

# 鋼纖維에 의한 콘크리트의 補强効果

## Effects of Steel Fiber Concrete

高 在 君\* · 金 文 基\* · 李 信 昊\*\*

Koh, Chae Koon · Kim, Moon Ki · Rhee, Shin Ho

### Summary

Wasting fibrous residues from the cutting processes of steel materials at an iron-works were mixed with concrete. The strength and toughness of steel fiber concrete with different steel contents were tested in a laboratory. The test results showed that the steel fiber residues can be used for the reinforcement of concrete. The potential applications of such product include floor constructions for facilities like dairy barns, grain storages, and machinery shops.

The test results are as follows.

1. The compressive strengths of steel fiber concrete with one percent steel content by volume were 20 percent greater than that of plain concrete. The treatments also increased the concrete toughness by 96 percent.

2. When applied to tensile forces, the steel fiber concrete showed the increased strengths by 20 percent, and the toughness by 48 percent.

3. The steel content levels greater than or equal to 1.5 percent by volume resulted in the decreases of the compressive and tensile strengths of steel fiber concrete by 10 percent as compared to plain concrete. The concrete toughness increased with the steel contents.

4. The reinforcement effects of steel fiber depend on the quality of fiber material being used. Good steel fiber for concrete reinforcement appears to be uniform in shape and component, fine and long, and round-shaped.

### I. 緒 論

콘크리트는 시멘트와 骨材를 물로 반죽하여 굳힌 것으로 一種의 人造石이다. 콘크리트는 시멘트工業이 발달됨에 따라 石材에 비하여 價格이 低廉해지고 그 性質에 있어서 壓縮強度가 크며 耐火·耐水 耐久的이기 때문에 土木·建築工事에서 널리 사용

되는 材料가 되고 있다.

그러나 콘크리트는 建設材料로서 長點만 있는 것이 아니고 引張強度가 낮고, 靱性이 작아서 충격에 대해 弱하며 또 伸縮으로 인하여 龜裂이 생기기 쉬운 短點도 있다. 이런 短點의 改善方法으로 引張強度를 높이기 위하여 1850년에 J.L. Lambot에 의하여 콘크리트 속에 鐵網을 넣어서 補强한 것이 鐵筋 콘크리트의 효시가 되었다. 그 후 많은 研究에 의

\*서울大學校 農科大學

\*\*서울大學校 大學院

하여 鐵筋콘크리트는 鐵筋으로 콘크리트의 引張力을 보강함으로써 構造用 材料가 되어 오늘날에는 어떤 구조물이라도 만들 수 있게 되었다.

한편 콘크리트의 脆性和 龜裂性을 개선하기 위하여 콘크리트속에 纖維質 材料를 混入하여 보강하는 연구가 지속되고 있다. 즉, 콘크리트를 配合할 때 콘크리트材料和 함께 細小한 섬유질 재료를 골고루 섞어 만든 것을 섬유콘크리트(fiber concrete)<sup>6)</sup> 또는 섬유보강콘크리트(fiber reinforced concrete)라고 한다.<sup>7)</sup>

섬유콘크리트에 사용되는 섬유재료에는 鋼섬유, 유리섬유(fiber glass), 石棉 등 無機質섬유와 nylon rayon, polyethylene, polyester 등 有機質 化學섬유가 있다. 그러나 이 중에서 가장 많이 사용되고 연구대상이 되고 있는 것은 鋼섬유이다.

鋼섬유콘크리트는 1910년에 처음으로 콘크리트를 補強하기 위하여 섬유질 재료로 鐵못조각, 철사도막, 금속조각 등을 사용한 연구가 試圖되었다. 그 후 1963년에 Romualdi 등<sup>8)</sup>에 의하여 直徑이 1.5mm 이하의 가는 鋼鐵絲를 鋼섬유로 한 강섬유콘크리트에 대한 연구발표가 있었다. 이 연구에서 鋼섬유콘크리트는 強度가 增大되고 균열에 대한 저항력이 뛰어나 補強效果가 있으므로 그 利用이 可能하다고 主張함으로써 이것이 契機가 되어 그 후 이에 대한 연구가 활발해 졌다.

鋼섬유콘크리트에 대한 연구는 1960년대 후반부터 오늘에 이르기까지 지속되고 있는데 이들 연구 결과를 要約하여 보면 鋼섬유콘크리트는 보통콘크리트에 比하여 引張強度, 휨強度, 등이 현저히 增進될 뿐만 아니라 靱性에 대한 效果도 크게 나타나서 脆性도 현저히 개선되는 것으로 밝히고 있다. 또 鋼섬유콘크리트의 配合에서 강섬유의 混入率은 2, 5, 10, 20, 24% 콘크리트의 workability와 강도효과 등을 고려할 때 2.0%까지가 적당하고, 이밖에 콘크리트의 補強要因으로 섬유간격<sup>9, 12, 16, 17, 18)</sup> (fiber spacing concepts), 섬유형상비<sup>10, 19, 20)</sup> (fiber aspect ratio), 섬유방향<sup>15, 20)</sup> (fiber orientation), 섬유체적비<sup>5, 10, 12, 16, 20)</sup> (fiber volume ratio) 등이 主張되고 있다.

또한 Stages<sup>24)</sup> 등은 鋼섬유를 丹環形(ring fiber)으로 만들어 直線形(straight fiber)인 경우와 섬유콘크리트의 補強效果를 비교한 바 荷重-變形曲線의 거동양상은 類似하였으나 휨강도, 인장강도 및 압축강도가 모두 더 增大되는 利點이 있다고 하였다.

ACI委員會에서는 1973<sup>21)</sup>년과 1978<sup>22)</sup>년에 鋼섬유콘크리트에 대한 力學的·物理的 性質, 配合方法, 試驗方法, 適用實例 등에 대해서 報告書가 나왔으며 이밖에 ACI Technical Committee, RILEM Committee의 보고서가 있다.

이와 같이 外國에서는 1960년대부터 섬유콘크리트에 대한 연구가 꾸준히 수행되었기 때문에 이것이 뒷받침이 되어 鋼섬유콘크리트의 實用化가 점차 인정되어 水理構造物, 港灣구조물, 터널, 高溫구조물, 空港滑走路, 道路鋪裝 등 광범위하게 사용되고 있다. 그러나 國內의 경우 鋼섬유콘크리트에 대한 연구는 초보단계로서 文<sup>24)</sup>, 李<sup>25)</sup>, 金<sup>10)</sup> 朴<sup>16)</sup>, 등에 의한 몇 篇의 연구논문이 있다. 그러므로 아직 研究·技術의 축적이 되지 못하기 때문에 鋼섬유콘크리트의 實用化는 요원한 실정이다.

따라서, 이 研究는 鋼섬유콘크리트에 관한 연구의 一環으로 試圖한 것으로서, 一般的인 鋼섬유를 사용하지 않고 廢棄物의 이용차원에서 機械工作所 또는 鐵工所 등에서 部品를 제작할 때 절삭과정에서 생기는 殘滓物로 鋼섬유로 하였으며, 이 鋼섬유콘크리트의 補強效果를 규명하기 위하여 壓縮強度, 引張強度, 龜裂性 등에 대하여 시험을 실시하였다.

이 鋼섬유콘크리트는 補強效果가 인정된다면 農業建築物 중에서도 무거운 荷重과 충격을 받기 쉬운 우사, 곡물창고, 농기계사 등의 바닥콘크리트 施工과 伸縮으로 인한 龜裂과 충격으로 인한 破損 등을 받기 쉬운 농산물건조장, 도로 등의 鋪裝에 효과적으로 使用될 수 있을 것으로 思料된다.

## II. 材料 및 方法

### 1. 材料

#### 가. 시멘트

供試體를 만드는데 사용한 시멘트는 某會社에서 생산된 普通포틀랜드 시멘트이며 그 物理的 性質은 Table-1과 같다.

#### 나. 骨材

骨材는 榮山江 支流에서 採取한 모래와 자갈을 사용하였다. 잔골재는 No.4체를 通過한 것이고, 굵은 골재는 最大粒徑을 強度試驗인 경우 40mm, 龜裂試驗인 경우 20mm 로 하였다.

骨材의 品質은 Table-2, 3과 같고 各 粒度曲線은 Fig. 1, 2와 같다.

鋼纖維에 의한 콘크리트의 補強效果

Table-1. Physical Properties of Cement

Specific gravity	Finess(%)	Soundness	Time of setting		Compressive str- ength (kg/cm <sup>2</sup> )		Tensile strength(kg/cm <sup>2</sup> )	
			Initial (min)	Final (min)	$\sigma_c$	$\sigma_t$	$\sigma_s$	$\sigma_t$
3.14	5.5	0.12	130	220	127	200	20	26

Table-2. Quality of Fine Aggregate

Specific gravity	Absorption (%)	Unit wt. (kg/m <sup>3</sup> )	No. 200 sieve passing (%)	Soundness	Finess modulus	Organic impurity (%)
2.56	2.6	1,492	0.6	good	2.9	0.6

Table-3. Quality of Coarse Aggregate

Specific gravity	Absorption (%)	Unit wt. (kg/m <sup>3</sup> )	Abration (%)		Soundness	Finess modulus	Clay lump (%)
			100R	200R			
2.59	2.6	1,454	7.4	35.0	good	7.2	0.3

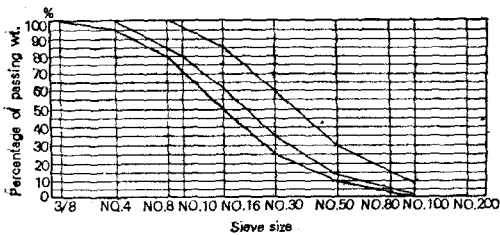


Fig. 1. Gradation Curve of Fine Aggregate

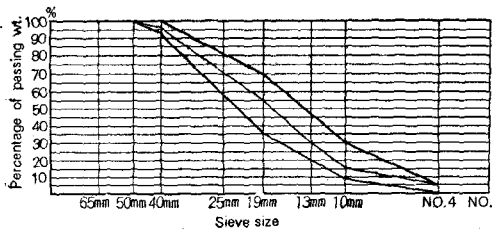


Fig. 2. Gradation Curve of Coarse Aggregate

다. 鋼纖維

이 시험에서 사용된 鋼섬유는 다른 鋼섬유와 달리 鐵工所에서 기계부품을 절삭하는 과정에서 얻어진 殘滓物로서 Fig. 3-(a)와 같이 그 形狀은 폭이 1.5~8.5mm이고 두께가 0.15~0.45mm인 角形斷面으로 대부분 나선모양으로 감기거나 구부러져 있으며 섬유的 材質은 鋼鐵에 속하는 것이나 절삭하는 과정에서 나온 것이므로 不均一하고 쉽게 破斷되어 強度측정은 곤란하였다. 이 不規則한 鐵 조각

을 鋼섬유로 사용하기 위하여 Fig. 3-(b)와 같이 길이를 2~4cm 정도로 切斷하였다.

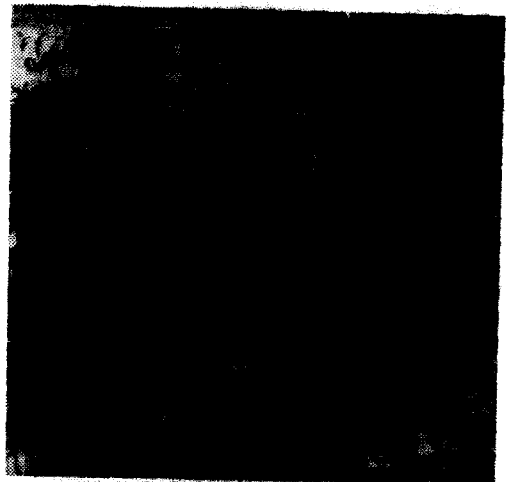
2. 方法

가. 供試體 製作

1) 配合設計

強度試驗에 사용될 콘크리트의 配合設計에서 單位시멘트량은 310kg으로 하고 骨시멘트比는 53%를 기준으로 하였으며 이 외의 사항에 대해서는 Table-4와 같다.

그리고 龜裂試驗에 사용될 콘크리트의 配合에서 그 配合比는 重量으로 1:7:14로 하고 슬럼프값이



(a) before cutting



(b) after cutting  
Fig. 3. Shapes of Steel Fiber

6cm가 되도록 單位水量을 조절하였다.

鋼섬유는 콘크리트의 容積比로서 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% 수준으로 混入하였으며, 鋼섬유 1%는 78.3kg/m<sup>3</sup>가 된다.

2) 配合順序

콘크리트와 鋼섬유의 配合는 삼 비비기로 Fig. 4와 같이 먼저 시멘트와 모래를 섞은 다음 자갈과 물을 부어 混合한 후에 마지막으로 鋼섬유를 골고루 分散시키면서 삼비비기를 하였다. 특히 비비는 過程에서 材料分離와 섬유가 한곳에 엉키지 않도록 주의하였다.

3) 供試體 製作

壓縮 및 引張強度에 필요한 供試體는 KS F에 2403에 準하여 지름15cm, 높이 30cm의 圓筒形으로 하였다. 供試體는 24時間후에 molds에서 脫型하여 바로 약 21±3°C를 유지하는 水槽에 넣어서 材齡 28

Table-4. Specified Mix of Concrete

Cement(kg)	Water (kg)	W/C(%)	S/a (%)	Sand (kg)	Gravel (kg)	Air Content(%)
319	166	53	36.4	678	1,173	1.0



Fig. 4. Mixing for Steel Fiber Concrete

일까지 水中養生을 하였다.

供試體는 鋼섬유의 混入率을 0%, 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%의 5가지 水準으로 만들고 各 水準에 대하여 6個씩 모두 30個를 제작하였다.

龜裂試驗에 필요한 供試體를 만들기 위하여 板材와 합석을 사용하여 molds를 특별히 제작하였다. molds의 치수는 50cm×50cm×4cm의 箱子形으로 되며 여기에 鋼섬유콘크리트를 채우고 가볍게 다진 후에 上面을 肅손으로 매끈하게 하여 成型하였다. 實驗室內의 實溫(14±2°C) 상태에서 3日 후에 molds에서 脫型하여 室內의 常溫(13±3°C)에서 방치하였다. 供試體는 鋼섬유 混입율을 0%, 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%의 5가지 水準으로 제작하였다.

나. 強度試驗

1) 壓縮強度試驗

압축강도시험은 日本 S會社의 萬能試驗機(容量 100톤)를 사용하여 KS F 2405의 콘크리트 壓縮強度試驗方法에 따라 실시하였다. 이 強度試驗에서는 壓縮強度 뿐만 아니라 試驗機에 부착된 自記記錄計에 의하여 荷重-變位 曲線을 구할 수 있었다. 따라서 荷重變位曲線內의 면적으로는 靱性을 비교하게 하였다.

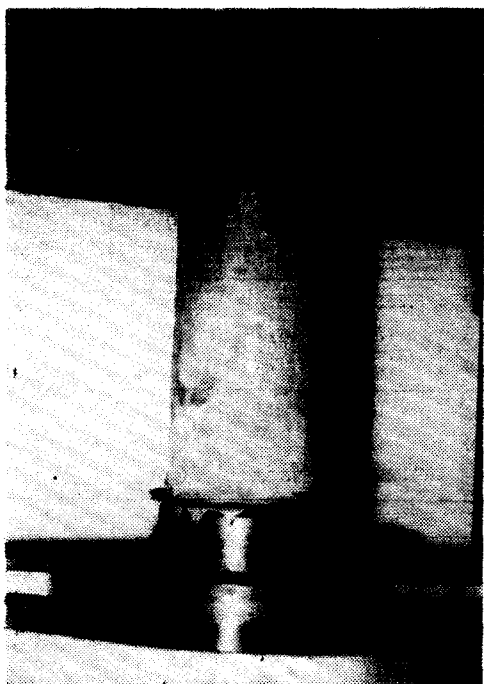


Fig. 5. Compressive Strength Test of Steel Fiber Concrete

2) 引張強度試驗

인장강도시험은 壓縮強度에서와 같은 試驗機를 사용하고 KS F 2423의 콘크리트 引張強度 시험방법에 따라 실시하였다. 이 強度試驗에서도 압축강도 시험에서와 같이 引張強度 뿐만 아니라 시험기에 부착된 自記記錄計에 의하여 荷重-變位曲線을 구할 수 있었다. 따라서 荷重-變位曲線內의 면적에 의하여 靱性을 비교할 수 있었다.



Fig. 6. Tensile Strength Test of Steel Fiber Concrete

다. 龜裂試驗

균열시험은 配合比 1:7:14의 貧配合으로 만든 두께 4cm인 콘크리트板(50cm×50cm)을 室內의 常溫(13±3°C)에서 Fig. 7과 같이 經間 40cm가 되도록 한 받침대 위에 配列하였다. 그리고, 건조수축과 自重에 의해 外部에 나타나는 龜裂상태를 1個月간격으로 6個月間 관찰하였다. (하중을 加하지 않고 龜裂시험을 한 것은 自然상태에서의 變化를 관찰하기 위한 것이다.)



Fig. 7. Crack Test of Steel Fiber Concrete

Ⅱ. 結果 및 考察

鋼섬유콘크리트의 壓縮 및 引張強度 試驗과 龜裂試驗의 結果를 要約하면 Table-5와 같다.

壓縮 및 引張強度의 시험결과는 1배치(batch)에서 제작한 供試體 3個의 平均値이다.

1. 鋼섬유콘크리트의 워커빌리티

鋼섬유콘크리트는 보통콘크리트에 比하여 슬럼프값이 현저히 減少되었으며 鋼섬유混入率이 1.5% 이상이 되던 Fig. 8과 같이 슬럼프가 생기지 않았다. 이런 狀態의 워커빌리티에서 供試體를 제작한 結果 Fig. 9와 같이 다짐 불량상태가 되어 영성한 벌집과 같이 되었다. 따라서 섬유혼입을 1.5%와 2.0%에서는 워커빌리티를 좋게 하여 다짐불량이 발생하지 않도록 물-시멘트比를 증가시켜 슬럼프값이 약 1cm가 되도록 하였다.

鋼섬유混入率과 슬럼프값의 관계를 살펴보면 Fig. 10과 같이 混入率이 증가할수록 Slump값은 떨어지고 있다. 이 현상은 金(1978), 朴(1978), Ritchie & Al-Kayyali (Hannant (1978) 인용) 등의 시험결과와 類似하며, 本試驗 상태와 비슷한 金의 結果와 비교하면 混入率이 같은 경우에도 슬럼프값은 더 減少되었다. 이것은 물-시멘트比의 差異에도 緣由되겠지만 鋼섬유의 形狀의 差異가 더 큰 要因이 아닌가 생각된다. 즉 鋼섬유가 均일하고 곧은 形狀이라면 잘 영겨지지 않고 다짐도 양호하지만, 形狀이 나선형으로 감긴 不規則한 角形단면이 되어 섬유가 환테 영겨지기 쉽고 骨材와 섬유間에도 분리

Table-5. Results of Tests

Fiber Content (%)		0	0.5	1.0	1.5	2.0	
Compressive & Tensile test	Water-Cement Ratio(%)	53	53	53	69	71	
	Slump (cm)	7.3	2.0	1.0	1.0	1.0	
	Comp.	Comp. strength (kg/cm <sup>2</sup> )	148.83	164.86	176.61	131.19	133.83
		Relative strength	1.0	1.11	1.19	0.88	0.90
		Relative toughness	1.0	1.49	1.96	1.92	2.11
	Tensile	Tensile strength (kg/cm <sup>2</sup> )	24.19	26.17	28.71	21.15	25.56
		Relative strength	1.0	1.08	1.19	0.87	1.06
		Relative toughness	1.0	1.18	1.48	1.38	1.65
	Crack test	Water-Cement Ratio (%)	100	100	100	100	100
Slump (cm)		6.0	1.0	0.5	0	0	
Natural Crack		None	None	None	None	None	

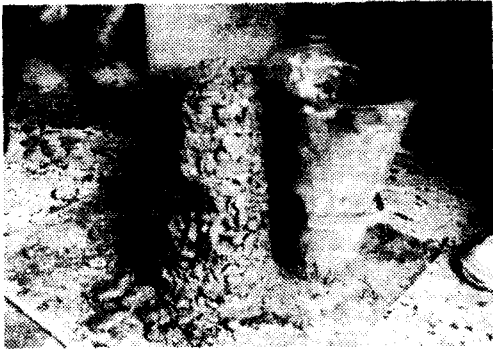


Fig. 8. Slump Test for Fiber Content 1.5%



Fig. 9. Specimens for Fiber Content 2.0%

되기 쉬워 다짐의 효과가 적어지기 때문이라고 생각한다.

鋼섬유를 철조각이나 形狀이 고르지 못한 것을 사용한 鋼섬유콘크리트에서는 섬유혼입율을 1.5% 이상으로 늘리려면 콘크리트의 워커빌리티를 개선하기 위하여 물-시멘트비율 70% 정도로 높여야 하였다.

強度試驗된 공시체의 섬유혼입율과 물-시멘트비

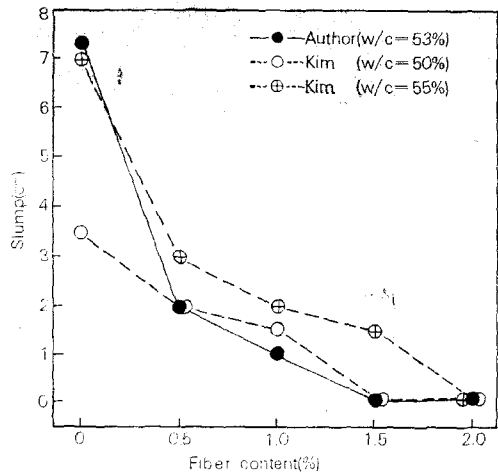


Fig. 10. Relationship between Slump and Fiber Content

에 따른 공시체의外觀은 Fig. 11과 같다.

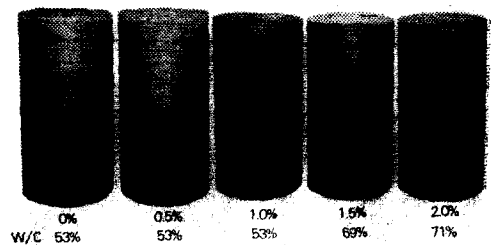


Fig. 11. Specimens for Strength Test

## 2. 壓縮強度

鋼섬유의 混入率에 따른 壓縮強度는 Table-5과 같

고 荷重—變位曲線은 Fig. 12와 같으며, 壓壞現象을 비교하면 Fig. 13과 같다.

鋼섬유콘크리트의 압축강도를 보통콘크리트와 比較하면 鋼섬유혼입율이 증가함에 따라 압축강도도 증가되었으나 혼입율이 1.5% 이상이 되면 오히려 감소되었다. 즉 鋼섬유혼입율이 0.5%, 1.0%에서 壓縮強度는 各各 보통콘크리트보다 11%, 19%가 더

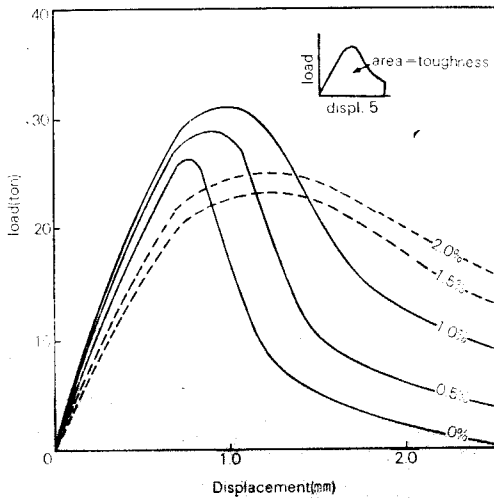
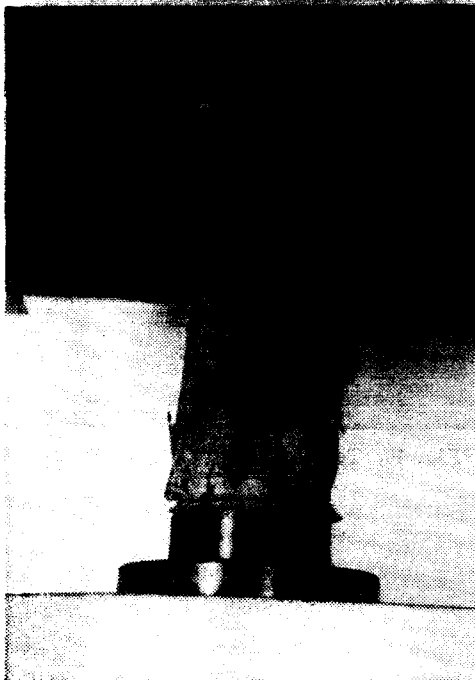


Fig. 12. Load-Displacement Curves for Specimens in Compression



(a) plain concrete



(b) fiber concrete

Fig. 13. Crushing Failure of Specimens

증가되었고, 1.5%, 2.0%에서는 물—시멘트비가 보통콘크리트와 다르므로 이론적인 비교는 할 수 없으나 實用化면에서 비교하면 各各 12%, 10% 정도가 減少되고 있다.

다른 鋼섬유콘크리트에서 압축강도와 鋼섬유혼입율과의 관계를 살펴보면 金(1978)과 文(1979)의 試驗結果는 섬유혼입율 2.0%까지 압축강도가 증가되고 있고, 朴(1978)의 結果에서는 혼입율 1.5%에서 2~5% 정도의 미소한 증가가 있으나 그 이상은 약간 감소되었다. 그리고 Hannant (1978)는 저서에서 Edington, Johnston, Swamy 등의 시험결과를 종합하여 강섬유혼입율 1.2%까지 약 25% 이하의 압축강도 증가효과가 있다고 기술하고 있다.

이러한 시험결과에서 볼 때 강섬유혼입율이 1.5% 이상이 되면 보통콘크리트보다 오히려 압축강도가 감소하며, 감소원인은 확실히 구명되지 않았으나 워커빌리티의 불량에 의해 다짐이 잘 되지 않는 것이 한 원인이 될 것으로 생각된다. 그러나 本 試驗의 경우는 섬유혼입율 1.5% 이상에서 워커빌리티를 개선하기 위하여 물—시멘트비를 증가한 것이 압축강도의 감소에 영향을 준 것으로 생각한다.

따라서 鋼섬유콘크리트의 壓縮強度의 立場에서 補強效果를 높이기 위해서는 鋼纖維混入率 1.5% 미만이 적당하다고 생각한다.

壓縮強度試驗에서 얻어지는 荷重—變形線圖에 의하여 鋼섬유콘크리트의 압축에 대한 靱性を 보통콘크리트와 비교할 수 있다. 즉 材料의 強度試驗에서 얻은 하중—변형曲線에 의하여 靱性を 알아볼 수 있으며, 靱性の 크기는 曲線에 의하여 차지하는 面積의 相對比로서 나타낸다. Fig. 12와 Table-5에 나타난 바와 같이 鋼纖維콘크리트의 靱性は 섬유혼입율이 증가할수록 증가추세를 보이고 있다. 즉 섬유혼입율이 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%에서 各各 49%, 96%, 92%, 111%가 더 증가되었다. 특히 섬유혼입율 1.5% 이상에서는 압축강도는 감소되었지만 인성은 증가되었다. 따라서 鋼섬유 콘크리트는 動荷重이나 충격에 대해서 보통콘크리트 보다 우수함을 알 수 있다.

鋼섬유콘크리트의 壓縮破壞過程을 살펴보면 보통콘크리트에서는 극한상태에 도달한 후에 변형의 증가폭은 작고 하중은 급격히 감소하는 양상을 보이고, 섬유혼입율이 증가할 수록 극한상태에 도달한 후에 하중이 감소하는 정도에 비하여 변형량이 크게 증가한다. 이러한 현상은 鋼섬유가 콘크리트의 파괴균열을 상당히 구속하기 때문이라고 생각된다.

鋼섬유콘크리트의 압축시험에서 인성이 증가되는 경향은 金(1978)과 文(1979), Shah와 Rangan(1971) 등의 試驗結果와 유사한데 그 증가폭은 작게 나타났다. 이것은 鋼섬유의 材質이 연약하고, 또한 혼입율 1.5% 이상에서는 물—시멘트비가 커진것이 그 요인으로 생각된다.

### 3. 引張強度

鋼섬유의 混入率에 따른 인장강도는 Table-5와 같고 荷重—變位曲線은 Fig. 14과 같으며 引張破壞의 斷面을 비교하면 Fig. 15와 같다.

鋼섬유콘크리트의 인장강도를 보통콘크리트와 비교하면 섬유혼입율이 1.0%까지 증가함에 따라 인장강도도 증가되었으나 혼입율이 1.5%가 되면 오히려 감소되고 혼입율 2.0%에서는 다시 약간 증가되었다. 이 결과는 압축강도에서의 類似한 경향을 보이고 있다. 즉 섬유혼입율이 0.5%, 1.0%에서 引張強度는 各各 보통콘크리트보다 8%, 19% 정도가 더 증가 되었고, 혼입율 1.5% 이상에서는 압축강도에서의 마찬가지로 實用化면에서 비교하면 혼

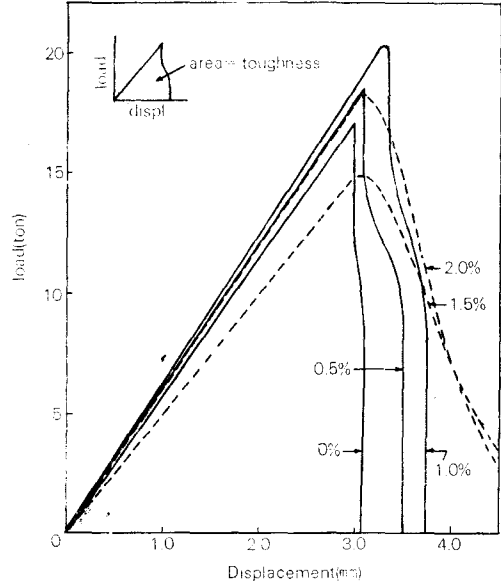


Fig. 14. Load-Displacement Curves for Specimens in Tension

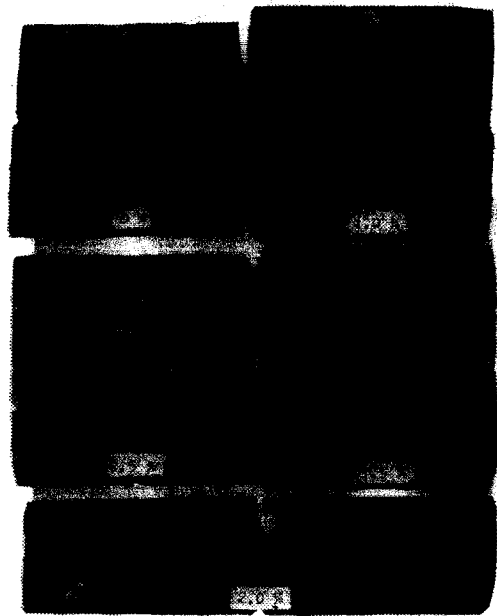


Fig. 15. Tensile Failure of Specimens

입율 1.5%에서는 13%가 감소하고 혼입율 2.0%에서는 6%가 증가하였다.

다른 鋼섬유콘크리트에서 引張強度와 鋼섬유혼입율의 관계를 살펴보면 Shah와 Rangan (1971)의 試驗結果는 섬유혼입율 1.5%까지 인장강도는 보통콘크리트보다 30%정도 증가경향을 나타냈고, 金(1978)과 文(1979)의 結果는 혼입율 2.0%까지 약 30%



증가하였다. 그리고 朴(1978)의 結果는 섬유혼입율 2.5%까지는 보통콘크리트보다 약 40% 증가하였으나 혼입율 3.5%에서는 다소 감소하여 약 20% 증가하였고, Hannant(1978)는 저서에서 Edington, Williams, Johnston, Coleman, Shah, Rangan 등과 자신의 試驗結果를 종합하여 섬유혼입율 3.0%까지 인장강도가 약 30% 증가함을 기술하고 있다.

이와 같은 시험결과와 차이는 鋼纖維의 材質과 形狀의 차이가 있고 특히 本 試驗의 경우는 섬유혼입율 1.5% 이상에서 워커빌리티 개선을 위하여 물-시멘트비를 증가한 것이 인장강도의 감소에 영향을 준 것으로 생각한다.

따라서 폐기물을 이용한 鋼섬유콘크리트에서는 인장강도 측면에서 볼 때는 섬유혼입율은 1.0%가 적당하고, 일반적인 鋼섬유콘크리트는 섬유혼입율 2.0%가 적당하다고 생각된다.

引張強度試驗에서 얻어지는 荷重-變形線圖에 의하여 鋼섬유콘크리트의 靱性を 보통콘크리트와 比較할 수 있다. 鋼섬유콘크리트의 인성은 섬유혼입율이 증가할수록 증가경향을 나타내었다. 즉 섬유혼입율 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%에서 各各 보통콘크리트보다 18%, 48%, 38%, 65%가 더 증가되고 있다.

다른 鋼섬유콘크리트의 引張試驗에서 인성과 鋼섬유혼입율의 관계를 살펴보면, Shah와 Rangan (1971)의 試驗結果는 섬유혼입율 1.5%까지 보통콘크리트보다 약 300% 더 증가하고 있다. 그러나, 인성의 증가경향은 유사한데 그 증가폭이 차이는 것은 鋼섬유의 材質과 형상의 차이점에서 오는 것이다. 즉 本 試驗에 使用한 강섬유의 材質이 연약하기 때문에 증가폭이 작다고 생각되며, 특히 섬유혼입율 1.5% 이상에서는 워커빌리티를 개선하기 위하여 물-시멘트비를 증가한 것이 인성의 증가율의 감소에 영향을 준 것으로 생각한다.

引張試驗에서 破斷된 단면을 비교하면 鋼섬유콘크리트가 보통콘크리트보다 거치른 表面으로 되고 있다. 또한 破斷面을 살펴보면 金(1978), 朴(1978) 文(1979) 등의 試驗에서는 鋼섬유가 대부분이 뽑혀 나왔으나 本 試驗에서는 鋼섬유의 대부분이 破斷되어 있었다. 이러한 差異는 섬유가 附着을 잘 하여 破斷이 될 수도 있으나 引張強度가 다른 試驗結果보다 낮은 增加率을 나타낸 것을 고려하면, 섬유가 破斷된 것은 섬유의 附着效果보다 섬유材質의 연약성이 더 큰 要因으로 作用하였다고 생각된다.

#### 4. 龜裂試驗

균열시험을 위하여 배치한 콘크리트板(50cm×50cm×4cm)을 1個月 간격으로 균열상태를 6個月間 육안으로 관측하였으나 外觀上 균열이 어느 供試體에도 생기지 않았다.

Elvery [Hannant(1978) 인용]의 試驗結果를 보면, 實驗室에서 전조수축에 의한 콘크리트슬래브의 균열시험을 한 결과, 섬유보강 콘크리트는 균열이 발생하지 않았으나 보통 콘크리트는 일반적으로 표면수축균열을 보였다.

그러나 이와같은 자연상태에서의 전조수축에 의한 균열시험은 장기간의 시험이 필요하므로 단기간에 시험효과를 발휘하기 위해서는 일정한 하중을 재하한 상태로 유지하거나, 휨시험등에 의해 균열에 대한 저항성을 시험할 필요가 있었다.

### IV. 結 論

廢棄物 利用의 一環으로 鐵工所에서 鋼鐵材 등의 절삭과정에서 생기는 殘滓物을 섬유질 材料로 使用한 鋼섬유콘크리트의 補強效果를 구명한 바 그 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 鋼섬유콘크리트는 섬유혼입율이 1.0%일 때 그 壓縮強度는 보통콘크리트에 비하여 20% 정도가 증가되고 靱性は 96%가 크게 증가되므로서 補強效果를 인정할 수 있었다.
2. 鋼섬유콘크리트는 섬유혼입율이 1.0%일 때 引張強度는 보통콘크리트에 비하여 壓縮強度에서와 같이 20%가 더 증가되고, 靱性は 48%가 증가되므로서 補強效果를 인정할 수 있었다.
3. 鋼섬유의 混入率이 1.5% 이상이 되면 壓縮 및 引張強度는 모두 보통콘크리트에 비하여 오히려 10% 정도 減少되나 이에 反하여 靱性は 混入率을 높을수록 증가하는 경향을 나타내었다.
4. 鋼섬유콘크리트는 壓縮 및 引張強度의 效果는 같은 水準이었으나 靱性の 效果는 引張보다는 壓縮力에 대해서 2배 정도로 더욱 크게 나타났다.
5. 鋼섬유콘크리트를 使用할 때 強度가 靱性보다 더 중요한 곳에서는 섬유혼입율을 1.0%로 하고, 靱性が 強度보다 더 중요한 곳에서는 섬유혼입율을 1.5% 이상 2.0%까지로 하는 것이 바람직하다고 생각된다.
6. 鋼섬유콘크리트의 補強效果로서 壓縮·引張強

도를 높이고,脆性的改善效果로서靱性を 높이기 위해서는鋼섬유의品質이 큰要因이 되었다. 즉,鋼섬유는材質이 양호하고形狀은均一하고細長한圓形단면의 것이 有利的한 것으로 생각된다.

本 研究는 1984年度 文敎部 學術研究助成費에 依하여 遂行된 것임.

參 考 文 獻

1. ACI Committee 544, 1973. State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete, J. of the ACI, 70(11) : 729-744
2. ACI Committee 544, 1978. Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete, J. of the ACI, 75(7) : 283-288
3. Bijen, J., 1983. Durability of Some Glass Fiber Reinforced Cement Composites, J. of the ACI, 80(4) : 305-311
4. Castro, Jose and Antoine E. Naaman, 1981. Cement Mortar Reinforced with Natural Fibers, J. of the ACI, 78(1) : 69-78
5. Chen, Wai-Fah and J.L. Carson, 1971. Stress-Strain Properties of Random Wire Reinforced Concrete, J. of the ACI, 68(12) : 933-936
6. Hannant, D.J., 1978. Fibre Cements and Fibre Concretes, John Wiley & Sons
7. Hanager, Charles H. and Terrence J. Doherty, 1976. Analysis of Reinforced Fibrous Concrete Beams, J. of the Structural Division, Proc. of the ASCE, 102(ST1) : 177-188
8. Hsu, Thomas T.C., Floyd O. Slate, Gerald M. Sturman, and George Winter, 1963. Microcracking of Plain Concrete and Shape of the Stress-Strain Curve, J. of the ACI, 60(2) : 209-222
9. Kar, Jitendra N. and Anil K. Pal, 1972. Strength of Fiber-Reinforced Concrete, J. of the Structural Division, Proc. of the ASCE, 98(ST5) : 1053-1068
10. 金中植, 1978. 鋼纖維 補強콘크리트의 力學的인 諸 特性에 對한 研究, 建國大學校 大學院 土木工學科, 碩士論文.
11. Kothari, N.C. and E.A. Bonel, 1978. Strength Properties of Concrete Reinforced with Epoxy-Coated Steel Fibers, J. of the ACI, 75(10) : 550-553
12. 李墩衡, 1979. 鋼纖維 補強콘크리트의 力學的인 諸 特性에 關한 實驗的 研究, 大韓土木學會 論文集, 27(6) : 103-111
13. Mansur, M.A. and P. Paramasivam, 1985. Fiber Reinforced Concrete Beams in Torsion, Bending, and Shear, J. of the ACI, 82(1) : 33-39
14. 文濟吉, 1979. 鋼纖維補強콘크리트의 強度特性에 關한 기초적 연구, 대한토목학회지, 25(4) : 123-132.
15. Naaman, Antoine E. and Surendra P. Shah 1976. Pull-out Mechanism in Steel Fiber-Reinforced Concrete, J. of the Structural Division, Proc. of the ASCE, 102(ST8) : 1537-1548
16. 朴承範, 1978. 纖維補強이 콘크리트의 力學的 特性과 鐵筋콘크리트의 龜裂性狀에 미치는 影響에 關한 研究. 韓國農工學會誌, 20(2) : 17-59
17. Romualdi, James P. and Gordon B. Baston, 1963. Behavior of Reinforced Concrete Beams with Closely Spaced Reinforcement, J. of the ACI, 60(6) : 775-790
18. Romualdi, James P. and Gordon B. Batson, 1963. Mechanics of Crack Arrest in Concrete, J. of the Engineering Mechanics Div., ASCE, 89(EM3) : 147-168
19. Romualdi, James P. and James A. Mandel, 1964. Tensile Strength of Concrete Affected by Uniformly Distributed and Closely Spaced Short Lengths of Wire Reinforcement. J. of the ACI, 61(6) : 657-670
20. Shah, Surendra P. and B. Vijaya Rangan, 1971. Fiber Reinforced Concrete Properties, J. of the ACI, 68(2) : 126-135
21. Shah, Surendra P. and A.E. Naaman, 1976. Mechanical Properties of Glass and Steel Fiber Reinforced Concrete, J. of the ACI, 73(1) : 50-53
22. Shah, Surender P., 1983. Fiber Reinforced Concrete, Handbook of Structural Concrete, Pitman Pub., Vol.1, Chapter 6.
23. Snyder, M. Jack and David R. Lankard, 1972. Factors Affecting the Flexural Strength of Steel Fibrous Concrete, J. of the ACI, 69(2) : 95-100
24. Stages, Andrew H. and John Miner, 1931. Ring Fiber Reinforced Concrete, J. of the ACI, 78(5) : 369-373