

레미콘 技術動向

시멘트계 신소재 「MPC」개발

일본 前田製管 中央研究所는 시멘트, 열경화성 수지, 미량의 첨가제 등의 3가지 물질을 혼합하여 200°C에서 열처리함으로써 시멘트와 수지를 세라믹상으로 경화시킨 신소재를 개발하였다.

일반적으로 시멘트 제품 압축강도는 높으나 휨강도는 70kgf/cm² 정도로 섬유보강에 의해서도 400kgf/cm²를 초과하기는 힘들고, 수용성 폴리머를 사용 경화후의 조직중에 포함된 공극을 극단적으로 줄여도 압축강도는 2,000kgf/cm²에 달하지만 인장강도는 여전히 낮을 뿐만 아니라 耐水性, 耐熱성의 결함이 있다.

새로 개발된 복합체는 시멘트를 반죽할 때 물은 일체 사용하지 않고 열경화성수지로 반죽하여 공극을 줄이게 되는데, 시트상으로 성형하여 200°C정도로 수시간 열처리하여 경화시에 수지로 부터 발생하는 소량의 물로서 시멘트의 표면과 반응시켜 시멘트 입자와 수지 경계면에 강력한 접착층을 형성하는 것이다.

이러한 新시멘트 복합체의 물성으로는 밀도가 2.2~2.3 g/cm³이고 휨강도 1,200~2,200 kgf/cm², 압축강도 약 3,000kgf/cm²의 고강도를 얻게 된다. 또 내열성이나 내수성이 뛰어나서 휨강도가 양질의 목재의 2~3배, 섬유보강된

알루미늄의 강도에 필적하고 있다.

사용되는 소재는 통상의 시멘트를 사용하여 파인세라믹과 같이 1,000°C 이상의 온도로 소성할 필요가 없기 때문에 제조코스트도 그리 높지 않다. 향후 기대되는 용도로는 매설거푸집, OA 플로어판, 내외장재, 지붕재 등의 토목, 건축용 자재 외에도 기계, 수송 관련, 전기 관련 등의 다양한 용도가 생각되고 있다. (橋梁, 1994. 3)

산성비에 의한 콘크리트의 열화

산성비의 산성도는 연평균 pH4.4~5.5로 이것은 지역별로 큰 차이가 없다. 산성비에 의한 피해는 특히 유럽과 북미지역에서 심각한데, 삼림이나 호수 등의 산성피해는 사례가 종종 보고되고 있다. 그 중에서도 스웨덴의 경우에는 약 18%의 호수가 산성화되었고, 약 5%는 호수의 모든 어류가 때죽음을 당하고 있다.

플라스틱 등의 화학제품은 대체로 산성비에 대한 耐酸性이 뛰어나지만 석재, 콘크리트 등의 천연재료는 내산성이 떨어진다. 예를 들면 0.5%의 황산용액에 담가놓은 모르타르의 강도 저하는 <표 1>과 같다.

〈표 1〉 0.5% 황산용액에서 각종 시멘트모르타르의 압축강도

시멘트의 종류	황산 침적후의 모르타르 압축강도(kgf/cm ²)				
	침적일수(일)				
	0	28	91	182	365
보통포틀랜드시멘트	266	361	383	283	143
중용열포틀랜드시멘트	183	364	390	342	183
조강포틀랜드시멘트	349	407	368	306	164
고로시멘트	223	333	313	붕괴	—
시리카시멘트	207	288	279	99	56

일반적으로 산성용액에서 콘크리트의 강도 열화와는 달리, 산성비에 의한 직접적인 콘크리트의 강도 변화는 그리 크지 않다. 그러나 저품질콘크리트나 균열 등이 발생한 콘크리트에서는 시멘트 경화체의 분해나 피해를 발생시키는 것으로 지적되면서 가까운 장래에 이러한 피해에 따른 구조적인 결함까지도 야기될 경우도 우려되고 있다.

pH4 정도의 강한 산성비가 내리는 경우에 고품질콘크리트에서는 표면이 다소 손상을 받지만 내부는 큰 영향이 없다. 그러나 균열이 존재하거나 저품질콘크리트의 경우에는 산성비가 콘크리트 내부에 침투하여 콘크리트가 탄산화되고 조직이 급격히 분해시킨다.

(일본 토목학회지, 1994. 5)

高流動 콘크리트

「MHF 크리트」를 실제 적용

일본의 前田建設(株)는 건축물에 高流動콘크리트 「MHF크리트」를 실제 구조물에 적용하였다. 동 기술은 同社 기술연구소가 小野田시멘트(株)의 협력을 받아 실용화한 기술이

다.

고유동성과 분리저항성을 가지기 때문에 일반 부재나 부위에 적용할 경우에 바이브레이터를 사용하지 않고 다짐할 수 있는 우수한 충전성을 갖고 있다.

이러한 특성으로 시공결함의 방지, 耐久性の 향상, 타설의 省人化, 省力化, 合理化를 이룰 수 있는 충전성을 나타낸다.

이미 실내 시험에서는 기본적인 성능을 확인하였고 실물 모형실험에서도 시공성과 실용성을 검증하였다.

이번에 최초로 적용한 건축물은 건축면적 494.40㎡ 연건평 1252.29㎡의 RC조 3층 건물로 프리캐스트 보 부재를 일부 채용하였다.

고로슬라그 微粉末을 이용한 2成分系의 고유동콘크리트를 1층의 기둥과 벽 부재에 적용한 결과(打設數量 115m³, 打設速度 20m³/時) 다음과 같은 결과를 얻었다.

① 프리캐스트 보 부재의 벽(특히 하부벽), 開口部下の 벽, 복잡한 형상의 벽 및 얇은 벽 등(통상의 콘크리트 타설이 곤란한 부위)에서 양호한 충전성을 확인하였다.

② 프레스상태의 성상에서는 믹서차간의 변동이 거의 없이 안정된 공급이 가능하며, 하역시의 품질도 품질관리 목표치(슬럼프플로어: 60 ± 5 cm, VF 값: 17 cm 이상, 공기량: 4.0 ± 1.5%)를 만족하였다.

③ 강도에서는 재령 28일에 표준양생 공시체 강도가 644kg/cm²를 보여 품질관리 목표치(F₂₈ ≥ 600kg/cm²)를 만족하였다.

④ 펌프압송시의 압송부하, 거푸집 각 위치의 측압 등도 예상한 값대로 나타났다.

또 耐久性에 대해서는 促進養生試驗, 暴露中性化試驗, 凍結融解試驗 등을 현재 계획중에 있다.

동사에서는 금후 MHF크리트를 초고층건축, 타입거푸집 등에 본격적으로 적용할 방침이다. (建築技術, no.527, 1994)

우주에서 콘크리트 수화반응 실험 계획

알라바마대학에서는 마스터빌즈사와 공동으로 콘크리트의 혼합, 양생, 수화 등에 관한 실험을 우주공간에서 하기로 계획하고 있다. 이 계획은 NASA의 협조하에 대기권 밖을 도는 우주선에 직접 탑승하여 콘크리트의 혼합, 반죽, 양생을 하게 되는데 이에 필요한 시험기도 함께 장치하게 된다.

이 실험의 목적은 콘크리트의 미세중력과 무중력하의 결합구조를 밝혀내고 외계에서의 콘크리트의 구조물 건설을 위한 정보를 수집하는데 있다. 우주선에서 양생을 거친 콘크리트 시험체는 지구에서 제작된 콘크리트와 비교 실험을 하게 된다.

이러한 일련의 프로젝트를 통하여 향후 달기 지 건설 등의 우주개발에서 콘크리트의 특성을 규명하고자 한다. (Concrete Construction, 1994. 4)

콘크리트폐재 재활용시스템 도입 활발

콘크리트폐재의 재활용시스템의 국내 도입이 활발히 전개되고 있다. 지난해까지는 건설폐기물의 재활용을 위한 설비시스템의 도입이 전무한 상태였으나, 금년부터 적용된 건설부산물 재활용 의무화 정책과 더불어 재활용 설비의 보급이 확대되고 있고 등 분야의 사업은 앞으로 계속 확대될 전망이다.

(주)삼천리기계, (주)수산중공업 등 기계매

이커를 중심으로 성장한 업체들의 움직임이 가장 활발하고, (주)삼오코리아 등 무역전문업체들도 외국의 전문메이커의 장비도입을 적극 추진하고 있다.

기존에 국내에 사용되고 있는 석산의 자연석을 파쇄하는 방식은 Jaw Crusher(1차 파쇄용)와 Cone Crusher(2차파쇄용)를 사용하여 왔으나 이러한 기계시스템이 주로 암석 파쇄용이므로 철근이 포함된 RC구조체의 폐기물을 파쇄하는데는 적합하지 않다. 즉 콘크리트의 폐재의 파쇄시스템이 기존의 압축식이나 마찰식이 아닌 임팩트 크러셔가 선진국에서는 일반적으로 보급되고 있다.

(주)삼천리기계는 오스트리아의 SBM사와 기술제휴로 임팩트 크러셔를 개발하여 생산단계에 이르렀고, (주)수산중공업은 독일의 BURO NIEDERHAGE BOCK사와 기술제휴로 국내 실정에 맞는 임팩트 크러셔를 개발하여 생산에 들어갔다.

또 (주)삼오코리아는 미국의 EXCEL RECYCLING & MANUFACTURING INC로부터 임팩트 크러셔를 수입하여 국내에 보급하고 있으며 이외에도 일본, 스웨덴 등에서 생산되는 크러셔를 전문 무역업체에서 수입, 보급할 예정이다. 각 업체에서는 설비의 크기 및 기종에 따라 2억 5천만원에서 최고 6억원의 가격으로 보급되고 있다. (건재리포트 1994. 4)

벨기에 ABR사의 재생골재 플랜트

벨기에의 브뤼셀시 근교에 있는 ALL Belgian Recycling사는 최근에 설비를 대폭 일신하였는데, 공장 주위를 騒音, 景觀對策의 일환으로 약 7m의 벽으로 둘러 싸고 있다. 용지면적은 약 8ha, 설비투자 약 1억BFr(25억원),

종업원 12명으로 현재 收支밸런스를 맞추고 있으며 다소의 영업이익을 올리고 있다. 이 회사는 국가로부터 일체의 원조를 받지 않고 독립적으로 운영되고 있다.

ABR사의 주요설비는 파쇄능력 150t/hr의 조 크러셔(1차파쇄), 2차파쇄기로 콘크러셔, 철을 제거하는 磁選機, 異物質을 비중에 의해 제거하는 세정조 등으로 구성되고 있으며 汚水는 沈澱槽에 모아서 上澄水는 회수하여 순환 사용하고 汚水는 공장 밖으로 배출하지 않는다.

폐재는 콘크리트, 기와, 콘크리트제품, 아스팔트 덩어리 등을 주로 받는데 1일 18톤 대형차의 150대분을 입수하고 있다. 연간 200일 가동으로 25~30만톤을 입수하고 있다. 또 이 물질의 허용혼입량은 콘크리트나 아스팔트 덩어리에 대하여 목재비율 10% 미만, 플라스틱류 10% 미만으로 하고 이러한 기준치를 초과하면 특별요금을 받고 있다.

폐재의 입수비용은 고품질콘크리트는 약 560원/t, 일반 건설폐재 1,200원/t, 혼합폐재 약 10,000원/t씩을 받고 있다. 재이용 상황은 도로노반재 80%, 압축강도 250kg/cm² 이하의 저품질콘크리트 20% 정도를 사용하고 있다.

동사에서 제조한 재생골재의 판매가격은 약 5,000원/t으로 연간 재생골재 판매액은 11억원으로 23만톤에 이른다. 또 고철은 약 75,000원/t로 판매되고 있다.

현재 벨기에는 콘크리트폐재의 재이용률이 85%에 이르고 있으며 약 15% 정도만이 매립 처분되고 있다. (Cement Concrete, 1994. 4)

발광다이오드를 내장한 콘크리트제품

최근에 공원, 도로, 광장 등의 구조물에 LED를 응용한 제품들이 많이 나오고 있다.

LED시스템은 LED유닛과 전원제어장치(컨트롤러와 솔라유닛) 및 전기공사용 결선박스 등으로 구성되어 있다. LED유닛으로 발광하는 빛의 색은 赤, 黃, 綠, 橙의 4가지가 주류이고 설계수명은 대개 40,000시간이며 제조방법과 응용제품의 종류는 업체마다 다르다.

지금까지의 응용예를 보면 도로경계선, 연석, 공원의 표시대, 도보교의 계단, 각종 경관제품의 응용, 주차장, 도로표시판 등에 사용된다.

이러한 발광다이오드를 콘크리트에 내장시킨 제품이 많이 나오고 있는 이유는 도시 조형물의 경관대책, 교통구조물의 야간 안전성 등의 기능 요구에 부응할 수 있기 때문이다. (GYP-SUM LIME, no.246, 1993)

레미콘 트럭 내부의 콘크리트 付着을 억제하는 點檢窓

(주)總合콘크리트서비스는 레미콘차 내부를 자유롭게 점검할 수 있는 점검창을 개발하여 레미콘 차 내부의 청소와 품질의 직접적인 확인, 혼화제 첨가시의 효과적인 혼합 등에 사용할 수 있다는 것.

레미콘 트럭 내부에 부착한 콘크리트는 상당히 문제가 되고 있는데, 심한 경우는 1대당 1톤 가까운 콘크리트가 부착되기도 한다. 특히 슬럼프가 적은 된비빔콘크리트나 시멘트량이 많은 고강도콘크리트의 경우에는 부착의 정도가 더욱 심하다. 이러한 드럼내의 부착을 미연에 방지하는 것은 콘크리트 품질안정화의 중요한 요소이다. 그러나 레미콘차 드럼 내부의 청소는 중노동이 필요하고 많은 물량이 요구된다. 그리고 여기서 발생하는 폐기물 문제와 산업폐수도 문제가 되고 있다. 이번에 개발된 점검창은 드럼의 회전날개 부분에 창을 설치하여 고수압으로 드럼내부와 날개에 묻은 콘크리트

를 제거할 수 있다. 또 믹싱중에도 레미콘의 품질을 쉽게 확인할 수도 있다. 동사는 이 점 검찰을 신차나 기존의 레미콘 차량에 설치하여 레미콘의 품질성과 운영 능력을 향상시킨다는 방침이다. (建築技術, 1994. 6)

95% 리사이클이 가능한 거푸집 개발

일본 鹿島建設은 사용 후에 리사이클이 가능한 플라스틱 거푸집 「프라카터」를 개발하여 실용화하였다.

「프라카터」는 폴리프로필렌수지를 원료로 하여 단볼상의 단면 형상에 압출성형한 거푸집이다. 원료로는 글라스섬유 등을 혼합하지 않기 때문에 사용이 끝난 후에도 분쇄·선별·팔렛화하여 약 95%를 회수하여 리사이클이 가능한 것이 최대의 특징.

이외에도 ① 절단, 못질, 휨가공 등이 자유롭고, ② 사용회수와 합판의 것과 동등하며 ③ 합판의 반 정도 무게로 초경량이다. ④ 또, 투광성이 있는 재질을 사용하면 콘크리트의 타설상황을 검사할 수 있으며, ⑤ 콘크리트의 박리제가 필요없고 ⑥ 자외선에도 비교적 강한 특징이 있다.

본 개발품의 가격은 리사이클료를 포함하여 1㎡당 2,400~2,900엔이다. (Cement concrete, 1994. 5)

획기적인 레미콘 해상공급시스템

소야전시멘트는 세계 최초로 「해상 레미콘 공급시스템」을 개발하였다. 이것은 關西國際空

港에 레미콘을 공급하는 동사가 금년 9월에 개항하는 공항 용지내에 레미콘 공장을 철거하고 해상에서 레미콘을 공급할 필요가 생기면서 레미콘의 새로운 해상공급시스템을 개발한 것.

이 시스템은 종래의 플랜트船과는 달리 선체 앞 부분에 카페리 등에 있는 可動式 棧橋를 설치하고, 여기에 아지테이터차를 실을 수 있게 만든 것이다. 이 시스템의 도입으로 출하시간의 단축, 품질관리의 용이, 20종 이상의 다양한 시멘트 사용에 대한 레미콘 생산 등이 가능하다. 금후에는 해양구조물이나 해안공사, 임해부 공사에 위력을 발휘할 것으로 보인다.

동양시멘트, 바닥미장용 모르타르 양산체제

동양시멘트가 고층빌딩이나 아파트 등 대형건물의 바닥 마감재로 쓰이는 바닥 미장용 모르타르를 시공 능력을 향상시키기 위해서 벌크 상태로 대량공급하기 위한 양산체제로 들어갔다. 벌크상태로 공급되는 동 제품은 기존의 40kg단위의 포대로 공급되던 것보다 인력이 적게 들고 정밀도가 크게 향상되는 장점을 지녔고, 시공 후에도 균열 발생 등을 최소화할 수 있도록 섬유보강재를 첨가하였다.

또 벌크상태로 공급되는 점을 감안하여 현장 설치용 간이 사이로와 혼합기를 무료 공급하기로 했다.

건설업계, 해외시장 진출 활기

올들어 동남아를 중심으로 한 국내 건설업체들의 해외시장 진출이 활기를 띠고 있다. 건설

부에 따르면 올들어 4월말 현재 17개 건설업체가 해외건설시장에서 모두 38건의 15억2천1백만 달러 규모의 공사를 수주하였다.

이는 지난해 같은 기간보다 건수로는 58%, 금액으로는 70%가 늘어난 것이다. 그리고 동남아시아의 경제 활성화, 베트남 경제 제재 해제, 중동평화협상의 진전, 중국의 개방정책의 가속화로 올해 수주액은 작년의 51억 2천만달러를 크게 상회하는 60억달러 이상이 될 것으로 전망되고 있다.

해외건설 수주는 특히 방글라데시, 싱가포르, 태국, 말레이시아 등 동남아 국가에서 두드러져 전체 수주건수의 68.4%, 금액의 62.5%를 차지했다.

美國의 建設分野 R&D 投資 너무나 低調

이제까지 미국내의 建設分野의 研究開發을 위한 投資額이 정확하게 조사된 자료가 거의 없었고 이미 발표된 내용들도 기관마다 큰 차이를 보이고 있었다.

최근에 워싱턴에 본부를 두고 國家科學財團(NSF, National Science Foundation)의 지원을 받는 建設工學研究財團(CERF, Civil Engineering Research Foundation)이 建設분야 연구개발 투자내용을 상세하게 보고하였다. 그런데 建設분야의 R&D 투자 내용을 국가연구자문위원회에서 보고한 후로는 10년 만에 처음이다.

55개의 비영리법인, 50개사의 종합건설업체, 50개사의 대형설계회사, 50개의 건설관련 제조업체 등을 포함하는 303개사에 대하여 조사한 결과를 발표한 것이다.

이번의 조사 결과에서 미국내의 건설업체들의 R&D 투자는 타 産業에 비해서도 낮고, 일

본이나 유럽의 건설업과 관련해서도 소극적인 형태임이 드러났다. 미국내의 1992년의 建設분야 R&D총 투자규모는 21억달러로 이것은 同 期間 미국 建設産業의 建設투자액 4258억 달러의 0.05%에 불과하다. 미국내의 같은 기간의 전 産業의 R&D 투자규모가 3.4%인 것을 감안할 때 이러한 투자내용은 턱없이 낮은 것이다.

그동안에 일본 건설업계는 建設분야의 自動化, 로봇化에 집중적인 투자를 하고 유럽업체들은 高耐久性콘크리트나 複合材料 등의 建設新材料 開發에 많은 투자를 아끼지 않고 있는 것이다. 따라서 미국내의 모든 公共프로젝트에 대해서는 0.01~0.05%의 R&D 基金을 출연시켜 국가 주도의 建設분야 연구개발에 눈을 돌려야 한다고 이 보고서에서는 지적하고 있다.

최근 20년간에 걸쳐서 일본 건설업계의 R&D투자에 대한 성공으로 이미 세계 建設기술 분야에서 일본이 한발짝 앞으로 나아가고 있다고 지적하고 최근의 해외 주요프로젝트의 수주 현황을 보면 기술개발이 승부의 포인트라는 점을 간과해서는 안된다고 지적하고 있다. (ENR, Vol.231, no.24, 1994)

事務所빌딩, 集合住宅의 쓰레기처리시스템

日本の 鹿島는 사무소빌딩, 집합주택, 호텔 등에 일반폐기물을 대상으로 하는 쓰레기처리 시스템 「리사이클링시스템」을 새로이 개발하였다.

同 시스템은 쓰레기를 高溫 메탄균으로 生物的으로 分解處理하는 「쓰레기처리장치」, 再生不可能한 종이(FAX 등)를 마이크로웨이브로 燒却시키는 「종이쓰레기소각기」, 통상의 엘리

베이터 하단부에 쓰레기 受納空間을 설치하는 「二段式엘리베이터」를 유기적으로 조합시킨 것이다.

그 중에서 쓰레기처리장치의 특징으로는 ① 염기성-高溫탱크군에 의해 분해시의 동력장치를 대폭으로 경감할 수 있고, ② 처리시에 발생하는 메탄가스를 회수하여 연료로서 再利用할 수 있으며 ③ 燒却하지 않기 때문에 소각재나 탄산가스가 발생하지 않는 등의 장점을 가지고 있다. 처리프로세스는 쓰레기의 粉碎 → 메탄 醱酵槽 → 活性汚泥槽 → 沈澱槽 → 處理水排出 등의 순서이다.

또 종이 쓰레기 燒却器의 특징은 다음과 같다.

① 마이크로파에 의해 蒸發 燃燒시키기 때문에 산소가 필요없고, 종이쓰레기의 중심부까지 열이 침투한다.

② 불을 사용하지 않기 때문에 안전하여 빌딩내의 종이 등을 소각할 때 적당하다.

③ 또 탄산가스의 발생이 억제되기 때문에 지구온난화방지효과가 있다.

④ 廢熱을 급탕 등으로 이용할 수 있다.

⑤ 전기로 가열에 의한 방법 보다도 에너지가 절감된다.

그리고 이단식 엘리베이터는 통상의 엘리베이터 하부에 쓰레기 수납공간을 설치한 것으로 주요한 특징은 다음과 같다.

① 쓰레기 전용장치 샤프트엘리베이터가 필요없어, 실용적, 경제적이다.

② 사람과 쓰레기를 분리하므로 위생적이다.

③ 보통은 승용 전용으로 운행되지만 운전 모드를 변화시켜 쓰레기 반송용으로 사용하게 된다.

최근들어 OA화의 영향 등으로 事務所빌딩 등에서 배출되는 쓰레기는 매년 증가하고 있다. 일반적으로 빌딩에서 배출되는 쓰레기는 약40%가 OA지, 신문, 병 등의 再生 可能한 資源 쓰레기이고, 30%가 一般쓰레기, 15%가 再生 不可能한 可燃性의 종이쓰레기, 15%가 큰 덩어리의 不燃性 쓰레기이다. (建築技術, no.526, 1994)

사각형 단면의 深層混合處理工法

軟弱地盤의 建設工事は 지금까지 다양한 공법이 선보이고 있다. 이 중에서 시멘트 슬러리계의 深層混合處理工法은 연약한 점성토층이나 모래층에 대해서 신뢰성이 높은 공법으로 시공실적이 해마다 증가되는 경향을 보이고 있다.

日本 清水建設(株)에서 개발한 사각형 단면의 單層混合處理工法은 종래의 심층혼합처리공법을 더욱 발전시킨 것으로 종래의 기계에 垂直攪拌裝置를 부착시켜 垂直攪拌裝置의 날개의 회전에 의해서 개량할 지반을 종래의 누에형(雙圓形)에서 長方形으로 改良된 벽체나 블록을 형성시키는 공법이다.

이번에 개발된 심층혼합처리공법은 水平攪拌裝置와 守直攪拌裝置의 2종류의 회전 날개를 가지고 있다. 시공시에는 이러한 攪拌裝置의 칼날을 회전시키고 선단부의 굴착비트에서 固化材를 吐出하면서 地中으로 貫入하게 된다.

이처럼 개량체를 직방체로 하는 목적은 개량을 100%의 심층혼합처리를 하게 되어 개량체 전 지반을 일체로 만들 수 있다. 종래의 타원형 개량체는 개량체와 개량체 기둥 사이에 빈공간이 남게 되어 힘의 전달이 어려워 橫方向 外力에 대해서 확실한 힘의 전달능력이 떨어지게 되지만 새로운 공법에 의해 개량체가 장방형으로 구성된 일체식 개량공법은 횡방향에 대한 확실한 힘의 전달을 기대할 수 있다.

본 공법의 用途로는 교량의 기초부, 옹벽 등의 수평력을 받게되는 지중구조물의 횡방향 구속이나 비탈면 등의 수동토압이 증가되는 부위의 先行 改良, 개량체를 구조체로 하는 지중연속벽 등에 이용될 수 있다. 또 모래지반의 개량에서는 액상화방지 등의 효과도 나타낸다. (電力土木, no.250, 1994)

(産業技術情報院 責任研究員 文 英鎬 提供)