

Soilcrete의 동결융해 특성

The Freezing-Thawing Characteristics of Soilcrete

송 창 섭 (충북대) · 반 창 현* (충북대) · 장 응 희 (충북대)
Song, Chang Seob · Ban, Chang Hyun · Chang, Woong Hee

Abstract

In this study, a series of test was conducted to show the characteristics of freezing-thawing process on soilcrete using the soft clay in a redevelopment paddy area, was treated with cement and several additives such as Beestar, CaSO_4 , MgO , and Polypropylene fiber.

From the results of test, it was found that first additives -cement and beestar- was effective for compressive strength, and the resistance against freezing-thawing process was improved by secondary additives, in the order their effectiveness, i.e. CaSO_4 , Synthetic fiber, MgO , and Beestar.

I. 서론

기계화 영농을 목표로 구획규모를 1ha이상으로 대형화하는 대구획 경지정리사업의 추진과 더불어 농작업 기계화율은 95%이상의 높은 수준에 도달해 있고, 점차로 농작업기계가 대형화되어 가는 경향을 보이는 반면 현재 농촌도로의 포장율은 30%에도 미치지 못하는 실정이다. 또한 지금까지 시행되고 추후 시행예정인 기계화경작로 포장의 대부분은 아스팔트나 콘크리트 포장으로 건설되고 있는데 일부 지자체에서는 도로등급별 기능에 관계없이 리도를 면도 기준으로 농도를 리도나 면도 기준으로 과잉투자하므로써 예산을 낭비하는 사례가 있고, 이와 같은 포장체는 토양이 산성화됨에 따라 지중에 미생물이 서식하지 못하여 토양을 사막화시키는 문제점을 내포하고 있으며, 경작로 건설은 5~7m로 되어 있으나 포장이 3m밖에 되어 있지 않아 포장이 안된 부분이 농사작업과정에서 훼손되는 사례가 많다.

한편 경작로건설을 위한 양질재료의 고갈, 질·성토량의 불균형, 토취장의 확보난 및 사회통념의 변화에 따른 환경보전의 문제점등을 보완하고 도로 축조 지역의 원지반토를 그대로 사용함으로써 공사비의 절감과 품질의 향상을 기할 목적으로 시멘트 안정처리공법을 농촌도로 포장의 기층이나 보조기층재료에 적용한 사례는 있으나, 기계화 경작로의 특성을 고려한 새로운 포장공법에 대한 연구 및 표층재료로서의 적용가능성에 관한 연구는 극히 미비하다.

따라서 본 연구에서는 시멘트 안정처리공법을 기계화경작로 포장에 적용시 기층이나 보조기층뿐 아니라 표층재료로서의 개발가능성을 검토하고 새로운 기계화 경작로 포장공법을 연구하기 위한 일환으로 경지정리 지구내의 논흙(CL)을 대상으로 고회제(Beestar A), 석고(CaSO_4), 마그네슘(MgO) 그리고 섬유등을 첨가한 Soilcrete의 동결융해 특성을 규명하려 한다.

II. 재료 및 시험방법

2.1 사용재료

본 연구에서 사용한 흙은 충북 청원군 오창면 학소지구에서 채취한 경지정리 지구내의 논흙으로 자연건조시킨 후 이물질을 없애고, 기타 재료와의 혼합을 용이하게 하기 위해 4번재 이상의 입자를 제거하여 사용하였으며. 물리적 성질은 Table-1과 같다. 시멘트는 국내에서 생산되는 포틀랜드 시멘트로서 화학적 성분은 Table-2와 같다. 고화제(Beestar-A)는 강도증진을 목적으로 토양개량용으로 개발된 제품을 사용하였으며 화학적 성분은 Table-3과 같다. 석고(CaSO₄)는 그 자체의 수화물과 시멘트와 반응시 Ettringite, C-S-H gel, Ca(OH)₂등의 수화물을 생성하여 토립자 사이의 공극을 채우고 토립자와 반응하며 토립자물 부분적으로 고결화시키는 특성이 있기 때문에 강도증진 및 지연다짐에 따른 강도저하방지와 동결융해에 대한 저항성을 증진시킬 목적으로 도자기 제조에 사용하는 2급의 형재용 석고로서 천연석고와 화학석고를 배합해서 만든 반수석고를 사용하였으며, 그 화학적 성분은 Table-4와 같다. 마그네시아(MgO)는 수화시 부피가 팽창하는 성질을 가지고 있어 적량사용으로 Soilcrete생성시 건조수축을 감소시키고 공극을 채워 내구성을 증진시켜 줄 목적으로 시중에서 95% 순도 제품을 구입하여 사용하였다. 섬유는 국내 S사에서 제조된 제품으로, 재질은 Homopolymer Polypropylene 이고, 섬유길이는 19mm로 1233.7 데니어(Denier)인 망사형(수십 개의 섬유가 망형으로 연결된 섬유무치)섬유로 Web의 형태가 아니라 짧은 형태의 단섬유로서 흙과의 혼합이 용이하고 인성의 증가로 인하여 강도가 증가될 뿐아니라 상당한 변위에도 강도가 유지되며 동시에 잔류강도도 크게 나타난다. 또한 인장에 대한 저항력을 증가시켜 건조에 따르는 균열을 억제하는 효과가 있다. 사용된 섬유의 물리적 성질은 Table-5와 같다.

Table-1. Physical properties of soil

Atterberg limits (%)		Gs	Grain size distribution (%)						U.S.C.S
LL	PI		No.4	No.10	No.40	No.200	m/m 0.01	m/m 0.002	
39.7	21.2	2.70	100	98.4	91.3	78.5	51.6	21.2	CL

Table-2. Chemical composition of cement

Ignition -loss	Insoluble -residue	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Free CaO	CaSO ₄
1.02	0.38	21.07	5.92	3.78	61.38	2.93	1.95	0.5	2.1

Table-3. Chemical composition of Beestar-A

NH ₄ Cl	NaCl	FeCl ₃	C	MgCl	KCl	CaCl ₂	etc.
5	20	2	1	22	25	15	10

Table-4. Chemical composition of Gypsum

CW	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	As	Pb	etc.
5.95	0.002	0.002	38.3	55.3	0	0	0.446

Table-5. Physical properties of Synthetic Fiber

Absorption	Specific Gravity	Melting Point °C	Acid Resistance	Alkali Resistance	Tensile Strength kgf/cm ²	Young's Modulus kgf/cm ²
none	0.91	162	very high	very high	3,500~7,700	35×10 ⁴

2.2 시험방법

2.2.1 재료배합

Table-6은 재료배합표를 나타낸 것이다.

각 재료별 첨가율은 건조시킨 흙에 대한 중량비이며, 고화제(Beestar-A)는 시멘트에 대한 중량비이다. 재료 배합은 A그룹(Cement), B그룹(Cement+Beestar-A), C그룹(Cement+Beestar-A+Gypsum), D그룹(Cement+Beestar-A+MgO) 그리고 E그룹(Cement+Beestar-A+Fiber)으로 구분하였다.

2.2.2 시료조제

경지정리 지구내 논흙을 채취하여 실내에서 자연건조시킨 후 4번체를 통과한 시료를 사용하였으며, 시멘트, 석고, 마그네샤는 물을 첨가하기 전 30분이상 수작업으로 혼합하였고, 섬유는 땅이 펼쳐질 수 있고 뭉쳐지지 않는 범위에서 흙과 시멘트를 혼합한 후 재혼합하였으며, 고화제(Beestar-A)는 소정량을 계량하여 10배의 물을 첨가한 후 분무기로 살수하면서 최적함수비를 맞추었다.

2.2.3 압축강도 시험

Soilcrete의 강도는 다짐율에 의해 크게 좌우된다. KS규정에는 Proctor의 표준다짐에너지($E=5.625\text{kg} \cdot \text{cm}/\text{cm}^3$)를 사용하여 Soilcrete의 강도시험을 하도록 명시되어 있기는 하지만 일반적으로 도로포장시에는 D다짐을 실시하고 있다. 따라서 본 연구에서는 D-다짐시험을 실시하여 최적함수비(O.M.C.) 및 최대 건조단위중량을 얻은 후, 최적 함수비 상태로 시료를 조제하여 직경 5cm, 높이 10cm의 몰드에 3층으로 나누어 넣고 D-다짐에너지($E=18.01\text{kg}/\text{cm}^3$)가 되도록 정압력을 가해 공시체를 제작하였다. 시료추출기로 공시체를 추출한 후 습윤양생장치에 온도 23°C, 상대습도 95%이상 유지되도록 7일 양생하여 일축압축강도시험을 실시하였다.

2.2.4 동결융해 시험

압축강도시험용 공시체와 같은 방법으로 공시체를 제작하여, 재령 7일 이후에 동결융해시험을 실시하였다. 실험에 사용된 동결융해장치(DA-288)는 시편이 규정된 동결융해 주기(-18°C ~ +4°C)를 자동으로 조절 반복되게 할 수 있는 장치로 동결융해 장치내에 온도감지센서봉이 부착되어 있다. 장치내의 온도는 공시체 내부온도와는 다르기 때문에 동결융해시험전 공시체 중앙을 Drilling한 후 온도센서봉을 공시체 중앙으로 삽입해 공시체의 온도변화를 -18°C ~ +4°C로 왕복시키는 것을 1Cycle로 하였다. 시험은 5, 10, 15Cycle이후에 일축압축시험과 같은 방법으로 진행하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1 강도특성

Fig.1은 고화제(Beestar-A)첨가에 따른 강도증가률 나타낸 것이다. 시멘트 8%인 경우 고화제 첨가로 5.57%(B-3), 시멘트 10%인 경우 10.02%(B-5), 시멘트 12%인 경우 15.21%(B-8) 강도증진효과를 보이고 있으며 시멘트량에 따라 최적의 고화제 첨가량이 존재함을 알 수 있다.

Table-6. Mixing proportion of samples

Additives centent (%)	Cement			Beestar-A			Gypsum			MgO			Fiber		
	8	10	12	0.5	1.0	1.5	1.0	2.0	3.0	1.0	2.0	3.0	0.1	0.3	0.5
samples															
A-1	○														
A-2		○													
A-3			○												
B-1	○			○											
B-2	○				○										
B-3	○					○									
B-4		○		○											
B-5		○			○										
B-6		○				○									
B-7			○	○											
B-8			○		○										
B-9			○			○									
C-1		○			○		○								
C-2		○			○			○							
C-3		○			○				○						
D-1		○			○					○					
D-2		○			○						○				
D-3		○			○							○			
E-1		○			○								○		
E-2		○			○									○	
E-3		○			○										○

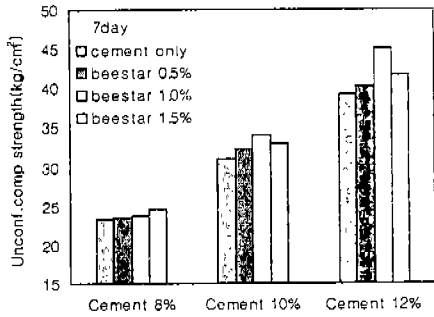


Fig.1 Comparison between cement only and Beestar content for strength

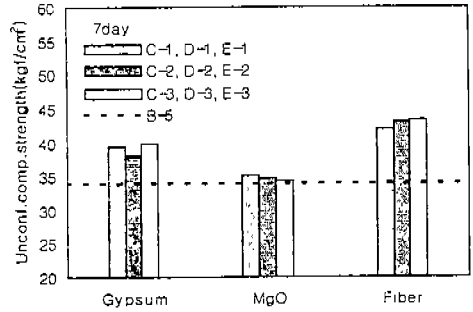


Fig.2 Comparison between B-5 and additives for strength

Fig.2는 B-5(Cement10%+Beestar 1%)를 기준으로 석고, 마그네샤, 섬유첨가에 따른 강도변화를 나타낸 것이다. 석고를 첨가한 경우 B-5와 비교하여 12.3~17.4%의 강도증가율을 보이고 있는 반면, 석고첨가율과 강도변화 사이에는 일정한 증감현상이 나타나지 않았는데, 이는 경화시 화학조성의 변화에 따라 생성되는 경화체의 구조와 수화물의 종류가 다르기 때문^{5,6)}으로 판단된다. 마그네샤를 첨가한 경우 B-5와 비교하여 강도증가율은 상당히 미비하였는데, 이는 양생기간이 짧아 마그네샤(MgO)의 수화가 진행되지 않았기 때문으로 판단된다. 그러나 건조수축율은 상당히 미비하게 발생하여 건조수축에 따른 균열발생억제효과가 기대된다. 섬유를 첨가한 경우는 B-5와 비교하여 23.2%~27.5%의 강도증가효과를 보이고 있으며, 섬유의 혼합율이 증가할수록 강도가 증가하는 경향을 보이고 있다.

3.2 동결융해 특성

3.2.1 고화제(Beestar-A)의 영향

Fig.3은 고화제 함량별 동결융해작용에 따른 강도를 나타낸 것이다. 시멘트량이 증가하거나, 고화제(Beestar-A)를 첨가한 경우에 강도감소율은 적어지는 경향을 볼 수 있다. 이는 시멘트와 토립자간의 결합력의 증가와 침상구조체인 Ettringite의 생성이 공극을 채워줌으로써 부동결수분의 이동성을 차단하기 때문인 것으로 판단되며, 동결융해작용이 반복됨에 따라 강도는 선형

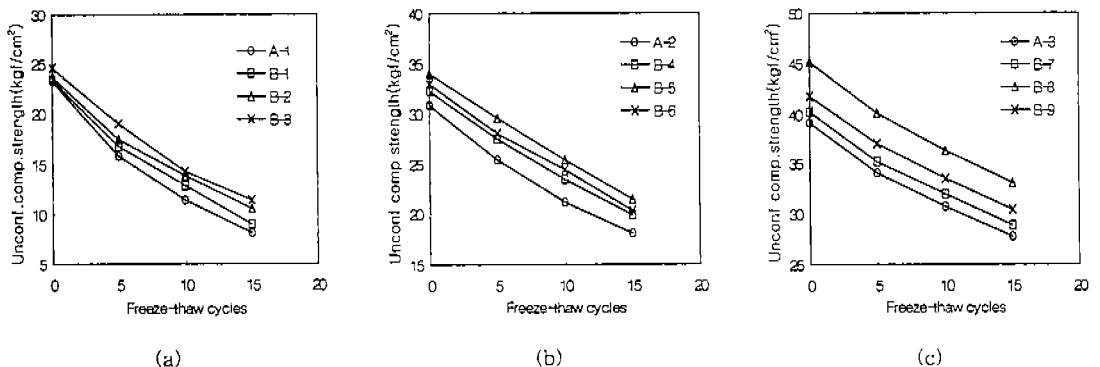


Fig.3 Relationship between strength and freeze-thaw cycle with beestar content

적인 감소를 보이고 있는데 이는 동결융해 반복주기(2hr~2.5hr)가 짧아 빙정(Ice lenz)성장에 따른 동상압력이 경화체의 구조를 급속히 변화시키지 못하고 동결융해 Cycle수의 증가에 따라 점진적으로 진행^{1,2)}됨에 기인된 것으로 판단된다.

3.2.2 석고(CaSO₄)의 영향

Fig.4는 석고함량별 동결융해에 따른 강도변화를 나타낸 것이다. B-5와 비교하여 강도감소율이 상당히 감소하는 경향을 보이는 반면 석고함량 3%인 경우는 C-1, C-2와 비교하여 강도감소율이 크게 나타났다. 이는 Fig.5에서 알 수 있듯이 동결융해 시작전에 체적팽창에 의한 균열 발생으로 인해 접착력이 떨어짐과 동시에 동결융해반복에 따른 내부균열의 증가에 기인한 것으로 판단된다. 따라서 동결융해에 따른 내구성 개선효과를 위해 사용되는 석고의 양은 제한될 필요가 있다.

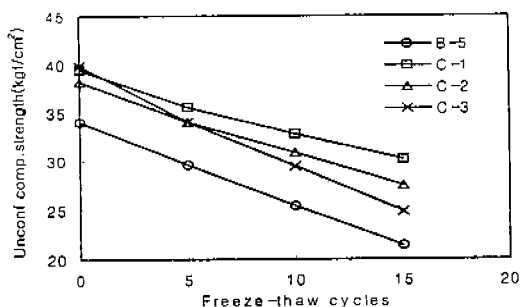


Fig.4 Relationship between strength and freeze-thaw cycle with Gypsum content

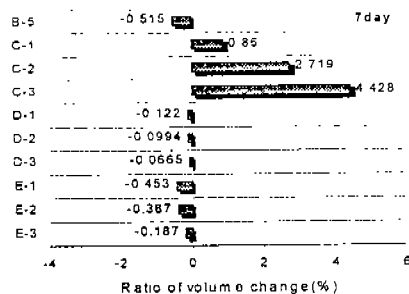


Fig.5 Comparison between additives and ratio of volume change

3.2.3 마그네샤(MgO)의 영향

Fig.6은 마그네샤 함량별 동결융해에 따른 강도변화를 나타낸 것이다. 강도감소율은 B-5와 비교하여 다소 감소하거나 유사한 경향을 보이고 있는데, Fig.5와 Fig.7에서 건조수축율이나 동결융해에 따른 체적팽창율은 극히 미비하여 동상으로 인한 내부균열을 억제할 수 있을 것으로 기대된다.

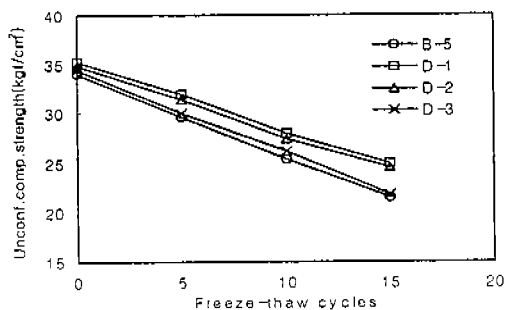


Fig.6 Relationship between strength and freeze-thaw cycle with MgO content

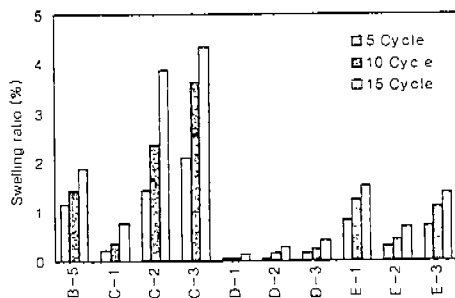


Fig. 7 Relationship between swelling ratio and freeze-thaw cycle with additives

3.2.4 섬유(Polypropylene Fiber)의 영향

Fig.8은 섬유함량별 동결융해에 따른 강도변화를 나타낸 것이다. B-5와 비교하여 강도감소율은 상당히 감소하고 동결융해 반복회수가 증가될수록 강도감소율이 작아지는 경향을 보이는 반면, 초기강도가 가장 크게 나타난 E-3경우 동결융해 반복에 따라 E-2보다 강도감소율이 증가하는 경향을 볼 수 있는데, 이는 혼합과정에서 섬유끼리 뭉쳐짐이 발생해 뭉쳐진 섬유사이의 공극이 부동결수의 이동경로를 만들어 줌으로서 빙정성장에 따른 동상압력으로 구조변화가 발생^{1,2,9)}했기 때문으로 판단된다.

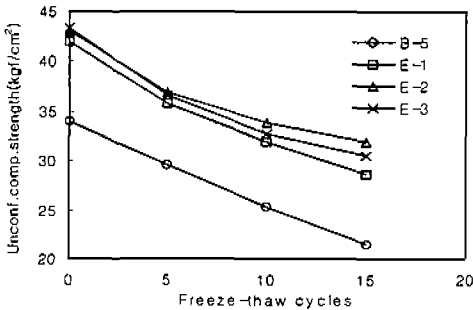


Fig.8 Relationship between strength and freeze-thaw cycle with fiber content

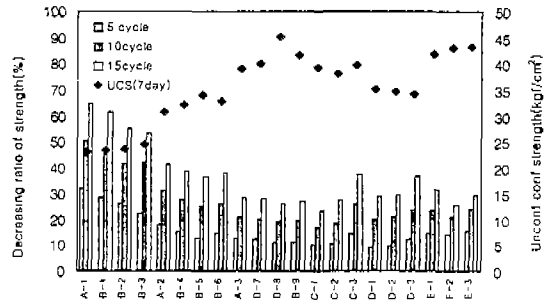


Fig.9 Comparison between decreasing ratio of strength and freeze-thaw cycle with additives

3.3 강도감소율에 따른 동결융해저항성 평가

Fig.9는 동결융해 시험전 강도를 기준으로 동결융해 반복에 따른 강도감소율을 나타낸 것이다. 동결융해반복에 따른 강도감소율의 변화는 동결융해 저항성을 나타내는 것으로 강도감소율이 작다는 것은 그만큼 동결융해 저항성이 증가하는 것을 의미한다. 동결융해 15Cycle인 경우 시멘트 10%인 A-2인 경우 41.59%의 강도감소율을 보인 반면, 고화제가 첨가된 B-5인 경우 36.9%로 감소하여 동결융해 저항성이 4.69% 증진되었고, B-5를 기준으로 석고, 마그네샤, 섬유를 첨가한 경우에는 C-1(23.6%), D-1(29.1%), E-2(25.9%)의 강도감소율을 보여 동결융해 저항성이 석고 13.3%, 마그네샤 7.8%, 섬유 11% 증진되었다. 이를 바탕으로 첨가제별 동결융해 저항성이 가장 뛰어난 배합비를 추정해 보면 고화제(Beestar-A)는 시멘트중량의 1%, 석고는 건조토중량의 1%, 마그네샤는 1%, 섬유는 0.3%가 적정혼합비임을 판단할 수 있다.

IV. 결론

경지정리 지구내의 논흙(CL)을 대상으로 고화제(Beestar-A), 석고(CaSO₄), 마그네샤(MgO) 그리고 섬유등을 첨가한 Soilcrete의 동결융해 특성을 규명하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 고화제(Beestar-A)는 시멘트 자체만 혼합한 경우보다 강도 및 동결융해 저항성이 증가하였으며, 그 적정혼합비는 시멘트 중량의 1%로 나타났다.
- 2) 석고(CaSO₄)는 강도와 동결융해 저항성이 증가되는 반면 과량 첨가시 체적팽창으로 인해 균열이 발생하였으며, 그 적정혼합비는 자연건조시킨 흙중량의 1%로 나타났다.

3) 마그네슘(MgO)는 건조 및 동결융해에 따른 체적변화가 극히 미비하여 동결융해 저항성이 증가하고 균열억제에 효과가 있는 것으로 나타났으며, 그 적정혼합비는 자연건조시킨 흙 중량의 1%로 나타났다.

4) 섬유는 강도증가, 파괴시 변형율증가, 잔류강도 증가, 균열억제 및 동결융해 저항성이 증가하는 반면 과량 첨가는 동결융해 저항성을 감소시키는 경향을 나타냈으며, 그 적정혼합비는 자연건조시킨 흙 중량의 0.3%로 나타났다.

위의 결과를 종합해 볼 때 동결융해 저항성은 석고, 섬유, 마그네슘 그리고 고화제 순으로 증대효과가 나타났고 그 적정혼합비가 존재하였다. 그러나 과다첨가로 인해 동결융해 저항성을 감소시키는 경우가 발생하였으므로 앞으로 보다 많은 연구를 통해 그 적정혼합비를 도출해야 할 것으로 판단된다.

V. 참고문헌

1. 류능환외 2인, 1990. 동결-융해작용이 흙의 강도특성에 미치는 영향, 한국농공학회지 Vol.32 No.3 pp.39-46
2. 류능환, 1993. 동결토의 압축강도에 관한 실험적 연구. 농공학회지 Vol.35 No.4
3. 농업진흥공사. 1987. 농촌도로와 연약지반처리를 위한 토양고화재 시험시공 보고서
4. 쌍용양회공업(주) 중앙연구소, 1998. 쌍용 Bee-Star 경교통 도로포장(농로, 산책로) 적용에 관한 시공연구 보고서
5. 신규연외 1인, 1989. C_3S-C_3A 계의 초기 수화반응 특성에 미치는 석고의 영향, 요업학회지 Vol.27, No.4, pp.514-520
6. 최연묵외 3인, 1998. 클링커 광물 함량 변화시 Modified Belite Cement의 특성, 요업학회지 Vol.35, No.5, pp.479-485
7. Feldman, L.A, 1979, "A study of the effect of plaster on frost susceptible soils, Thesis of Syracuse Univ. pp. 1-40
8. I. Dreizler, Bergisch Gladbach, D.Knofel, 1982, "Effects of Magnesium Oxide on the Properties of Cement," Z-K-G, No. 8, 537-550
9. Soroushian et al. 1995, Plastic shrinkage cracking of polypropylene fiber reinforced concrete. ACI materials jour. Vol.92, No.5 pp.153-560