setting cement) 실험에서는 국내 S사의 초속경 시멘트를 사용하여 시멘트와 잔골재의 비율을 1:2.45로 고정한 상태에서 실험을 수행하였다. 라텍스 혼입량은 시멘트 총 중량에 대한 라텍스 진고형분의 비로 10, 15%로 변화를 주었다. 소포제는 국내에서 생산되는 실리콘 계열의 소포제 종류 및 혼입률을 주요 변수로 하여 라텍스 진고형분에 대한 소포제 유효고형분의 비로 0, 1, 2, 3%로 실험을 수행하였다.

2.2 초속경 시멘트

초속경 시멘트의 분말도는 5200 cm^2/g , 천연석고와 화학석고를 1:1로 혼합한 석고소스를 사용한 국내 생산 S사 제품을 사용하였다.

2.3 골재

잔골재는 천연 강모래를 사용하였다. Table 1 은 KS 규정에 의한 골재의 물리적 특성을 나타낸 것이다.

Table 1. Physical Properties of Fine Aggregate

Type	Max. Size (mm)	Specific Gravity	Absorption (%)	F.M
Fine Aggregate	< 5	2.6	0.71	2.98

2.4 라텍스

스티렌(Styrene)과 부타디엔(Buatdiene)이 주 모노머로 구성되어 있는 고분자를 공중합한 폴리머와 물을 일정비율로 혼합해서 만든 우유빛 액상 물질(Waters, 1987)로써 물 52%, 폴리머 고형분 48%로 구성되어 있으며, 스티렌 34%, 부타디엔 66%로 구성되어 있고 소량의 계면활성제와 안정제가 첨가되어 있는 미국 D 사의 SB 라텍스를 사용하였다. 이러한 라텍스의 물리적 특성은 Table 2 에 나타내었다.

Table 2. Physical Properties of Latex

Solid Content (%)	Butadiene Content (%)	Styrene Content (%)	pH	Surface charge	Specific Gravity
48	34±1.5	66±1.5	9.5~11	Nonionic	1.01

2.5 소포제

국내에서 생산되는 실리콘 계열의 라텍스 첨가용 소포제를 선정하여 사용하였다. 소포제의 물리적 특성은 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Properties of Antifoam agents

Antifoam agent Type	Specific Gravity	pH	Solid Content (%)	appearance
A	1.0	6.5	15	white
B	1.0	7.0	25	white
C	1.02	7.0	19	white
D	1.0	7.5	100	brown

3. 실험

3.1 배합설계

최적 소포제 산정을 위한 RSLMM 실험의 배합설계는 Table 4와 같다.

Table 4. Mix Proportion of RSLMM

w/c	Mix Proportion (kg/cm^3)				Super-plasticizer Content	Antifoam Agent Content	비 고
	C	L	W	S			
35	400	980	97	83	2.0	0%	Latex 10%
						1.0%	
						2.0%	
			75	125		0%	Latex 15%
						1.0%	
						2.0%	
3.0%							

주1) 양생온도 : 20°C

주2) 소포제 Type : A, B, C, D Type

3.2 배합 방법

초속경 폴리머 개질 모르타르 제조시 배합순서는 다음과 같다. 먼저 잔골재와 시멘트를 혼합하여 약 30초간 저속으로 건비빔을 실시한 후 폴리머와 소포제 및 지연제가 첨가된 물을 투입하여 다시 저속으로 30초간 모든 재료가 잘 섞이도록 비빔을 실시한다. 발생된 기포가 소멸될 수 있도록 30초간

비빔을 일시 정지한 후 다시 60초간 저속으로 비빔을 실시하여 배출하였다.

3.3 시험체 제작

강도특성을 파악하기 위한 압축강도 시험편은 KS L 5105에 준하여 5.08×5.08×5.08cm의 시험편을 제작하였다. 또한 라텍스 수지에 의한 필름막 형상을 관찰하기 위한 SEM분석용 시험시편을 제작하였다.

3.4 실험방법

3.4.1 공기량시험

초속경 시멘트에 실리콘 계열의 라텍스 수지를 첨가하면 배합과정에서 마찰에 의해 많은 기포가 발생된다. 따라서, 이러한 기포의 영향에 의해서 강도 및 투수성이 감소된다. 이러한 기포의 영향을 감소시키기 위해서 소포제를 사용하여 초속경 라텍스 개질 콘크리트에 적당한 소포제 및 적정 혼입률 범위를 산정한다. 공기량 시험은 KS F 2421에 준하여 모르타르용 공기량 시험기를 사용하여 실험을 수행하였다.

3.4.2 압축강도시험

초속경 라텍스 개질 모르타르의 라텍스 혼입률과 소포제 종류 및 혼입률 변화에 따른 강도특성을 파악하기 위해서 KS L 5105 규정에 의하여 압축강도 시험을 수행하였다. 제령 1일에서 만능재료 시험기를 사용하여 압축강도를 측정하였다. 시험용 공시체는 기건(20℃, 50%RH)양생을 기준으로 하여 양생을 수행하였다. 본 실험에서는 세 개의 공시체를 실험하여 평균값을 사용하고 제령 1일에서의 강도를 나타내었다.

3.4.3 SEM 분석 실험

라텍스 개질 콘크리트는 보통 시멘트 콘크리트의 시멘트 수화작용과 함께 라텍스 수지에 의한 필름막 형성이라는 두 가지 메카니즘의 결합에 의해서 그 특성이 부여된다. 라텍스 필름의 형성이 라텍스 개질 콘크리트의 중요한 요소라고 할 수 있다. 따라서, 라텍스 혼입에 의한 라텍스 수지 필름막 형성을 관찰하기 위하여 SEM 분석을 실시하였다. SEM 분석을 위한 시험시편의 제작은 Fig. 1과 같다.

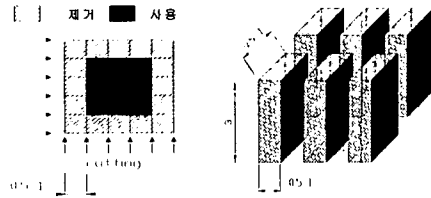


Figure 1. Specimen Ready for SEM Analysis

절단된 시험편의 수분을 모두 제거하기 위하여 D-dry 처리를 한다. D-dry 순서는 다음과 같다. 25% 에탄올 용액에서 2시간 침수 후, 50%의 에탄올 용액에서 다시 1시간 침수 마지막으로 100%의 에탄올 용액에서 30분 침수시킨다.

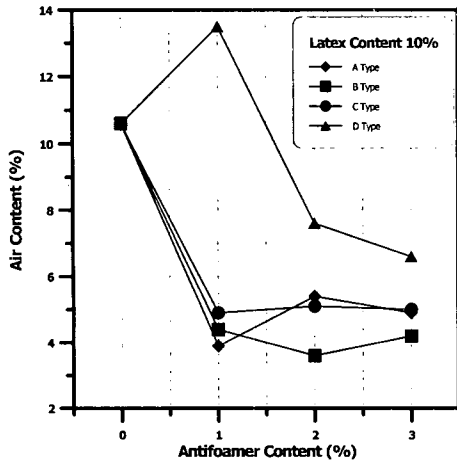
에탄올 용액에서 수분을 모두 제거한 시편은 진공 펌프를 사용하여 2시간정도 진공을 한다. 그후 SEM 사진에 의해서 라텍스 수지의 필름막 형상을 관찰하기 위하여 라텍스 수지를 제외한 모든 부분 즉 시멘트와 골재 부분을 염산과 불화수소 용액을 사용하여 제거한다. 시멘트와 골재 부분을 제거하기 위해서 시험 시편은 3%의 염산용액에서 3시간 동안 침수시킨다. 그후 50%의 불화수소 용액에서 5시간동안 침수시켜 시멘트와 골재 부분을 모두 제거시킨다.

4 RSLMM 실험 결과 및 고찰

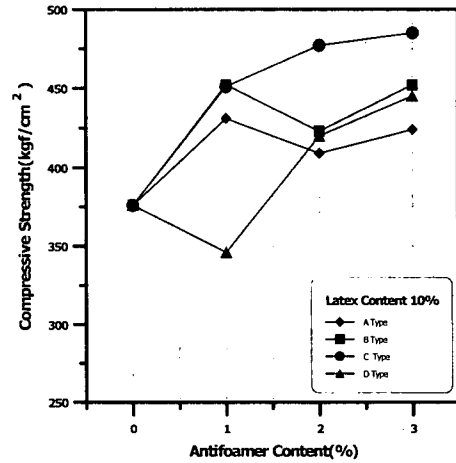
4.1 소포제 혼입에 따른 공기량 변화

Fig. 2의 (a),(b)는 소포제 종류별 소포제 혼입률에 따른 공기량 변화를 라텍스 혼입률 변화에 따라 나타내었다.

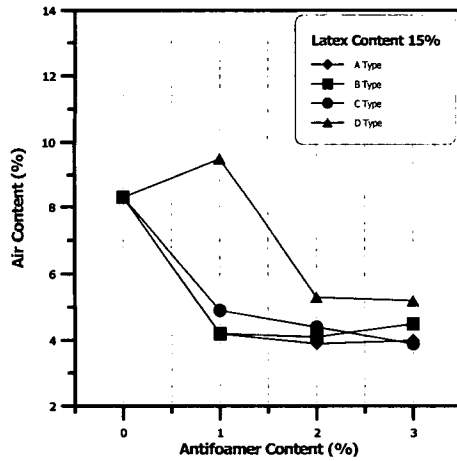
Fig. 2(a)에서는 라텍스 혼입률을 10%로 고정된 상태에서 소포제 혼입률을 0, 1.0, 2.0, 3.0%로 변화를 주어 소포제 생산업체별로 공기량을 측정하였다. 소포제를 첨가하지 않은 상태에서 공기량은 10.6%이다. 그러나 소포제를 1.0% 혼입할 경우 A 소포제는 3.9%, B 소포제는 4.4%, C 소포제는 4.9%로 공기량이 50%이상 감소하였으나 D 소포제는 13.5%로 오히려 공기량이 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나 소포제 2.0%이상 혼입할 경우 D 소포제는 공기량이 확연히 감소하였으나 다른 소포제에 비해서는 여전히 많은 공기량을 나타내고 있다. D 소포제를 제외한 다른 소포제들은 소포제 혼입률 1.0% 이상에서는 공기량의 큰 변화를 보이지 않았다. Fig. 2(b)에서는 라텍스 혼입률 15%의 경우로 10%의 경우와 유사한 경향을 나타내었으며, 라텍스 혼입률 10%에서는 B 소포제, 라텍스 혼입률 15%에서는 A 소포제가 가장 높은 소포력을 나타내었다.



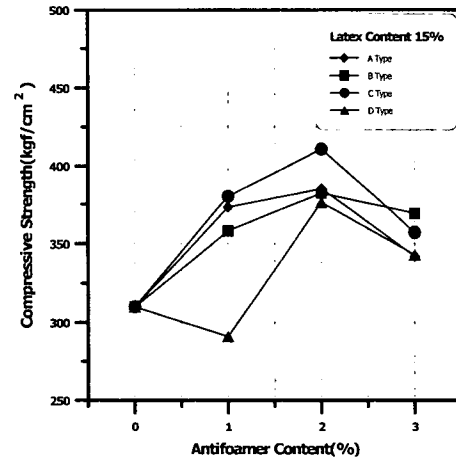
(a) latex-cement ratio 10%



(a) latex-cement ratio 10%



(b) latex-cement ratio 15%



(b) latex-cement ratio 15%

Figure 2. Air Content with Antifoam Agent Ratio

Figure 3. Compressive Strength of RSLMC with Antifoam Agent Ratio

4.2 소포제 종류 및 혼입률 변화에 따른 압축 강도 특성

Fig. 3(a), (b)는 라텍스 혼입률 10%와 15%에서 소포제 혼입률 0, 1, 2, 3%의 변화에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. 압축강도 시험시편은 기건(20°C, 50%HR)양상을 기준으로 제령 1일에서 압축강도를 측정하였다.

Fig. 3(a)는 라텍스 혼입률을 10%로 고정된 상태에서 소포제 혼입률 변화에 따른 압축강도를 나타낸 것으로 소포제를 첨가하지 않은 경우 제령 1일에서의 압축강도는 376 kgf/cm²을 나타냈다. 소포제 혼입률 1.0%에서 A 소포제는 431 kgf/cm²,

B 소포제는 452 kgf/cm², C 소포제는 451 kgf/cm², D 소포제는 346 kgf/cm²로 D 소포제를 제외한 소포제는 혼입률 1.0%에서 압축강도가 14.6%, 20%, 19.9% 증진된다는 것을 알 수 있다.

소포제 혼입률 2.0%에서는 A 소포제와 B 소포제는 오히려 강도가 감소하는 경향을 보이고 있으며 소포제 혼입률 3.0%에서 다시 강도가 증진되었다. C 소포제와 D 소포제는 소포제 혼입률이 증가될수록 압축강도로 함께 증진된다는 것을 알 수 있다. C 소포제의 경우 1.0, 2.0, 3.0%로 소포제 혼입률이 증가할 때 압축강도의 증진 비율이 19.9%, 26.9%, 29.0%로 다른 소포제에 비해서 가장 높은 압축강도 증진율을 나타내었다.

라텍스 혼입률 10%의 경우 소포제 종류에 따른 압축강도 값은 A 소포제의 경우 소포제 혼입률 1.0%에서, B, C, D 소포제의 경우 소포제 혼입률 3.0%에서 가장 높은 압축강도 값을 나타내었다.

Fig. 3(b)는 라텍스 혼입률을 15%로 고정한 상태에서의 소포제 혼입률 변화에 따른 압축강도를 나타낸 것으로 소포제를 첨가하지 않은 경우 재령 1일에서의 압축강도는 310 kgf/cm²을 나타내었다. 라텍스 혼입률 15%에서는 라텍스 혼입률 10%와는 조금 다른 경향이 나타내었다. 소포제 혼입률 2.0%경우에서 A 소포제는 385 kgf/cm², B 소포제는 382 kgf/cm², C 소포제는 411 kgf/cm², D 소포제는 376 kgf/cm²로 소포제를 첨가하지 않은 경우에 비해서 압축강도가 24.2%, 23.2%, 32.6%, 21.3%로 가장 높은 증진을 나타내었다.

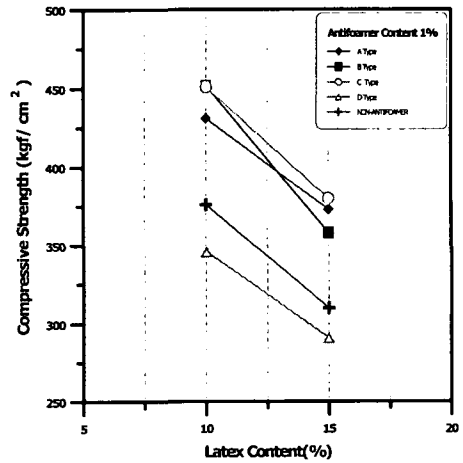
D 소포제는 라텍스 혼입률 10%와 동일하게 소포제 혼입률 1.0%에서는 강도가 감소하였다. 따라서 라텍스 혼입률 15%에서는 최적의 강도 발현을 위한 적절한 소포제 혼입률 범위는 2.0% 내외라는 것을 알 수 있다. 또한, C 소포제의 경우 2.0%에서 가장 높은 강도를 발현하였다. C 소포제의 경우 1.0, 2.0, 3.0%의 소포제 혼입률 증가에 대한 압축강도의 증진 비율이 12.6%, 32.6%, 15.2%로 다른 소포제에 비해서 가장 높은 압축강도 증진율을 나타내었다.

라텍스 혼입률이 변화함에 따라서 적정 소포제 혼입률 범위도 변화된다는 것을 알 수 있으며, 소포제 혼입률이 증가되어도 강도증진에는 한계가 있어 오히려 감소하는 경향을 볼 수 있다. 따라서, 소포제 타입에 따른 적정 소포제 혼입률 범위를 결정하는 것이 가장 효과적인 강도 특성을 발휘할 수 있을 것으로 예상된다.

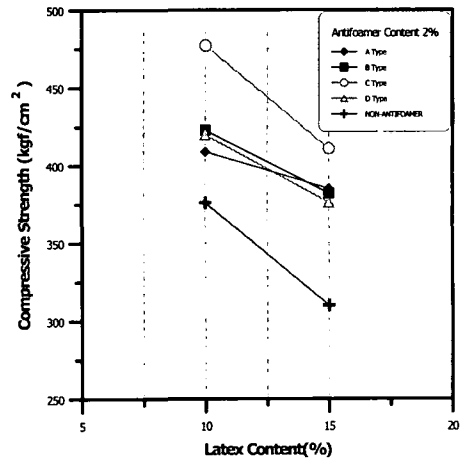
4.3 라텍스 혼입률 변화에 따른 압축강도 특성

Fig. 4에서는 소포제 혼입률 1.0%, 2.0%, 3.0%에서 라텍스 혼입률 변화에 대한 소포제 타입별 압축강도특성을 나타낸 것이다.

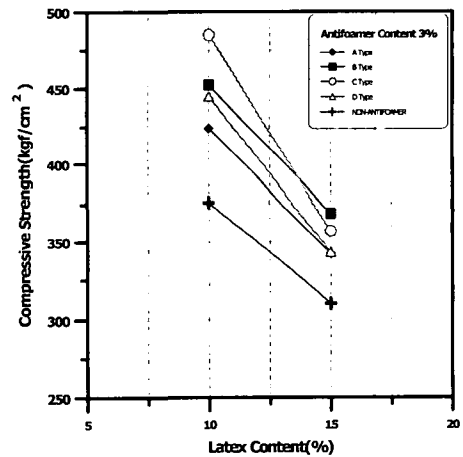
Fig. 4(a)는 소포제 혼입률 1.0%에서 라텍스 혼입률 변화에 따른 소포제 타입별 압축강도를 나타낸 것으로 D 소포제를 제외한 3개의 소포제는 소포제를 첨가하지 않은 경우와 비교하여 강도가 증진되었으나 D 소포제는 오히려 감소하는 경향을 나타내었다. 소포제 혼입률 1.0%에서 가장 우수한 강도 발현을 보이는 것은 C 소포제이다. 소포제를 첨가하지 않은 경우와 비교하여 라텍스 첨가량 10%, 15%에서 각각 19.9%와 12.6%의 강도 증진을 보였으나 A 소포제와 B 소포제를 비교하면 거의 유사한 강도 증진을 나타낸다.



(a) antifoam agent 1.0%



(b) antifoam agent 2.0%



(c) antifoam agent 3.0%

Figure 4. Compressive Strength of RSLMC with Latex-Cement Ratio

Fig. 4(b)는 소포제 혼입률 2.0%에서는 4가지 타입 모두 소포제를 첨가하지 않은 경우보다 강도가 증진된다는 것을 보여준다. 가장 큰 강도 증진을 보이는 것은 소포제 혼입률 1.0%와 마찬가지로 C 소포제이다. 라텍스 첨가량 10%, 15%에서 각각 26.9%와 32.6%의 강도 증진을 보였다.

Fig. 4(c)는 소포제 혼입률 3.0%에서도 소포제 혼입률 2.0%와 마찬가지로 소포제를 첨가하지 않은 경우보다 강도가 증진되었다는 것으로 나타났다. 라텍스 혼입률 10%에서는 C 소포제 그리고 라텍스 혼입률 15%에서는 B 소포제가 각각 소포제를 첨가하지 않은 경우보다 15.2%, 19.0%의 강도 증진을 보였다.

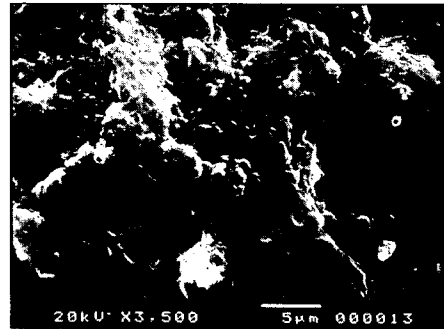
4.4 SEM 분석

소포제 종류 및 혼입률 변화에 따른 초속경 라텍스 수지의 필름막 형상 특성을 분석하기 위해서 주사전자현미경 즉, SEM 분석을 실시하였다. Fig. 5는 A 소포제의 혼입률 변화에 따른 라텍스 수지 필름막 형상을 분석한 결과를 나타낸 것이다.

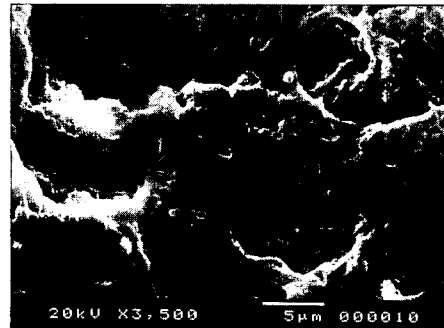
Fig. 5(a)는 소포제를 첨가하지 않는 경우를 나타내며, Fig. 5(b),(c),(d)는 소포제 혼입률 1, 2, 3%에서의 라텍스 수지의 형상을 나타낸 것이다. 라텍스 수지는 시간의 경과에 따라서 시멘트 페이스트의 형성과 함께 라텍스의 수분이 감소되고 이에 따라 라텍스 고형분은 서로 연결되어 밀실한 네트워크 구조를 형성한다. 이러한 네트워크 구조 형성 과정에서 라텍스 수지는 미세공극을 채우며, 또한 시멘트 페이스트의 미세구조를 연결하는 교량 역할을 수행하여 강도 및 내구성 증진에 기여한다.

그러나, 라텍스 수지는 고무제품으로 콘크리트 배합시 마찰에 의해서 다량의 기포가 발생되기 때문에 콘크리트의 강도 및 내구성 저하를 가져온다. 따라서, 소포제 첨가에 의해서 발생하는 기포를 억제하여 강도 및 내구성을 증진할 수 있었다. 그러나, 소포제 혼입률 0, 1, 2, 3%에서 라텍스 수지의 필름막 형상을 관찰한 결과 소포제 혼입률 변화에 상관없이 거의 유사한 필름막 형상이 관찰되었다. 따라서, 소포제 첨가가 라텍스 수지의 필름막 형성에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 고려된다. 이러한 결과는 소포제의 첨가가 라텍스 수지 필름막 형성에 영향을 주는 것이 아니라, 라텍스 첨가시 발생하는 기포의 양을 억제 및 감소시켜 시멘트 미세구조를 밀실하게 만들어 주기 때문에 강도 및 내구성이 증진되는 것으로 판단된다.

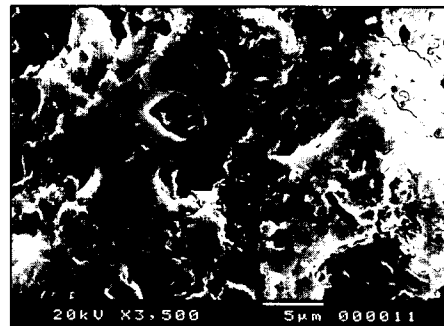
Fig. 6은 라텍스 혼입률 15%에서 소포제 종류별 소포제 혼입률 2.0%에서의 라텍스 필름막 형상을 나타낸 것으로 소포제 종류에 상관없이 거의 유사한 결과를 나타내는 것을 알 수 있었다



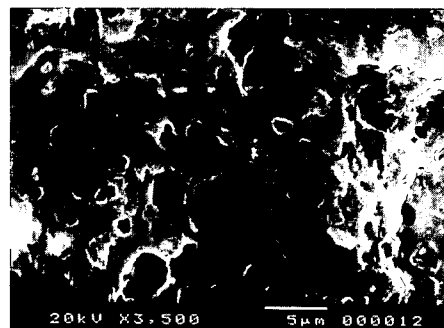
(a) antifoam agent 0%



(b) antifoam agent 1%

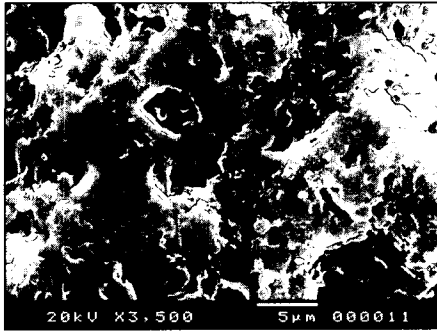


(c) antifoam agent 2%

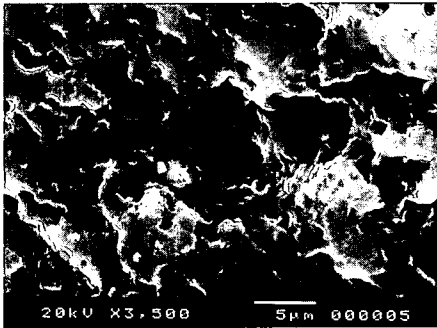


(d) antifoam agent 3%

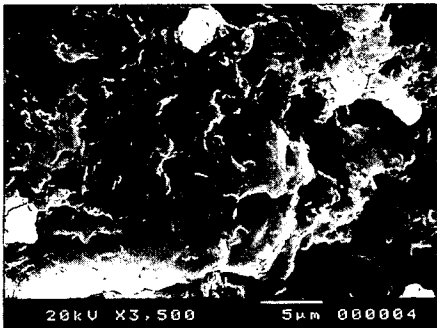
Figure 5. Formation of Latex Films with Antifoam Agent Ratio



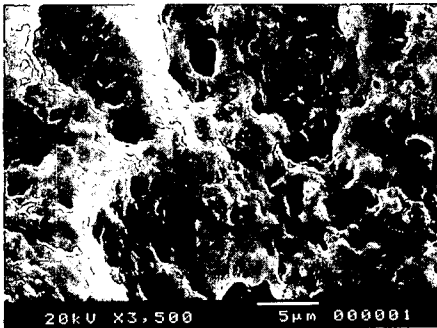
(a) A Type



(b) B Type



(c) C Type



(d) D Type

Figure 6. Formation of Latex Films with Antifoam Agent Type

5. 결론

초속경 시멘트에 라텍스 첨가시 다량의 기포발생으로 인한 강도 및 내구성 저하의 문제점을 해결하기 위하여 최적 소포제 및 적정 소포제 혼입률 범위를 산정하기 위해 공기량 분석 및 강도 특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 소포제 타입에 따른 공기량 시험결과 라텍스 혼입률 10%에서 소포제를 첨가하지 않은 상태에서 공기량은 10.6%로 나타났다. 그러나, 소포제를 1.0% 혼입할 경우 모든 소포제 타입에서 공기량이 50%이상 감소하였으나 D 소포제는 오히려 13.5% 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 소포제 2.0% 이상 혼입할 경우 D 소포제는 공기량이 확연히 감소하였으나 다른 소포제에 비해서는 여전히 많은 공기량을 나타내고 있었다.

2) D 소포제를 제외한 다른 소포제는 소포제 혼입률 1.0% 이상에서는 공기량의 큰 변화를 보이지 않았다. 라텍스 혼입률 15%의 경우도 10%의 경우와 유사한 경향을 나타내었으며, 라텍스 혼입률 10%에서는 B 소포제, 라텍스 혼입률 15%에서는 A 소포제가 가장 높은 소포력을 나타내었다.

3) 라텍스 혼입률 10%의 경우 소포제 종류에 따른 압축강도 특성은 A 소포제의 경우 소포제 혼입률 1.0%에서, B, C, D 소포제의 경우 소포제 혼입률 3.0%에서 가장 높은 압축강도 값을 나타내었으며, C 소포제의 경우 가장 높은 강도 발현 특성을 나타내었다.

4) 라텍스 혼입률 10%에서 C 소포제는 혼입률이 1.0, 2.0, 3.0%로 증가할 때 압축강도의 증진 비율이 19.9%, 26.9%, 29.0%로 나타났으며, 라텍스 혼입률 15%에서는 압축강도의 증진 비율이 12.6%, 32.6%, 15.2%로 다른 소포제에 비해서 가장 높은 압축강도 증진율을 나타내었다. 라텍스 혼입률이 변화함에 따라 적정 소포제 혼입률 범위도 변화된다는 것을 알 수 있었으며, 소포제 혼입률이 증가되어도 강도증진에 한계를 보여 오히려 감소하는 결과를 나타냈다.

5) 소포제 선정 시험의 결과 C 소포제가 가장 탁월한 성능을 발휘하였으나, A 소포제와 B 소포제도 유사한 결과 값이 도출되었다. 그러나, 이와 같은 결과는 모르타르를 이용한 결과이므로 콘크리트에 적용하기 위해서는 향후 적용성 실험이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 지정 강원대학교 부설 “석계복합신소재제품연구센터”의 연구비 지원에 의해 수행된 것으로 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 위진우, 정원경, 홍창우, 김동호, 최상룡, 윤경구 (2001) "시멘트 종류별 라텍스 개질 콘크리트의 투수특성" 한국콘크리트학회 논문집 Vol. 13, No. 13 pp. 1023-1028
- [2] 홍창우, 윤경구, 최상룡, 김태경 (2000) "라텍스 개질 콘크리트의 투수특성과 부착강도 특성" 한국도로포장공학회 논문집 pp. 191-197
- [3] Edward. K. Rice P.E (1999) "Rapid Set Cement : CTS Cement" CTS Cement Mfg. Co
- [4] Akthem A. Al-Manaseer, Emma B. Aquino, and Hasan Kumbargi (1999) "Properties of Concrete Containing Ultimax Rapid-Setting Hydraulic Cement" ACI Materials Journal
- [5] Sprinkel, Michael M.(1998) Very-Early-Strength Latex-Modified Concrete Overlays" Virginia Transportation Research Council (TAT99-TAR3)
- [6] Su, Z, Sujata, K. Bijen, J. M. J. M. Jennings, H. M. and Fraaij, A. L. AL. (1996) "The Evolution of the Microstructure in Styrene Acrylate Polymer-Modified Cement Pastes at the Early Stage of Cement Hydration" Advanced Cement Based Materials, Vol. 3, No 3-4, pp 87-93
- [7] Janotka. I. Madejova, J. Stevula, L. and Frt'alo,va, D. M.(1996) "Behaviour of $Ca(OH)_2$ in the Presence of the Set Styrene-Acrylate Dispersion" Cement and Concrete Research, Vol, 26, No. 11, pp. 1727-1735
- [8] Su, Z. K. Sujata, K. Bijen, J. M. J. M. Jennings, H. M. and Fraaij, A. L. AL. (1996) "The Evolution of the Microstructure in Styrene Acrylate Polymer-Modified Cement Pastes at the Early Stage of Cement Hydration" Advanced Cement Based Materials Vol. 3 No 3-4 pp 87-93
- [9] Sakai, Etsuo and Sugita, Jun (1995) "Composite Mechanism of Polymer Modified Cement" Cement and Concrete Research. Vol. 25 No 1, pp.127-135
- [10] Ohama, Yoshihiko (1995) "HANDBOOK OF POLYMER-MODIFIED CONCRETE AND MORTARS Properties and Process Technology"
- [11] Janotka, Ivan. Stevula, Ladislav. Frtalova, Marta D. (1994) "Microstructure of Cement Mortar, Paste and Suspension Modified by the Styrene-Acrylate Dispersion" Building Research Journal
- [12] 關野一男 (1996), "超速硬ポリマーセメントコンクリートの性状および調合設計に関する研究"
- [13] 金完基 (1994), "アルミナセメントを用いたポリマーセメントモルの性質" 日本大學修士學位論文