



다짐이 필요없는 콘크리트 (SCC)의 국제동향

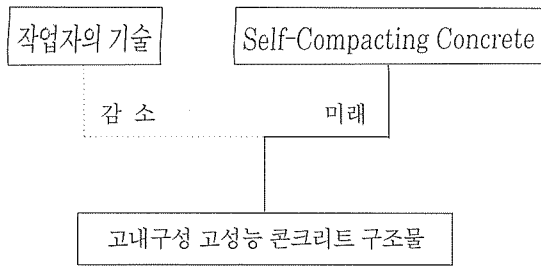
변 근 주

(연세대학교 토목공학과 교수)

1. SCC의 개발 필요성

최근에 콘크리트 구조물이 점점 대형화되면서 고강도, 고성능 및 고내구성 콘크리트의 필요성이 요구되고 있다. 이러한 기대에 부응하기 위하여 다양한 연구가 진행되어 왔고 그러한 노력의 한 성과가 다짐이 필요없는 콘크리트(SCC : Self-Compacting Concrete)의 개발과 사용이다.(그림1) 즉 SCC란 거푸집 내의 모든 구석을 진동다짐기의 도움없이 순수하게 자신의 유동성만으로 채워줄 수 있는 콘크리트로서 뛰어난 자기다짐 성능을 통하여 워커빌리티를 개선하고 노동의 절약과 뛰어난 내구성을 현실화하기 위해 최근 개발된 고성능 콘크리트의 한 형태로 정의된다. 이러한 고유동성을 확보한 SCC의 사용은 현장에서의 진동 다짐기를 이용한 전통적인 다짐작업이 생략되는 효과를 가져옴으로써 콘크리트 치기에서의 작업성, 합리성을 증진시키며 콘크리

트 품질의 균질성을 확보할 수 있는 장점을 지닌다. 특히 산악이나 좁은 협곡등 콘크리트타설작업이 용이하지 않은 지형과 구조물의 형태가 복잡하거나 철근 등의 보강재가 밀집되어 다짐이 어려운 경우 SCC의 사용은 콘크리트 구조물의 품질 확보를 위한 좋은 해결책이 될 수 있다. 더군다나 현장에서 작업자의 숙련도에 따른 품질의 차이, 인건비 상승에 따른 작업자의 부족, 진동 다짐시의 소음과 진동으로 인한 작업자 및 인근 주민들의 고통 등은 SCC 사용의 필요성이 증가되는 중요한 요인이 되고 있다. SCC의 사용은 노동 집약적인 다짐작업과 그 숙련도에 따른 품질의 차이를 배제함으로써 이러한 문제점을 완화할 뿐만 아니라 건설의 효율성 증대에도 크게 기여할 수 있다고 기대된다. 특히 레미콘제조자가 SCC를 공급함으로써 건설회사로 하여금 건설공사비를 줄이고 추가 이익을 유도해 낼 수 있도록 하는 매력적인 요소도 있다.

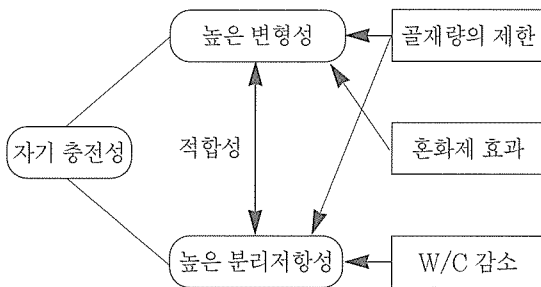


(그림 1) SCC의 개발 필요성

동경대학교 토목공학과 Hajime Okamura 교수팀에 의해 처음 개발된 후 현재 많은 나라에서도 개발되어 있는 SCC는 단계별로 다음과 같은 특성을 지니고 있다.

- 1) 굳지 않은 상태 : 자기 충전성
- 2) 초기재령 : 초기 결함의 배제
- 3) 경화 : 외부 열화 인자에 대한 저항성

자기 충전성을 얻기 위해서는 모르터나 페이스트의 높은 변형성은 물론 콘크리트가 철근 등의 보강재로 구속된 영역을 통해 흐를 때 굽은 골재와 모르터 사이의 분리에 대한 저항성을 확보하여야 한다. 연구팀은 자기 충전성을 얻기 위한 방법으로 골재량의 제한 및 결합재량의 증가 및 높은 변형성과 점성의 동시 확보 제시하였다. (그림 2)



(그림 2) 자기충전성의 확보 방법

골재 입자사이의 충돌과 접촉 빈도수가 골재 사이의 상대 거리가 감소할수록 증가할 수 있고 이에 따라 콘크리트 변형시 철근등의 방해물이 있는 주변의 내부 응력이 증가한다. 이는 콘크리트의 흐름을 위해 요구되는 에너지가 증가된 내부응력에 의해 소비되고 이러한 내부응력은 골재입자의 흐름에 방해물이 되는 것이다. 특히 에너지 소비가 심한 굽은 골재량의 제한은 이러한 종류의 저해에 효과적이다. 또한 콘크리트의 높은 유동성을 위해서는 어느 정도의 페이스트의 점성력이 굽은 골재의 방해를 피하기 위해 요구된다. 콘크리트가 변형될 때 높은 점성력을 지닌 페이스트는 굽은 골재입자의 접근에 의한 내부응력의 국부적인 증가를 막을 수 있다. 높은 변형성과 높은 점성력을 동시에 확보하기 위해서는 페이스트의 물시멘트비를 줄일 수 있는 고성능 유동화제를 사용하여야 한다.

2. SCC의 제조과정

2.1 사용재료

2.1.1 분말

(1) 시멘트

높은 유동성을 갖는 SCC는 기본적으로 화학적 혼합물에 따른 시멘트의 확산에 기반을 두고 있으며 분말의 특성에 많은 영향을 받는다. 유동성에 영향을 주는 화학적 계수는 시멘트의 4대 광물질이다. 일반적으로 C₃A와 C₄AF가 풍부한 시멘트는 시멘트 표면에 걸쳐서 화학적 혼합물의 흡수가 균일하지 않고, 분산도 잘 되지 않으며 C₃A와 C₄AF가 석고와 반응한 수화물인 애트링가이트는 시멘트 입자들을 구속하고 유동성을 저하시킨다. 따라서 C₃A나 C₄AF가 많지 않은 중용열 포틀랜드 시

멘트나 벨라이트계 시멘트는 혼화제의 분산효과를 높일 수 있다. 그러므로 이러한 시멘트는 SCC를 만드는데 적합하다고 말할 수 있다. 특히, 벨라이트 (C₃S) 양이 많은 벨라이트계 콘크리트는 수화열을 억제하고 고강도를 사용하는 데서도 이상적인 SCC이다.

(2) 혼화제

a) 고로 슬래그 미분말

높은 온도에서 용융된 상태의 고로 슬래그는 철을 만드는 과정에서의 부산물로 얻어진다. 고로슬래그가 물에서 충분히 빠른 속도로 냉각될 때, 모래와 유리 형태(불규칙한)의 입자로 된 고로슬래그가 얻어진다.

일반적으로 원재료 상태와 제조방법이 같기 때문에, 고로슬래그의 화학 조성은 명백하게 정의될 수 있으므로 품질의 분산은 매우 작은 편이다. 미분말형태의 고로슬래그는 입자형의 슬래그를 미분말로 갈아서 만들고 이것은 수화작용을 더욱 증가시킨다. 최근 정제기술의 발전으로 분말도 8000cm²/g 이상을 이용할 수 있게 되었다.

b) 플라이 애쉬

플라이 애쉬, 화력발전소에서 사용하는 석탄에 의해 얻어지는 혼화재로서 많은 토목 구조물에 사용되어왔다. 플라이애시의 구형 세립자가 “ball-bearing” 효과로 콘크리트의 유동성을 좋게 하기 때문에 SCC에 많이 사용된다.

c) 석회

이 재료는 콘크리트의 유동성을 개선하는 목적으로 사용된다. 최근, 석회는 온도 균열을 자주 일으키는 대형구조물에 SCC를 타설하는 경우에 많이 사용한다. 콘크리트에서 석회의 양이 많을 때 콘크리트의 온도 상승을 억제한다는 점에서 관심을 끌고 있다.

2.1.2 혼화제

(1) 혼화제의 형태

SCC에 사용되는 혼화제는 두가지 형태가 있으며 고성능 감수제와 고성능 AE 감수제이다. 고성능 감수제는 주로 간접 제품 플랜트에서 사용된다. 반면 고성능 AE 감수제는 슬럼프 보존 성능과 일정한 수준의 공기연행 능력이 있으므로 콘크리트의 운송과 설치에 시간이 걸리는 레미콘에 적용된다.

지금까지, 나프탈렌 술폰산염이나 멜라닌 술폰산염 기반의 혼화제가 주로 사용되었으며 최근에는 감수능력을 개선한 polycarboxylate계 혼화제와 지연현상을 개선한 혼화제 등이 개발되고 있다. SCC에 쓰이는 혼화제의 형태는 요구되는 지연 특성의 수준이나 혼화제(viscosity agent)와의 상호작용 여부를 고려하여 결정한다.

(2) 분산기구

혼화제에 의한 시멘트 입자의 분산기구는 크게 두가지 형태로 구분되는데 정전기의 반발작용에 기반을 둔 것과 공간적 반발 작용에 기반을 둔 것이다. 정전기적 반발작용에 기반을 둔 혼화제는 나프탈렌 술폰산염, 멜라닌 술폰산염 및 아미노 술폰산염에 기반을 둔 agent를 포함하고 있다. sulfonic 그룹의 이온 분리 능력은 carboxyl 그룹에 비해서 강력하다.

반면, 공간적 반발에 따른 분산 기구는 polycarboxylate-based agent를 포함한다. 이런 모든 혼화제는 ethylene oxide 사슬(EO 사슬)을 갖고 있는 polymer와 측면사슬의 분자를 접목시킨 것이다. EO 사슬은 부피가 크고 두꺼운 흡수층이 시멘트의 표면에 형성되어 있기 때문에 물을 잡아두는 능력이 강하다. 이 두꺼운 흡수층은 높은 공간적 반발을

발생시킨다.

(3) 시멘트와 고성능 감수제의 상호작용

혼화제는 시멘트와 같은 분말표면에 흡수되었을 때 분산작용을 일으킨다. 따라서 분말의 특성은 분산능력에 중대한 영향을 미친다. 이에 관련하여, 시멘트의 광물 조성과 혼화제의 상호작용이 고려되어야 한다. C_3A 와 C_4AF 가 풍부한 시멘트에서, 물과 접촉한 후 많은 양의 혼화제가 흡수된다. 그리고 C_3S 와 C_2S 에 흡수되는 양은 줄어든다. 이것은 혼화제의 불균일한 흡수를 야기하고 충분한 분산작용이 되지 않는다. 반면, C_3A 와 C_4AF 가 적은 중용열 포트랜드 시멘트나 벨라이트계 시멘트에서는 일정한 유동성을 얻기 위한 혼화제의 양을 최소화하여 혼화제의 분산작용이 효과적으로 이용되게 하려는 경향이 있다.

(4) 혼화제를 포함하는 SCC의 특성

SCC는 재료분리에 대한 저항성의 손실 없이 유동성을 크게 하려는 콘크리트의 한 형태이다. 분리저항성을 크게 하려면, 가능한 한 필요한 유동성을 얻을 수 있는 범위 내에서 단위 수량을 줄여야 하며 이동과정동안 유동성을 유지하는 능력과 타설시 응결이 잘 되는 능력이 필요하다. 이런 요구들을 만족하려면, 혼화제로부터의 높은 감소성과 긴 기간의 콘크리트 유동성이 필요하다. 콘크리트에 유동성확보를 위한 많은 기법이 제안되었다. 슬럼프 감소의 주원인은 시멘트 입자들의 수화반응에 따른 화학적 응결과 시멘트 입자간 충돌에 따른 물리적 응결이다. 결과적으로, 슬럼프 감소를 제한하는 것과 일정한 유동성을 유지하기 위해 혼화제가 충분히 공급되어야 한다. release-control 분산 agent나 reactive polymer로 이루어진 cross-linkable polymer는 물과 접촉한 이후 시멘트의 분산에 관여하지 않는

다. 분산 agent의 작용은 콘크리트 속의 알칼리에 따른 가수분해 후 단계적으로 나타난다. 슬럼프의 감소는 억제되고 유동성은 긴 기간동안 유지된다. 콘크리트에서 혼화제 흡수 속도는 콘크리트 온도에 좌우된다. 특히, 낮은 온도에서, 흡수속도는 낮다. 그러므로 시간에 따라 유동성이 증가하는 경향이 있다. 가루의 양이 많을 때라도 콘크리트의 쉼의 속도는 줄어든다. 그러므로, 낮은 온도일 때와 같이 유동성은 시간에 따라 증가한다.

다른 혼화제가 혼합되면, 퇴적작용이나 겔 형성 작용이 그 혼합 때문에 일어날 수 있다. 혼화제들의 잘 맞는 것의 예는 polycarboxylate 기반과 나프탈렌 술폰산염 기반의 혼화제이다. 회복된 물 속에 남아있는 응고제나 잔 골재가 혼화제와 반응한다면 콘크리트의 유동성은 줄어든다.

2.1.3 점성제

(1) 점성제의 형태

SCC에 쓰이는 점성제는 크게 셀룰로오스계 수용성 폴리머, 아크릴계 수용성 생폴리머, 글리콜계 수용성 폴리머 및 무기계 점성제로 구분할 수 있다.

(2) 재료분리 저항성을 부여하는 기구

재료분리 저항성을 부여하는 점성제의 반응 기구는 형태에 따라 크게 좌우된다. 재료분리 저항성을 부여하는 점성제의 기구는 크게 두 가지 형태로 나눌 수 있는데 시멘트와 같은 분말 알갱이 안에서 반응하는 기구와 콘크리트 속의 물에서 반응하는 기구이다. 콘크리트에 사용되는 대부분의 점성제는 분자 구조에 하나 또는 그 이상의 기능상의 그룹을 갖고 있다. 그러므로 대부분의 점성제는 결과적으로 흡착성이다. 다양한 흡수 성질을 갖고 있는 점성제

가 첨가된 모르터에서 발견되는 소성적 점성과 유동성 사이에는 관계가 있는데 점성이 늘어남에 따라 모르터의 유동성은 줄어든다. 흡착성 점성제의 경우에, 시멘트 입자의 표면에서의 흡수로 이루어지는 연결 구조로부터 플로우의 감소를 추정한다. 비흡착성 점성제의 투여가 증가함에 따라 모르터의 소성적 점성도 증가하고 플로우도 변하지 않는다. 그러므로, 비흡착성 점성제를 사용함으로써 유동성을 일정하게 통제하는 것이 가능해진다. 비흡착성 점성제의 고유한 성질은 SCC에도 좋을 것으로 예상된다.

(3) 점성제를 포함한 SCC의 특성

점성제와 혼화제 사이에는 유사성이 있다. 유사성이 빈약하면, 눈에 띄게 슬럼프 감소가 일어나거나 응결이 일어나고 콘크리트의 유동성이 낮아진다. 점성제와 감수제와의 유사성은 경험적으로 잘 알려져 있으나 그 기구에 대해서는 명확하지 않다. 일반적으로 유사성은 점성제의 구조와 분자량에 따라 변한다. 특히, 점성제의 분자량이 클수록 유사성은 커지며 혼화제의 화학 구조와도 밀접하게 관련되어 있다.

예를 들어, 유사성이 적은 셀룰로오스계 수용성 폴리머는 나프탈렌 술폰염과 조화되고 이들 사이의 상호작용은 나트륨 나프탈렌 술폰산염이 칼슘 나프탈렌 술폰산염으로 변환되기 때문에 극단적으로 빈약하다.

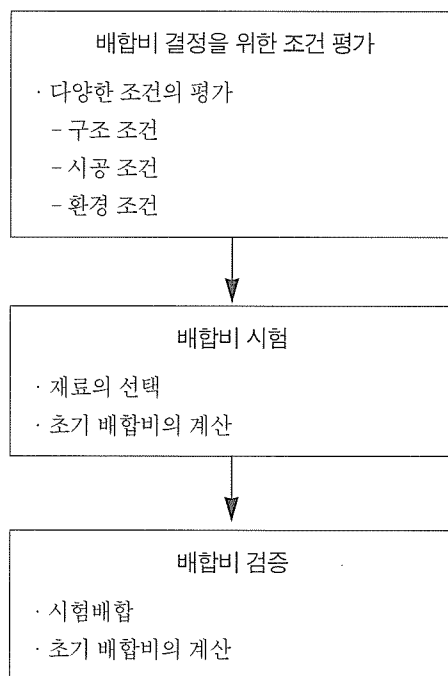
2.2 배합비 설계방법

2.2.1 배합비 설계 시스템

자기충전 콘크리트에 대한 배합비는 거동요구조건(자기충전, 유동성, 강도, 내구성)을 만족시키기 위해 결정된다. 대표적 배합비 설계

방법은 [그림 3]에 나타나있다. 이 과정은 배합비의 고려, 배합비 설계 및 배합비의 확정 3 단계로 이루어진다.

첫 단계에서 콘크리트의 거동요구조건이 구조조건, 시공조건, 환경조건을 기반으로 선택되며 목표로 하는 거동요구조건이 결정된다. 두 번째 단계에서는 콘크리트재료들이 선정되며 초기 혼합비가 결정된다. 이것을 얻기 위한 다양한 방법들이 제안되었다. 끝으로 세 번째 단계에서는 거동요구조건을 만족시킨다면 초기 배합비를 검토한다. 만일 어떤 면적에서 파괴가 일어나면 초기 혼합비는 수정되고 의도에 맞는 거동이 나타날 때까지 실험을 반복 한다.



[그림 3] 배합설계시스템

2.2.2 배합 설계 방법

JSCE에서의 배합비 설계과정은 [그림 4]와 같다. 이러한 과정은 실제시공에 의한 경험뿐만 아니라 과거의 연구에 기반한 것으로 단위 수량, 물-결합재비, 단위결합재량이 점성제의 사용유무에 따라 변한다.

(1) 단위 굵은 골재량

요구되는 자기충전성에 따라 단위 굵은 골재량은 조정되며 굵은 골재의 최대치수는 25mm~20mm가 되어야 한다.

(2) 단위 수량

만일 점성제가 쓰인다면 일반적인 환경하에서는 180kg/m³보다 작아야 한다. 내구성이 주

관심 대상이 아닌 구조물의 경우에는 190kg/m³까지는 올라갈 수 있다. 셀룰로오즈나 아크릴 점성제의 경우에 단위수량은 170~180kg/m³이며 glucose 점성제의 경우는 155~170kg/m³이다. 한편 점성제가 쓰이지 않을 경우 표준적으로 155~175kg/m³이다

(3) 물-결합재비와 물-분말비

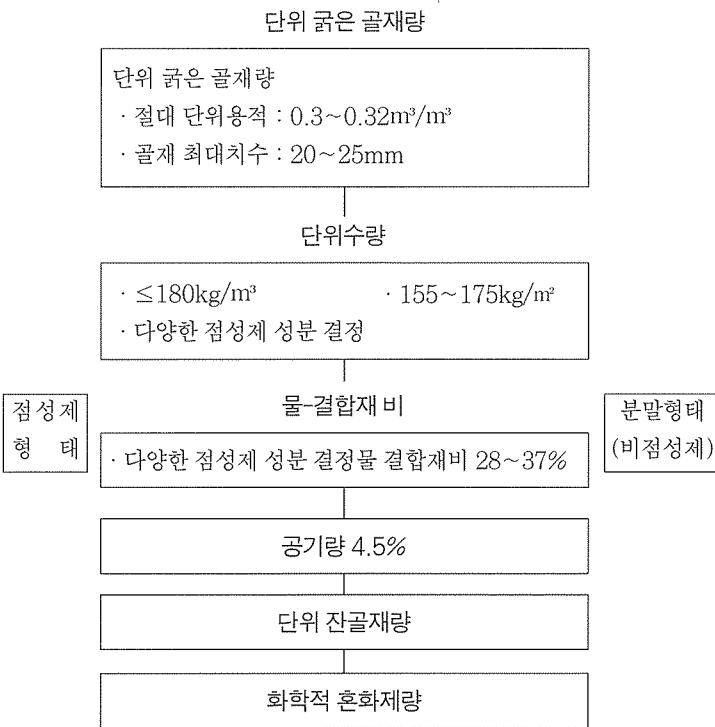
물-결합재비는 콘크리트의 요구되는 거동에 기초하여 결정되어야 한다. 만일 필요한 자기충전력이 만족되지 않으면 더 많은 결합재가 물-결합재비를 줄이기 위해 추가되어야 한다. 점성제가 쓰이지 않는 경우 물-분말 비는 질량비 28%~37%가 목표이고 체적관점에서 0.85~1.15이다.

(4) 단위 결합재량과 단위 분말량

단위 결합재량은 단위 수량과 물-결합재 비로부터 결정되어야 한다. polysaccharide polymer 점성제나 수용성 polysaccharide 점성제의 경우에 단위 가루부피는 0.13m³/m³ 이상이 되어야 한다. 셀룰로오스나 아크릴, 글리콜 점성제의 양은 각각 300~450kg/m³, 400~450kg/m³, 400~480kg/m³ 정도이다. 점성제가 쓰이지 않는 경우 단위 분말 부피는 0.16~0.19 m³/m³

(5) 공기량

이것은 굵은 골재 최대치수, 요구 강도, 콘크리트 구조물이 노출된 환경조건들을 고려함으로써 결정되어야 한다. 표준값은 4.5%이다.



[그림 4] JSCE 설계 방법

(6) 단위 잔골재량

단위 굵은 골재의 부피, 물의 부피, 가루량 부피, 공기량들로 부터 계산된다.

(7) 혼화제

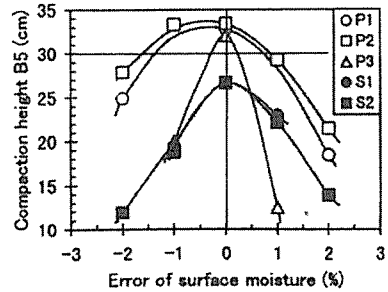
초기소성제나 점성제의 투입량은 과거의 기록이나 제작자의 권고를 따라 결정되어진다. 과거의 기록은 점성제의 양이 일반적으로 셀룰로오즈 종류에 대해서는 단위 물의 양의 0.15~3% 아크릴 종류에 대해서는 3~5% 글리콜 종류에 대해서는 2~3%이며 water-soluble polysaccharide에 대해서는 0.05%이다. polysaccharide polymer type에 대해서는 0.5~1.5kg/m³이다.

2.3 품질관리

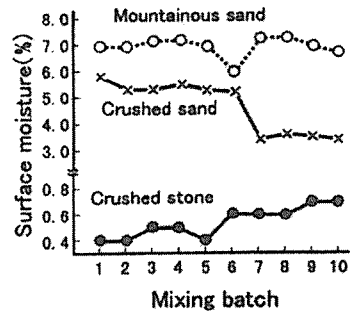
2.3.1 재료관리

함수량의 변화에 기인하여 SCC의 초기상태가 현저히 영향을 받게됨에 따라서 안정된 제조를 위해서는 콘크리트의 함수량에 대한 엄밀한 관리가 필요하다. 특히, 잔골재의 표면수에 대한 관리가 중요하다. 표면수의 오차값과 다짐높이 사이의 관계에 대한 예는 [그림 5]과 같고, 이는 다양한 혼합을 통해 SCC의 분말형태(PTSCC)와 SCC의 점성제 형태(VATSCC)에 대한 박스다짐시험(box compaction test)의 이용에 의한 것이다. P1 및 P2는 PTSCC를 나타내며, S1 및 S2는 각각 VATSCC를 나타낸다. [그림 6]에서 보여지는 것처럼, 실제 레미콘 플랜트에서의 표면수의 변화는 10 연속배치에 대해 산모래가 약 1%이고, 부순모래가 2.5%이다. 따라서, 표면수의 변화는 무시할 수 없다.

잔골재의 표면수에 관한 보고서에서, 전체

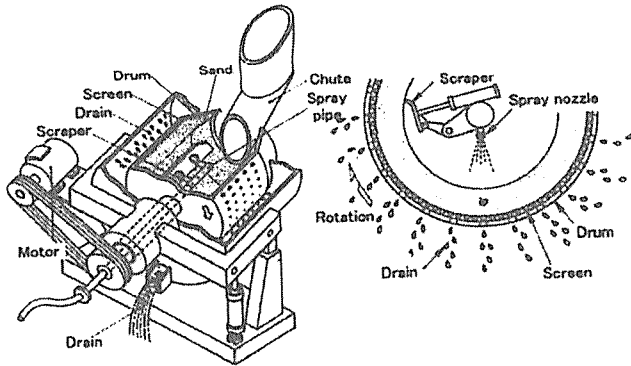


(그림 5) 다짐높이 및 표면수오차 사이의 관계



(그림 6) 표면수의 변화

함수량의 조정이 수행되더라도 SCC의 초기상태가 영향을 받는다고 언급한다. 잔골재의 표면수를 제어하는 방법에 대하여, 변화를 최소로 유지하는 제어방법과 조정을 위해 표면수를 측정하는 제어방법의 2가지가 있다. 변화를 최소로 유지하도록 하는 방법은 2가지로 분류할 수 있는데, 첫째는 자연적인 방법으로서 잔골재를 햇빛과 바람의 그늘에서 저장하는 것이며, 다른 하나는 [그림 7]과 같은 기계적인 방법으로서 잔골재의 표면수의 안정제(stabilizer)를 이용하는 것이다. 이 기계장치는 드럼속의 잔골재로부터 잔여수분을 얻는 드럼 순환에 따른 원심작용에 의해 잔골재의 표면수를 낮은 수준으로 안정화시킨다. 게다가, 정제수 혹은 냉각수의 분사에 의한 잔골재의 탈염(desalting) 및 냉각(chilling)이 가



(그림 7) 표면수의 Stabilizer

능하다. 이 기계장치가 배치형태일지라도, 연속작동 기계장치는 작동된다.

그러나, 잔골재의 표면수를 안정화시키는 이들 방법은 저장시간 및 경제성을 고려할 때 드물게 이용된다. 잔골재의 표면수를 안정화시키는 방법을 즉시 그리고 경제적으로 개발해야 할 필요가 있다. 조정에 대한 표면수의 측정관리에 대해서는, 표면수의 변화를 적절히 얻어내기 위하여 빈도측정 (frequent measurement) 장치 혹은 자동 측정 (automatic measurement) 장치에 의해 구성물을 가능한 한 동시에 적용 및 수정하는 것이 관건이다. 현재는 빈도측정 (frequent measurement)이 일반적으로 이용된다. 표면수의 변화 외에도, 입도의 변화 및 매우 미세한 입자들의 함유량이 SCC의 초기상태에 영향을 미친다. 이에 대한 확인시험을 자주 수행하도록 권고된다.

2.3.2 배합관리

SCC는 높은 점성을 지니고 있으며 배합과정에서 더 많은 토크(torque)를 요구한다. 따라서, 높은 효율을 가진 믹서가 요구되는데, 즉 이중축 형태(double-shaft type) 혹은 팬

형태(pan-type)의 믹서가 그것이다. 효율적인 배합을 수행하기 위해서는 80-90%의 배합 용적을 이용하는 것이 일반적이다.

SCC의 초기상태에 영향을 미치는 배합과정 및 배합시간에 관한 연구가 다양하게 수행되어져 왔다. 모든 재료를 동시에 배합하고 (MAMS), WBM 및 고유동화제를 첨가하는 마지막 과정(ASLA)에 대하여, 모르터 플로우값(mortar flow value)과 배합시간과의 관계

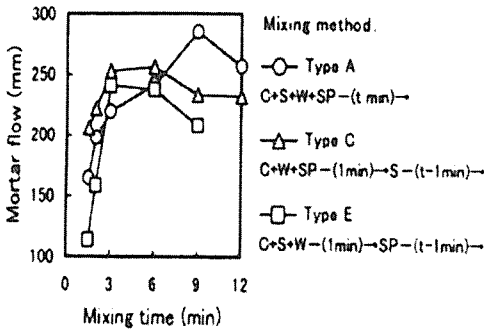
는 [그림 8]과 같다. 배합시간의 경과에 따라 모르터 플로우값이 최대로 증가하며, 모든 배합형태에 대하여 배합시간이 현저히 경과되면 모르터 플로우값은 감소한다. 그러나, 최대 플로우값에서의 배합시간은 각 배합형태에 따라 동일하지 않다. SCC 초기상태의 차이는 각 배합형태, 즉 배합과정 및 배합시간에 대한 콘크리트내 고유동화제의 상이한 분산율에 의해 영향을 받기 때문으로 생각된다. 그러므로, 차후에 SCC의 초기상태를 안정화시킬 수 있는 합리적인 배합방법이 수립되어야 한다.

반면에, 배합온도는 고유동화제의 분산율에 영향을 미친다. 상이한 종류의 고유동화제가 연속배치 속에 어쩔 수 없이 배합되는 경우와 같은 문제들도 발생된다. 만약 고유동화제가 다른 종류의 감수제와 함께 SCC에 혼합된다면, 그 초기상태는 매우 영향을 받는다. 폴리 카르복실계(polycarboxylate) 고유동화제가 다른 종류의 감수제와 함께 배합된 경우에 대한 모르터 흐름비(mortar flow ratio)는 [그림 9]에 보여진다. 본 연구의 결과는 폴리 카르복실계 고유동화제를 포함한 SCC의 흐름손실이 아미노술포계(aminosulfonate) 혹은 나프탈렌계(naphthalene) 고유동화제를 포함한 배합에서 보다 크다는 것을 보여준

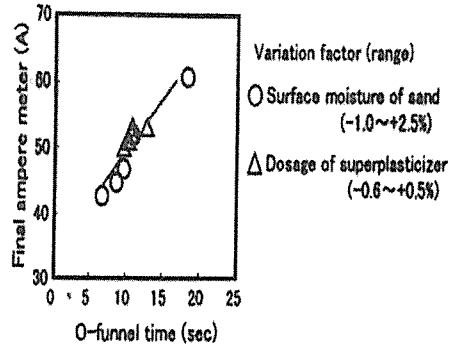
다. 한편, 폴리카르복실계 고유동화제를 포함한 SCC의 흐름손실이 아미노술포계 고유동화제 보다 멜라민계 고유동화제에 의해 매우 영향을 받는다는 연구결과가 있다. 또한 고유동화제의 주요성분이 상이한 영향을 미친다고 생각된다.

SCC의 초기상태가 재료 및 온도에 의해 영향을 받음에 따라, 배합과정에서 그 품질을 관리하는 것이 매우 중요하다. 주로 배합 후 품질 시험이 수행되지만, 보다 합리적이고 신속한 관리를 위해 배합토크값(mixing torque value) 혹은 암페어미터(ampere meter)의 이용이 고려되어야 한다. 잔골재의 표면수 및 고유동화제의 투여량이 변화될 때, O-type

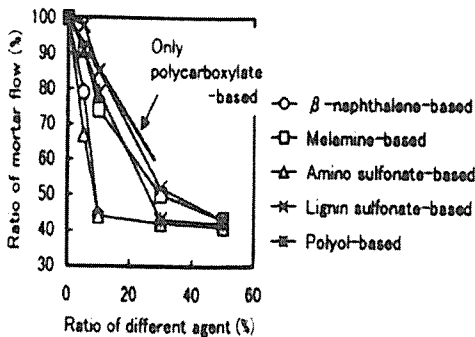
funnel test에 대한 최종 암페어미터 및 통과시간(flow time) 사이의 관계는 [그림10]과 같다. 또한 최종 배합전력(mixing electricpower)과 슬럼프 흐름값, 50cm 통과시간, 그리고 출구크기가 75mm인 V-funnel test에 대한 통과시간 사이의 관계는 [그림 11]에 나타난다. 그림에서 볼 수 있듯이, 최종 배합전력값은 50cm 통과시간 및 V-funnel test의 통과시간과 좋은 관계를 보여준다. 그러므로, 함량변화에 따른 SCC의 점성변화는 배합과정에서 최종 전력값에 의해 대부분 제어될 수 있다. 그러나, 배합과정에서 최종 암페어미터 혹은 전력값의 품질관리는 당분간 매우 어렵고 단지 품질의 변화에 대해서만 국



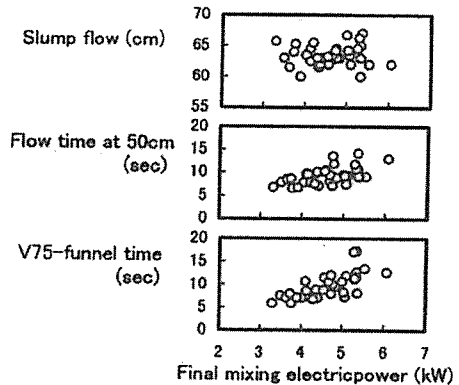
[그림 8] 모르타르플로우 및 배합시간



[그림 10] 최종 암페어미터 및 O-funnel 시간 사이의 관계



[그림 9] 감수제 혼합의 영향



[그림 11] 최종 배합전력 및 SCC 초기상태 사이의 관계

한되어 이용될 수 있는데, 이는 그 관계가 자기 충전성 및 온도변화에 대해서 아직 잘 알려지지 않았기 때문이다. 앞으로는 최종 압페어미터값의 이용 등과 같은 더욱 합리적이고 신속한 품질관리 방법이 수립되어야 한다.

2.3.3 운송관리

SCC의 품질은 운송에 의해 매우 영향을 받는다. 경과시간 및 운송에 기인한 영향을 예측하는 것은 매우 어렵고, 이는 재료, 구성, 배합 방법, 운송시간, 운송방법 및 온도 등에 의해 가변적이다. 그러므로, 사전에 이러한 영향들을 확인하는 작업이 필요하다. 한편, 운송에 기인한 영향들을 고려하여 플랜트 및 현장 사이의 근접교통을 통해 SCC를 적절히 제조하는 작업은 매우 중요하다.

2.4 SCC의 시공

2.4.1 SCC의 펌프압송

SCC의 펌프 압송은 기존의 장비를 이용해서 실시하지만 압송성은 종래의 보통 콘크리트와는 상당히 다르다. 재료분리가 작고 변형성이 우수하기 때문에 관의 막힘 가능성은 적지만 직관부에서의 압송저항은 기존의 콘크리트에 비해서 커진다. 또한 압송거리와 압송속도와와의 계수도 상당히 다르다.

압송저항은 콘크리트와 압송관벽의 마찰저항과 콘크리트의 변형저항에 의해서 정해지지만 SCC의 경우 관벽과의 마찰저항과 압송속도를 올리려면 종래의 콘크리트에 비해서 커진다. 피스톤으로 전달되는 축방향압력이 유체와 같이 축방으로 전달되어서 관에 작용하는 압력이 커지게 되어 재료분리가 상당히 작아지므로 콘크리트와 관벽 사이에 분리한 물

에 의한 미끄러운 막이 생길 가능성이 크다. 연직상향으로 콘크리트를 압송하는 경우와 압송속도를 올릴 경우에는 특히 압송저항이 크기 때문에 주의가 필요하다.

마찰저항을 예측하기 위해서는 압력이 작용하는 조건하에서의 콘크리트와 관벽의 미끄럼저항을 정량적으로 평가할 필요가 있다. 이러한 미끄럼저항은 콘크리트에 작용하는 압력과 콘크리트와 관벽의 미끄럼 속도 양자의 영향을 받고 사용하는 재료와 배합에 의해서도 변화한다. 즉 압송 후에 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 플로우값이 어느 정도 변화하는 경우도 있다. 이 원인은 현재까지 명확하게 밝혀지지 않았기 때문에 그와 같은 경우에는 사용재료를 검토하고 이를 검토한 배합을 실시할 필요가 있다.

2.4.2 SCC의 타설

SCC는 다짐작업이 필요없으므로 타설적소에 작업자가 불필요하며 타설속도가 상대적으로 빠르다. 그러나 타설속도가 빨라질수록 타설도중에 공기가 연행될 가능성이 높아지며 타설속도가 콘크리트 제조속도를 추월하여 콘크리트 도착을 기다리게 되어 연속 타설이 불가능한 경우도 발생하고 타설속도에 대한 압축저항이 비선형적으로 커지는 등의 문제점이 있다.

일반적으로 여유를 가지고 타설하는 것이 중요하다. 거푸집에 작용하는 콘크리트압은 타설속도가 빠르면 커지기 때문에 이러한 점을 감안한다면 타설은 여유있게 하는 것이 좋으며 타설계획은 이러한 점을 고려해서 펌프 압송의 배관계획을 포함해서 세울 필요가 있다.

SCC의 충전성을 저하시키지 않기 위해서 연속해서 타설하는 것이 중요하다. 제조대기 등에 의해서 타설이 중단된다면 콘크리트의 유동이 일시정지 되고 타설을 재개할 때에 새로

타설한 콘크리트가 기존의 콘크리트의 윗면으로 흘러 기존의 콘크리트가 움직이지 않는 경우가 있다.

특히 단면이 비교적 작은 구조물에서는 콘크리트와 거푸집과 철근과의 마찰이 콘크리트의 유동에 주는 영향이 크기 때문에 타설을 재개할 때에 이미 타설되어 있는 콘크리트를 유동시키기 위해서는 새롭게 타설된 콘크리트에 의해서 큰 압력을 가하지 않을 수 없다. 이러한 타설 이음부가 경화후의 콘크리트의 품질을 손상시킬 가능성은 적지만 콘크리트의 유동구배가 변화하는 등 구조물 전체의 타설계획에 영향을 미치지 않기 위해서는 SCC는 가능한 연속해서 타설하는 것이 좋다.

SCC의 타설고가 5m 정도로 조절해서 타설하는 것이 좋고 주의할 점은 타설개시시 즉 아래 굳지 않은 콘크리트가 없는 상황에서 3m 이상 SCC를 낙하시키면 철근이 조밀하게 배근된 경우에 굽은 골재가 분리할 가능성이 있다. 따라서 타설 개시시에 콘크리트를 낙하시키는 경우에는 펌프배관의 관선을 비교적 단면이 크고 콘크리트의 유동방향이 한방향이 되도록 타설장소에 설치하는 것이 좋다.

2.4.3 SCC의 양생

SCC의 양생은 기존의 콘크리트에 비해서 편리하고 기간도 단축되는 장점이 있다. SCC는 필요한 강도가 얻어진 시점에서 탈형한 후 특별한 양생을 하지 않고 가혹한 조건에서도 보통 콘크리트와 동등이상의 강도 및 내구성이 얻어지도록 설계된다.

따라서 보통의 조건하에서는 강도 및 내구성 면에서 기존의 콘크리트보다도 우수한 성능을 가진다고 기대된다. 예를 들면 범용 SCC는 20℃ 밀봉양생 조건하에서 재령 24시간에서도 10MPa 이상의 압축강도가 얻어지고 그 후 20

℃ 상대습도 60%의 건조조건하에서도 재령 28일에서 30MPa 이상의 압축강도가 된다.

따라서 한중 콘크리트 (일평균 기온이 4℃ 이하가 되는 경우)는 기존의 콘크리트와 같은 형태로 온도를 제어한 양생이 필요하다. 또한 서중 콘크리트 (일평균 기온이 25℃ 이상이 되는 경우)도 역시 기존의 콘크리트와 동일하게 타설면이 급격히 건조하는 것을 막기 위한 양생이 필요하다.

3. SCC의 특성

3.1 굳지 않은 콘크리트의 재료특성

실험에 사용된 SCC 및 NC(normal concrete, 보통콘크리트)의 배합 설계표는 [표 1]과 같다. 실험결과 SF1-1 와 SF1-2는 SF1-3과 SF1-4보다 유동적인 것으로 나타났다. 이들의 배합비에서 굽은 골재의 부피비가 각각 0.27, 0.31, 0.35, 0.39이다. 따라서 굽은 골재의 한계부피비는 0.31~0.35에 존재한다. NC는 SF1-1과 1-2에 비해 유동성과 작업성이 떨어지며 자기충전 콘크리트가 훨씬 더 유동적이고 작업성이 뛰어나다는 것을 알 수 있다.

자기충전 콘크리트의 경화시간은 [표 2]에 서처럼 일반 콘크리트보다 2배 이상 크다. 자기충전 콘크리트의 경화시간의 증가는 초기 소성제와 플라이애쉬의 효과에 의해 설명된다. 자기충전 콘크리트가 실제적으로 사용될 때 이 성질은 반드시 고려되어야 한다.

3.2 경화된 콘크리트의 재료 특성

[표 3]은 압축강도나 할렬 인장강도나 탄성계수의 실험값을 나타내었다. [그림 12]은 압축 응력과 변위와의 관계를 3일, 7일, 28일 재

(표 1) 배합 설계표²⁾

No	분류	단위중량 (kg/m ³)					혼화제 (kg/m ³)	W/B	굵은골재 체적비
		W	C	FA	S	G			
SF1-1	SCC	195	390	167	814	733	10.0	35	0.27
SF1-2		185	370	159	782	820	10.0	35	0.31
SF1-3		175	350	150	739	917	10.0	35	0.35
SF1-4		165	330	141	678	1032	9.9	35	0.39
SF2		190	300	200	778	819	8.5	38	0.31
NC1	OPC	185	350	0	775	1035	0.0	53	0.39
NC2		175	400	0	760	1035	4.0	44	0.39
NC3		175	500	0	677	1032	7.5	35	0.39

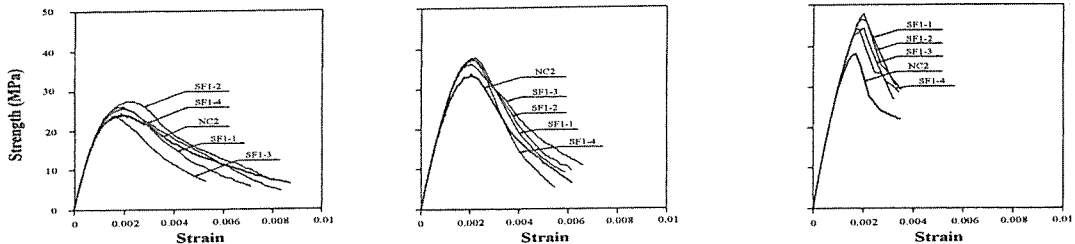
(표 2) 실험결과

No	플로우 (cm)	O-funnel (sec)	Box (cm)	L type	슬럼프 (cm)	초기경화 (min)	최종경화 (min)
SF1-1	65	6.9	2.5	양호	-	727	863
SF1-2	67	7.8	2.0	양호	-	764	919
SF1-3	65	막힘	45.7	불량	-	735	882
SF1-4	60	31.8	48.5	불량	-	732	874
SF2	65	7.6	22.5	양호	-	733	1003
NC1	40	막힘	-	-	18.7	-	-
NC2	36	막힘	-	-	18.0	416	533
NC3	36	막힘	-	-	18.7	459	550

령에서 보여준다. 재령에 따라 압축강도가 증가하면서, 압축응력-변위 관계의 증가부분과 감소부분이 급하게 되고 선형에 가까워진다. 자기충진 콘크리트와 보통 콘크리트에 있어서, 3일, 7일, 28일에는 보통 콘크리트의 감소부분이 약간 부드러운 것을 빼고는 압축응력-변위

관계가 그리 큰 차이를 보이지 않는다.

비슷한 압축강도와 탄성계수를 가진 SCC(SF1-2)와 NC2의 creep 특성은 [그림 13]에 나타낸다. 재령 20일까지 SCC의 creep 속도는 NC보다 크나 재령에 따른 creep 속도는 두 콘크리트 모두 거의 비슷하



(그림 12) 응력-변형률 관계

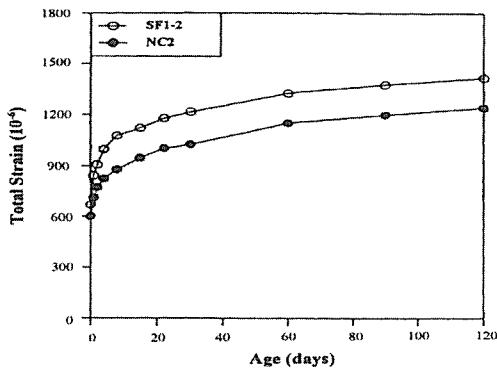
(표 3) 역학적 특성

	3일		7일		28일			90일		
	압축 MPa	휨 MPa	압축 MPa	휨 MPa	압축 MPa	휨 MPa	탄성 GPa	압축 MPa	휨 MPa	탄성 GPa
SF1-1	20	2.4	33	3.5	47	4.0	28	53	4.7	31
SF1-2	19	2.3	32	3.4	47	3.7	28	54	4.6	33
SF1-3	16	2.0	31	2.9	46	3.7	28	53	4.4	33
SF1-4	11	1.0	26	2.8	37	3.6	28	44	4.0	30
SF2	11	1.1	23	2.5	34	3.5	25	42	4.4	29
NC1	8	1.4	17	2.3	24	3.1	23	27	3.4	24
NC2	18	2.6	30	3.7	42	4.0	28	43	4.2	31
NC3	31	3.6	50	4.3	61	4.9	32	62	5.2	34

다. 콘크리트에서 굵은 골재의 체적비 감소와 더 많은 결합재량은 creep을 증가시킨다. 그로 인해 SF 1-2의 creep은 NC 2보다 크다. [그림 14]는 건조 수축의 실험결과를 보여준다. SCC의 건조 수축 재량은 NC보다 약 30~50%더 크다. SCC는 NC보다 많은 모르타와 적은 굵은 골재를 포함하고 플라이애쉬와 많은 감수제를 포함한다. 수분정제능력을 가진 플라이애쉬와 감수제를 포함한 콘크리트는 더 큰 건조수축 재량을 보여준다.

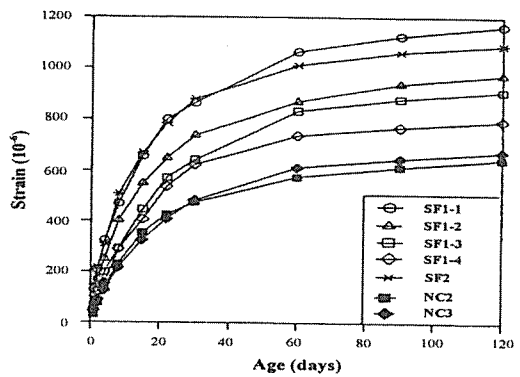
3.3 SCC의 내구성

SCC의 동결융해 및 중성화 저항성 등의 내



(그림 13) 크리프 실험결과

구성능을 검토하기 위한 시편의 배합표는 [표 4]와 같다. 결합재의 종류를 다양하게 변화시켜 압축강도 72MPa, 슬럼프 플로우 60cm 이상의 시편을 제작하여 실험하였다.



(그림 14) 건조수축 실험결과

(1) 동결융해 저항성

각 시편에 대한 촉진 동결융해 시험을 실시하고 [그림 15]에는 공기량과 내구성지수에 대한 관계를 나타내었다. 동결융해 저항성이 압축강도와 결합재의 종류에 의존하지만 공기량을 3.5% 이상으로 조절한다면 동결융해에 대하여 SCC는 충분한 저항성을 확보하고 있

[표 4] 배합 설계표³⁾

No	결합재 종류	평균강도 (MPa)	플로우 (cm)	공기량 (%)	단위중량 (kg/m ³)					W/B	굵은골재 제적비
					W	C	B	S	G		
LC-72	LC	72	60	4	165	427	-	891	827	38.6	0.52
FA-72	OPC+FA	72	60	4	165	378	95	809	827	34.9	0.52
BS-72	OPC+BS	72	60	4	165	199	199	891	827	41.5	0.52
BL-96	BL	96	65	3.5	165	506	-	852	811	32.6	0.51
SF-120	BS+SF	120	65	3	165	675	75	681	795	22	0.50
SF-72	LC	72	60	5.5	165	571	-	1039	510	28.9	0.32

LC : 저발열 시멘트, OPC : 보통 포틀랜드 시멘트, FA : 플라이애쉬
BS : 고로슬래그, SF : 실리카흙, BL : 벨라이트 시멘트

는 것으로 나타났다. 일반 콘크리트와 비교해서 높은 강도와 품질로 인해 적은 공기량을 확보한 SCC도 높은 동결융해 저항성을 확보한 사실을 확인할 수 있다. 실험을 통해 SCC에 요구되는 공기량의 하한치는 강도등급에 의존한다. 즉,

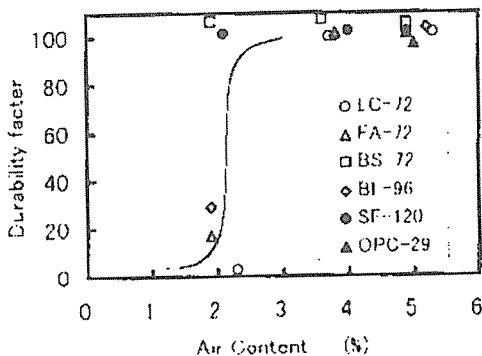
- 공기량 3.5%를 위해서는 평균강도 72MPa
- 공기량 3.0%를 위해서는 평균강도 90MPa
- 공기량 2.5%를 위해서는 평균강도 120MPa

SCC에 대한 절대적인 동결융해 저항성은 결정할 수 없었는데 300사이클의 실험 후 충

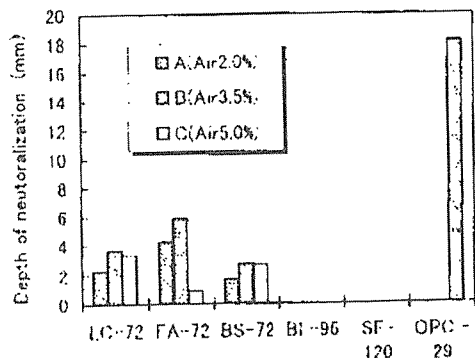
분한 열화가 발생하지 않았기 때문이다. Asahikawa 에 따르면 SCC의 공용기간은 130년 이상으로 평가되며 이는 보통 콘크리트에 비해 2배 정도의 높은 값이다.

(2) 중성화 저항성

20℃, 60% RH, 5% CO₂ 농도의 조건으로 촉진 중성화 시험을 실시하였으며 26주간의 실험결과를 [그림 16]에 나타내었다. SCC의 중성화 깊이는 W/C 60%의 보통 콘크리트에 비해 충분히 작다. 특히 평균 강도 96~120MPa 인 SCC시편의 경우 중성화가 발생하지 않았다. 이는 SCC 밀실한 경화체의 CO₂의 확산계수가 매우 낮다는 것을 의미한다.



(그림 15) 동결 융해 시험 결과



(그림 16) 촉진 중성화 시험 결과



4. SCC의 개발 및 활용동향

4.1 제품 생산

SCC는 일본에서 제조, 판매, 연구되는 콘크리트 제품에 널리 사용되어 왔다. 이러한 제품은 크고 작은 제품을 포함하는데, 큰 제품은 수톤의 중량을 가진 쉘드터널, precast concrete girder의 segment를 비롯하여 작은 제품은 약 10kg 중량을 가진 콘크리트 블록을 포함한다. [표 5]은 그동안 연구에 기초한 일본에서의 콘크리트 제품에서의 SCC의 사용의 예를 나타내었다.

4.2 토목현장 적용사례

(1) 사례 1 : 작업의 합리화를 위한 SCC의 사용

거대한 구조물에서, 콘크리트 타설과 관련된 작업들은 복잡한 양상과 적지 않은 노동력과 시간이 요구된다. 그러므로 보통 좋은 시

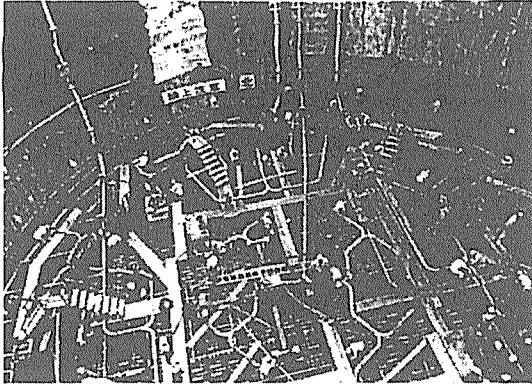
[표 5] SCC로 제작된 콘크리트 제품종류

제품종류	회사수
박스 암거	12
프리캐스트 옹벽	7
쉘드 터널의 세그먼트	5
프리캐스트 콘크리트 거더	1
콘크리트 블록	8

공결과 기대는 작업의 합리화에 달려있다. Akashi Kaikyo bridge에서 타설된 콘크리트 전체 부피 300,000m³에서 1일 당 1,900m³의 비율로 SCC를 주기적으로 타설하여 제작된 정착장치는 작업의 합리화의 성공적인 사례의 으뜸으로 꼽힌다. 보통 콘크리트를 사용할 때 일반적인 콘크리트의 타설의 진행은 복합층 또는 복합블록으로 타설한다. 왜냐하면

복잡한 보강 영역에 들어가서 작업하기 어렵기 때문이고 압밀작업을 수행해야 하기 때문이다. 이런 경우에 콘크리트 타설의 예비작업은(콘크리트 타설을 위한 비계작업, 미리 제작된 블록과 새 블록 사이에 reinforcing bars의 이음과 조립, 시공이음을 위한 준비작업 등) 콘크리트를 타설하는 시간만큼이나 많은 시간에 걸쳐 수행된다. 그러므로 모든 부재에 대해 콘크리트를 1배치만 타설할 수 있다면, 콘크리트 타설을 위한 예비작업은 생략되며, 완공시간은 단축될 수 있고 작업의 합리화도 달성될 수 있다. 콘크리트 타설에 관해 위에서 언급한 최적 방법은 "Automatically Gate Valve Layout Method"나 "Bifurcating Pipe Layout Method"로 채택된다. 이 방법은 많은 양의 콘크리트를 광범위한 영역에 일정하게 할 수 있다.

[사진 1]은 쉘드 터널에서 큰 연직 수직갱의 기초 슬래브에 SCC를 사용한 예를 보이고 있다. 기초 슬래브의 두께는 5m이고 지름은 약 30m이다. Main reinforcing bar(Φ 41mm)과 함께 200mm mesh는 표면 상부와 하부에 4개의 타이어에 배치된다. 한편 전단 reinforcing bar(Φ 25mm)는 200mm 간격으로 배치된다. 콘크리트 타설 총량은 약 3,600m³이다. 5개의 펌프카가 배치되며 8개의 가지를 가진 두 갈래의 파이프(총 배출구 40개)는 각각의 펌프카에 배치된다. 모든 기초 슬래브에 콘크리트는 1배치로 타설한다. 만약 보통 콘크리트를 사용한다면, 콘크리트는 일반적으로 둘이나 세 개의 층으로 타설된다. reinforcing bar는 콘크리트가 타설된 층에 각기의 시간마다 배치된다. 같은 수의 가지를 가진 파이프 배열을 사용하여 콘크리트를 타설한다고 가정하면 적어도 배출구마다 3명의 작업원(1명은 진동작업, 2명은 배출구를 이동시키고 조절하는 작업)이 요구된다. 이것은 배



[사진 1] 연직 수직갱에서의 자기충전 콘크리트의 적용 (bifurcation pipe layout method를 이용하여 콘크리트 타설)

출구에만 적어도 120명의 작업인원이 필요하다는 말이다. 또한 배출작업과 별도로 30명 정도가 더 고려되어야 한다. 결과적으로 콘크리트 타설을 적어도 2번에 걸쳐 해야된다고 생각하면 콘크리트 타설에 필요한 작업인원의 수는 약 300명이 요구될 것이다.

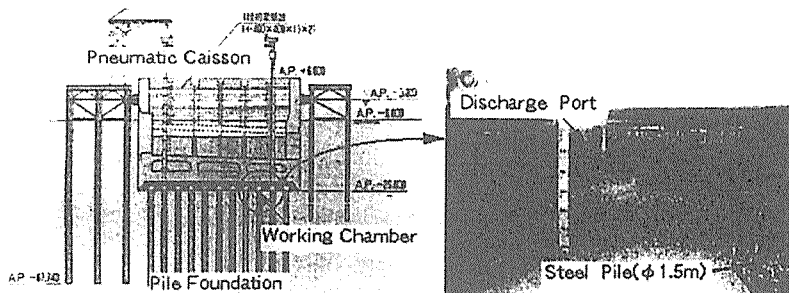
반면 SCC를 사용한다면 진동작업을 하는 작업인원은 불필요하다. 게다가 배출구의 이동과 조절 작업도 최소로 제한할 수 있다. 결과적으로 같은 작업을 하는데 각 배출구마다 작업인원의 반(배출구의 이동, 조절에 1~2명) 밖에 소요되지 않는다. SCC를 사용하여 콘크리트 1 batch를 타설함으로써 보통 콘크리트를 사용하는 것과 비교하여 적어도 200명의 작업인원의 지출을 줄일 수 있다.

(2) 사례 2 : 작업의 합리화와 가속한 조건에서의 작업로부터 해방

[사진 2]는 뉴메틱 케이슨의 작업공간을

채우는데에 SCC를 사용한 예를 보여주고 있다. 뉴메틱 케이슨의 가로측은 45m×45m이고 깊이는 32m이다. 이 크기의 뉴메틱 케이슨은 파일기초로 시공되었고, 일본에서는 이 종류에서 훨씬 최고로 큰 것이다.

일반적으로, 뉴메틱 케이슨은 비교적 단단한 기저암 위에 시공되며 개착된 케이슨 모서리의 작업공간에는 구조적인 기능을 수행하는 부재를 불필요로 한다. 그러나 이런 경우에는 말뚝머리와 케이슨 본체는 말뚝기초의 형태로 구성되어야만 한다. 그러므로 SCC는 사용되며 개착된 케이슨 모서리의 작업공간은 말뚝머리와 케이슨이 일체가 되어 뽁뽁히 채워져 있다. 이는 0.3N/mm² 고압상태의 작업공간에서 이루어지는 위험한 작업의 필요성이 제거된 결과이기도 하다. 게다가 Bifurcating Pipe Layout Method를 이용하기 때문에 많은 양의 콘크리트를 넓은 범위에 걸쳐 일정하게 타설할 수 있고 총 5,000m³의 콘크리트가 1 배치에 타설 되었다. 작업안전 범칙은 위에서 언급한 고압상태에서 하루에 2.5시간 이상을 작업하지 못하도록 엄격히 제한하고 있다. 만약 보통 콘크리트가 채워져 있고 아래와 같은 비슷한 상황에서 타설된다면 2.5시간 동안 대략 1,000m³의 콘크리트만을 타설 할 수 있다고 판단된다. SCC를 사용한 모델의



[사진 2] 뉴메틱 케이슨의 작업장소에서 콘크리트 채움 조건 (콘크리트 채움은 고압상태에서 작업의 위험을 동반하지 않는다)

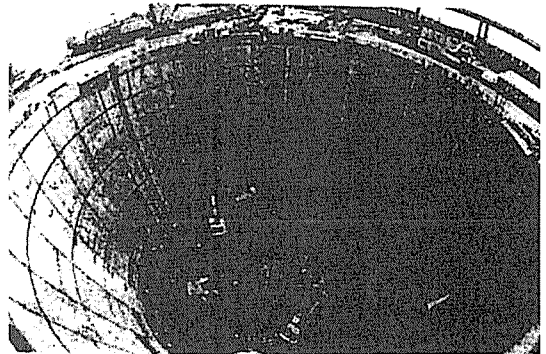
에는 특별하게 제한된 위험한 작업으로부터의 해방과 콘크리트 채움에 있어 높은 신뢰도를 얻을 수 있다.

(3) 사례 3 : 높은 신뢰성으로 공사비의 절감

[사진 3]은 지하 LPG 저장 탱크의 연속 격벽에 SCC를 사용한 예를 보여주고 있다. 이 작업에 있어서 건설비용을 줄이기 위해 높은 강도의 콘크리트가 원형 격벽에 채택되었다. 일본에서 그와같은 구조물에서의 콘크리트는 훨씬 고강도의 것이 채택된다. 설계강도 60N/mm²(배합강도 90N/mm²)의 특수 고강도 콘크리트의 경우는 일반적인 고강도 콘크리트(배합강도 40N/mm²)를 사용한 경우와 비교할 때 격벽의 두께의 25%를 감소시킬 수 있다.

일반적으로 콘크리트의 적당한 채움은 격벽의 시공에서 매우 중요한 문제이다. 왜냐하면 콘크리트는 현탁액 상태로 타설되며 압밀작업이 적용될 수 없기 때문이다. 현탁액에서 콘크리트 채움의 높은 신뢰도를 위해 SCC가 적용된다. 고강도 콘크리트의 재료적 지출은 보통 콘크리트보다 더 높아지는 경향이다. 그 결과 SCC를 이용함으로써 인한 재료적 지출의 증가는 실제로 그리 많지는 않고, 총 건설 지출 비용의 감소는 많은 양의 콘크리트 감소와 흙의 굴착 량에 기인한다고 할 수 있다.

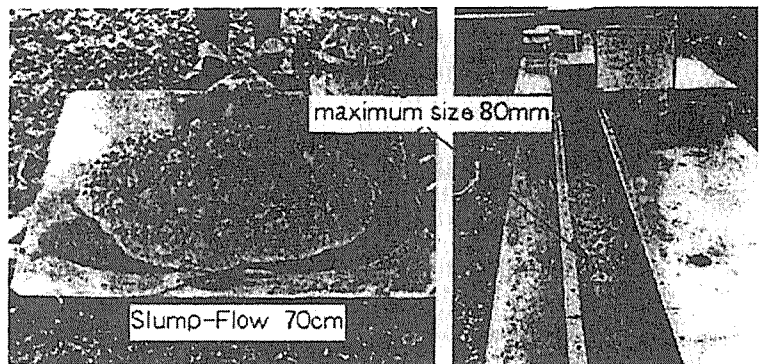
이것은 비용적으로 정확히 계산되는 것은 어려우나 높은 신뢰도와 SCC에 의한 높은 품질의 이득을 보여주는 전형적인 예이다. 그리고 이것은 작업의 합리화와 동반하여 건설 비용감소를 이끌어 낼 것이다.



(사진 3) 연속 격벽에서의 자기충전 콘크리트의 적용 (굴착 후의 채움 상황)

(4) 댐공사에서의 작업 합리화 기대

최근 댐에서의 작업의 합리화를 목적으로 60mm와 80mm 범위의 입자 크기를 가지는 굵은 골재를 이용한 SCC의 개발과 연구가 수행되어 왔다. [사진 4] 댐에 속해있는 시설물에 SCC의 실제적인 적용은 굴착된 흙의 지질학적 조사에 대한 답사심사의 종료와 정밀조사원들을 동반한 콘크리트의 채움이 수반된다. 그러나 SCC에 사용된 굵은 골재 최대치수는 위에서 언급한 40mm보다도 작은 값을 가진다. 댐의 시공현장에서 콘크리트 타설은 좀 특이하다. 작업인원의 감소와 에너지 감소를 통



(사진 4) 최대골재 입자크기 80mm의 굵은 골재를 사용한 SCC의 흐름 상태

한 작업의 합리화에 대한 기대가 아주 높다. 주로 여수로나 댐에서 펌핑을 통한 많은 양의 큰 입자크기(최대치수 80mm)를 가진 SCC의 타설의 기술적인 확립은 시급과 더불어 고대되고 있다

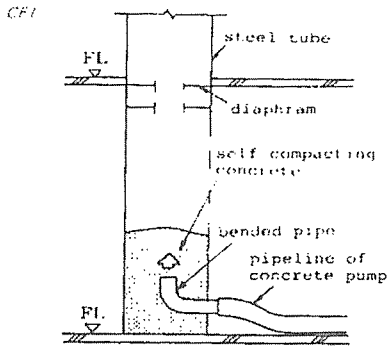
4.3 건축 현장 적용사례

현재 SCC는 보통 콘크리트에 비해 고비용이 소요되는 실정이므로 현 상황에서 추가적인 장점이 없다면 사용되지 않을 것이다. 일반 RC 건축물의 시공현장에서 SCC가 사용되는 원인을 분석해 보면 다음과 같다.

- 1) 불충분한 다짐을 피하기 위하여 사용된 경우
- 2) 콘크리 표면 형태의 복잡함으로 인한 불충분한 다짐을 피하기 위한 경우
- 3) 공기를 앞당기기 위해 많은 양의 콘크리트 타설을 실시할 경우

(1) CFT 구조

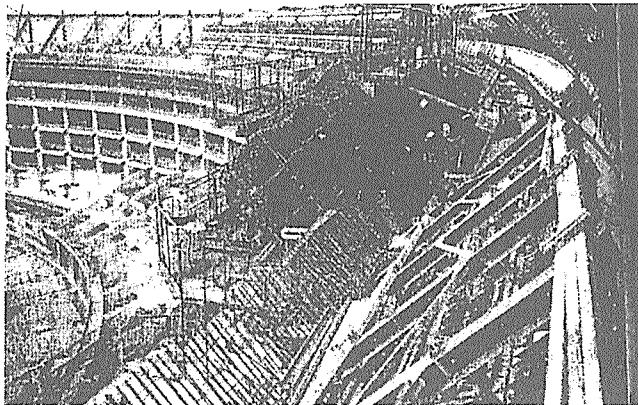
SCC를 다짐이 불충분하거나 어려운 부재에 적용한 사례는 콘크리트 채움관(concrete filled tube : CFT)구조물일 것이다. [그림 17]에서와 같이 CFT 구조는 콘크리트로 채워진 강관으로 구성된 복합구조물이다. 이러



[그림 15] CFT 기둥의 시공



[사진 5] Hand mark tower



[사진 6] 후쿠오카 스타디움

한 구조물의 장점은 기둥의 단면을 줄일 수 있으며 경간을 길게 할 수 있다는 것이다. 콘크리트 채움관은 다짐이 불가능하며 SCC는 일반적으로 펌핑에 의해 채워진다. [사진 5]에는 CFT 구조가 적용된 일본의 Land Mark Towers를 나타내었다.

(2) 복잡한 단면이나 보강재비가 높은 부재

진동 다짐기의 사용이 불가능하거나 매우 어려운 복잡한 단면이나 보강재의 사용비가 높은 부재가 설계되는 경우가 빈번하며 일례로 일본의 후쿠오카 돔의 개폐식 지붕의 이동 트랙 부재의 경우 45° 경사가 있으며 프레임간의 간격이 너무 좁고 보강재가 매우 밀집되어 배치되어 있어 약 10,000m³ SCC를 품질 확보와 노동력 절감 및 공기단축 등의 목적으로 타설하였다. (사진 6)

5. 맺음말

지난 몇 년전부터, 건설 비용의 현저한 감소가 강력히 요구되고 있다. 어려운 작업으로부터의 해방과 단지 구조물의 신뢰성 향상을 목적으로 하는 SCC의 사용은 보통 콘크리트의 사용보다 건설 비용의 증가로 아직까지는 보편화되지 못한 실정이다. 그러나 전술한 바와 같이 SCC사용으로 작업환경의 개선, 합리적인 제작 등 적지않은 장점을 지니고 있으며 이러한 장점이 적당한 시공방법과 결합하여 기술적으로 이용될 수 있다. 또한 이러한 시공방법이 초기 설계단계에서부터 적용된다면 재료적 비용 지출에 대한 관심을 증가시킬 뿐 아니라 시공 전반에 걸쳐서 비용을 오히려 현저하게 떨어뜨릴 수 있는 장점이 있다. 이 보고서를 통해 SCC에 관한 지식이 알려지는 계기가 되기를 기대해 본다.

참고문헌

1. Ouchi, M. (1998) " History of Development and Application of Self-Compacting Concrete in Japan", Proceeding of the International Workshop on Self-Compacting Concrete of JSCE, pp.1-10.
2. Byun, K.J., Kim, J.K. and Song H.W. (1998), "Self-Compacting Concrete in Korea", Proceeding of the International Workshop on Self-Compacting Concrete of JSCE, pp.23-33.
3. Kitoh, M., Yamade, K., Nakamura, M., Ushijima, S., Matsuoka, K. and Tanaka, T. (1998) "Concept of Super Quality Concrete, its Properties and Structural Performance", Proceeding of the International Workshop on Self-Compacting Concrete of JSCE, pp.243-254.
4. 岡村甫, 前川宏一, 小澤一雅 (1993) 하이パフォーマンスコンクリート, 技報堂出版.
5. Nagataki, S. and Fukiwarara, H. (1995)" Self-Compacting Property of Highly Flowable Concrete", Advaced in Concrete Technology, Proceedings Second CANMET/ACI International Symposium Las Vegas, Nevada, USA, pp.301-314.
6. Okamura, H., Ozawa, K., and Ouchi, M. (1995) "Self-Compacting High Performance Concrete", Special Edition on High Performance Concrete, Journal of Korean Concrete Institute, Vol.7, No.5 pp.34-41