

수중불분리콘크리트의 특성 및 제조

김 영 수

(대주상사 기술연구소 과장)

1. 서 론

수중에 타설하는 일반콘크리트는 물과의 접촉에서 시멘트, 잔골재, 굵은골재의 재료분리가 발생하고 시멘트 성분의 상당량이 수중에 유출되어 콘크리트 품질저하와 수질 오염의 문제를 발생시킨다. 따라서 수중에 시공하는 콘크리트의 기술은 타설 콘크리트가 물과 접촉하는 것을 최소한으로 하는 기술로서 발전되어 왔으며, 트레미관에 의해 물밑에 콘크리트를 보내어 역타설하는 트레미 공법이나 수중에 골재를 미리 채운후 그 틈사이에 몰탈을 주입하는 프리팩트 콘크리트 공법등으로 정착되어 왔다. 그러나 이러한 시공방법도 타설초기에 콘크리트가 물과 접촉하는 것을 막는 것은 곤란하여 최초 타설되는 콘크리트의 재료분리로 인한 품질저하 및 환경오염은 어느정도 감수해야 하는 실정이었다.

수중불분리 콘크리트란 일반적인 콘크리트용 재료에 수중불분리 혼화제를 혼합한 것으로 물속에서도 재료분리 저항성이 높고, 셀프레벨링성, 충전성이 우수한 콘크리트를 말한다. 이러한 수중 불분리 콘크리트의 제조는 1975년 독일에서 콘크리트가 물에 씻기는 작용에 대한 재료분리 저항성을 갖는 새로운 형태의 수중불분리성 혼화제가 개발됨으로 가능하게 되었다.

이 혼화제를 사용한 콘크리트(수중불분리 콘크리트)는 수중에서 콘크리트를 자유낙하시켜도 재료분리를 일으키지 않는, 양질의 콘크리트를 제

작할 수 있게 하였으며 양호한 충전성과 셀프레벨링성으로 수심이 깊은 부위에서의 시공, 고강도 콘크리트 제조, 연속타설시공, 수질오염방지등에서 많은 이점을 제시하고 있다.

현재 국내에서도 이에 관한 관심이 설게, 시공, 레미콘 판매업체, 학계등으로 점차 확산되고 있으며 이의 보급 및 적용도 빠르게 진행되고 있다. 그러나 이와 관련된 연구는 아직 미진하여 기본적인 재료특성 연구^(1,2)와 재료분리 저항성에 관한 기초메카니즘 연구⁽³⁾등이 발표되고 있다.

본보에서는 최근 국내에서 실용화되기 시작한 수중불분리성 혼화제를 이용한 수중불분리 콘크리트의 기본물성 및 품질검사 방법, 수중불분리 콘크리트의 제조 및 타설, 아울러 수중불분리성 혼화제의 특성에 관하여 논의하여 레미콘제조 실무자들의 이해를 돕고자 한다.

2. 수중불분리 혼화제의 특성

수중불분리 혼화제의 기본조성은 수중에서 콘크리트 구성물의 수중분리 방지를 위한 점증 성분으로 셀룰로스계의 수용성 고분자와 아크릴계의 수용성 고분자로 크게 대별된다. 이외의 보조 성분으로 경화촉진제, 소포제, 분산제등이 복합적으로 첨가되어 있다. 이에 관한 구체적인 사용 재료들을 표2에 나타내었다.

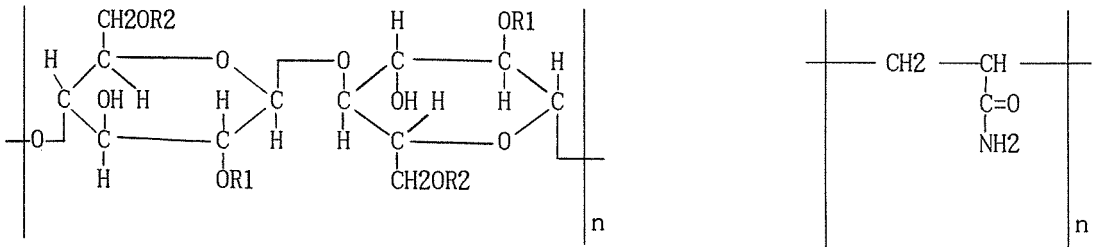
셀룰로오스계는 그림 1과 같이 다당류 폴리머의 일종으로 원료물질인 펄프의 중합도에 따라

[표1] 수중타설 콘크리트 공법⁽⁴⁾

| 공 법 | 타설방법 | 수중타설시 현상 | 비 고 |
|---------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------|
| 밀열림상자 및 포대 공법 | 콘크리트를 담은 밀열림상자나 포대를 타설위치까지 내려서 타설 | 골재분리 현상이 많이 발생하여 양생 후 낮은 강도치를 나타냄 | 수중불분리 혼화제 미사용 |
| 포대콘크리트 공법 | 콘크리트를 채운포대를 그대로 쌓아 올림 | | |
| 버킷 공법 | 콘크리트를 담은 버킷을 타설위치까지 내려서 타설 | | |
| 호퍼 공법 | 호퍼로 타설 | | |
| 펌핑 공법 | 콘크리트 펌프에 호스를 연결하여 타설지점까지 내려서 타설 | 골재분리현상 다소 많이 발생하나 보통의 강도치를 나타냄 | |
| 수압밸브식 공법 | 특수고안된 수압밸브식관을 이용하여 타설 | | |
| 프리팩트 공법 | 굵은 골재를 미리 채워넣은 후 그 공극에 모르터를 주입타설 | | |
| 콜크리트 공법 | 프리팩트와 동일 | | |
| 트레미 공법 | 트레미관을 타설위치까지 내린 후 관을 통하여 콘크리트 타설 | 골재의 분리현상이 조금 발생하며 보통의 강도치를 나타냄 | 수중불분리 혼화제 사용 |
| 사베마 공법 | 특수고안된 콘크리트 타설장치를 이용하여 타설 | 골재분리현상이 조금 발생하며 높은 강도치를 나타냄 | |
| 시보 공법 | 수중불분리 혼화제를 첨가하여 수중에 직접타설 | | |

[표2] 수중불분리 혼화제의 주요성분⁽⁵⁾

| 구 분 | 주요 성분 | |
|-----------|--|--|
| 중 점 제 | 셀룰로오스계 | - 메칠셀룰로스(MC) - 하이드록시 에칠셀룰로스(HEC) - 하이드록시 프로필 셀룰로스(HPC) - 하이드록시 에칠 메칠셀룰로스(HEMC) - 하이드록시 프로필 메칠셀룰로스(HPMC) - 하이드록시 에칠 에칠셀룰로스(HEEC) |
| | 아크릴계 | - 폴리아크릴 아마이드 - 아크릴산 소다 - 폴리에틸렌 옥사이드(PEO) - 폴리아크릴 아마이드와 아크릴산 소다의 공중합체 |
| 소 포 제 | 고급알콜류, 인산에스테르계, 실리콘계 Dibutyl Buthanol, Tributyl Phosphate Glycol계, 비수용성 알콜류 | |
| 경 화 촉 진 제 | 염화칼슘, 알루미늄시멘트, 규산나트륨, 알루미늄산나트륨, 규산칼슘, 황산나트륨, 황산칼륨, 염화나트륨, 염화칼륨, 염화리튬, 황산리튬, 규불화마그네슘 | |
| 유 동 화 제 | 멜라민술폰산계, 나프탈렌술폰산계, 폴리칼본산계, 리그닌술폰산계, 알킬아릴술폰산계 | |



(a) 셀룰로오스계

(b) 아크릴계

(그림 1) 셀룰로오스계와 아크릴계의 화학 구조식⁽⁵⁾

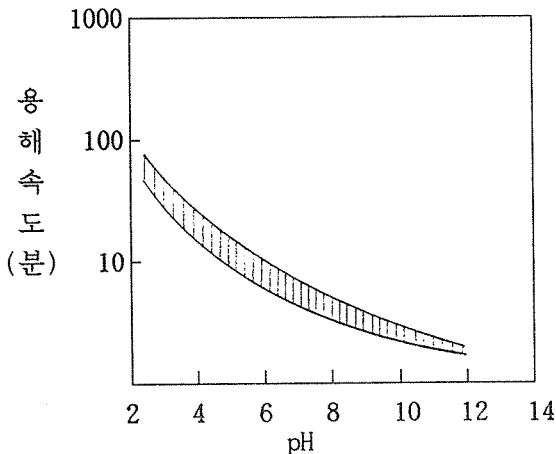
셀룰로오스계의 중합도 및 점도가 다르며 아울러 이러한 분자량, 치환도, 점도에 따라 특성이 다르고 입자의 크기가 입도분포, 표면처리 조건에 따라서도 변화가 있다. 따라서 한가지 종류의 증점제를 사용하기 보다는 각 특성을 고려하여 조합하여 사용하기도 하며 특히 증점제의 점도는 콘크리트의 재료분리 저항성에 큰 영향을 미치므로 적절한 점도값을 갖는 증점제를 혼합사용한다.

아크릴계의 수중혼화제는 주로 폴리아크릴아마이드가 주성분이고 응결지연성이 적고 공기발생이 적은 장점이 있으나 시간경과에 따른 작업성의 저하등이 발생할 수 있다. 경우에 따라서는

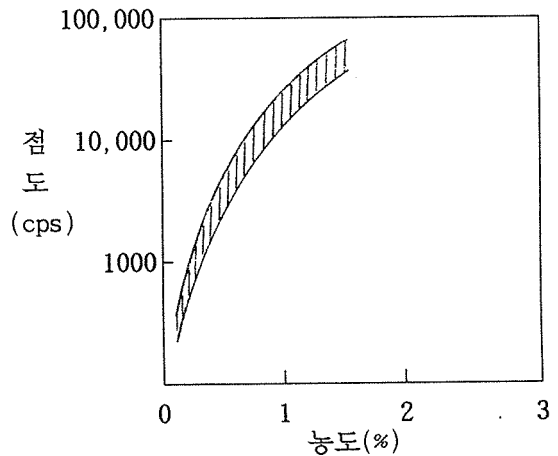
각재료의 장 단점을 상호보완 하기 위하여 셀룰로오스계와 아크릴계를 혼합하여 사용하기도 한다.

수중불분리 혼화제의 용해성은 용매의 pH에 의해 크게 영향을 받으며 용해속도는 pH의 상승에 따라 빨라지는 특성이 있어 콘크리트내에서 물과 접촉 후 시멘트에 의해 상승된 pH 분위기에서는 용이하게 용해가 된다. 또한 수중불분리 혼화제 수용액의 점도는 불분리 혼화제의 농도에 의하여 변화하고 농도가 높아질수록 점도는 급격히 증가한다. 이것을 그림2와 그림3에 나타내었다.

수중혼화제로 사용되는 증점제는 콘크리트 내에서 용해시 다량의 공기(Entraining Air)를



(그림 2) pH와 용해속도의 관계



(그림 3) 점도와 농도의 관계

발생시킨다. 따라서 적정공기량을 유지하기 위하여 소포제가 사용되며 이러한 소포제들은 사용량, pH, 온도, 증점제의 종류 등에 따라 그 성능이 차이가 난다. 특히 증점제의 종류에 따라 소포제의 선택이 필요하며 증점제의 표면처리 정도에 영향을 받는다. 또한 증점제는 그 자체가 시멘트의 응결을 지연시키는 성능을 나타내기 때문에 표2에 나타난 것과 같이 규산나트륨, 알루미늄나트륨, 황산나트륨 등의 경화촉진제가 사용되어 응결시간을 조절한다.

수중불분리 콘크리트를 제조하기 위하여는 작업성 확보를 위해서 유동화제의 사용이 필수적이다. 수중콘크리트에 사용되는 유동화제는 표2에 나타난 것과 같은 여러 가지의 종류가 있으나 주로 멜라민술폰산계, 나프탈렌술폰산계, 폴리칼본산계등이 사용되면 셀룰로오스계를 사용할 때는 멜라민술폰산계의 유동화제를 아크릴계에서는 멜라민술폰산계, 나프탈렌술폰산계 및 폴리칼본산계등이 사용된다. 유동화제와 수중콘크리트의 응결시간과는 비례하여 유동화제 사용량이 증가할수록 응결시간은 증가하므로 적정사용량에 주의를 요한다.

3. 수중불분리 콘크리트의 품질검사 및 기본물성

수중불분리성 혼화제의 성능을 시험하기 위한 방법은 국내에는 규정이 없고 일본 토목학회의 규정(안)과 일본 연안개발 기술연구센터(안)을 이용하여 평가하고 있다. 아래에 제시된 시험방법은 연안개발 기술연구센터(안)을 기본으로 공기량, 응결, 블리이딩을 측정방법은 KS의 시험방법을 사용하였다.

1) 탁도(현탁물질량), pH측정

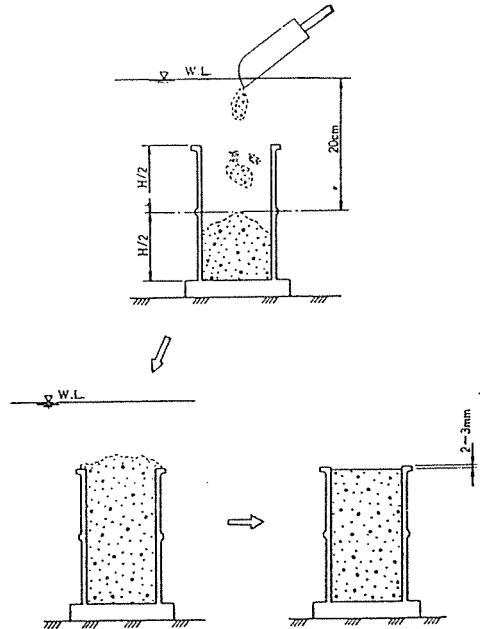
1000ml 비이커에 증류수 800ml를 채우고 수중콘크리트를 500g 채취하여 이를 10회에 걸쳐 수면에서 낙하시킨다. 낙하가 끝난뒤 3분간 정지 후 상층부 용액 600ml를 채취하여 채취한 용액

의 pH를 측정한 뒤 여과하여 부유불순물(탁도)의 양을 측정한다.

탁도와 pH는 수중혼화제의 사용량과 반비례하여 혼화제의 사용량이 많을수록 감소한다. 또한 이것은 콘크리트의 W/C와 슬럼프에 비례하여 W/C가 높을수록, 유동성이 좋을수록 일반적으로 탁도의 양과 pH는 증가한다.

2) 압축강도

압축강도 측정용 시편의 제작방법은 그림4에 나타난 것과 같이 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 압축강도용 몰드틀이용하여 상층부로 부터 10cm높이까지 물을 채우고 이러한 수중에서 다짐없이 제작한다. 이렇게 제작된 수중시편과 기중에서 제작한 시편을 각 재령까지 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 의 수조에서 양생한 후 압축강도를 측정한다.



(그림 4) 압축강도 측정용 시편 제작방법

일반적으로 보통시멘트를 사용했을 경우 재령 7, 28일 강도를 측정하고 조강시멘트등의 특수시멘트를 사용한 경우 재령 3,7,28일의 강도를 측정한다.

압축강도에 미치는 영향으로 최초 콘크리트 배합시의 W/C, 혼화제를 첨가한 콘크리트의 슬럼프, 콘크리트의 공기량등에 의하여 좌우된다.

3) 작업성(Slump Flow)

자기 충전성을 나타내야 하는 수중타설 콘크리트는 슬럼프의 측정만으로는 곤란하므로 슬럼프플로우를 측정하였다.

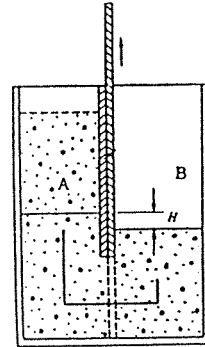
슬럼프콘을 제거한 후 5분 경과 후 콘크리트가 퍼진 길이 3개점을 측정하여 이의 평균값을 슬럼프플로우 값으로 한다. 다짐없이 자기충전성을 발휘하기 위해서는 수중콘크리트 혼화제를 첨가한 콘크리트의 슬럼프플로우가 최소 40cm 이상을 유지해야 가능하며 시공조건에 따른 슬럼프플로우의 범위를 표3에 나타내었다.

4) 충전성 시험

[표3] 시공조건에 따른 슬럼프플로우의 범위

| 시 공 조 건 | 슬럼프플로우의 범위(cm) |
|---|----------------|
| - 경사면과 같이 유동성이 작아도 되는 경우 - 콘크리트 펌프압송 불가 | 30 - 40 |
| - 일반의 경우 - 특별히 복잡한 형상이 없는 부분의 시공 - 콘크리트 펌프에 의한 압송 가능 - 트레미관에 의한 시공 | 40 - 50 |
| - 양호한 충전성 확보시 - 장거리 콘크리트 펌프에 의한 압송 가능 | 45 - 55 |
| - 특별히 높은 유동성을 요하는 경우 | 55 이상 |

수중불분리 콘크리트의 셀프레벨링성과 거푸집내 충전성을 측정하기 위한 방법으로 그림 5와 같은 충전성 측정장치(240 X 240 X 500mm)를 사용하여 용기내에 물을 채운 다음 수중불분리 콘크리트를 수중에 낙하시켜 A실에 40cm높이까지 채운다음 가운데 판을 들어올려 정치후 5분과10분 경과시 A실과 B실의 높이 차이를 측정한다.



(그림 5) 충전성 시험장치

5) 공기량 시험

KS F2421의 굳지않은 콘크리트의 압력법에 의한 공기량함유량 시험법으로 측정한다.

일본 토목학회의 규정(안)에는 4.5%이하로 규정되어 있으며 제작되는 구조물이 수중인 관계로 동결융해에 의한 내구성의 저하는 지상구조물 보다 안전하다. 따라서 공기량은 압축강도에 영향을 미치는 최대값만 설정되어 있다.

6) 응결시험

콘크리트를 No.4의 체로 체가름한 후 KS F2436의 방법에 따라 판입저항침에 의하여 응결시간을 측정한다. 수중불분리 혼화제로 사용되는 증점제는 그 자체가 시멘트의 응결을 지연시키는 성능을 나타내기 때문에 수중불분리 혼화제에는 일정량의 경화촉진제가 사용되어지기도 한다. 특히 겨울철 타설시 수중의 온도가 낮을 경우 콘크리트의 경화는 더욱 늦어질 염려가 있으며 일반적으로 수중콘크리트의 응결시간은 보통콘크리트에 비해 5-8시간 정도 초결, 종결이 지연되어 나타난다.

7) 블리딩율

KS F2414 콘크리트 블리딩 시험방법에 준하여 시험한다. 수중불분리성 혼화제의 주성분인 증점제는 콘크리트 내에서 시멘트 입자간, 시멘트

트 입자와 골재간에 가교역할을 함으로 혼합된 내부의 물이 시멘트 입자사이의 모세관 공극을 통하여 이동하지 못하게 된다. 따라서 콘크리트는 블리이딩이 발생하지 않으며 이러한 블리이딩이 없으므로 장시간 운반에 따른 슬럼프로스의 발생도 현저하게 줄어든다.

표4의 일본 연안개발 기술연구센터에서 제시한 수중불분리 혼화제의 성능규정(안)을 나타내었다.

(표4) 수중불분리성 혼화제의 성능규정
(일본 연안개발 기술연구센터)

| 항 목 | | 기준치 |
|-------------------------------------|-------------|---------|
| 블리이딩율(%) | | 0.1 이하 |
| 수중불분리도 | 현탁물질량(mg/L) | 150 이하 |
| | pH | 12.0 이하 |
| 응결시간(시간) | 초결 | 5 이상 |
| | 중결 | 30 이하 |
| 수중제작공시체의 압축강도비(kg/cm ²) | 재령 7일 | 130 이상 |
| | 재령 28일 | 230 이상 |
| 수중기중제작 공시체의 압축강도비(%) | 재령 7일 | 60 이상 |
| | 재령 28일 | 70 이상 |
| 수중기중제작 공시체의 휨강도의 비(%) | 재령 7일 | 50 이상 |
| | 재령 28일 | 60 이상 |

4. 수중불분리 콘크리트의 제조 및 타설

1) 수중불분리 콘크리트의 제조방법

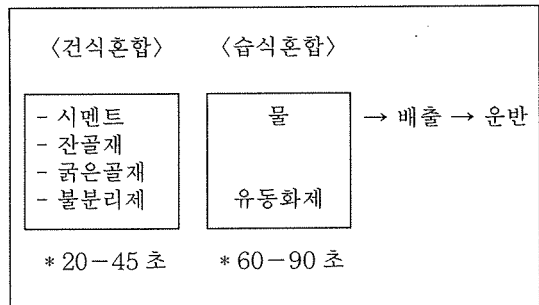
수중불분리 콘크리트는 레미콘 배치플랜트나, 현장 배치플랜트에서 제조하는 것이 가장 일반적인 방법이다. 그러나 공사 현장 사정상 레미콘 믹서차에 투입하여 제조하기도 한다. 이때에는 레미콘 믹서차에 투입하는 일반 콘크리트의 양을 1/2 - 1/3정도 줄여서 투입해야만 수중불분리 혼화제, 유동화제의 알맞은 혼합효과를 볼 수 있다. 수중불분리 혼화제와 유동화제의 투입순서는 적정 유동화제량의 1/3정도를 레미콘 믹서차에 먼저 투입하여 일반콘크리트의 슬럼프를 높은 상태로 만든 후 불분리 혼화제를 1/2정도 투입하고 이 후 계속적인 교반 가운데 나머지의 유동화제와 수중불분

리 혼화제를 순서적으로 투입한다. 만약 수중불분리 혼화제를 먼저 투입하며 불분리혼화제의 점착력에 의해 일반 콘크리트가 덩어리진 상태로 있게 되며 이후 첨가된 유동화제로 이것을 분산시키려면 더 많은 교반시간을 필요로 하게 된다.

수중불분리 콘크리트의 배치플랜트 제조는 그림6과 같이 건식혼합과 습식혼합을 함께 하는 것이 유리하다. 건식혼합시 시멘트, 잔골재, 굵은골재를 함께 투입하여 혼합하는 방식과 굵은골재를 제외하고 혼합하는 방식이 있으며 특히 시멘트와의 혼합은 필수적이다. 점착력이 높은 불분리제는 시멘트와 충분한 혼합이 이루어지지 않았을 경우 습식혼합시 물 투입 후 혼합시간이 충분하여도 불분리제가 물에 용해되지 않아 혼합불량의 상태가 발견될 수 있다.

이밖에도 배치플랜트의 혼합방법에 영향을 받을 수 있는데 1축 가경식믹서의 경우 건식혼합을 45초이상, 습식혼합은 90초이상 해야 양질의 수중불분리 콘크리트 제조가 가능하며 2축 강제식믹서의 경우 건식 20-30초, 습식 60-90초로 가능하다. 습식혼합에서는 물과 유동화제가 첨가되며 이때 물과 유동화제를 동시에 투입하여 혼합하는 것이 바람직하다. 물이 먼저 투입될 경우 불분리제의 점착력에 의하여 콘크리트가 덩어리질 염려가 있으며 유동화제가 먼저 첨가될 경우 콘크리트에 비해 적은 유동화제 양으로 혼합시 많은 시간이 소모된다.

현재 국내의 레미콘 또는 현장 배치플랜트에는 대부분 수중불분리 혼화제를 투입하기 위한 별도



(그림 6) 수중불분리 콘크리트 제조과정

의 분말 계량장치가 마련되지 않은 경우가 많으므로 불분리제의 투입은 골재 이송 컨베이어에서 정량의 불분리제를 골재와 함께 투입하는 방법이 사용될 수 있다.

2) 수중불분리 콘크리트의 타설

제조된 수중불분리 콘크리트의 현장 타설 방법으로는 펌프카에 의한 펌핑방법, 트레미관에 의한 타설, 크레인용 버킷 등의 방법이 주로 사용된다. 수중불분리 콘크리트는 점성이 커서 펌프압송시 저항이 크게 되므로 압송능력이 큰 피스톤식을 주로 사용하며 압송시의 저항은 일반 콘크리트의 2 - 3배 수준이고 타설속도는 일반 콘크리트의 1/2 - 1/3정도(5 - 10m³/hr)이다.⁽⁷⁾ 펌프압송시 타설되는 콘크리트가 중간에 끊기는 경우 펌핑저항에 의하여 펌핑호스가 파열되는 경우도 발생하며 토출부위의 콘크리트를 수중에 자유낙하시킬 경우에는 낙하거리 50cm 이하로 관리해야 양질의 수중콘크리트를 제조할 수 있다.

트레미관에 의한 타설시에는 타설되는 콘크리트가 최초 콘크리트를 제외하고 물과 직접 접촉하지 않기 때문에 고품위의 수중타설이 가능하다. 주의점으로는 콘크리트가 중간에 끊기지 않고 연속적으로 타설되도록 해야 하며 일정량의 콘크리트 타설 후 트레미관을 연속적으로 들어올려 트레미관의 끝부분이 일정한 깊이만큼 콘크리트 속에 묻혀 있도록 해야 한다.

버킷에 의한 타설방법은 콘크리트를 담은 버킷을 타설위치까지 내려서 타설하는 방법으로, 비교적 간편하고 짧은시간내 많은 양의 타설이 가능하다. 그러나 자칫 수중에서의 자유낙하 거리가 길어지는 단점이 있다.

5. 맺음말

최근들어 수중불분리 콘크리트의 환경문제, 부실시공 방지에 대한 사회적인 관심의 증대와 함께 점차 사용이 확대되고 있으나, 아직까지 보편화되지 못한 생소한 재료이며 이에대한 전문적인 지식

이나 현장 타설 경험이 거의 없는 실정이다. 또한 수중불분리 혼화제가 기존 AE감수제 등에 비하여 상당히 고가품인 관계로 이것을 이용한 수중불분리 콘크리트의 제조는 재료비 상승 측면 때문에 현장에 쉽게 적용하지 못하는 어려움도 있다. 그러나 이러한 단점에도 불구하고 신뢰성이 높은 수중구조물을 제조할 수 있으며 시멘트 유출로 인한 수중오염을 방지할 수 있다는 큰 장점이 있다.

최근 국내에서도 해양개발 추세에 따라 점차 수중 구조물에 대한 수요가 증가하는 추세에 있고 삼면이 바다로 둘러싸인 우리나라의 지리학적 여건상 항만, 해양, 연육교통 바다와 관련된 공사가 큰 비중을 차지하고 있다. 따라서 이러한 공사를 하기 위한 필수재료인 수중불분리성 콘크리트의 중요성과 수요는 앞으로 계속 증가되리라 생각되면 이에관한 건설업계 실무자들의 지식과 경험의 축적 또한 필요하다고 생각된다.

참고문헌

1. 신도철, 이종열, "수중불분리 콘크리트 물성에 미치는 혼화제의 영향에 관한 기초 연구" 한국콘크리트학회 논문집, 제6권 2호, 1994, pp.180-185.
2. 김진철외 3명, "수중불분리성 콘크리트의 기초물서에 대하여", 한국콘크리트학회 논문집, 제7권 1호, 1995, pp.1-7
3. 김선만, 김영수, "수중콘크리트의 분리 저항성에 미치는 증점제의 영향", 한국콘크리트학회 논문집, 제8권 1호, 1996, pp.117-122.
4. 심재범, 김영철, "수중콘크리트에 관한 최적공법의 비교연구", 한국건설기술연구원, 1985.
5. 立畑節浪, "特殊水中コンクリート", Gypsum & Lime, No.213, 1988, pp.43-50.
6. (財)沿岸開發技術研究センター, (재)漁港漁村建設技術研究所, "水中不分離性コンクリートマニュアル", 山海堂, 1986.
7. 이종열, 신도철, "수중불분리성 혼화제를 이용한 수중콘크리트의 특성과 전망", 건자재, 통권6호, 1996, pp.194-201.