

# 유기질 섬유보강재를 사용한 시멘트 모르타르의 공학적 특성

## Engineering Properties of Cement Mortar Using Organic Fiber Rehabilitation Materials

○신 현 섭\*      박 용 규\*      김 경 민\*\*      이 건 철\*\*\*      황 인 성\*\*\*\*      한 천 구\*\*\*\*\*  
Shin, Hyun-Sup      Park, Yong-Kyu      Kim, Kyoung-Min      Lee, Gun-Cheol      Hwang, In-Sung      Han, Cheon-Goo

### Abstract

This study investigates influence of organic fiber reinforced materials, affecting crack reduction of cement mortar using low grade natural sand(LNS). According to the test, for the properties of fresh mortar, the mortar using natural sand(NS) exhibited that flow value increased until adding most of fiber less than 1%, except for Polyvinyl alcohol fiber(PVA), and then it decreased. Meanwhile, the mortar mixed with LNS showed that increase of fiber content decrease flow value, regardless of fiber type. Air content increased in the mortar adding nylon fiber(NY) and polypropylene fiber(PP), while it maintained or decreased in the mortar adding cellulose fiber(CL) and PVA. Compressive strength of the mortar does not affect during early age, but mortar using NS and adding 0.1% of fiber content increased the value, except for PP, at 28 age days, while the mortar mixed with LNS decreased. For the properties of tensile strength, mortar, using NS and adding individually PP and PVA, exhibited higher value. Especially 0.1% of NY provided the highest value. In addition, the mortar mixed with LNS resulted in improved tensile value as fiber content increased. It is demonstrated that mortar using LNS led to higher length change ratio than natural sand.

키 워 드 : 저품질 천연 잔골재, 시멘트 모르타르, 균열 저감, 유기질 섬유 보강재

Keywords : Low Grade Natural Sand, Cement Mortar, CrackReduction, Fiber Reinforced

## 1. 서 론

최근 우리나라의 경우, 골재의 수급상황과 관련하여 굵은 골재는 1980년대부터 양질의 세석골재 생산으로 인하여 수급에 문제가 없으나, 잔골재의 경우는 만족할만한 품질의 대체골재를 확보하지 못하고 있는 실정이다. 즉, 양질의 강모래는 거의 고갈되었다고 할 수 있으며, 바다모래 또한 환경보호의식의 강화와 더불어 어업권 보호 등 민원이 급증하고 있어 골재 채취에 제약을 받고 있어 공급량이 감소하고 있다.

골재의 공급이 부족함에 따라, 석분이나 재생모래 및 마사토의 사용으로 건설 구조물에서 균열의 발생으로 인하여 사회적 문제로 대두되고 있는 한편, 저품질 골재를 사용하기 위해 많은 연구가 진행되고 있는 실정이다. 이러한 연구 중 유기질 섬유보강재의 사용은 콘크리트의 취성적인 성질을 보완하기 위한 목적 이외에도 시멘트 매트릭스내에 네트워크를 형성함으로써 인장강도, 휨강도 및 인성을 개선시키고, 비교적 큰 탄성 계수와 시멘트 풀과의 높은 부착강도를 가지며, 시멘트 입자 크기에 비해 유효직경이 작아 콘크리트를 밀실하게 만들어 준다.

따라서 본 연구에서는 골재종류별, 유기질 섬유보강재를 사

용함에 따르는 시멘트 모르타르의 유동성, 강도, 건조수축등 공학적 제반특성에 대하여 검토하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 실험방법

### 2.1 실험계획

유기질 섬유간의 특성 분석을 위한 실험계획은 표 1과 같다. 즉, 조립률, 미립분량이 다른 잔골재 종류별 2수준(조립률 2.9, 미립분량 2.84%의 강모래와 조립률 2.26, 미립분량 7%의 강모래)을 선정하여 배합비 1:3, 목표 플로우 180±15mm인 베이스 모르타르에 섬유종류별로는 Cellulose 섬유(이하 CEL섬유), Nylon 섬유(이하 NY섬유), Polypropylene 섬유(이하 PP섬유) 및 Polyvinyl alcohol 섬유(이하 PVA섬유)의 4수준과, 섬유 혼입율 0, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20%의 5수준으로 총 34배치를 실험 계획 하였다.

이때 실험사항으로는 굳지않은 모르타르에서 플로우, 공기량 및 단위용적질량을 측정하였고, 경화 모르타르에서는 압축강도, 인장강도 및 길이변화율을 계획된 재령하에 측정하였다.

### 2.2 사용재료

본 실험에 사용된 재료의 물리적 성질은 표 2~7과 같다. 먼저, 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트(이하 OPC)를

\* 청주대학교 건축공학과 석사과정, 정회원

\*\* 두산산업개발(주) RC연구개발팀 전임연구원, 정회원

\*\*\* 청주대 산업과학연구소 전임연구원, 정회원

\*\*\*\* 아세아시멘트(주) 연구개발팀, 정회원

\*\*\*\*\* 청주대학교 건축공학부 교수, 정회원

표 1. 실험계획

실험 요인		실험 수준	
배합사항	배합비 (C:S)	1	1:3
	플로우 (mm)	1	180±15
	잔골재 종류	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>강모래 (조립률 2.9 미립분량 2.84%)</li> <li>강모래 (조립률 2.26 미립분량 7%)</li> </ul>
	섬유 종류	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>CEL 섬유</li> <li>NY 섬유</li> <li>PP 섬유</li> <li>PVA 섬유</li> </ul>
	섬유혼입율(%)	5	0, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20
시험사항	굳지않은 모르터	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>플로우치</li> <li>공기량</li> <li>단위용적 질량</li> </ul>
	경화 모르터	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>압축강도 (7일, 28일)</li> <li>인장강도 (28일)</li> <li>길이변화율(표준양생)</li> <li>(-1 ~ 14일 (1일간격))</li> <li>(.15 ~ 56일 (7일간격))</li> <li>(.56 ~ 180일(30일간격))</li> </ul>

사용하였고, 잔골재중 조립률 2.9, 미립분량 2.84%의 잔골재는 충북 옥산산 강모래를, 조립률 2.26 미립분량 7%의 잔골재는 충북 옥산 미호천산 개답사를 사용하였다. 섬유 변수로서 CEL섬유는 국내산 S사의 제품, NY섬유는 국내산 K사의 제품, PP섬유 및 PVA섬유는 국내산 S사의 제품을 사용하였다.

표 2. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,483	0.15	208	351	20.4	29.4	38.7

표 3. 골재의 물리적 성질

구분	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	조립율	흡수율 (%)	단위용적질량 (kg/m <sup>3</sup> )	0.08mm체 통과량(%)
잔골재	2.51	2.90	2.33	1,490	2.84
잔골재	2.54	2.26	3.21	1,682	7.0

표 4. CEL섬유의 물리적 성질

밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	섬유 길이 (mm)	유효직경 (mm)	인장강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)	녹는점 (°C)
1.5	2.92	0.015	510	6,100	270

표 5. NY섬유의 물리적 성질

밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	섬유 길이 (mm)	유효직경 (mm)	인장강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)	녹는점 (°C)
1.16	19	0.023	896	5,168	225

표 6. PP섬유의 물리적 성질

밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	섬유 길이 (mm)	유효직경 (mm)	인장강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)	녹는점 (°C)
0.9	15	0.070	560	5,000	162

표 7. PVA섬유의 물리적 성질

밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	섬유 길이 (mm)	유효직경 (mm)	인장강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)	녹는점 (°C)
1.26	19	0.012	700	11,000	220

### 2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 모르터의 혼합은 20±3°C의 실험실에서 KS L 5109에 의한 수경성 시멘트 반죽 및 모르터의 기계적 혼합방법에 따라 실시하였다.

굳지않은 모르터의 실험으로 플로우 시험은 KS L 5105, 공기량은 KS F 2421, 단위용적질량은 KS F 2409의 규정에 따라 실시하였다. 경화 모르터의 실험으로 압축강도는 KS F 5105, 인장강도는 KS F 5104, 길이변화율은 KS F 2424 규정의 다이얼 게이지법에 의거 계획된 재령에서 실시하였다.

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 굳지 않은 모르터의 특성

그림 1은 일반 천연잔골재 및 저품질 천연잔골재를 사용한 모르터에 유기질 섬유 종류 및 혼입율 변화에 따른 플로우치를 나타낸 것이다.

플로우치는 일반 천연잔골재의 경우 PVA섬유를 제외한 모든 섬유에서 혼입율 0.1%를 기점으로 증가후 감소하는 경향을 나타냈는데, 이는 유기질 섬유가 시멘트 모르터 매트릭스내에 네트워크를 형성하여 충격 플로우 실험시 섬유 상호간에 인장응력이 발생하여 증가하는 것으로 사료되며, 0.15%이상에서는 단위체적당 차지하는 섬유수가 급격히 많아지면서 플로우가 감소하는 것으로 분석된다. 또한 PVA섬유는 매트릭스와 부착력이 뛰어나 섬유 혼입량이 증가함에 따라 플로우가 급격히 감소하는 것으로 나타났다.

한편, NY섬유의 경우 플로우치는 증가 이후에 감소가 완만하게 나타났는데, 이는 NY섬유내에 수분이 함유되어 있어 플로우가 증가하려는 경향을 보이거나, 섬유 혼입율이 증가함에 따라 시멘트 모르터 매트릭스내에 치밀한 네트워크를 형성하여 감소되는 것으로 사료된다.

저품질 천연잔골재의 경우 모든 섬유의 혼입율이 증가함에 따라 플로우치가 급속히 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 골재내에 미립분이 많이 함유되어 표면적과 흡수율을 증가시키기 때문으로 사료된다.

그림 2는 일반 천연잔골재 및 저품질 천연잔골재를 사용한 모르터에 유기질 섬유 종류 및 혼입율 변화에 따른 공기량을 나타낸 것이다.

공기량은 일반 천연잔골재의 경우 NY섬유 및 PP섬유의 경우 섬유 혼입율이 증가함에 따라 공기량이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 섬유의 첨가량이 증가할수록 시멘트 매트릭스와 완전한 부착을 이루지 못해 발생하는 공극의 증가에 의한 것으로 사료되며, CEL섬유 및 PVA섬유는 거의 변동이 없는 것으로 나타났다.

저품질 천연잔골재의 경우 섬유 혼입율이 증가함에 따라 일반 천연잔골재와 비슷한 성상을 보이거나, 공기량의 증가폭은 일반 천연잔골재보다 감소된 것으로 나타났다.

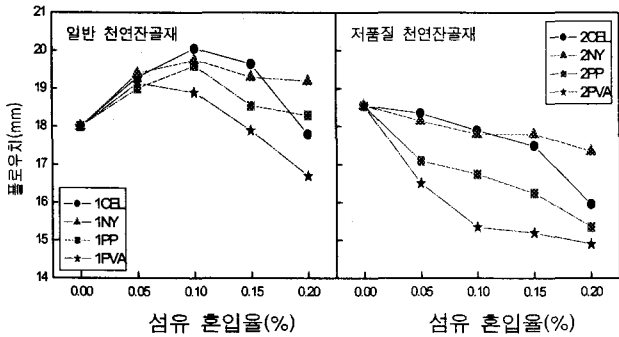


그림 1. 유기질 섬유 혼입을 변화에 따른 플로우치

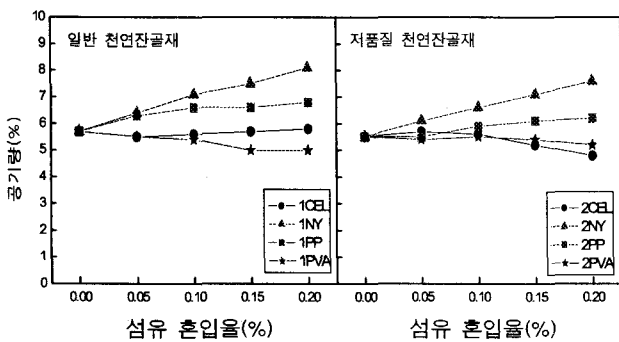


그림 2. 유기질 섬유 혼입을 변화에 따른 공기량

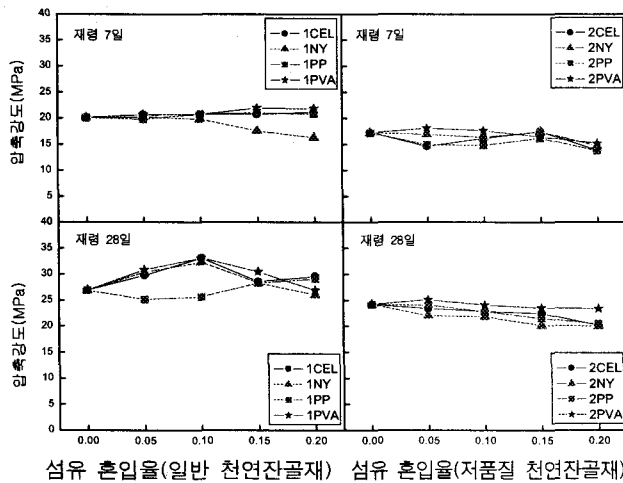


그림 3. 유기질 섬유 혼입을 변화에 따른 압축강도

### 3.2 경화 모르타의 특성

그림 3은 일반 천연잔골재 및 저품질 천연잔골재를 사용한 모르타에 유기질 섬유 종류 및 혼입율 변화에 따른 압축강도를 나타낸 것이다.

일반 천연잔골재의 경우 압축강도는 재령 7일에서 섬유 종류 및 혼입율별로 큰 차이를 보이고 있지 않으나, NY섬유의 경우 혼입율을 0.10% 이상 혼입할 경우 감소하는 것으로 나타

났는데, 이는 균지 않은 상태에서 공기량의 증가에 의한 원인으로 사료되는데, 즉, 공기량 1%의 보정계수를 고려할 경우 압축강도는 4~6%가 증가하기 때문에 공기량이 동일한 조건에서는 섬유 혼입율별 차이는 크지 않을 것으로 사료된다.

또한, 재령 28일의 경우 섬유종류 및 혼입율 별로는 CEL 섬유, PVA 섬유 및 NY 섬유의 경우 혼입율이 0.10%까지는 증가하는 것으로 나타났으나, 0.10%를 기점으로 섬유 혼입율이 증가함에 따라 감소하였다. 이는 섬유가 시멘트 매트릭스 내에서 네트워크를 형성하여 강도를 증진시키는 효과가 있지만, 혼입율의 증가에 따라 워커빌리티의 저하가 예상되고, 섬유분산의 불량으로 인해 조직의 치밀도가 낮아져 압축강도가 저하되는 것으로 사료된다. 여기서, 매트릭스 내부에 있는 공기량과 압축강도 상관관계도<sup>1)</sup>를 고려해 보면, NY 섬유가 압축강도 측면에서는 가장 유리한 것으로 분석된다.

저품질 천연잔골재의 경우 섬유 종류 및 혼입율별로 재령 7 일에서는 일반 천연잔골재와 비슷한 성상을 보이지만 혼입율의 증가에 따라 압축강도는 저하하였으며, 재령 28일의 경우에는 혼입율이 증가함에 따라 모든 섬유에서 압축강도가 약간 저하하는 것으로 나타났는데, 이는 골재의 조립율이 상대적으로 낮아 압축강도가 저하된 것으로 사료된다.

그림 4는 일반 천연잔골재 및 저품질 천연잔골재를 사용한 모르타에 유기질 섬유 종류 및 혼입율 변화에 따른 인장강도를 나타낸 것이다.

인장강도는 일반 천연잔골재의 경우 섬유 혼입율이 0.10%의 경우 NY 섬유에서 가장 크게 나타났는데, 이는 NY 섬유의 물리적 성질에서 인장강도가 타 섬유보다 비교적 높아 적정 혼입율에서 인장강도가 크게 나타난 것으로 사료된다. 그러나 NY 섬유 및 CEL 섬유의 경우 혼입율이 0.10%를 기준으로 공기량 증가에 기인하여 급격한 저하를 나타내고 있는 반면, 기타 섬유는 혼입율이 증가할수록 같거나 증가하는 것으로 나타났다.

저품질 천연잔골재의 경우 섬유 혼입율이 증가함에 따라 일반 천연잔골재보다 강도가 감소된 것으로 나타났다. 이는 함수율이 높고, 골재 내에 미립분이 상당량 포함되어 있으며, 조립율의 낮음으로 인하여 인장강도가 감소된 것으로 사료된다.

그림 5는 일반 천연잔골재를 사용한 유기질 섬유 종류 및 혼입율 변화에 따른 길이변화율을 나타낸 것이다.

모든 섬유에서 수중양생 이후 기중양생기간에는 초기재령에서 급격한 수축이 발생하였고, 재령이 경과함에 따라 완만한 경향으로 나타났다. CEL 섬유 및 PP 섬유 혼입시 Plain보다 건조수축이 증가하는 것으로 나타났으나, 섬유의 혼입율이 증가하여 0.20%에서는 Plain보다 건조수축이 감소하는 것으로 나타났다. NY 섬유 및 PVA 섬유의 경우 섬유 혼입율이 증가함에 따라 건조수축이 증가하는 것으로 나타났는데, 이 중 NY 섬유는 섬유 내에 함유되어 있는 수분으로 인하여 혼입량이 증가할수록 건조수축이 증가된 것으로 사료된다.

그림 6은 저품질 천연잔골재를 사용한 유기질 섬유 종류 및 혼입율 변화에 따른 길이변화율을 나타낸 것이다.

모든 섬유에서 일반 천연잔골재와 비슷한 성상을 보이거나, 길이변화율은 증가하는 것으로 나타났다. 이는 기존의 연구에서 나타난 바와 같이 다량의 잔입자 함량으로 목표 플로우치를 만족하기 위해 요구되는 단위수량이 증가하기 때문으로 사료된다.

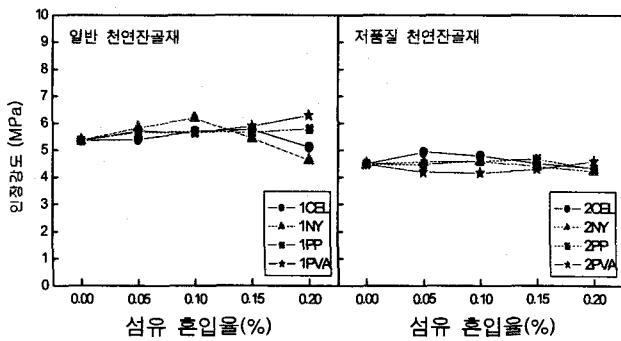


그림 4. 유기질 섬유 혼입을 변화에 따른 인장강도

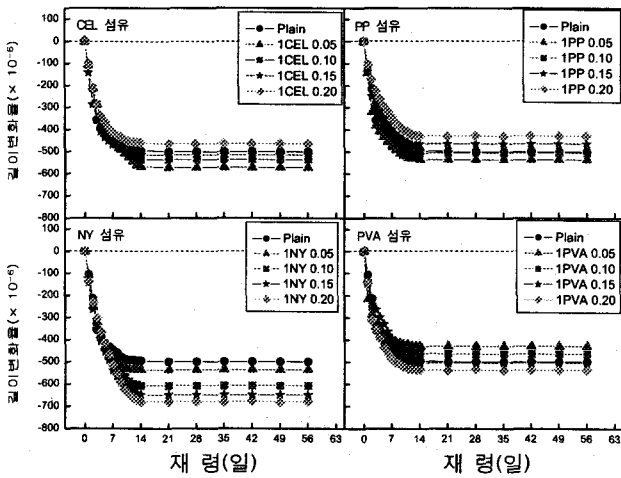


그림 5. 유기질 섬유 혼입을 변화에 따른 길이변화율(일반 천연잔골재)

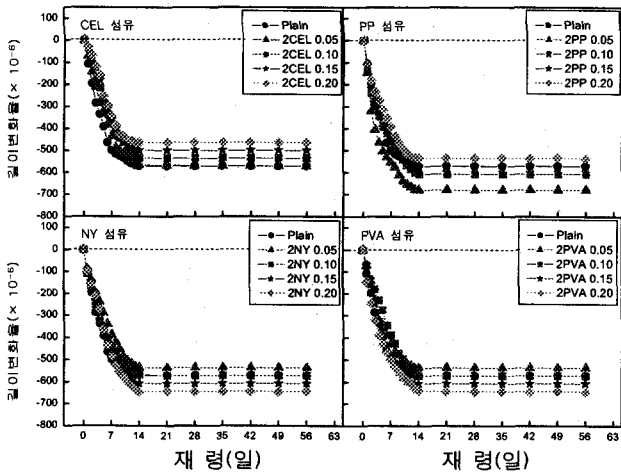


그림 6. 유기질 섬유 혼입을 변화에 따른 길이변화율(저품질 천연잔골재)

#### 4. 결 론

일반 천연잔골재 및 저품질 천연잔골재를 사용한 시멘트 모르타의 균열저감에 미치는 유기질 섬유보강재의 영향에 대해 비교 분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 플로우는 일반 천연잔골재의 경우 PVA섬유를 제외한 모든 섬유에서 혼입량의 0.10%를 기점으로 증가한후 그 이후에서는 감소하는 것으로 나타났는데, NY섬유는 그 감소폭이 다른 섬유에 비해 작은 것으로 나타났으며, 저품질 천연잔골재의 경우 모든 섬유의 혼입율이 증가함에 따라 플로우치가 감소하는 것으로 나타났다.
- 2) 공기량은 일반 천연잔골재의 경우 NY섬유 및 PP섬유는 증가하는 것으로 나타난 반면, CEL섬유는 차이가 없고, PVA섬유는 감소하는 것으로 나타났으며, 저품질 천연잔골재의 경우 공기량의 경향은 유사하나 증가폭은 감소된 것으로 나타났다.
- 3) 압축강도는 일반 천연잔골재의 경우 재령 7일에서 NY섬유를 제외하고 소폭 증가하는 것으로 나타났고, 재령 28일의 경우 PP섬유를 제외하고 혼입율 0.10%를 기점으로 증가후 감소하는 것으로 나타났다. 이때, 공기량 증가를 보정하여 압축강도를 분석하면 NY섬유일 때 가장 유리하였으며, 저품질 천연잔골재의 경우에는 모든 섬유에서 압축강도가 저하하는 것으로 나타났다.
- 4) 인장강도는 일반 천연잔골재의 경우 PP섬유 및 PVA섬유에서 섬유 혼입율이 증가할수록 증진되는 경향으로서, 특히, NY섬유의 경우는 혼입율 0.10%에서 기타 섬유보다 큰 것으로 나타났다. 저품질 천연잔골재의 경우에는 모든 섬유가 비슷한 성상을 보이며 인장강도가 약간 저하되는 것으로 나타났다.
- 5) 건조수축에 의한 길이 변화율은 일반 천연잔골재의 경우 CEL섬유 및 PP섬유 혼입시 Plain보다 건조수축이 증가하는 것으로 나타났으나, 0.20%에서는 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 저품질 천연잔골재의 경우 비슷한 성상이나, 길이변화율은 증가한 것으로 나타났다.

#### 참 고 문 헌

1. 한천구, "레미콘 품질관리", 기문당, 2002.2, pp.124-128
2. 원종필, 박찬기: 특수 가공된 셀룰로오스섬유보강 콘크리트의 초기 특성, 콘크리트학회지, Vol.11 No.1, pp.146-152, 1999, 5
3. 김병기, 김용태, 안태호, 김광연: 섬유보강 콘크리트에서 나일론 섬유의 응용가능성, 콘크리트학회지, Vol.16 No.6, pp.65-73, 2004, 11
4. 박제선, 이주형, 윤경구, 안태송: 폴리프로필렌 섬유보강 콘크리트의 건조수축특성, 콘크리트학회지, Vol.11 No.2, 1999, 11