

# IT시대에 적합한 신개념의 콘크리트 구조물

九州大學 敎授 太田俊昭

## 1. 서론

인간의 생활과 경제 그리고 사회활동을 받치고 있는 사회기반정책과 그 상위개념은 환경론, 경제 및 사회구조론 등의 다각적 시점에서 종합적으로 수립되어야만 한다. 그리고 이러한 상위개념의 근거한 새로운 건설시스템과 기술은 당연히 과거에 비해 합리적이고 높은 경쟁력을 가져야 함은 물론이고, 사회적 책임을 충족시킬 수 있는 것이라야만 한다.

한편, 인터넷으로 상징되는 IT는 오늘날 세계의 사회, 경제 시스템뿐만 아니라 사람들의 가치관마저도 근본부터 급격히 변화시키고 있다. IT는 정보의 공유화, 글로벌화로 새로운 경제시스템의 창출과 발전의 원동력이 되고 있고, 동시에 생산, 물류 및 판매에 요구되는 에너지와 자원을 절감시키는 물리적 효과도 가져다주고 있다. 이와 같은 IT의 조류를 전망하고, 그 특징을 자세히 관찰하게 되면 사회기반에 관한 상위개념의 키워드를 추출할 수 있고, 향후 건설업이 갖추어야 할 모습을 예견할 수 있다.

본고에서는 IT사회에서의 건설업의 문제점을 지적하고, 건설분야에서 가장 많이 사용되는 콘크리트 구조물을 대상으로 상위개념에 적합한 새로운 방향과 그 기반기술을 제시하고, 종래방식과의 비교평가를 하고자 한다.

## 2. IT혁명의 특징과 건설업

IT 그 자체는 무색투명한 기술이고 단지 정보전달의 수단이라 할 수 있다. 정보라는 것은 소유하는 것이 아니라 이용할 때에 비로써 그 가치가 생긴다. 따

라서 IT를 이용하는 지혜(idea)가 사회의 상위개념에 기여할 수 있는 새로운 시스템을 창출하게 될 때에 지금까지의 사회는 창조적으로 파괴되고 새롭게 태어나게 될 것이다. 이것이 IT혁명이다.

이러한 IT혁명은 기능특성면에서 2가지의 방향성(Vector)을 가진다. 그 첫째는 무한소에 접근하는 벡터이고, 다른 하나는 무한대로 퍼져 나가는 벡터이다. 전자에 해당하는 것이 정보전달의 누적오차(劣化)와 전달속도, 정보전달시간의 변동(Just in Time) 그리고 인건비(중간 마진) 등이다. 후자에 해당하는 것은 정보전달거리(글로벌화), 정보의 공유 및 이용자 그리고 정보의 내용 등이다. 오늘날 IT시대의 주역은 IT의 특성을 최대한 살린 새로운 사회 모델이나 효율적인 비즈니스 모델의 생성이며, 위험을 두려워하지 않고 도전하고 기획, 실행하는 사람들이라 할 수 있다.

사회를 신체에 비유해보면 인터넷에 상징되는 신경(회로)과 혈관에 해당하는 물류시스템이 서로 보완작용을 하는 것을 통해 최초로 그 생명을 부여 받게 된다. 마찬가지로 생산 활동의 기업에서는 이러한 보완기능의 유무가 기업의 유지 발전을 위한 주요한 조건이 된다. 따라서 정보를 내장하고 발신 및 수신이 되는 디지털카메라 또는 액정TV 등 작고, 가볍고, 얇으면서 부가가치가 높은 제품을 만드는 기업이 이러한 조건에 대해 적합성이 매우 높다고 할 수 있다.

이런 의미에서 건설업이 강재나 콘크리트 등의 무겁고 큰 구조 재료와 크레인 등의 중장비를 조달하고 현장노동집약형의 시공시스템에 머물러 있는 한

은 IT비적합형의 저 수의 산업의 위치에 만족할 수 밖에 없을 것이다.

### 3. 새로운 콘크리트 구조물과 구축 시스템

21세기 사회의 상위개념의 키워드로서는 “(1) IT 사회 (2)환경, 순환형 사회 (3) 안전하고 신뢰할 수 있는 사회” 라고 하는 데에는 별 이론이 없을 것이다. 또한 장래의 건설기술은 설계, 시공, 유지해체, 재이용의 각각의 단계에 있어서의 효율성도 지니면서, 라이프 사이클 그 중에서도 특히 전체적인 에너지와 비용절감에 중점을 둔 사회적 책임이 요구되는 것이 될 것이다.

위에서 서술한 상위개념의 집합을 그림 1(a)에 나타내었다. 여기서 합집합 IUSUE 는 기본적인 큰 틀을 나타내고, 교집합 KNBNM 은 새로운 사회기반에서 요구되는 조건이라 할 수 있다. 그림 1(a)로부터 그림 1(b)와 같은 키워드가 간단히 추출될 수 있다. 추출된 키워드에 가장 적합성이 좋은 소재는 탄소섬유(판계), 아라미드섬유(테크노라) 및 비폴리에틸렌섬유(다이나마) 등을 꼽을 수 있다. 콘크리트의 보강재로서 요구되는 강도, 탄성계수, 내식성, 크리프 특성, 내화성 등의 조건을 고려해 볼 때 이 중에서는 탄소섬유(이하 C.F.라 명칭함)가 가장 적합하다고 말할 수 있다.

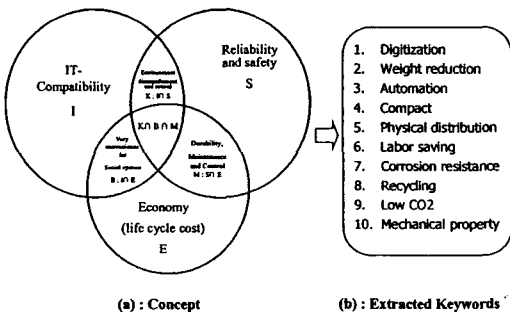


그림 1 Superordinate concepts and keywords

C.F.는 직경이 약 7미크론의 연속 필라멘트를 12K 또는 70K(k=1000본)씩 꼬아 만든 집합체이다. 이 집합체의 인장강도는 초기이완 등의 이유로 공칭인장강도(통상 3.5~4.8GPa)의 20~30%정도의 편차를 갖는다. 이런 이유로 C.F. 집합체를 먼저 프리프레그(미경화수지를 침투)하고 다음으로 130~150℃에서 열경화시켜 70~80%강도의 안정강도(安定強度)를 얻는다. 그러나 상기의 공정으로 인해 경화형 C.F.(CFPR)가 철근비용의 18배 이상의 고가로 되어 건설 분야에 보급되는 데 있어서의 장애요인이 되고 있다.

그런데 우리가 사용하는 콘크리트 보강재의 필요인장강도 레벨은 C.F.의 공칭강도의 겨우 10%수준인 0.4GPa이다. 더욱이 콘크리트가 집합체에 일정한 구속력(부착 및 앵커효과)을 가하는 효과로 인해 비경화형C.F.의 인장강도가 더욱 증가하게 된다(콘크리트속에서는 공강강도의 50%의 이상이 된다).

따라서 인장강도의 저하(약50%)를 감안하더라도, 비경화형C.F.는 비용면에서는 경화형 C.F.에 비교 2/3정도 유리하게 된다. 여기서 새로운 IT형 건설공법(이하 UCAS공법: Uni-directional Carbon-fibers Assembly System for Construction 이라 칭함)을 제안하고, 비경화형의 경우에 대한 설명도를 그림 2에 나타내었다.

즉, 그림 2(a),(b)와 같은 IT형 배근 로봇(Robot)을 이용하여, 디지털화 된 설계도면으로부터 설계도면에 명시된 자동배근시스템을 일정크기의 장력관리 하에 제작한다(사진 1은九州대학에서 개발 중인 자동배근장치). 교점 및 정착단부는 점(spot)으로 접촉되어 있다. 배근구조는 본래 유연하므로 그림 2(c)와 같이 콤팩트하게 축소시킬 수 있다. 이러한 경량에 콤팩트한 설계정보를 부가 시킨 제품은 인터넷

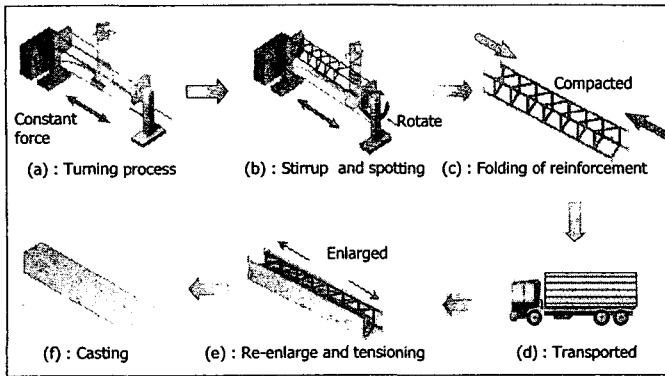


그림 2 Automatic reinforcement arrangement robot

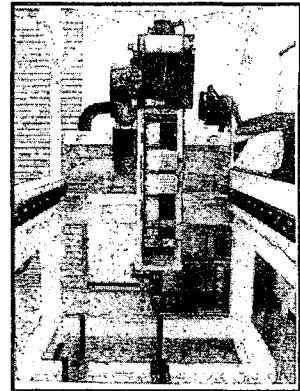


사진 1 Robot

을 이용하여 어디서든 최적의 루트로 정시(Just in time)에 값싸게 배송할 수 있다(그림 2(d)).

다음으로 거푸집 안에서 늘린 상태(그림 2(e))에서 유동성이 좋은 콘크리트를 타설한다(그림 2(f)).

따라서 현장에서의 배근공, 가스압접공, 이음공 등의 숙련공을 대폭 줄일 수 있다. 또한 경량인 관계로 크레인 등의 중기 사용량을 줄일 수 있어 시공의 안정성 및 효율성을 높일 수 있다. 이와 같은 설계(표준화, 유닛화, 최적조합의 배근시스템 설계법)와 시공의 온라인화는 현장에서의 설계변경에도 신속히 대응할 수 있고 성능관리 및 데이터 관리도 용이하다. 이것을 통해 노동집약형의 본질(종래형태의 건설업)을 개선할 수 있고 나아가서는 책임의 명확화, 설계 및 시공성능의 투명화 등 사회적 책임을 만족시킬 수 있다.

한편, IT형 배근로봇을 이용하면 비경화형뿐만 아니라 경화형(CFRP)도 싸게 제작할 수 있다(시판의 약 1/4, 수지도장철근수준). 즉, 상온경화형의 접착제를 비경화형 CF케이블에 도포시켜 형태를 갖춘 다음 전기를 통하게 하여 줄 열(70℃)로 경화시킨다. 전기로를 사용한 종래의 방법(130℃이상)과 비교할 때 효율적인 에너지 및 공정이 줄어들고, CAD&CAM을 통해 임의의 형상을 확보할 수 있어

부가가치를 높일 수 있다. 또한 품질도 좋다는 것을 사진 2와 사진 3의 비교로도 알 수 있다(검은 부분이 결합부분).

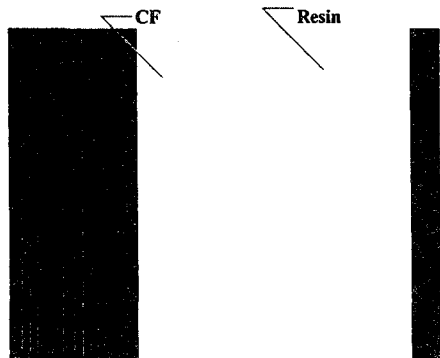


사진 2 Super-CFRP (UCAS)Zoom : 500x

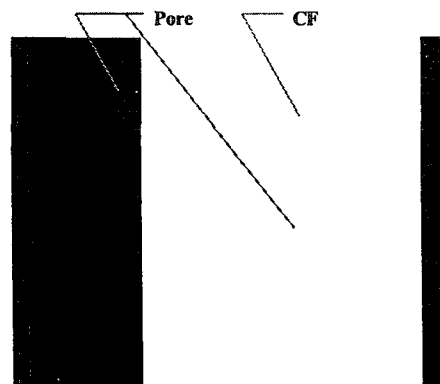


사진 3 N-Company (Heat-stiffened type)Zoom : 500x

다음으로 로봇을 이용하여 제작할 수 있는 CFRP 건설재료의 종류와 그 특징을 살펴본다.

(1) 그림 3은 I형 스트립을 하나의 선을 만드는 수순을 나타낸 것으로, 보다 더 복잡한 횡철근(폐합형태의)도 같은 방법으로 제작할 수 있다. 유닛트화, 양산화에 의한 저비용화도 가능하다. 또한 현장에서 험가공 및 용접이 불필요한 장점이 있다.

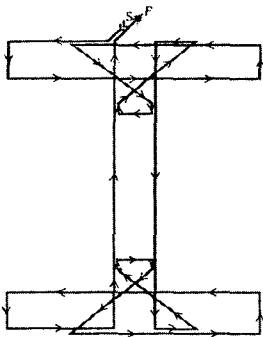


그림 3 I-profile Stirrup

(2) 그림 4는 정착과 접합기능을 가진 U자형앵커를 가진 로드와 십자형부재와의 접합방법을 나타낸

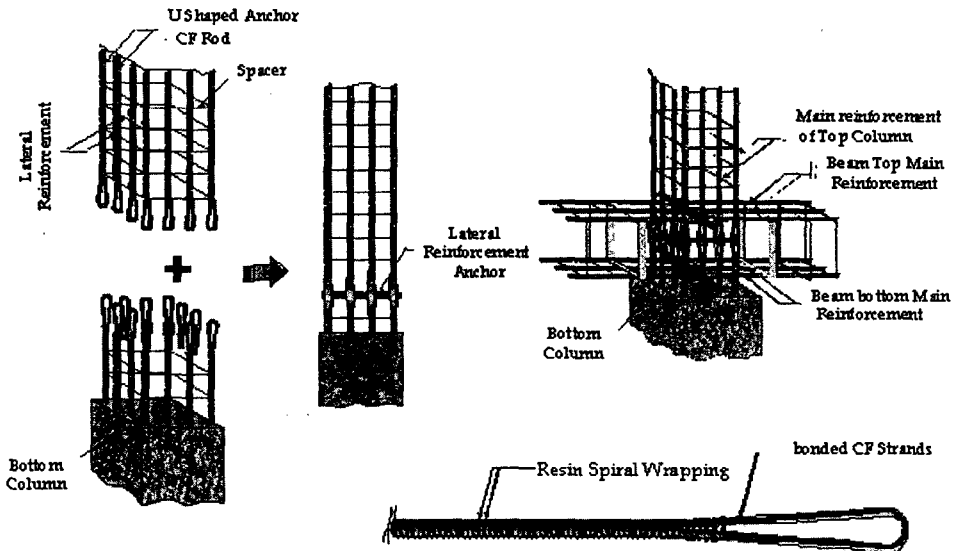


그림 4 Application of CFRP Rod with Anchor in Construction

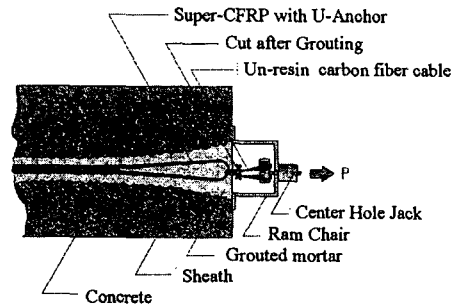


그림 5 Concept of Post-Tension System using U-Anchor(Non-metallic)

것이다. U자형 앵커부착 로드를 기둥부재 등에 연직으로 세워서 이용할 경우에는 안전관리를 위한 단부 캡핑이 필요 없다.

(3) 그림 5는 프리스트레스 정착공법의 개념을 나타낸 것이다(설명은 강연시 하도록 함).

(4) 그림 6은 U자형 앵커를 상호 중첩시켜 힌지로 처리한 후 접어 겹 수 있는 매설형 박판콘크리트 거푸집과 그것의 적용예를 나타낸 것이다.

(5) 그림 7은 광화이버 등을 심어서 힘과 정보를

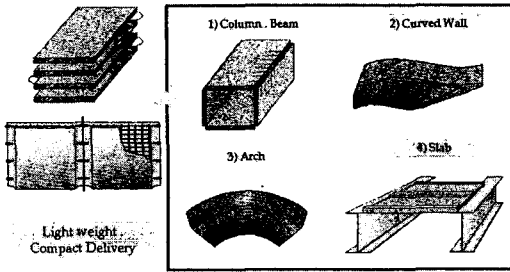


그림 6 Formwork Merits

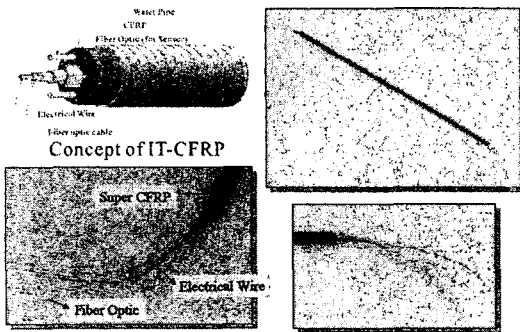


그림 7 Concept of IT-CFRP

동시에 전달할 수 있도록 한 다기능 CFRP 로드이다. 인텔리전트 도로(그림 8) 등에 활용 될 수 있다.

다음으로는 이상의 자재를 조합한 UCAS공법의 개념을 그림 9에 나타내었다. 이 경우에도 IT에 의한 설계~제조~수송~시공의 온라인화가 가능하므로 전체적으로 에너지 및 비용절감의 효과를 기대할 수 있다.

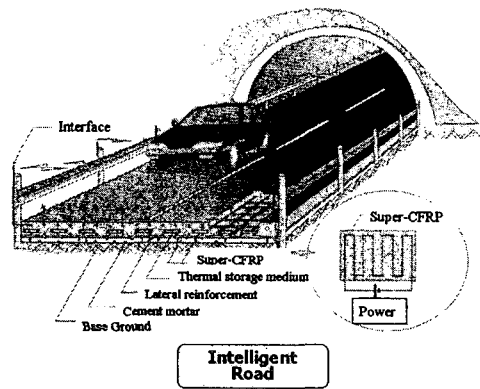


그림 8 Application of CFRP to the Infrastructures

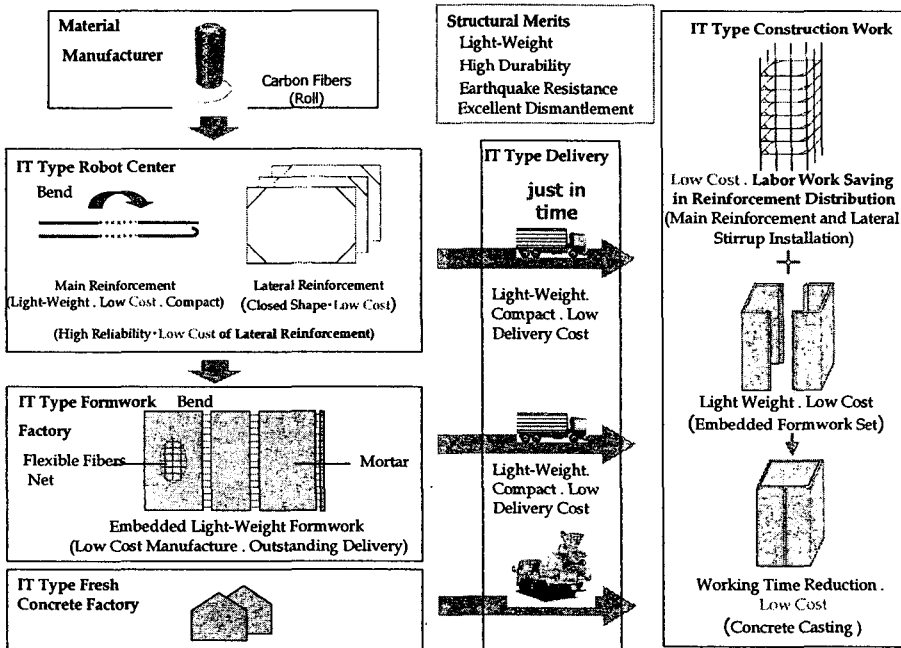


그림 9 Outline of UCAS

Based on the material examination committee of the Japan traffic ministry

Material/Method	Life Cycle Cost Ratio to the Steel Material Cost)					Total Life cycle Cost
	Material	Construction	Initial Cost	Maintenance	Demolition	
Steel	1.0	8.0	9.0	0.9	4.0	13.9
UCAS	4.0 (2.8)	5.6	9.6 (6.4)	0.5	2.7	12.8 (11.6)
Steel*	1.5	12.0	13.5	1.4	5.9	20.8
Coated Steel	3.0	8.8	11.8	1.2	4.5	17.5
Present CFRP	17.0	7.2	24.2	1.2	6.9	52.3

( ) Cost for Mass production

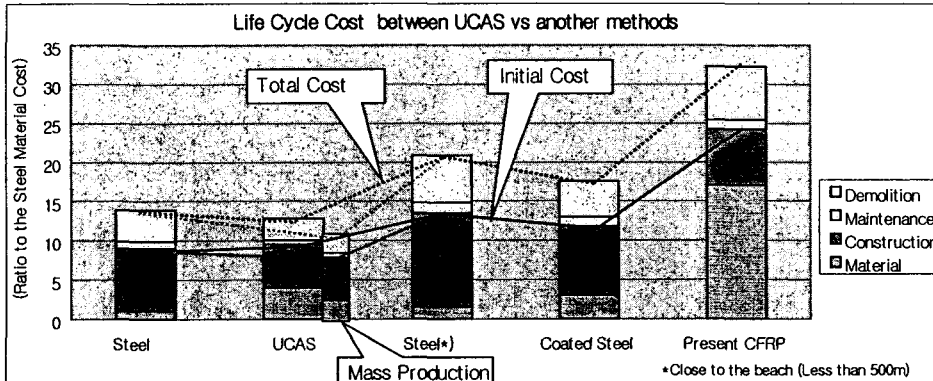


그림 10 Comparison of Total cost between UCAS method

그림 10은 3경간 연속 PSC교량(길이 105m, 폭 12.5m)을 대상으로 개략설계를 실시하고 이것을 참고로 UCAS공법과 종래공법의 전체 비용을 비교해 보았다. 여기서 UCAS공법의 재료비는 주근만 강재의 4배인 것으로 가정하였다.

#### 4. 제안시스템의 CO2 삭감효과

C.F.의 원료(아크리로나이트리크) 및 중합, 방계, 탄화의 제조과정에 소비되는 에너지 UC는 270~320 MJ/Kg 이다. 이것은 1t 당 CO2 로 환산해 보면 UC  $\approx$  9.75 ~ 11.5 tC/t가 된다.

한편, 1t당 철근의 소비 에너지는  $U_s$ 는  $U_s = 0.90 \sim 1.26$  tC/t 이다. 역학적으로 등가환산을 한 후 철근 1t에 상당하는 C.F.의 CO2 의  $U_c^*$ 를 구해 보면 철근의 배출량의 1/3 정도가 된다. 따라서 CO2 삭감효과가 있다.

#### 참고문헌

1. T.Ohta 외3명 : Studies on Behavior of concrete Beam Reinforced by UCAS Method, Proc. of the 26th Conference on Our World in Concrete & Structures, Singapore, 2001 August
2. T.Ohta 외3명 : Studies on Low-Cost Construction System for Concrete Structures by Using UCAS Method, Proc. of the first International Conference on Construction in the 21st Century, Miami, 2002 April
3. T.Ohta외3명: Flexural Behavior of Concrete Beams Reinforced with New Carbon-Fibers System, Proc. of the International seminar in Composite Materials in Concrete Construction, Scotland, 2002 September