

콘크리트의 새로운 전개

정 재 동

〈동양시멘트 기술연구소〉

1. 배 경

기원전부터 사용되기 시작하여 이제까지 건설분야에 폭넓게 사용되어 온 시멘트, 콘크리트가 최근 사회전반의 급격한 변화와 함께 새로운 차원으로 접어들 준비를 하고 있다.

1990년대로부터 21세기에 걸쳐 계획, 실시 될 건설 Project는 이미 시작된 초고층 빌딩, 긴 교량과 함께 고속 전철, 해상 공항, 해중 인공도시, 초심도 지하구조물 등 전 세기에는 생각치도 못했던 계획들이 각 분야의 기술의 진보와 함께 그 실현이 당연시 되고 있다.

도시공간의 적극적 이용을 목적으로 한 초고층 빌딩군에 의한 건축구상의 일환으로서 미국등의 서구는 물론이거니와 국내에서도 여의도 63빌딩등이 완성된 바 있고, 지진국인 이웃 일본에서조차 지상 73층의 요코하마 Landmark Tower가 최신의 내진기술로서 93년 완공예정으로서 있고, 동경만 개발구상중에 계획된 Sky city 1000빌딩은 현존하는 최고층 빌딩인 시카고 Seas Tower의 두배 이상인 높이 1000m로 예정하고 있다.

도시 지하공간의 이용은 종래의 에너지설비, 창고, 주차시설등의 소극적 이용으로부터 교통통신을 포함한 도시기능을 지하

50m이상의 깊은 지하에 건설하여 도시공간을 적극적으로 이용하려는 것이다. 1986년에 준공한 일본 국회도서관은 주변 경관과의 조화를 문제로 지상부분을 5층 낮추고 500만부의 장서와 자료는 지하 8층의 서고에 수납토록 되어 있다. 또한 도심부 빌딩 밑에 20층 정도의 지하 빌딩군을 건설하여 지하도로로 연결 하려는 구상도 나오고 있다.

한편, 해상에 있어서는 일본의 본서연락교, 동경만 횡단도로, 판서 국제공항 및 워터 프론트 개발계획등이 이미 완성되었거나 건설중에 있고 국내에서도 영종도 해상 국제공항이 근년 착공을 목표로 진행중에 있으며 부산만의 해상 인공도시의 건설도 계획되고 있다.

이상과 같은 새로운 Project에 사용될 건설재료는 어떤 것이든 고기능이 요구되고 콘크리트에 있어서는, 초고층 빌딩의 일부로 사용될 압축강도 1200kgf/cm² 이상의 초고강도·경량·무수축의 필요성, 고속전철이나 교량에는 고강도·고내구성이, 지중·해중구조물이나 교각의 기초등의 Massive한 구조물에는 저발열·고강도·고내구성이, 개수 보수용으로는 속경성·고내구성이 요구되게 된다. 또한 Fresh concrete의 성질로서는 재료분리가 없고 응결시간이 임의로 조절이 되는 고유동성이며 작업성이 뛰어난

것들이 요구된다.

본고에서는 건설분야에 있어서 최근 새롭게 대두되는 기술적 변화중 콘크리트에 관련된 사항을 정리하고 새로운 전개가능을 전망한다.

2. 고강도 콘크리트

현재 계획되고 있는 구조물에 요구되는 고강도 콘크리트의 압축강도 목표치는 1200kgf/cm² 정도이다.

콘크리트와 같은 복합재료의 강도는 구성물질 자체의 강도와 물질간의 결합력의 크기로 결정된다. 시멘트 수화물 및 콘크리트용 골재의 강도는 표1에서 나타낸 바와 같이 대부분 1200kgf/cm² 이상이므로 필요강도와 발현여부는 공극율이 "0"이라면 시멘트 수화물 상호간 및 수화물과 골재와의 결합력에 의하여 결정된다.

그러나 현실적으로는 콘크리트 조직내부의 공극율이나 세공경 분포는 배합이나 제조방법에 따라 변화하기 때문에 강도는 그림1과 같이 콘크리트속에 포함된 세공의 양과 크기의 영향을 받는다. 콘크리트를 혼합하면 미수화 시멘트 입자의 주위에 수막이 형성되어 수화반응의 진행과 함께 시멘트

입자 표면 또는 골재표면에 석출된 수화물이 시멘트 입자상호간 또는 시멘트 입자와 골재 입자간에 bridge를 형성하며 밤송이 모양의 응집구조를 나타낸다. 시멘트 수화물의 체적은 미수화 시멘트 입자와 체적을 합한 것의 약 2배 정도이기 때문에 수화의 진행에 따른 미수화입자의 체적감소를 보상하고, 물이 차지하고 있던 공간을 채우면서 경화 콘크리트의 조직을 형성하여 서서히 강도를 발현한다.

경화 콘크리트는 골재와의 사이에 분산되어 분포하는 세골재, 그 사이의 공극을 채우는 미수화 시멘트 입자 및 시멘트 수화물과 공극으로 되어 있으며 골재 주변 부분을 확대하면 골재 표면주위에 다른 부분과는 불연속적이며 porous 한 transition zone이 존재하여 강도발현의 한계요인으로 작용한다.

따라서 고강도 콘크리트를 얻으려면,

a) 그림2에 그 일례를 나타낸 것과 같이 최밀충진으로 충진율을 높이고 공극량을 최소화하기 위하여 고체(조골재, 세골재, 시멘트, 기타 충진재)의 입도분포를 조정하는 것.

b) 계면활성제의 효과를 방해하는 시멘트 중의 알루미늄산칼슘(C₃A 계통)의 양을 최소

표1 시멘트 수화물 및 골재의 강도

수 화 물	곡강도 (kgf/cm ²)		비표면적 (cm ² /g)
	부착에너지	응집에너지	
Ettringite	880,000	1,050	24
Monosulfate	650,000	0.03	6.3
C-S-H	52,000	2,260	340
골 재	비중 (g/cm ³)		압축강도 (kgf/cm ²)
화강암	2.65		1,500~2,000
규장암	2.65		3,000~3,500
석영(암)	2.60		2,400~2,700
사 암	2.00~2.60		1,200~1,500
석회암	2.70		1,400~1,800
대리석	2.70		1,000~1,300

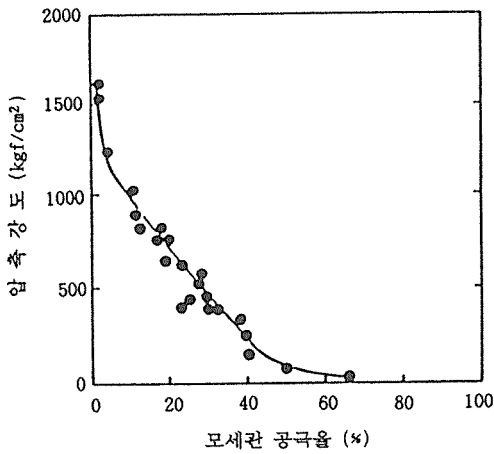


그림1 콘크리트의 압축강도와 모세관 공극률과의 관계

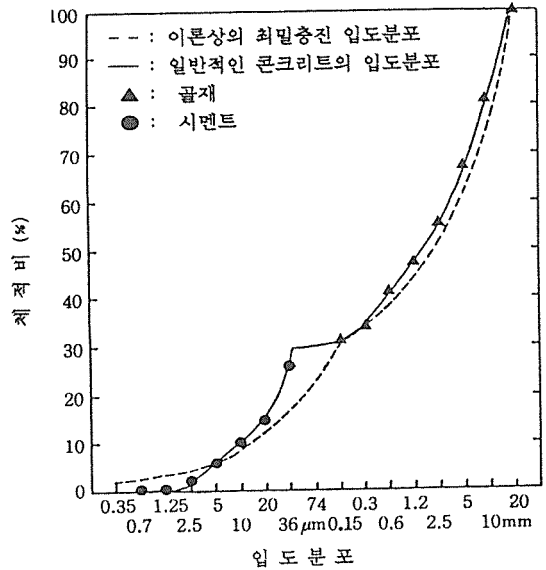


그림2 콘크리트 최밀충진 입도분포

화하고, 응집 에너지가 적고 시멘트 페이스트 조직을 성글게 하는 ettringite, monosulfate 수화물, 수산화칼슘 등의 생성을 극소화할 수 있는 시멘트의 사용.

c) 잉여수의 블리딩에 의한 골재표면의 transition zone의 형성을 억제하고, 최소의 수량으로 유동화에 필요한 수막을 형성하기 위하여 고체형상을 최소의 표면적을 갖는 구형에 가깝게 할 것.

d) 계면활성제를 사용하여, 정전력에 의한 시멘트 입자를 분산시켜 유동화에 필요한 수막두께를 얇게하여 수량을 최소화하는 것 등이 필요하다.

3. 초속경 콘크리트

고속도로 혹은 공항 활주로등의 긴급보수, 콘크리트 제품 제조시의 거푸집의 회전율의 향상, 건설공사의 공기단축등 속경성 콘크리트에 대한 수요자의 요구는 점점 커지고 있다. 콘크리트의 강도를 조기에 발현시키기 위하여 종래에는 염화칼슘등의 경화 촉진제가 이용되어 왔지만, 철근을 부식시키는 결점이 있어 점차 시멘트 자체가 속경성을 갖게 하는 방향으로 변하고 있다.

표3에 나타난 것과 같이 시멘트 구성광물 중 가장 조강성을 나타내는 알루미늄이트(C_3A)의 함유량을 증가시키고 시멘트 입자를 미분화하여 물과의 접촉면적을 증가시켜 수화를 촉진시키는 조강시멘트, 혹은 아리트(Alite, C_3S)에 Ti, Mn, Cr 등의 원소를 첨가하여 아리트의 결정구조를 불안정한, 즉 수화활성이 매우 큰 형태로 만든 다음 이것을 미분쇄한 초조강시멘트(One-day cement), 또한 초속경시멘트(One-hour cement, Zet cement)는 미국 PCA(Portland Cement Association)에서 처음 개발한 것이며, 초기 강도의 발현은 다량의 ettringite로서, 장기강도는 규산 칼슘 수화물(CSH gel)를 이용하여 타설후 1~2시간 정도에 거푸집을 제거할 수 있고 수시간내에 실용강도에 도달하며 장기간에 걸쳐서 강도가 증진된다.

그러나 이러한 속경성 시멘트들은 단시간내에 소요강도를 발현한다는 잇점은 있으나, 종래와 같이 레미콘으로서 현장에 운반 사용하는 것은 거의 불가능하므로, 공사현장에서 혼합후 즉시 타설해야 할 필요가 있

표2 고강도 콘크리트의 배합과 압축강도의 일례

	콘 크 리 트	모 르 타 르
시 멘 트	622 kg/cm ³	40.7 wt%
물	156	9.3
세 골 재	519	50.3
조 골 재	993	—
물시멘트비	25.1%	22.9%
세골재율	34.3%	—
실리카폼	20.0%/cement	25.0%/cement
마이티 150	4.5%/cement	0.9%/cement
압축강도 3d	802kgf/cm ²	1,050 kgf/cm ²
7d	918	1,240
28d	1,120	1,380
91d	1,255	1,460

표3 조강, 초조강, 초속경 시멘트의 성분조성의 일례

	조강 시멘트	초조강 시멘트	초속경 시멘트
	화학적조성 (%)		
SiO ₂	21.0	20.4	13.8
Al ₂ O ₃	4.9	5.0	11.4
Fe ₂ O ₃	2.8	2.6	1.5
CaO	66.2	65.5	59.1
MgO	1.1	1.4	0.9
SO ₃	2.5	3.3	10.2
Na ₂ O	0.21	0.17	0.32
K ₂ O	0.54	0.57	0.48
F	—	—	0.9
	광물조성 (%)		
C ₃ S	65.2	68.5	50.4
C ₂ S	11.3	5.8	1.7
C ₃ A	8.4	8.6	—
C ₄ AF	8.0	7.8	4.7
C ₁₁ A ₇ ·CaF ₂	—	—	20.6
블레인 (cm ³ /g)	4,150	5,650	5,220

다. 따라서 이러한 속경 혹은 초속경 시멘트를 적극적으로 이용하기 위해서는 시멘트, 골재, 물, 혼화제 등의 중량계량장치, 혼합믹서 등이 장착된 이동식 배치플랜트가 필요하게 된다.

이와 같이 고기능의 속경성 콘크리트의 성능을 충분히 발휘, 이용하기 위해서는 새

로운 시공법, 시공기계등의 개발이 필연적으로 뒤따라야 할 것이다.

4. 프리캐스트 제품용 콘크리트

건설재료로서 가장 많이 이용되는 콘크리트의 취약점중의 하나로서, 자체중량이 무

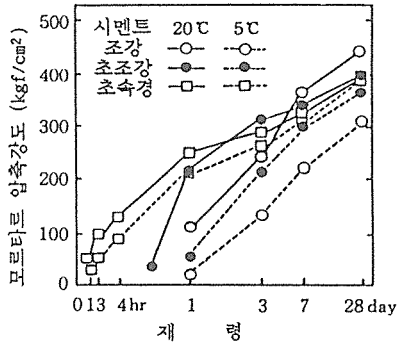


그림3 조강, 초조강, 초속경 시멘트의 재령별 압축강도 (s/c = 2, w/c = 0.65)

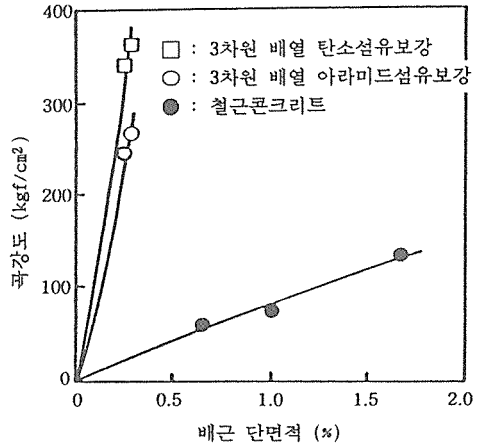


그림5 각종 보강형태별 배근량과 콘크리트의 강도

겹다는 것과 건조수축등에 의한 미세균열의 발생 및 변화 등을 열거할 수 있다. 고층 건축물의 보급은, 가볍고도 강도가 높은 부재의 개발을 필요로 하며, 부재 단면의 최소화, 고강도화가 급속히 진전되고 있다. 경량골재의 사용(비중 : 0.8~1.4g/cm³), 콘크리트 내부에의 기포도입(비중 : 0.25~0.8g/cm³) 등 콘크리트의 경량화는 단열성의 향상이라는 공동 목표와 함께 추진되고 있지만 그림4의 비중과 강도와의 관계에서도 알 수 있듯이 경량화는 필연적으로 강도의 약

화를 초래한다.

경량화와 고강도화와는 서로 상반되는 요구를 콘크리트의 공극율을 높이지 않고 만족시키기 위해서는 섬유보강 등에 의한 부재 단면의 최소화 및 무철근화가 남겨진 유일한 방법일 것이다.

철근을 대신할 수 있는 복합재로서는 각종의 섬유류가 있으며, 유리섬유는 벌써 많이 보급되고 있으나 내알칼리성이 약한 결점이 있다(ZrO₂를 첨가한 내알칼리 유리섬유라도 장기적으로는 침식 용융됨). 그러나 최근 화학적으로 안정하며 인장강도, 탄성을 등의 기계적 물성이 뛰어난 아라미드 섬유, 탄소섬유 등이 개발되었고, 이것들의 2차원 시트, 3차원 망상물 등이 외국에서는 이미 제품화되어 섬유 보강에 의한 건설부재 단면의 최소화, 경량화, 고강도화가 주목 받고 있다.

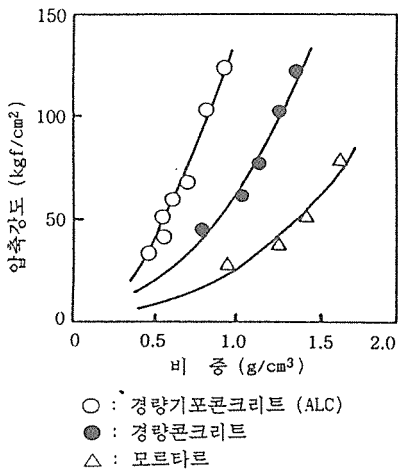


그림4 경량콘크리트의 비중과 강도와의 관계

종래의 스프레이식법 혹은 프레믹스법에 의한 모르타르 혼합방법으로서 보강효과에 한계가 있었지만, 2차원 혹은 3차원 직포를 보강재로 이용하여 연속구조를 갖게 하면 1/3의 보강량으로서 철근 콘크리트의 3~4배의 강도를 얻을 수 있다(그림5참조).

PC제품의 이러한 보강형태로서 이행과 함께 블리딩이 적고 조강성이 있으며 건조

수축과 백화현상이 적은 새로운 시멘트가 병용된다면 금후 PC콘크리트 제품화가 더욱 더 가속화되어 건설업 전반의 시장형태가 바뀌어 나갈 것으로 전망된다.

5. 저발열 콘크리트

시멘트 수화열의 발산이 곤란한 massive한 콘크리트제의 거대 해중 구조물, 원자력 발전소, 교량의 기초 혹은 지하 구조물등이 많이 건설됨에 따라 콘크리트의 열응력에 기인한 균열발생에의 대처가 문제시되고 있다.

종래에는 댐과 같이 massive한 구조물의 건설에는 중용열 시멘트, 고로시멘트 등을 사용하여 수화발열을 적게 하거나, 혼합재료의 프래쿨링, 냉각파이프를 이용한 파이 프쿨링등이 행해져 왔지만, 공기의 단축, 콘크리트의 대량타설, 건설 코스트의 절감 등의 면에서 저발열 시멘트의 개발이 절실히 요구되고 있다.

즉, 종래의 중용열 혹은 고로시멘트와 동등한 강도 및 작업성을 유지하면서 동시에 28일 수화열은 전자의 75~80cal/g에서 50cal/g으로 낮추어 콘크리트 단열온도 상승을 50°에서 20° 정도로 유지한다.

수경성 재료의 수화반응속도와 발열속도는 서로 상관관계가 있으며, 전발열량은 수경성 재료의 구성물질에 따라 정해진다. 따라서 수화반응을 빨리 진행시키면서(강도를 조기에 발현), 그 시점까지의 발열량을 억제하는 것은 동일물질을 사용하는 한 불가능하다.

그러므로 상술한 소요강도 발현 특성을 가지면서 저발열성을 만족시키기 위해서는 시멘트 보다 발열량이 적은 다른 물질의 사용이 필요하게 된다.

표4와 같이 일부 외국에서는 시멘트의 혼합재료로서 고로슬래그, 플라이애쉬 등의 수경성 물질을 혼합하고 각 원재료의 분말도, 입도분포, 혼합비 등을 최적의 조건으로 조합하여 소요의 성능을 갖는 저발열 시멘트를 제조, 사용하고 있다.

금후 국내에서도 상술한 열응력에 기인되는 각종의 문제들이 건설현장으로부터 조속히 구체화되어 국내 시멘트 각사의 연구개발 필요성의 공감과 함께 적극적인 개발과 사용이 기대된다.

6. 특수수중 콘크리트

해중에 있어서의 거대구조물의 기초 콘크

표4 초저발열 시멘트, 콘크리트의 일례

수화열 (cal/g)	콘크리트의 물성	
7일 41.0	압축강도 (kgf/cm ²)	
28일 49.5	7일 138	
91일 51.5	28일 286	
	91일 368	
콘크리트 배합비율		
시멘트 300kg/m ³	슬럼프 11.6cm	
물 158	응결시간 (시간-분)	
세골재 758	초결 10~46	
조골재 1063	종결 18~01	
	단열상승온도 23.5°	

표5 특수 수중 콘크리트의 물리적 특성의 일례

배합비율 (kg/m ³)		콘크리트의 물성	
시멘트	429	슬럼프 플로우	45cm
물	218	응결시간 (시간-분)	
세골재	642	초결	18~15
조골재	965	종결	19~55
물시멘트비	50.8%	압축강도 (kgf/cm ²)	
세골재율	40.4%	7	28
혼화제	2.5	수중	175 265 295
고유동화제	8 l/m ³	기중	265 360 375
		단열온도상승 (ΔT) 53°	

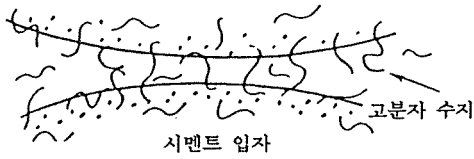


그림6 특수 수중콘크리트 혼입 고분자의 작용모식도

리트의 타설등은 종래에는 프리팩트 콘크리트공법이 많이 이용되었다. 이 공법은 해상의 전용 플랜트선으로부터 시멘트 모르타르를 해수와 치환하여 주입하는 것으로서 재료의 혼합이 용이하고 일반적인 콘크리트보다 훨씬 작업이 능률적이지만, 해중에서 주입관이 이용거리가 길어지면 콘크리트가 재료분리를 일으켜 물/시멘트 비가 증가하여 골재하부에 내부 블리딩이 발생하기 쉽고 콘크리트 강도가 저하하는 등의 문제가 있다.

특수수중 콘크리트는 셀룰로스에테르류 및 폴리아크릴아미드 공중합물 등의 수용성 폴리머를 소량 첨가하여 제조한 콘크리트로서, 그림6에 나타낸 바와 같이 $0.001\mu\text{m}$, 평균길이 $1\mu\text{m}$ 의 고분자가 시멘트 입자에 부착, 혹은 입자간을 가교하여 시멘트 페이스트의 점성을 높이고 물의 이동을 방해한다.

이때문에 콘크리트의 재료분리와 블리딩이 감소하고 그림7과 같이 수중에 타설된 후 자중에 의해 천천히 변형하여, 먼저 타설된 콘크리트층과 일체화하는 셀프레벨링(Self-leveling) 효과를 나타내게 되어 복잡하게 배근된 철근의 구석구석까지 흘러들어가 다짐이 좋아지게 된다. 또한 대심도 지하공사에서는 굴착한 지하공간이 붕괴되는 것을 방지하기 위하여, 굴착 지하공간에 물 또는 점성이 높은 혼합수를 혼입하여 압력의 균형을 취하는 방법이 사용되고, 이러한 경우에는 수중 콘크리트를 타설해야될 필요가 있다.

이와 같이 특수수중 콘크리트는 향후 여

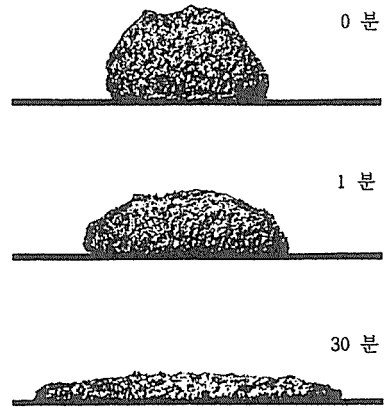


그림7 특수 수중 콘크리트의 셀프레벨링 (self-leveling) 효과

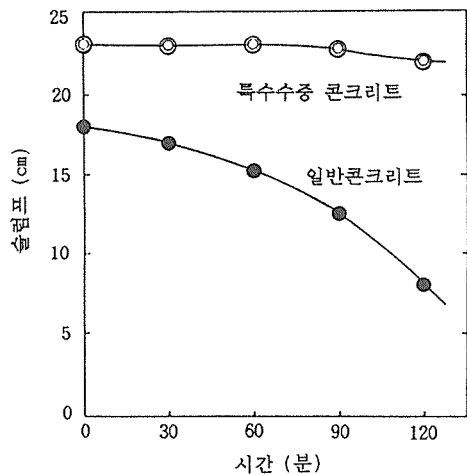


그림8 특수수중 콘크리트의 슬럼프 로스 (w/c = 50%, slump flow = 45cm, c = 400kg/cm³)

러분야의 대형공사에 널리 이용되어질 것으로 생각된다.

7. 끝으로

이상에서 정리된 바와 같이 향후 새롭게 계획되고 있는 대형 Project에는 많은 기술적 필요사항들이 요구됨에 따라 종래의 건

설현장에서는 볼 수 없었던 재료·설계·시공공법상의 발상의 전환이 필요로 되고 있다.

상술한 각종의 특수용도의 콘크리트들이 현재로서는 건설시장 전반을 좌우할만큼의 큰규모가 아니라도 이러한 요구들을 만족시키는 과정에서 얻어지는 수많은 새로운 기술적 진보는 일반적인 콘크리트의 개념을 일신하고 건설기술의 질을 높여 나가는데 선도적인 역할을 하리라 기대된다.

따라서 일선의 레미콘, 콘크리트관련 기술자 및 연구개발분야 종사자들은 이러한 국내 및 제외국의 동향을 예의 주시하고 가일층 연구개발, 품질관리에 힘을 기울여 이제까지의 노동집약적인 해외건설수주에서의 탈피, 국내건설시장의 개방등의 점차 글로벌(Global) 해가는 건설시장의 국제화에 대비하기 위해서도 연구개발의 심도와 그 폭을 넓혀나가야 될 것으로 사료된다.

간행물 이용안내

한국레미콘공업협회에서는 독자 여러분들이 당협회 간행물을 편리하게 이용할 수 있도록 1991. 3. 1부터 간행물회원제도를 운영하오니 적극 이용하시기 바랍니다.

회원제도

- 개인회원 : 1구좌당 ₩20,000
 - (1) 정기간행물 레미콘지 제공(계간)
- 단체회원 : 1구좌당 ₩100,000
 - (1) 정기 간행물 레미콘, 레미콘산업정보 제공(계간)
 - (2) 통계년보
- 특 전
 - (1) 당협회 발간물 구입시 20% 할인 혜택 부여
 - (2) 세미나 참가시 참가비 면제
- 가입신청
 - (1) 소정 신청서 제출
 - (2) 전화 신청 TEL. 566-7162, 7164
FAX. 554-7420
- 문의처
서울 강남구 역삼동 832-2(우덕빌딩 8층)
한국레미콘공업협회 기획과