

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “자체 팽창형 지하수 굴착공 막음장치 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2006년 1월 일

주관연구기관명 : (주)지앤지테크놀러지

총괄연구책임자 : 조 희 남

세부연구책임자 : 박 은 경

연 구 원 : 김 종 남

연 구 원 : 박 미 나

연 구 원 : 추 정 하

위탁연구기관명 : 국립 공 주 대 학 교

위탁연구책임자 : 구 민 호

요 약 문

I. 제목

자체 팽창형 지하수 굴착공 막음 장치 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

현재 우리나라의 지하수 관정개발 공수는 2003년 말 기준 농업용을 포함하여 1,228,290여개 공이며 년 간 개발공수는 33,590여개 공에 달하고 있다. 또한 지하수 성공율은 평균50%로 산정 시 년 간 약 16,500여개 공의 폐공이 발생되고 있다 하겠다. 이렇게 발생하는 폐공을 경제적이고 견실하게 원상 복구할 수 있는 장치의 개발이 필수적으로 필요하게 되었다. 따라서 현장에서 별도의 기구가 필요하지 않는 자체팽창용 지하수 굴착공 막음장치의 개발을 시행하게 되었다.

III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구는 자체팽창용 지하수 굴착공 막음장치를 개발하기 위하여 폐공 팽창팩카의 몸체와 튜브보호막, 자체팽창용 투입장치, 믹싱장치, 고심도 팽창팩카 튜브제작, 시제품의 제작 및 일부 제조 설비를 갖추고 관련공업 소유권을 출원하는 것으로 그 내용과 범위를 설정하였다. 이러한 연구개발 과정은 각 규격별 팽창튜브 제작을 위한 금형가공이 완료되어 시제품 제작을 마쳤고 나일론사를 함침시켜 제작한 고심도 팽창팩카용 튜브제작을 완료하였다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

본 연구개발 결과 폐공 원상복구를 위한 자체팽창용 지하수 굴착공 막음 장치의 개발이 완료되어 현장적용이 가능하게 되었다. 연구결과 활용성을 높이기 위해서는 농림부에서 발주하는 농촌 농업 생활용수 개발을 위한 지하수 굴착공의 폐공 원상복구에 본 연구개발 결과를 의무 적용시키는 것을 고려하여 볼 수 있다.

SUMMARY

(영문 요약문)

I. Title

Development self expansion type protector device for the ground water well

II. Purpose and necessity of research and development

Actually, numbers of underground water tube well development wells are 1,228,290 including those for agriculture end of 2003 and annual numbers of developed wells are reaching in 33,590. Also, unused wells of about 16,500 are produced annually when calculate the underground water rate of effect by average 50%. The development of equipment that can return steadily original state of unused well produced like this was needed compulsorily. Therefore, the development of self expander type underground water excavation well plugging equipment that special device is not needed on the spot is put in operation.

III. Contents and extent of research and development

This study established the contents and extent by applying for related industrial property providing the equipment of body and tube over coating of unused well expand packer, injection device for self expand, mixing device, production of high-depth tube of expand packer, production of prototype to develop self expand underground water excavation plugging equipment. This research and development process completed the prototype manufacture by ending the mold processing to produce expand tube by each standard, and completed the tube production for high depth expand packer produced by impregnation of nylon.

IV. Proposal about research and development result and practical use

Development of underground water excavation plugging devices for self expand to make original state rehabilitation of unused well make the spot operation available. To improve the practicality, must be considered applying of result of this research

and development about unused well that is produced at underground water tube well development for development of agricultural living water ordering from the Ministry of Agriculture & Forestry

CONTENTS

(영문목차)

| | |
|---|----|
| Chapter 1. Resume of subject of R & D | 12 |
| Chapter 2. Domestic and foreign situation of technical R & D | 14 |
| Chapter 3. Contents of execution and result of R & D ... | 17 |
| Chapter 4. Accomplishment of goal and contribution to related fields | 54 |
| Chapter 5. Plan of practical application of the result of R & D | 66 |
| Chapter 6. References | 68 |
| Appendix | 69 |

목 차

| | |
|---------------------------------|----|
| 제 1 장 연구개발 과제의 개요 | 12 |
| 제 2 장 국내외 기술개발 현황 | 14 |
| 제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과 | 17 |
| 제 4 장 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도 | 54 |
| 제 5 장 연구개발 결과의 활용 계획 | 66 |
| 제 6 장 참고문헌 | 68 |
| 부 록 | 69 |

표 목 차

| | |
|---|----|
| (표 1) 원자재 고무재질별 특성 및 용도 | 22 |
| (표 2) 실리콘 고무의 특성 | 23 |
| (표 3) 인장강도, 신장율 및 경도(Hs)의 시험결과 | 25 |
| (표 4) 초속경시멘트 경화시험 후 실리콘 고무의 인장강도, 신장율 및 경도의 변화 | 26 |
| (표 5) 팽창팩카 튜브 및 금형 설계 규격별 사양 | 30 |
| (표 6) 팽창팩카 튜브용 금형 설계 규격별 사양 | 34 |
| (표 7) 팽창팩카 몸체의 주요공통 부분별 SIZE | 38 |
| (표 8) 팽창팩카 튜브 및 금형 설계 규격별 사양 | 55 |
| (표 9) 제작처별 금형의 규격 | 56 |
| (표 10) 벤토나이트 제재 + 물(H ₂ O)결합 시 팽창성 | 56 |
| (표 11) 연구개발기술의 경제성 비교 | 64 |

사 진 목 차

| | |
|---------------------------------------|----|
| (사진 1) 팽창팩커용 실리콘 고무 | 24 |
| (사진 2) 시험편(시험 전) 실리콘 고무 | 24 |
| (사진 3) 시험편(시험 후) 실리콘 고무 | 24 |
| (사진 4) 시험 전 시료설치(K-타입열전대와 실리콘고무)..... | 26 |
| (사진 5) 시험 후 초속경시멘트의 경화시험 | 26 |
| (사진 6) 초속경시멘트 경화시험 전 시험편 | 27 |
| (사진 7) 초속경시멘트 경화시험 후 시험편 | 27 |
| (사진 8) 초속경시멘트의 경화시간에 따른 온도변화 | 27 |
| (사진 9) 에폭시 A제 투입 상태 | 39 |
| (사진 10) 에폭시 B제 투입 상태 | 40 |
| (사진 11) 에폭시 A + 에폭시 B 혼합 믹싱 광경 | 40 |
| (사진 12) 팽창진행 광경(1)..... | 41 |
| (사진 13) 팽창진행 광경(2)..... | 41 |
| (사진 14) 팽창진행 광경(3)..... | 41 |
| (사진 15) 제작된 금형 | 46 |
| (사진 16) 카바이드 광경 | 47 |

| | |
|-----------------------------------|----|
| (사진 17) 분말 가공된 상태 | 47 |
| (사진 18) 믹싱장치 외통 | 47 |
| (사진 19) 믹싱장치 내부장치 | 47 |
| (사진 20) 결합 전 상태 | 48 |
| (사진 21) 내부 결합된 상태 | 48 |
| (사진 22) 고심도 팽창튜브 원단고무판 | 49 |
| (사진 23) 제작된 고심도 팽창튜브 | 49 |
| (사진 24) 고심도 팽창 튜브가 장착된 팩카 | 49 |
| (사진 25) 폐공 팽창튜브 시제품 제작된 광경 | 50 |
| (사진 26) 하부에 부착되는 콘크리트 충전재 | 50 |
| (사진 27) 연결소켓을 설치한 상태 | 50 |
| (사진 28) 팽창튜브가 장착된 상태 | 51 |
| (사진 29) 하부연결소켓이 결합된 상태 | 51 |
| (사진 30) 시험공 굴착진행 광경 | 52 |
| (사진 31) 팽창팩카튜브 팽창시험 광경 | 53 |
| (사진 32) 팽창팩카튜브압력시험용 몸체제작 광경 | 53 |
| (사진 33) 팽창팩카튜브 압력시험 시행 광경 | 53 |

그 립 목 차

| | |
|------------------------------|----|
| (그림 1) 팽창팩카 튜브 설계도 | 29 |
| (그림 2) 상부금형 | 31 |
| (그림 3) 하부금형 | 32 |
| (그림 4) 조립상태 | 33 |
| (그림 5) 팽창팩카 튜브 몸체 설계도면 | 36 |
| (그림 6) 팽창팩카 몸체 정면도 | 37 |

제 1 장 연구개발 과제의 개요

제 1 절 연구개발 과제의 개요

1. 연구개발 과제의 개요

본 신청기술은 지하수를 개발하는 과정에서 발생하는 폐공과 지하수 시설 운영과정에서 발생하는 폐공들을 손쉽게 경제적으로 원상 복구하기 위해 소용되는 장치기술이다. 지하수 심정 내부의 계획된 깊이에 팽창튜브를 설치하고 외부에서 간단하게 격발장치를 조작하여 간편하게 팽창튜브를 자체 팽창시켜 암반층을 차폐시키고 난 뒤 그라우팅액을 주입하여 폐공을 경제적으로 원상 복구할 수 있도록 구성한 것이다.

2. 연구개발 기술의 필요성

가. 기술개발의 필요성

국내 지하수 관정의 총 개발 공수는 2003년 말 기준 약 1,228,290여개 공이며, 지하수의 사용량은 37억 5천여 만 톤에 이르고 있다.

또한, 92년부터 95년까지 조사된 지하수 자원 기본 조사 1~3차의 결과에 따르면 연간 약 130~140억 톤이 적정 개발 가능량으로 산정되었으며 이는 현재 사용량의 3배를 증가하는 양으로서 지하수 사용량은 용수 수급의 증대의 전망에 따라 앞으로도 지속적인 증가가 필연적으로 발생되고 이에 따라 년 간 신규 지하수 개발공수 역시 계속 증가되리라 예측되어지고 있다.

이러한 신규 지하수 개발 과정에서 개별 성공률이 50%이내인 현실을 감안할 경우 개발 실패공은 신규 개발공수의 두 배를 상회하며, 사용 중이던 관정이 수질이 오염되거나 기타사유로 인해 용도가 폐기되어 폐공화 되는 수량까지 감안한다면 폐공의 수량은 일백만 여공이 넘을 것이란 예측이 나와 있는 상황이다.

1) 기술적 측면

종래 폐공의 원상복구 기술은 단순히 폐공의 일정 깊이까지 모래를 채우고 그 상부에 그라우팅제재를 주입함으로써 마무리 하였다.

이러한 폐공원상 복구 방법은 지하수 관정 내부에 채움 모래의 체적을 잘못 산정할 경우 투수층 상단에까지 모래가 차오르게 되고 그 상부에 그라우팅제를 주입하는 형태가 되곤 하였다.

이로 인해 오염된 지표수가 장애 없이 암반대수층 지하수까지 유입될 수 있는 여지가 많았으나 적절한 처리기술이 확립되어 있지 않음으로써 불완전한 기술을 답습할 수밖에 없었다.

2) 경제. 산업적 측면

폐공의 원상복구는 법적으로 시행하도록 규정되어 있으나 종래 폐공처리는 단순히 묻어버리면 되는 것으로 인식하여 비용이 들어가지 않는다는 전제가 해당업체에게 인식되어 있었다. 그러나 범정부적으로 폐공의 문제점을 국민에게 개도하고 지하수개발업체에게 교육과 감독을 강화함으로써 폐공은 당연히 정상적인 방법을 통해 원상복구하여야 한다는 공감대가 형성되었다.

본 기술이 개발 완료될 경우 기존 정상적인 공사비의 약 50%의 비용으로 정확하고 견실한 폐공 원상복구가 가능하게 되어 기술개발의 필요성은 크게 요구되어지고 있다.

3) 사회. 문화적인 측면

폐공은 주변 지하수를 급속하게 오염시키게 되고 결과적으로 농업용수의 오염은 물론 도시와는 달리 주 식수공급원이 지하수인 농촌의 위생적인 식수공급에 지대한 악영향을 미치게 된다. 폐공의 정상적이고 경제적인 원상복구 기술의 개발은 소구경으로부터 대구경에 이르기까지 폐공원상 복구를 기피하지 않게 됨으로써 폐공으로 인한 지하수 오염을 예방하여 농촌민에게 청정한 식수공급과 농업용수의 공급을 가능하게 한다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내 기술개발 현황

1. 국내 폐공 원상복구 현황

국내에서 지하수 굴착과정에서 발생되거나 사용폐기 후 발생하는 폐공의 원상복구는 대체적으로 투수성재료인 모래를 암반선 이하까지 채우고 시멘트와 벤토나이트를 혼합한 그라우팅액을 하부에서 주입하여 양생시키는 방법을 사용하여 오고 있다. 그러나 이러한 종래 폐공원상복구 기술은 다음과 같은 문제점이 있었다.

가. 지하수 공의 깊이에 따라 원상복구비의 차이가 크게 발생한다.

나. 암반대수층까지 시멘트 슬러리가 주입됨으로써 지하수의 흐름을 방해하고 시멘트 슬러리와 지하수가 직접 접촉 혼합됨으로 지하수를 오염시킨다.

다. 각종 불투수성 재료의 배합과 주입에 상당한 기술력과 장비가 투입되며 공정이 복잡하다

라. 원상복구 비용이 많이 든다.

마. 초기 투입된 시멘트 슬러리는 지하수 공 내 잔류된 지하수로 세척 희석됨으로써 견실한 양생이 이루어지지 않고 수류가 형성될 수 있어 폐공 원상 복구 효과가 불확실하다.

바. 채움 모래의 최적 산정이 불확실하여 불투수층까지의 그라우팅이 어렵고 현장 확인이 불가능하다.

2. 국내 관련 기술개발 현황

암반대수층 지하수개발은 여타 어느 국가보다도 한국의 기술수준은 상대적으로 높은 국가군에 속해 있다. 따라서 관련 제품과 기술의 수준 또한 높은 편으로서 폐공 원상복구에 관한 기술 역시 기술도입의 필요성과 타당성은 높지 않고 오히려 기술의 수

출 가능성이 높은 상황이라 사료된다.

국내 기술개발은 정형화된 몸체를 갖는 차폐관을 이용한 폐공팩카가 본사와 (주)한국지하수테크가 특허권을 공유하고 있으나 지하수 관정이 부정형화된 상태이거나 소구경에서의 원활한 폐공 원상복구를 간편하고 경제적으로 시행하기 위한 자체 팽창력을 확보되지 않음으로써 고비용이 발생되고 있어 이로 인해 현장 적용이 원활히 되고 있지 않다.

국내에서 폐공 원상복구를 위한 관련기술 개발에 가장 선두적인 기업은 (주)지앤지테크놀러지이다. (주)지앤지테크놀러지는 팽창튜브를 이용한 다양한 형태의 폐공 원상복구 장치를 개발하여 가고 있는 중이다. 한국 지하수테크(주) 역시 팽창튜브를 이용한 폐공 원상복구기술인 “지하수 심정차폐장치” 기술을 보유하고 있는 중에 있다. 또한 (주)새암기술 역시 팽창튜브를 이용한 폐공 원상복구기술인 “지하수 굴착공 막음장치”를 보유하고 있다.

3. 국외 관련 기술개발 현황

외국에서 폐공 원상복구 하는 기술로서는 벤토나이트를 이용하는 기술과 팽창튜브 내부에 그라우팅액을 주입하여 팽창시킴으로써 굴착공 내부를 차폐하도록 하는 기술을 사용하고 있다.

4. 연구개발 기술의 효과

가. 연구개발 기술의 전망

향후 폐공의 원상복구는 지하수를 공공개념으로 전환하게 됨에 따라 더욱 지도 감독이 강화될 것이며 소 대구경을 막론하고 철저한 이행이 요구되어질 것이라 전망된다. 반면 대체용수로서의 지하수의 중요성은 더욱 부각되어질 것이며 개발공수 또한 증가하게 될 것으로 예상된다. 이에 따라 폐공의 발생량도 증가하게 될 것이며 이들의 경제적이며 단순한 원상복구 처리기술은 필수적인 요청사항이라 사료된다. 한편 개도국을 중심으로 한 지하수개발 붐에 따라 관련제품과 기술의 수출 또한 크게 기대되어지고 있다.

나. 연구개발 기술의 기대 효과

1) 기술적 측면

본 개발 기술은 자체 팽창력을 이용한 폐공 팩카 제조 기술로서 본 기술을 활용할 경우 토목 공사의 지하수 차폐 및 농업용 및 농촌 식수개발을 위한 지하수 관정의 지표수 유입을 효과적으로 차폐하는데 활용 할 수 있다.

특히 지하수 관정을 개발할 때 사용되는 장비 중 회전과 타격에 의해 암반을 굴착하는데 사용되는 햄머비트의 특성 상 굴착면이 거칠 수밖에 없으며 이로 인해 팽창튜브의 손상이 발생될 가능성이 높아 이를 방지하고자 하는 기술축적효과가 크다 할 것이다.

2) 산업적 측면

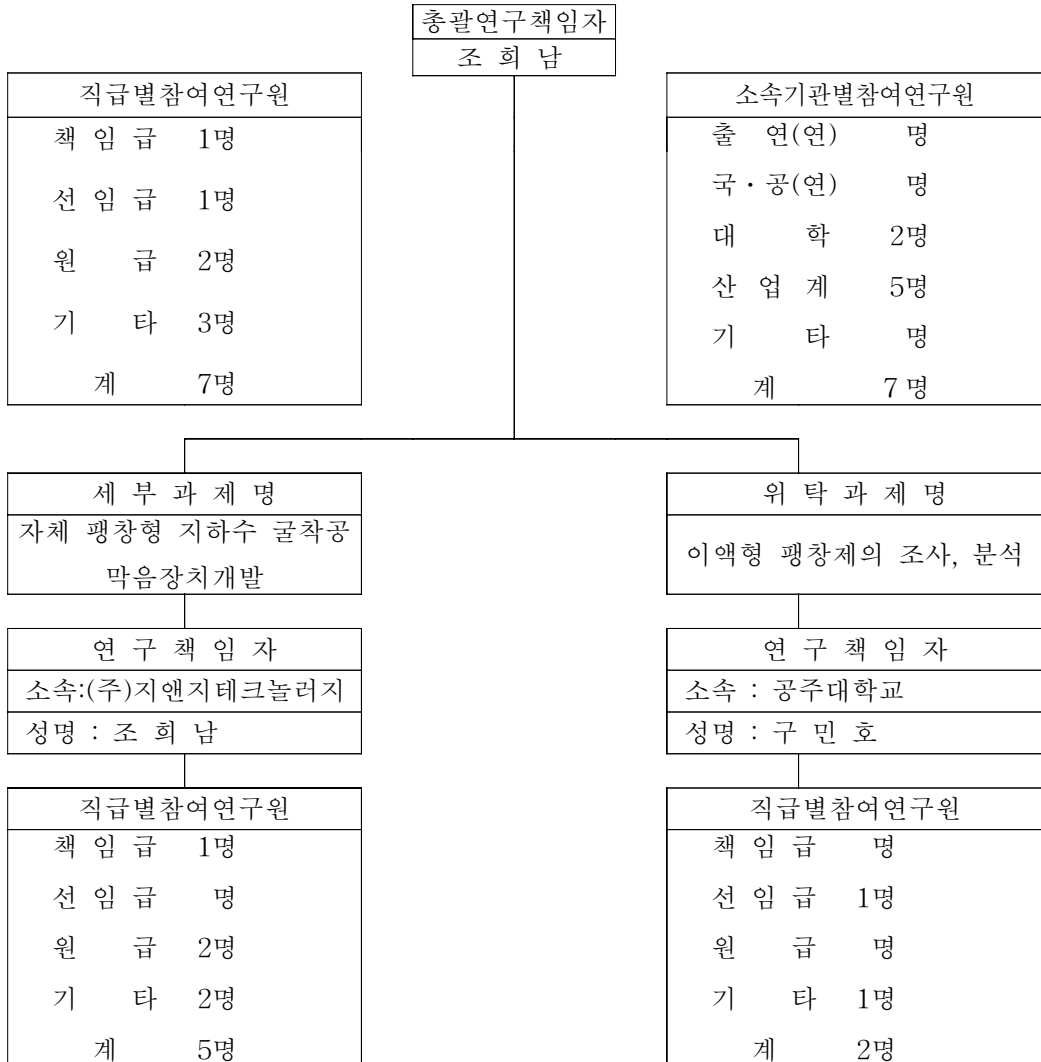
자체 팽창 튜브의 기술보유로 위한 관련 유관제품 개발에 가속도가 형성되어 세계에서 가장 진보적이고 우수한 제품으로서의 진입이 가능하게 될 전망이며, 특히 고압 팽창튜브의 제조기술은 향후 수출까지도 가능하여 그 성장 잠재력이 상당히 크다 하겠다.

특히 년 간 약 100,000여개 이상의 규모로 발생하는 신규 폐공에 대한 원상복구에 적용을 확대하여 갈 수 있는 기술 확보가 가능하여 폐공원상복구용 팩카의 보급을 위한 산업발전이 기대되고 있다.

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 연구원 편성

1. 연구원 편성



2. 참여 연구원 현황

가. 세부·위탁연구책임자

| 구분 | 세부과제명 | 성명 | 소속기관 (부서) | 직위 | 연구참여 직급 | 전 공 및 학 위 | | | | 참여율 (%) |
|----|---------------------|-----|------------------|------|------------|-----------|------|-------|--------------|------------|
| | | | | | | 학위 | 년도 | 전 공 | 학 교 | |
| 세부 | 자체 팽창형 지하수 굴착공 막음장치 | 조희남 | (주)지앤지 테크놀로지 | 대표이사 | 책임급 | 석사 | 1996 | 산업공학 | 홍익대학교 | 20 |
| 위탁 | 이액형 팽창제의 조사, 분석 | 구민호 | 공주대학교 (지질환경과 학과) | 조교수 | 선임급 | 이학박사 | 1996 | 수리지질학 | Purdue (USA) | 10 |

나. 연구원

| 세부과제명 (담당연구내용) | 성명 | 소속기관 및 부서 | 직위 | 연구참여 직급 | 전 공 및 학 위 | | | | 참여율 (%) |
|---------------------|-----|--------------|------|------------|-----------|------|-------|--------------|------------|
| | | | | | 학위 | 년도 | 전 공 | 학 교 | |
| 자체 팽창형 지하수 굴착공 막음장치 | 조희남 | (주)지앤지 테크놀로지 | 대표이사 | 대표이사 | 석사 | 1996 | 산업공학 | 홍익대학교 | 20 |
| " | 이춘환 | " | 이사 | 기타급 | - | - | - | - | 30 |
| " | 김종남 | " | 차장 | 기타급 | - | - | - | - | 30 |
| " | 김명신 | " | 대리 | 연구원 | 학사 | 1998 | 농업경제학 | 강원대학교 | 30 |
| " | 박미나 | " | 주임 | 연구원 | 학사 | 1994 | 지질학 | 전북대학교 | 30 |
| 이액형 팽창제의 조사 분석 | 구민호 | 공주대학교 | 조교수 | 선임급 | 박사 | 1996 | 수리지질학 | Purdue (USA) | 10 |
| " | 안규천 | " | 석사과정 | 보조원 | 석사 | 2003 | 지질학 | 공주대학교 | 13 |

3. 연차별 연구개발비 명세서

(단위 : 천원)

| 비목 번호 | 비 목 구 분 | 1차년도 (2002) | | 2차년도 (2003) | | 3차년도 (2004) | | 비고 |
|-----------|-------------------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|----|
| | | 금액 | 비율 (%) | 금액 | 비율 (%) | 금액 | 비율 (%) | |
| 1 | 인건비 | 8,990 | 11.2 | 13,441 | 12.0 | 5,310 | 11.1 | |
| | · 내부 (5)명 지급 (비지급) | 8,990 | 11.2 | 13,441 | 12.0 | 5,310 | 11.1 | |
| | · 외부 ()명 | (19,270) | | (21,460) | | | | |
| 2 | 직접비 | 55,710 | 69.7 | 82,412 | 73.6 | 36,323 | 75.7 | |
| | · 연구기자재 및 시설비 | 25,955 | 32.5 | 47,961 | 42.8 | 27,688 | 57.7 | |
| | · 재료비 및 전산처리·관리비 | 7,948 | 9.9 | 5,245 | 4.7 | 1,783 | 3.7 | |
| | · 시작품제작비 | 16,150 | 20.2 | 16,950 | 15.1 | 1,000 | 2.1 | |
| | · 여비 | 1,589 | 2.0 | 4,876 | 4.4 | 1,652 | 3.5 | |
| | · 수용비 및 수수료 | 992 | 1.3 | 1,780 | 1.6 | 1,000 | 2.1 | |
| | · 기술정보활동비 | 890 | 1.1 | 1,800 | 1.6 | 500 | 1.0 | |
| | · 연구활동비 | 2,086 | 2.6 | 2,300 | 2.1 | 1,000 | 2.1 | |
| | · 연구홍보비 | 100 | 0.1 | 1,500 | 1.3 | 1,700 | 3.5 | |
| 3 | 위탁연구개발비 | 8,000 | 10.0 | 8,000 | 7.1 | | | |
| 4 | 간접비 | 7,300 | 9.1 | 8,147 | 7.3 | 6,367 | 13.2 | |
| | · 간접경비 | 7,300 | 9.1 | 8,147 | 7.3 | 3,467 | 7.2 | |
| | · 연구개발준비금 | | | | | | | |
| | · 산업재산권출원·등록비 | | | | | 2,900 | 6.0 | |
| 총 연구 개발 비 | | 80,000 | 100 | 112,000 | 100 | 48,000 | 100 | |

제 2 절 연구개발 수행 내용

1. 팽창팩카 튜브 설계

가. 팽창팩카 튜브의 재질 선택

팽창팩카 튜브의 검토 재질로서는 천연고무, 네오프렌, 부타디엔, 에틸렌프로피렌 (EPDM), 실리콘 고무가 있다. 그 중 천연고무는 팽창성을 가늠하는 정도가 20~100에 이르고 안전성 또한 우수한 편이나 내후성과 기계적 성능에 있어 미흡하였다. 부타디엔, 네오프렌과 EPDM은 전반적인 기능에 문제가 없으나 내구성과 분해에 따른 수질오염의 우려가 있었다.

따라서 아래와 같은 특성을 고려하여 실리콘 고무를 선택하여 팽창팩카 튜브의 재질로 결정하였다. 특히 실리콘 고무는 위생성이 우수하여 수질오염을 유발하지 않을 뿐더러 내열성이 200℃에 달해 초속경 시멘트의 양생 과정에서 발생하는 고열의 수화열까지 견딜 수 있는 장점을 가지고 있음이 시험결과 확인되었다.

나. SILICONE RUBBER 의 특성

1) 내열성(+250℃ ~ +315℃)

SILICONE RUBBER의 우수한 특성 중에서도 가장 뛰어난 특성이 내열성이다. 고온에서도 기계적 특성, 전기특성, 화학적 특성 등이 매우 안정되어 있다. 특수 Grade +315℃에서도 안전하게 사용할 수 있다.

2) 내한성(-65℃ ~ -95℃)

SILICONE RUBBER는 내열성과 더불어 내한성 또한 매우 뛰어나다. 일반 Grade Silicone 고무는 -65℃에서 사용이 가능하며 특수 저온용으로 개발된 Silicone 고무는 -95℃에서도 사용이 가능토록 되었다.

3) 전기특성(최상의 전기절연성)

SILICONE RUBBER의 전기특성은 상온에서는 물론 고온, 저온 주파수에서의 영향 하에서 전기재료로서 뛰어난 안정성을 가지고 있다. 뛰어난 전기절연성, 체적저항 ($1 \times 10^{15} \sim 2 \times 10^{16} \Omega \text{cm}$), 절연파괴강도(20~35kv/mm), 내후성, 내약품성, 난연성 등 모든

분야에서 뛰어난 장점을 가지고 있다. 이러한 특성의 장점을 이용하여 근대 전기, 전자 산업분야, 첨단기술 사업 분야 등에서 필수적인 재료로 사용되고 있다.

4) 내오존성 및 내후성

SILICONE RUBBER는 오존에 대하여 경이적인 저항력을 가지고 있다. 일반유기질 고무 노화의 주원인인 자외선, 공기 중의 오존 OXIDANT, 산성GAS, 우수중의 유산 등에 대하여도 뛰어난 저항력을 지니고 있다. 그러므로 지중 CABLE, 지중전화선, 선박 등의 각종 전선, 선박의 각종고무부품, 창문 GASKET, 고층빌딩의 창틀 GASKET등 선진공업국에서 이미 널리 응용되고 있다.

5) 기계적 특성

SILICONE RUBBER는 여러 GRADE의 각종 기계적 물리적 특성을 가지고 있다. 특히 SILICONE RUBBER의 우수한 기계적 성질을 상온에서는 물론 고온에서 또는 저온에서 다른 유기질고무와 비교하여 월등하다는 점이다. (경도 : 10~90도, 인장강도 : 40~110kg/cm², 신율 : 100~1,200%, 인열강도 : 6~45kg/cm²)

6) 난연성(UL94V-0, V-1, V-2)

SILICONE RUBBER는 UL전기용품규격에 합당하도록 난연성소재로 개발되어 널리 사용되고 있다. 또한 SILICONE 고무는 연소시 유해 GAS를 발생하지 않는다.

7) 무미 · 무취 · 무독성

SILICONE RUBBER는 기본적으로 화학적으로 무미 · 무취 · 무독성이다. 또한 인체에 무독하다는 것이 증명되었으며 이로 인하여 각종 식품용 고무, 의과용 고무 재료로 널리 보급되고 있다. (BABY NIPPLE, 의료용 tube, 외과용 성형재료, 주사용 마개, 일회용 주사기 박킹, 인공동맥, 인공심장 등이 다방면으로 응용)

8) 내습 · 내수성

SILICONE RUBBER는 가류후의 내습 · 내수성이 뛰어나다.

(표 1) 원자재 고무재질별 특성 및 용도

| 종 류 | 약호 | 특 성 | 상용온도 (℃) | 경도 | 주 용 도 |
|-------------|------|------------------------|-------------|--------|---|
| 천연고무 | NR | 투명성, 고강도, 감축성 | -35~60 | 20~100 | 자동차부품, 타이어, 신발, 일반용품 및 공업용품 등 |
| 실리콘 고무 | Q | 고도의 내열성, 내한성 | -75~200 | 20~95 | 패킹, 가스켓, 오일씰, 가전기기, 주방용품, 내열, 내한용 등 |
| 네오프렌 | CR | 내마모성, 내열성, 내수성, 내한성 | -30~100 | 20~90 | 전선피복, 콘베어벨 트, 방진고무, 고무수 포, 일반공업용품 등 |
| 에틸렌 프로피렌 | EPDM | 내후성, 내오존성, 내유성 | -40~140 | 30~100 | Gasket, Weath Strip, 전선피복, 콘베어벨트 등 |
| 우레탄 고무 | U | 내마모성, 내구성, 내오존성 | -20~80 | 55~100 | 공업용롤러, 벨트, 솔리드타이어, 타이 패드, 내열, 내약품성 등 |
| 부타디엔 | BR | 내마모성, 고탄성 | -45~90 | 20~100 | 자동차, 항공기타이어, 신발, 방진고무 등 |

(표 2) 실리콘 고무의 특성

| | |
|-----------|---|
| 내열성 | 실리콘 고무는 600°F의 고열에도 그 특성을 유지하며 일반유기 고무보다도 훨씬 월등한 인장강도, 신축율 및 내마모성을 가지고 있습니다. 유기합성 고무의 주축인 C-C결합에너지 83kcal/mol 인데 비해 실리콘 고무의 우수한 내열성이 발휘됩니다. 실리콘 고무의 내열 사용온도 범위는 일반적으로 150°~ 250℃이며, 간헐적으로 단시간 사용하는 경우에는 350℃까지도 사용 가능 |
| 압축저항성 | -120°F와 500°F의 온도 사이에서도 누르면 원형으로 돌아오는 복원특성을 가지고 있습니다. 내화학성 실리콘 고무는 사용자들이 특수한 요구를 충족시켜 줄 수 있지만 그 중에서도 불소고무의 용제와 화학 물질에 저항성이 극히 우수하며 넓은 범위의 온도에서 내성을 가지고 있음 |
| 식품/화장품 | 실리콘 고무는 인체에 무해하기 때문에 직접, 간접적으로 첨가가 되고 있으며 특히 화장품 산업에 여러 방면으로 응용/사용되고 있음 |
| 강도 | 실리콘 고무는 다른 일반 유기고무보다도 월등한 강도를 갖고 있습니다. 200°F~350°F사이의 고온에서도 실리콘 고무는 월등한 물리적 성질을 가지고 있음 |
| 내약품성/내열수성 | 실리콘 고무는 내약품성이 뛰어난 산, 알칼리 등의 극성 유기화합물에 의해 거의 침해를 받지 않습니다. 또한 실리콘 고무는 장시간 물에 침전되거나 스팀에 접촉하여도 거의 물성변화가 일어나지 않음 |
| 압축영구 줄임율 | 일반 유기계 고무의 압축 영구 줄임율은 온도 변화에 따라 현저하게 증대되는데 반해 실리콘 고무는 -100°~ 250℃까지의 넓은 온도 범위에서 탄성 및 복원력이 유지되므로 극심한 조건임 |

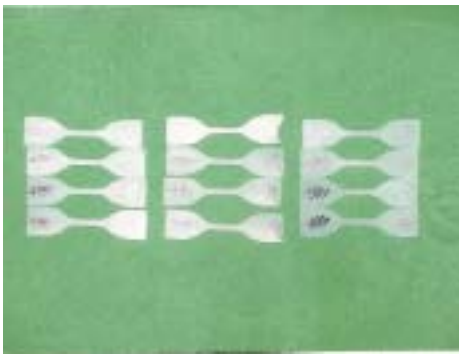
다. 실리콘 고무의 재질시험

가) 실리콘 고무 기본 물성시험

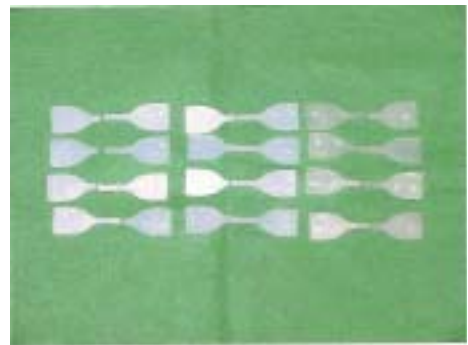
팽창팩커용 실리콘고무 시료에 대하여 가황고무 물리시험방법 KS M 6518-96에서 명시한 방법으로 기본물성 시험을 실시하였다.



(사진 1) 팽창팩커용 실리콘 고무



(사진 2) 시험편(시험 전) 실리콘 고무



(사진 3) 시험편(시험 후) 실리콘 고무

인장강도 및 신장율은 KS M 6518-96에 따라 시험하였고 시험편은 (사진.2)과 같이 아령 3호형으로 하였으며, 다음 식(1)에 따라 각각 계산하였다. 경도(Hs)는 측정할 때마다 시료의 새로운 접촉점 5곳을 측정하여 측정값의 평균값을 취하였고 그 결과를 (표.3)에 나타내었다.

$$T_b, E_b = 0.5 S_1 + 0.3 S_2 + 0.1 (S_3 + S_4) \dots\dots\dots \text{식 (1)}$$

T_b : 인장강도

E_b : 신장율

$S_1 S_2 S_3 S_4$: 측정값 *

*: $S_1 S_2 S_3 S_4$

(표 3) 인장강도, 신장율 및 경도(Hs)의 시험결과

| 시 험 항 목 | 단 위 | 시험결과 |
|---------|-----|------|
| 인장강도 | MPa | 7.3 |
| 신장율 | % | 7.0 |
| 경도(Hs) | - | 42.0 |

2) 그라우팅(초속경시멘트)의 경화시간에 따른 온도변화와 팽창팩커용 실리콘 고무의 물성변화

팽창팩커용 튜브는 지하수 관정 내부에 삽입 설치된 후 다량의 시멘트액으로 구성된 그라우팅액이 상부에 주입되게 됨으로써 그라우팅액의 전체하중을 견디지 못하여 시멘트액의 누설현상이 발생하게 된다. 이러한 현상을 방지하기 위해 초속경시멘트액을 일차적으로 상부에 주입하여 경화 양생시킨 다음 이차적으로 일반 시멘트액으로 조성된 그라우팅액을 주입하도록 공정을 구성하였다. 그러나 초속경 시멘트의 경우 양생시간이 짧은 반면 고열의 양생수화열이 발생하게 됨으로써 이러한 높은 수화열을 팽창팩커용 실리콘 고무가 지탱하며 기본 물성에 대한 변화가 일어나지 않는지의 여부에 대한 검토가 필요하여 본 시험을 시행하였다.

시험의 과정은 (사진 4)과 같이 온도측정이 용이하도록 고무판 위에 Recorder가 장착된 K-Type 열전대를 90° 방향으로 각각 설치한 다음 팽창팩커용 실리콘 고무위에 20±1℃의 물과 제공된 초속경시멘트 비(부피비)를 1 : 1 로 배합하고 초속경시멘트 내에 K-Type 열전대를 삽입하여 그라우팅(초속경시멘트)의 강화시간에 따른 온도변화를 24시간동안 실시간으로 측정하였고 온도가 더 이상 변하지 않는 정상상태(사진 6)에 도달한 후 실리콘 고무의 외관에 균열 및 현저한 변형 등의 이상여부를 관찰하여 Tdau 또한 물리적인 시험을 통하여 실리콘 고무의 물성변화를 조사하였다. 모든 시험들은 외적인 온도변화를 방지하기 위하여 시험장치 밑을 단열 시켰고 항온항습실에서 이루어졌다.



(사진 4) 시험 전 시료설치(K-타입열전대와 실리콘고무)



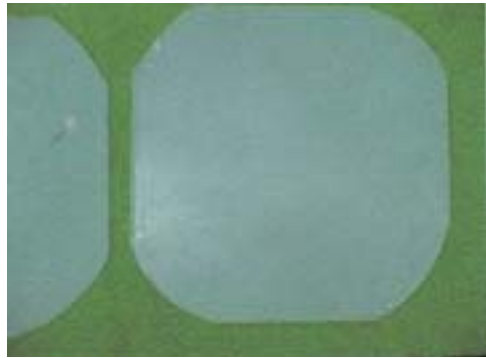
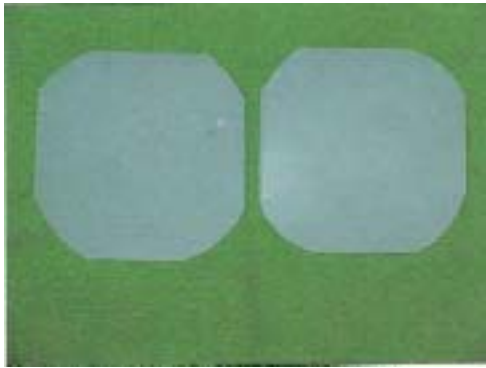
(사진 5) 시험 후 초속경시멘트의 경화시험

그 결과 초속경시멘트의 경화 시 최대 발열온도는 (사진 7)에 나타낸 것과 같이 60℃였으며 걸리는 시간은 3시간 15분이었다. (사진 8)과 (사진 9)는 경화시험 전, 후를 나타낸 것인데 실리콘 고무의 외관에 균열 및 현저한 변화 등은 나타나지 않았다. 시험 후 실리콘 고무의 인장강도변화율, 신장율변화율 및 경도변화(Hs)를 (표 4)에 제시하였다.

(표 4) 초속경시멘트 경화시험 후 실리콘고무의 인장강도, 신장율 및 경도의 변화

| 시험항목 | 구분 | 단위 | 시험결과 |
|---------------|----------|----|------|
| 초속경시멘트 경화시험 후 | 인장강도 변화 | % | -6.6 |
| | 신장율 변화 | % | -3.3 |
| | 경도변화(Hs) | - | 0 |

시험 결과 표4에서와 같이 그라우팅(초속경시멘트)의 경화시간에 따른 온도변화와 팽창팩커용 실리콘 고무의 물성변화를 알아본 결과 그라우팅(초속경시멘트)의 경화시 최대 발열온도는 60℃였고 걸리는 시간은 3시간 15분이었다. 시험 후 인장강도변화율과 신장율변화율은 각각 -6.6(%) -3.3(%)이었고 경도변화(Hs)는 없는 것으로 조사되었다.



(사진 6) 초속경시멘트경화시험 전 시험편 (사진 7) 초속경시멘트경화시험 후 시험편



(사진 8) 초속경시멘트의 경화시간에 따른 온도변화

3) 팽창팩카 튜브 설계

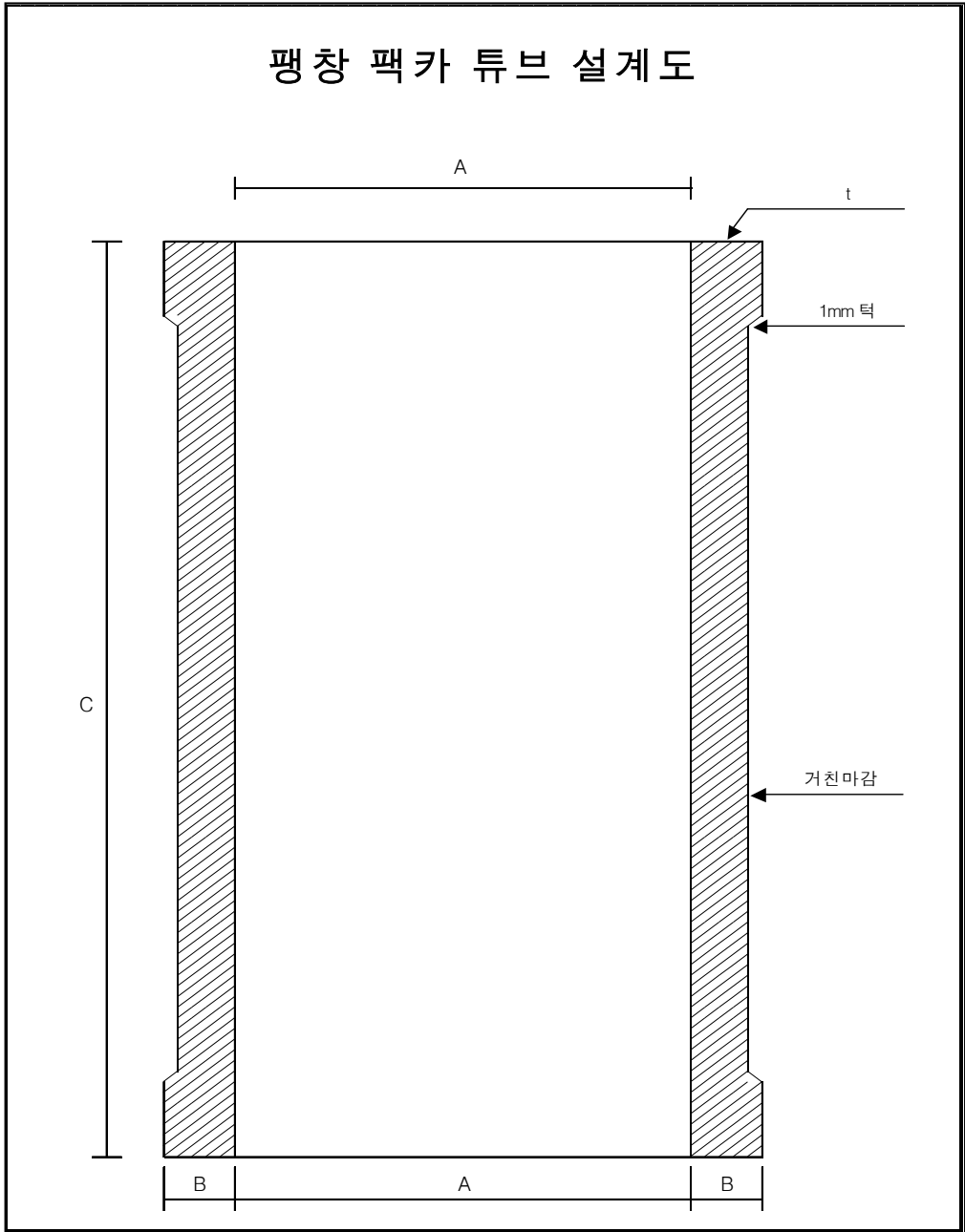
팽창팩카 튜브의 재질이 실리콘 고무로 결정됨으로써 이에 적합한 규격이 생산 가능하도록 하기 위한 설계를 각 규격별로 진행하였다.

D 50mm, D 75mm의 경우 전체 외경을 기준으로 설계하였으며 가정용 천층 지하수용(D50mm)과 시험관 측정용(D75mm)으로 적용될 수 있도록 하였다. D 100, D 125, D 150, D 200, D 250, D 300은 각각 해당 구경의 지하수 관정에 적용될 수 있도록 설계하였

으며 팽창팩카 튜브의 두께는 D 50, D 75로 t 5mm, D 100, D 125는 t 10mm, D 150은 t 15mm, D 200, D 250, D 300은 t 18mm로 하였다.

단, 전체 두께에는 soft한 재질이 포함된 두께로 하였으며, 이에 따른 규격별 설계도를 첨부하였다. 또한, 팽창팩카 튜브의 외장에는 연질의 실리콘 고무의 특성상 손상이 쉽게 일어날 수 있는 문제를 해결하기 위해 별도의 보호카바 장치를 설치할 수 있도록 구성하였으며 보호카바 장치는 천연면사로 제작하여 주름을 준 상태로 제작하였다.

팽창 팩카 튜브 설계도



(그림 1) 팽창팩카 튜브 설계도

팽창 팩카튜브의 규격별 주요 SIZE는 아래 표와 같다.

(표 5) 팽창팩카 튜브 및 금형 설계 규격별 사양

| 규격별 | A | B | C | 비고 |
|-------|-----|----|-----|----|
| D 50 | 21 | 5 | 250 | |
| D 75 | 42 | 5 | 300 | |
| D 100 | 114 | 10 | 300 | |
| D 125 | 130 | 10 | 280 | |
| D 150 | 165 | 10 | 300 | |
| D 200 | 215 | 18 | 400 | |
| D 250 | 267 | 18 | 500 | |

※ 비교

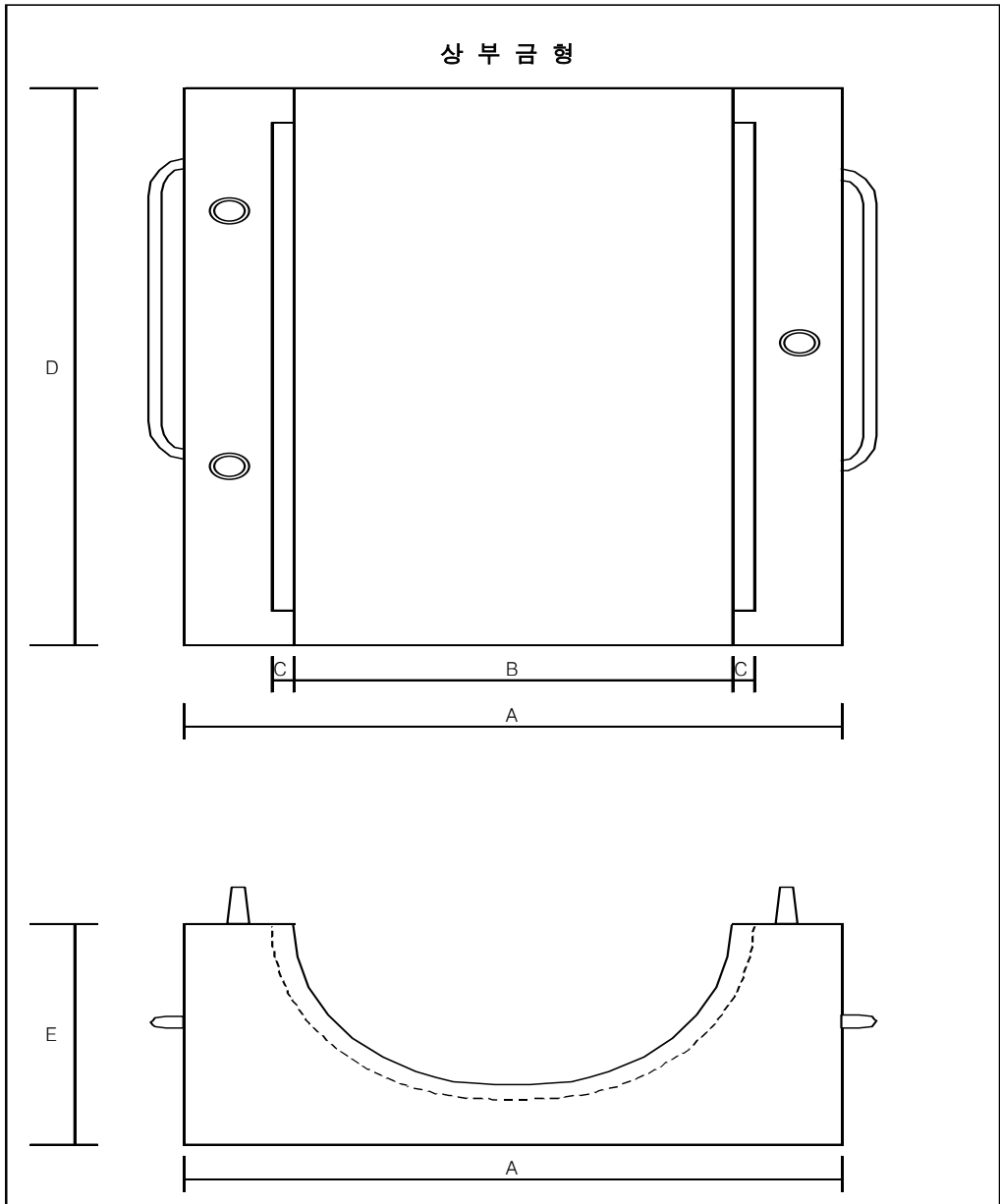
1. 팽창팩카 튜브의 전체적인 형태는 원통형으로 설계하였다.
2. 몸체에 결합시키는 방법은 몸체에 끼워 넣어 조립한 튜브밴드를 사용하도록 하였다.

2. 금형 설계

팽창팩카 튜브를 제작하기 위한 금형을 만들기 위해 설계를 진행하였다. 금형설계는 원활하고 신속한 납품을 위하여 팽창팩카 튜브를 제작하는 2개소의 제작사를 선정하여 추진하였다.

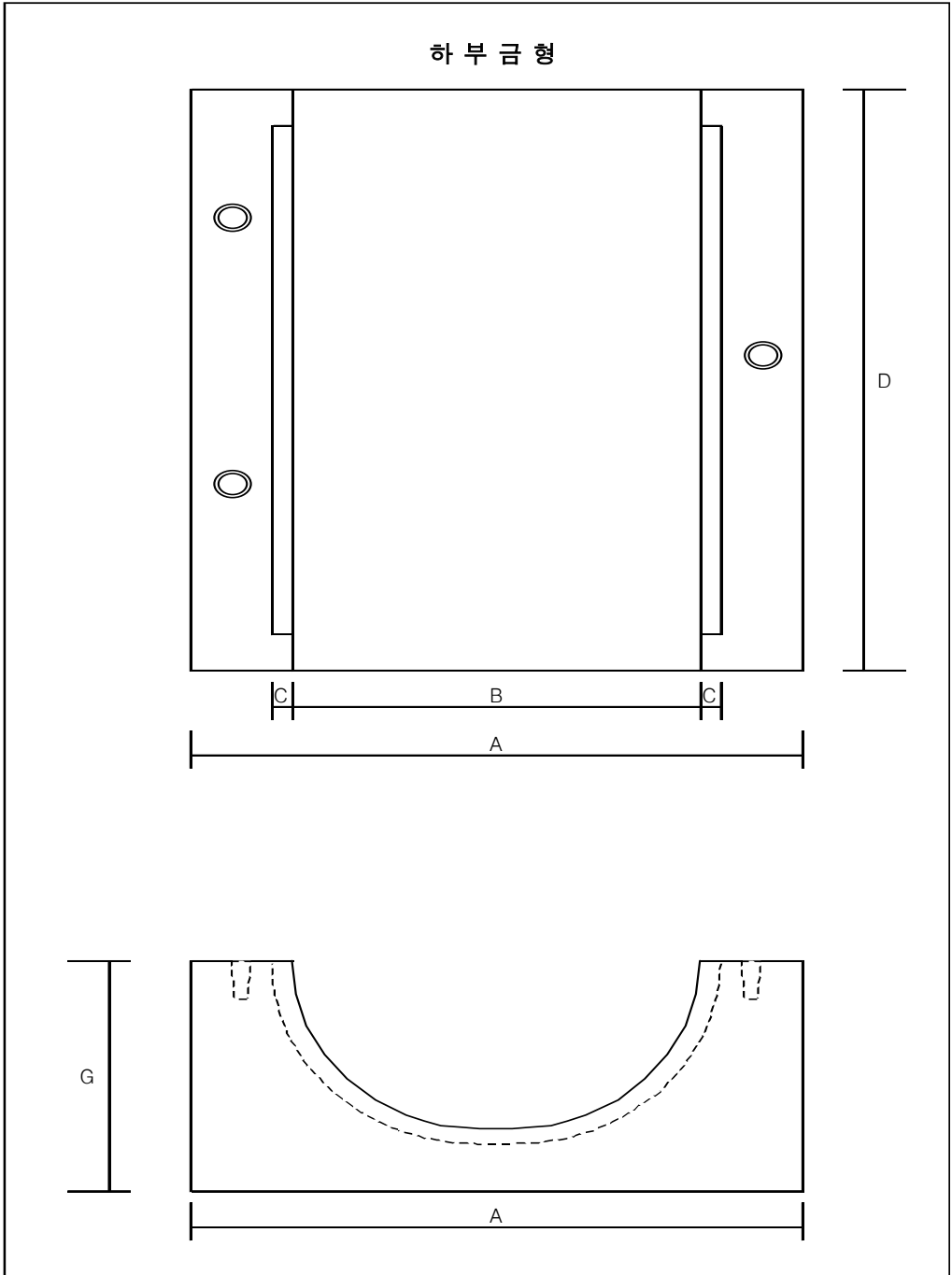
기본 형태는 주관연구기관인 당사가 지정토록 하였으며 세부 설계는 제작사와 상호 업무협의를 통해 진행해 나가도록 하였다. D 50, D 75, D 100, D 200, D 250은 동방 실리콘 그리고 D 125, D 150, D 300은 경성고무에서 담당하도록 하였고 D 50, D 75, D 100, D 125, D 150, D 200, D 250, D 300에 대한 금형 설계를 완성하였으며 각 규격별 설계 사양은 다음과 같다. (그림 2, 3, 4)(표 7)

상 부 금 형



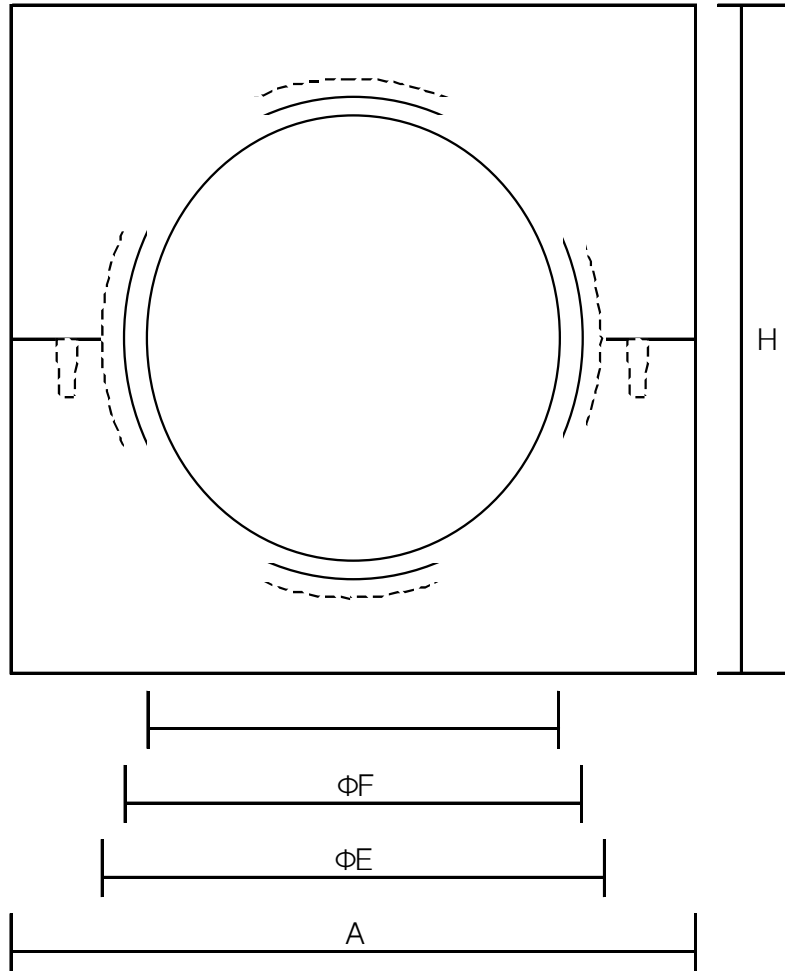
(그림 2) 상부 금형

하부금형



(그림 3) 하부금형

조립상태



(그림 4) 조립상태

금형의 각 규격별 주요 SIZE는 아래 표와 같다.

(표 6) 팽창 팩카 튜브용 금형 설계 규격별 사양

| 규격별 | A, H | B, F | C | D | E | G | 비고 |
|-------|------|------|----|-----|-----|-----|----|
| D 50 | 30 | 21 | 5 | 257 | 26 | 15 | |
| D 75 | 50 | 42 | 5 | 307 | 47 | 26 | |
| D 100 | 200 | 114 | 10 | 310 | 124 | 61 | |
| D 125 | 250 | 130 | 10 | 300 | 140 | 70 | |
| D 150 | 260 | 165 | 15 | 310 | 180 | 87 | |
| D 200 | 310 | 215 | 18 | 410 | 233 | 112 | |
| D 250 | 350 | 267 | 18 | 510 | 285 | 138 | |
| D 300 | 420 | 318 | 18 | 610 | 336 | 165 | |

※ 비교

1. 금형은 크게 3부분으로 나뉘어 구성되도록 하였다. 하부 Body와 상부 Body 그리고 몸체와 동일한 크기의 원통형 Body이다.
2. 상부와 하부 Body 사이에 원통형 Body를 삽입 후 조립한 상태에서 실리콘 고무로 팽창팩카 튜브가 성형되도록 하였다.
3. 투입장치 및 팽창팩카 몸체 설계

투입장치를 구성하는 설계는 크게 팽창팩카 튜브에 접속되는 check value와 주입튜브 그리고 지상에서 이액제재를 주입하는 주입펌프로 이루어지도록 하였다. 설계 과정에서 이액제재를 동시에 주입하는 방법도 고려되었으나 팽창팩카 튜브 몸체 내부에 최소 100ml의 체적을 확보하고 일액을 이 공간에 채우고 다른 일액은 주입하는 방법을 채택하도록 하였다.

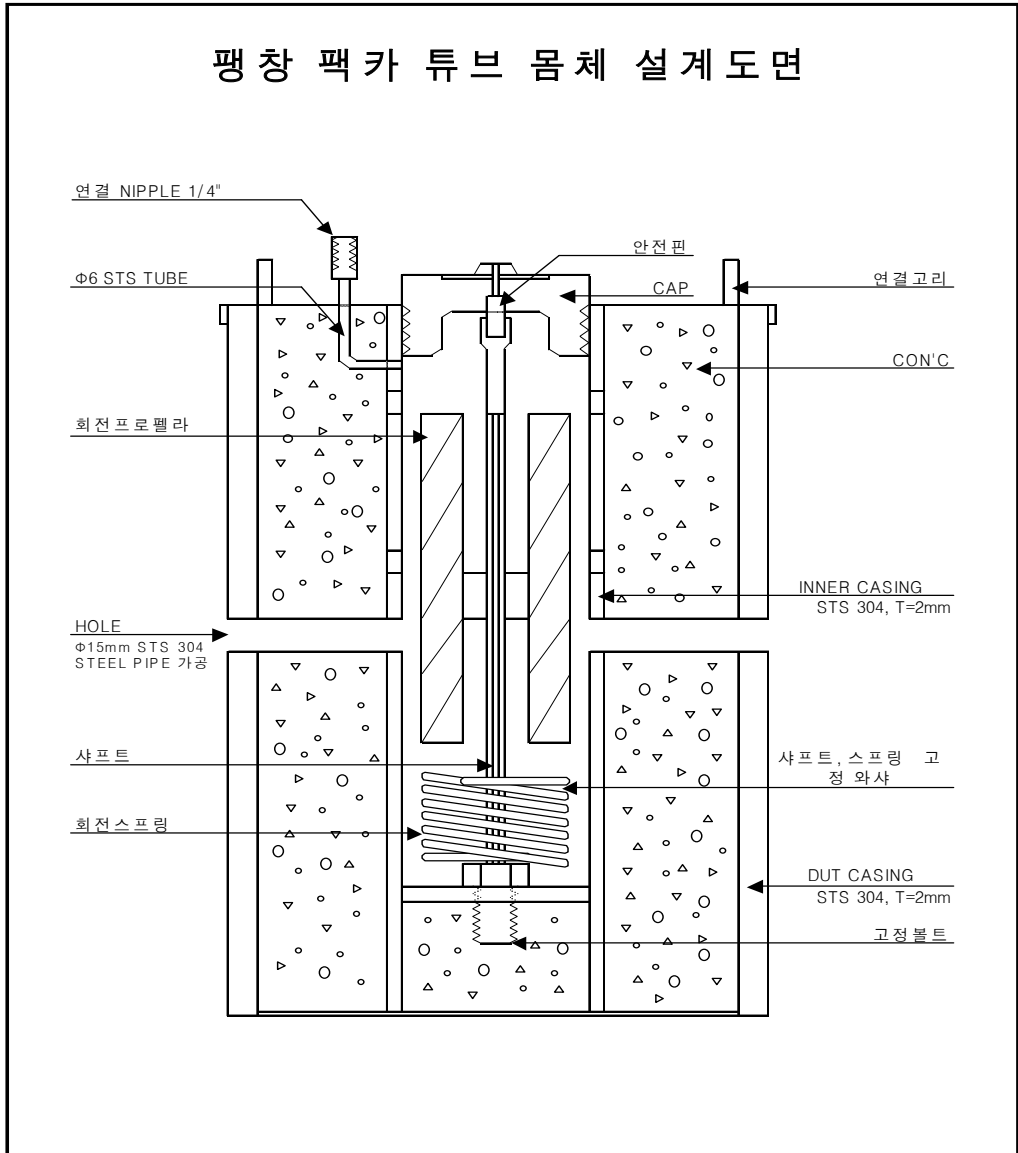
주입 튜브의 직경은 최소 6mm에서 8mm로 결정하였으며 주입 펌프는 왕복 동 타입의 50bar 이상의 주입 압력을 갖는 것으로 선택될 수 있도록 하였다. 팽창팩카 몸체는 외주 면으로는 팽창 튜브가 관삽되어져 스테인레스 밴드로 제작된 튜브 밴드에 의해 결

착되어지게 하였다.

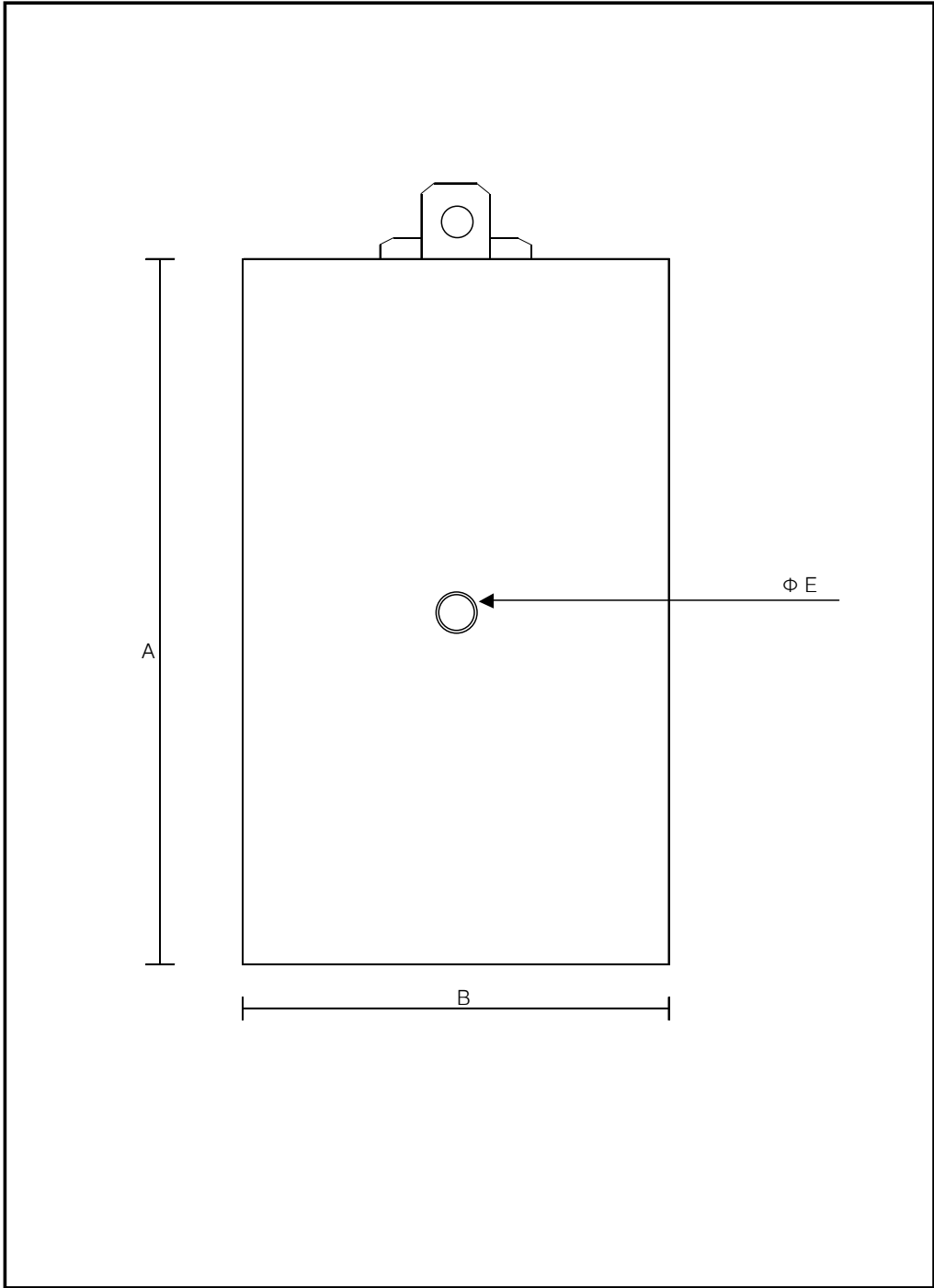
팽창팩카 몸체의 전체적인 형태는 원통형으로 제작되며 관정 내부의 지하수 내에 투입하더라도 부력에 의해 상승하지 않도록 충분한 하중을 유지할 수 있도록 내부 충진율을 충전할 수 있도록 하였으며 몸체 하부에 별도의 연결용 소켓을 사용하여 결합한 원통형의 콘크리트 하중체를 부착하도록 하였다. 또한 내부에는 이액 팽창제재 중 일액을 사전에 충전할 수 있는 체적을 확보하게 하였다.

주입 튜브는 상단에서 몸체를 관통하여 팽창팩카 몸체 내부에 충전된 일액 팽창제재 부분에 이르게 하였고 상단에는 별도의 4~6mm 내외의 견인줄을 별도 설치하도록 하였다. 특히 주입되는 일액과 이미 팽창팩카 몸체에 충전되어 있는 일액과의 혼합을 원활하게 하기 위한 믹싱장치를 스프링을 이용하여 구성하되 그 작동을 지상에서 실행할 수 있도록 작동 당김줄과 안전핀을 장착하였다.

팽창 팩카 튜브 몸체 설계도면



(그림 5) 팽창팩카 튜브 몸체 설계도면



(그림 6) 팽창팩카 몸체 정면도

팽창팩카 몸체의 주요 공통 부품별 SIZE는 아래 표와 같다.

(표 7) 팽창팩카 몸체의 주요 공통부품별 SIZE

| 명칭 | 규격 | 재질 | 수량 | 비고 |
|--------------|------|--------|----|--------------------|
| 주입튜브 | Φ6 | 나일론 | | |
| 몸체홀 | Φ15 | STS304 | 4 | |
| 연결고리 | Φ15 | STS304 | 2 | |
| Inner Casing | 32A | STS304 | 1 | D 100, D125 |
| Inner Casing | 80A | STS304 | 1 | D 150, D 200, D250 |
| Inner Casing | 100A | STS304 | 1 | D 300 |
| 고정볼트 | 5/8" | STS304 | 1 | |

가. 팽창제재 조사 및 시험 분석

자체 팽창이 이루어 질 수 있는 팽창제재를 조사하였다. 이액으로 혼합되어져 자체 팽창이 이루어질 수 있는 제재로서는 에폭시A+에폭시B제, 우레탄A+우레탄B제, 에폭시+물(H₂O), 우레탄+물(H₂O), 벤토나이트제 +물(H₂O)로 확인되었다. 각 이액형 팽창제재의 혼합 특성은 다음과 같았다.

1) 에폭시A + 에폭시B제 혼합

에폭시 고유로 가진 점도로 인해 혼합 과정에서 상당한 시간 지연이 발생되었고 가장 활발한 팽창력을 가졌다. 다만, 일액의 팽창제재를 주입펌프를 이용하여 200 cc/sec의 양을 주입하였을 때 초기 팽창 개시 시간은 20분이었으며 최적의 팽창 체적인 200% 팽창율에 도달하는 시간은 180분이 소요되었다.

2) 우레탄A + 우레탄B

우레탄 역시 고유의 점도로 인해 혼합과정에서 시간 지연이 발생하였다. 점도에서

가장 활발한 팽창력을 가졌다. 팽창 개시 시간은 혼합 후 60분이었으며 최적 팽창 체적인 200% 팽창율에 도달하고 시간은 130분이 소요되었다.

3) 에폭시A + 물우레탄B(H₂O)

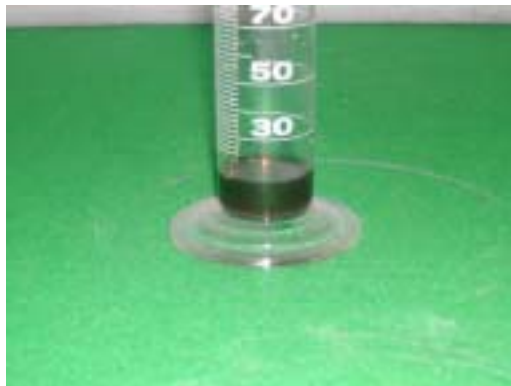
에폭시A는 팽창팩카 몸체 내부에 도포한 상태에서 물(H₂O)을 주입하였다. 물(H₂O)과 혼합된 에폭시 상태는 가장 최적의 팽창율은 나타나 있으며 당시의 팽창율 도달시간은 40분이었고 180분후 300%의 체적 팽창율을 나타내었다.

4) 벤토나이트제재 + 물(H₂O)

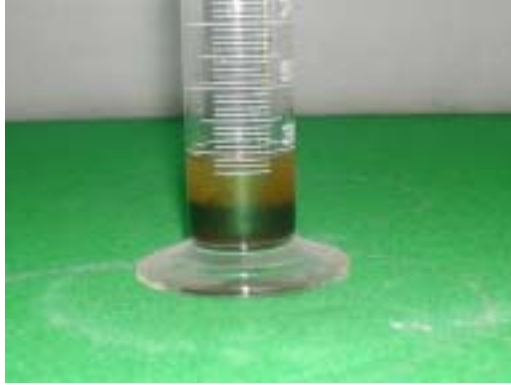
실험용 고속도 벤토나이트제재와 물을 혼합한 경우 그 반응 속도는 에폭시 또는 우레탄과 비교 시 대체적으로 대등한 편이었다. 그러나 팽창율은 500%이상 유지하면서 팽창압력은 2kg/cm 이상 유지됨으로써 고심도 차폐 시그 기능에 문제가 없다고 것을 확인할 수 있었다.

5) 에폭시A + 에폭시 B + 카바이드제재

에폭시 혼합제재에 카바이드제재를 첨가함으로써 폐공 내부에 투입된 상태에서 유입되는 수분을 흡착하여 발생된 C₂H₂가스가 팽창압력을 형성하고 팽창된 공간에 에폭시 혼합제재가 충분한 공간을 확보할 수 있게 함으로써 팽창시간을 단축시키고 팽창체적을 유지한 상태에서 경화가 이루어질 수 있도록 하였다.



(사진 9) 에폭시 A제 투입 상태



(사진 10) 에폭시 B제 투입 상태



(사진 11) 에폭시 A +에폭시 B 혼합 믹싱 광경



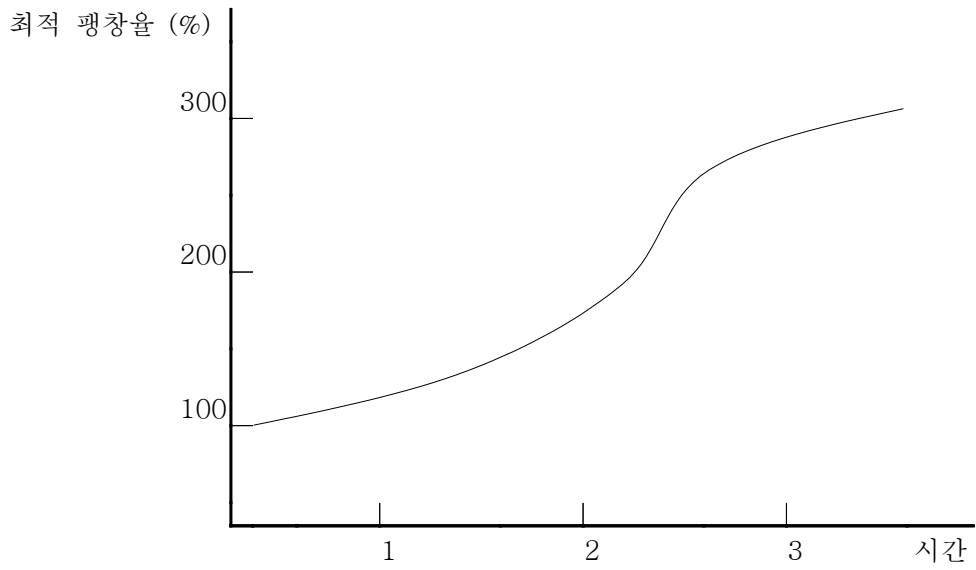
(사진 12) 팽창진행 광경(1)



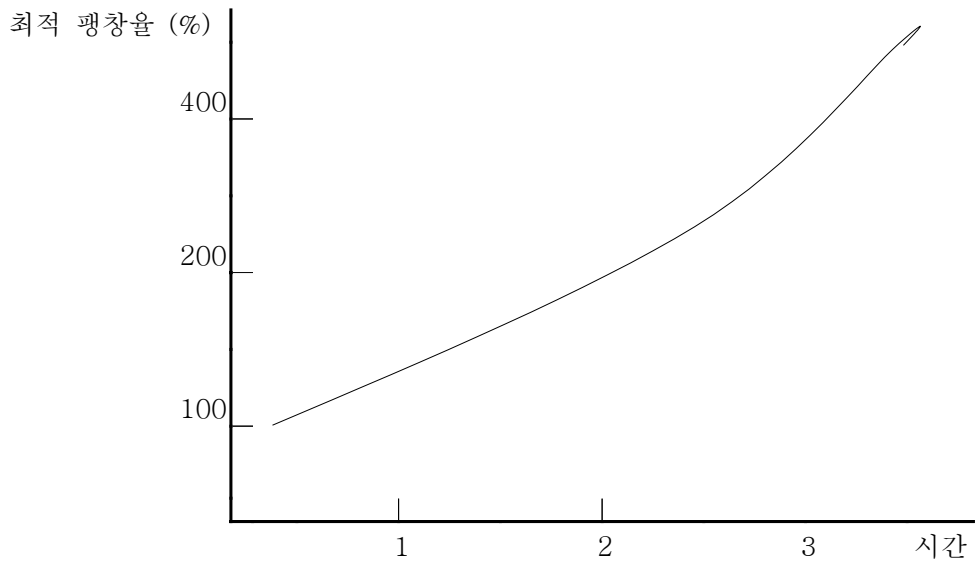
(사진 13) 팽창진행 광경(2)



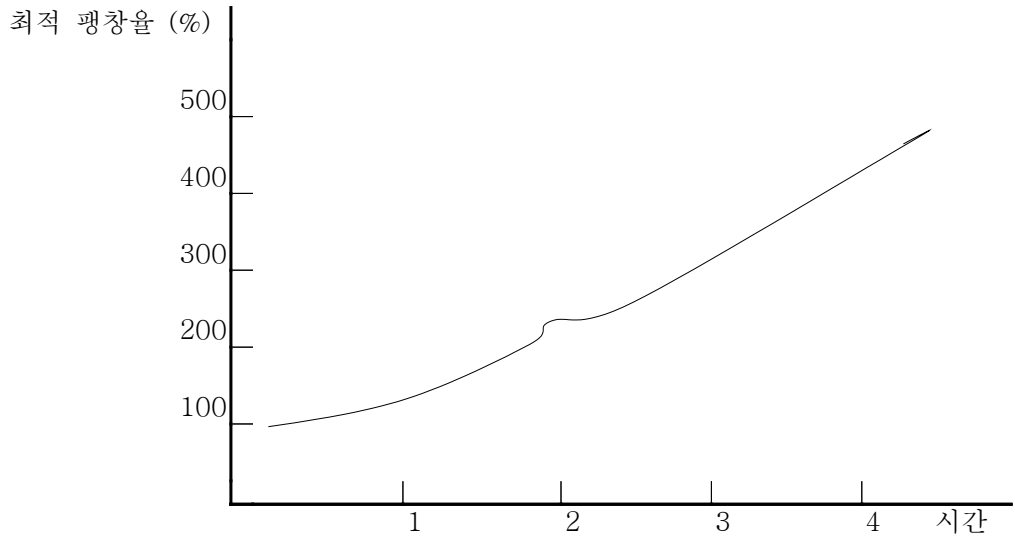
(사진 14) 팽창진행 광경(3)



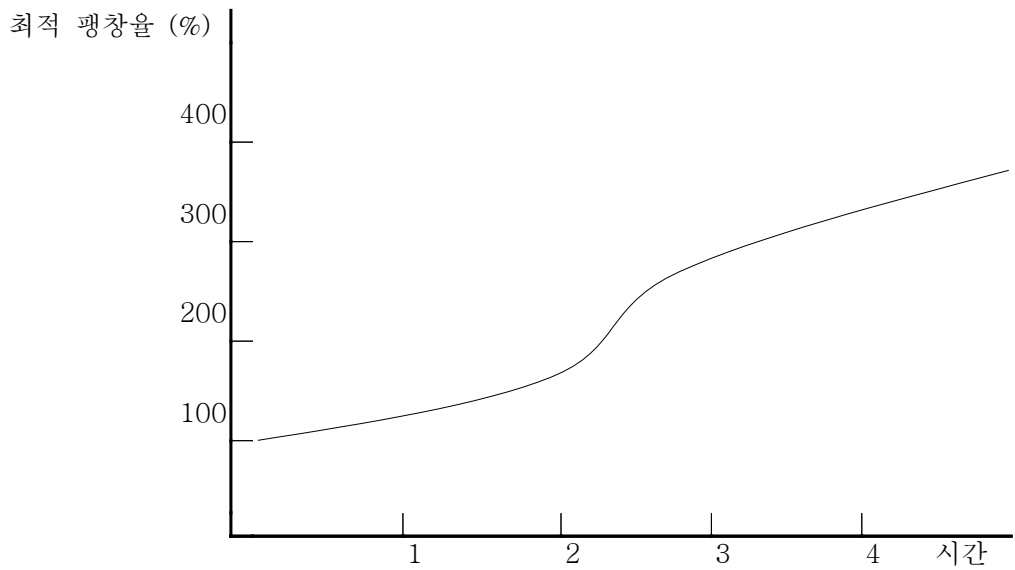
우레탄 A + 우레탄 B



에폭시 A + 에폭시 B



벤토나이트제 + 물



에폭시 A + 물

제 3 절 연구수행 결과

1. 팽창팩카의 각 구성 장치의 세부설계 작업 완성

가. 팽창팩카 튜브 설계

D 50, D 75, D 100, D 125, D 150, D 200, D 250, D 300에 대한 팽창팩카 튜브 설계를 완성하였으며 각 규격별 설계 사양은 다음과 같다.

나. 금형 설계

8개 규격에 대한 금형 제작을 완료 하였다.



D 50mm



D 75mm



D100mm



D 125mm



D 125mm



D 150mm



D 200mm



D 250mm



D 250mm



D 300mm



D 300mm

(사진 15) 제작된 금형

2. 팽창 팩카 튜브 보호막 제작

팽창 팩카 튜브 보호막은 초기 soft한 실리콘 고무로 제작하였으나 기계적 강도가 낮음으로써 이를 면섬유로 된 옷감 베로 대체하여 제작하였다. 그러나 보호막을 실험 시험 운용한 결과 면 섬유 자체가 팽창성이 확보되지 않음으로써 다각적인 연구와 개선이 진행되었다. 최종적으로 팽창튜브를 고정하는 상부와 하부 밴드 부분에는 주름을 형성하게 하고, 중앙 부위는 팽창이 될 수 있도록 제작하였다. 본 팽창팩카튜브 보호막은 그 실용성에 대한 권리를 보호하기 위해 실용신안등록 제0304088호(실용신안등록명 : 주름을 형성한 팽창튜브 보호카바)으로 특허청에 출원등록 하였다.

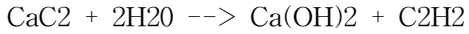
3. 투입장치 제작

투입장치는 원통체의 스테인레스 파이프 몸체에 그라우트 제재를 주입하기 위한 2개의 주입구를 내부에 설치하고 상, 하단에 팽창튜브를 각각 설치한 구조로 설치하였다.

4. 이액 팽창제 믹싱장치 제작

에폭시와 우레탄 제재를 이용한 믹싱장치를 제작하기 위해 연구 하는 중 카바이트(탄화칼슘)와 물이 혼합될 때 화학 반응을 일으켜 아세틸렌가스(C_2H_2)가 발생되며 이 가스를 이용할 경우 충분한 필요 팽창압력을 획득할 수 있음을 발견하게 되어있다. 카바이트(탄화칼슘) 포켓장치에 카바이트(탄화칼슘)를 충전하고 급수관을 연결하여 팽창

팩카튜브를 팽창시키고자 할 때 당김줄을 이용하여 급수관을 열게 되면 미량씩을 늘여가는 지하수로 인해 카바이드(탄화칼슘)가 포켓장치 내에서 화학반응이 일어나게 되고 C2H2가 생성되면서 C2H2 가스가 팽창 튜브를 팽창시킬 수 있게 되었다.



따라서 에폭시A와 에폭시B 제재를 혼합한 상태에서 카바이드(탄화칼슘)과 물(H2O)을 혼합하여 아세틸렌(C2H2)가스를 생성시키는 장치로 병용될 수 있도록 하였다. 이러한 결과 아세틸렌가스 생성과정에서 높은 압력이 형성되고 이로 인해 심도 20M 정도의 깊이에서도 에폭시제재가 장애 없이 팽창되어 체적이 형성될 수 있는 효과를 얻을 수 있게 되었다.



(사진 16) 카바이드 광경



(사진 17) 분말 가공된 상태



(사진 18) 믹싱장치 외통



(사진 19) 믹싱장치 내부장치



(사진 20) 결합 전 상태



(사진 21) 내부 결합된 상태

5. 고심도 팽창팩카 제작

고심도 팽창팩카는 고심도내에 폐공 팽창 팩카를 설치하여 폐공을 원상 복구하는 과정에서 반드시 필요한 부분이다.

일반 실리콘 고무는 기계적 강도와 압축 강도가 낮음으로써 통상적으로 30m전후에 설치되어 폐공을 원상 복구하는데 사용되어지는 것에 반해 고심도 팽창 팩카는 30m가 넘는 50m내외의 깊이에 설치됨으로써 높은 수압과 하중에 견딜 수 있는 구조를 갖춰야 하는 문제점을 가지고 있다.

따라서, 고심도 팽창 팩카용 Tube는 동양 나일론(주)에서 제조한 나일론사를 일렬방향으로 고무판(sheet) 내에 함침시킨 다음 성형하여 제조하는 방법을 사용하였다.

이러한 공정으로 제작된 팽창튜브고무는 측면방향으로는 팽창이 되나 수직방향으로는 팽창이 되지 않는 반면 나일론사의 특성상 고압에서도 견딜 수 있는 지탱구조가 될 수 있도록 하였다. 제조된 고무판(sheet)를 말아 일정한 두께를 유지하도록 성형한 상태에서 폐공 팽창 Tube가 만들어지도록 하였다.



(사진 22) 고심도 팽창튜브 원단고무판



(사진 23) 제작된 고심도 팽창튜브



(사진 24) 고심도 팽창튜브가 장착된 팩카

6. 시제품 제작완료

기 제작된 금형에 의해 실리콘 팽창튜브를 협력업체(동방실리콘 및 경성특수고무)를 통해 제작. 납품토록 하였다.

폐공 팽창 팩카의 주 Body로 일반 수도용 직관 PVC관을 가공하여 제작하였다. 이 액 팽창제 믹싱 장치는 수도용직관 PVC관(VG1) 내부에 별도의 직경이 작은 카바이트(탄화칼슘) 포켓용 수도용 직관 PVC관 (VG1)을 관입시키는 형태로 설치하되 두 PiPe 내.외벽공간은 시멘트 몰탈로 충전하도록 하였으며 별도의 연결 소켓을 이용하여 하부에 콘크리트를 충전한 PVC관 (VG1)을 부착하여 수중에의 부력에 의해 떠올라오지 않도록 하였다. 카바이트(탄화칼슘) 포켓은 상하부에 캠을 선반 가공하여 밀폐시켰으며 당김줄에 의해 급수도관이 열릴 수 있도록 하였다.



(사진 25) 폐공 팽창튜브 시제품 제작된 광경



(사진 26) 하부에 부착되는 콘크리트 충전재



(사진 27) 연결소켓을 설치한 상태



(사진 28) 팽창튜브가 장착된 상태



(사진 29) 하부연결소켓이 결합된 상태

7. 적용 시험 및 외부디자인

현장 적용 시험을 위한 시험 공을 착정하였다. 시험공 착정은 별도의 지하수개발, 이용신고 등의 복잡한 행정 절차를 피하기 위하여 신규 지하수 개발 현장을 추가비용을 부담하는 형태로 하여 현장을 최대한 활용하였다.

또한, 굴착 공 내부에 삽입 후 팽창튜브가 팽창되는 과정에서 규정된 압력에서도 누수현상이 없을 것인지의 여부에 대한 시험을 시행하였다.

팽창 팩카 튜브를 장착한 굴착공 억지 박음 장치를 굴착공 내부에 설치한 후 투입 직경의 적정성과 튜브의 팽창력, 그리고 지탱력을 함께 검토하였으며 모두 적절한 결과를 가질 수 있었다. 또한 외부 디자인도 전체적인 형태는 원통형 파이프 형태로 하였으며 팽창튜브를 끼워 넣은 후 양 끝을 STS Tube 밴드로 체결 결합하는 모양으로 하고 설치를 위한 로프를 연결하기 위한 고리와 급수장치 동작용 고리가 상부 면에 돌출하게 하였다.



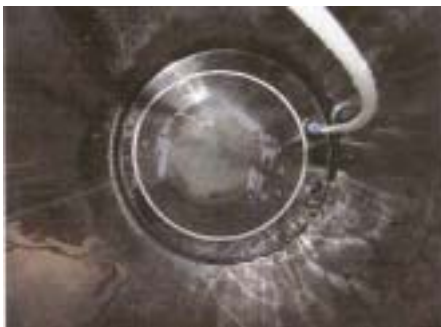
(사진 30) 시험공 굴착진행 광경



(사진 31) 팽창팩카튜브 팽창시험 광경



(사진 32) 팽창팩카튜브압력시험용 몸체제작 광경



(사진 33) 팽창팩카튜브 압력시험 시행 광경

제 4 장 목표달성도 및 관련 분야에의 기여도

제 1 절 연도별 연구목표 및 평가 착안점

1. 1차년도 연구목표 및 평가 착안점

가. 연구개발 목표 및 내용

| 구 분 | 연구 개발 목표 | 연구개발 내용 및 범위 |
|--------------------------|---|--|
| 1차년도 (2002) (기초연구) | <ul style="list-style-type: none"> ○ 폐공팩카의 각 구성장치들의 세부설계 작업 완성 ○ 팽창팩카 튜브 금형 제작 ○ 이액 팽창제재 조사 및 시험분석 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 팽창팩카튜브 설계 2. 금형 설계 3. 투입장치 설계 4. 팽창팩카 몸체 설계 5. 팽창제재 조사 및 시험분석 6. 팽창팩카 금형 제작(1차) 7. 시제품 제작(1차) |

나. 연구평가의 착안점

| 구 분 | 평가의 착안점 및 척도 | |
|---------------|---|--|
| | 착 안 사 항 | 척 도 (점수) |
| 1단계 (기초연구) | <ul style="list-style-type: none"> ○ 폐공팩카의 각 구성 장치들의 세부설계 작업 완성 ○ 팽창팩카 튜브 금형 제작 ○ 이액팽창제재 조사 및 시험분석 | <p style="text-align: right;">25</p> <p style="text-align: right;">50</p> <p style="text-align: right;">25</p> |

다. 연구개발 목표의 달성도

1) 폐공팩카 구성장치 세부 설계

폐공팩카의 각 구성장치들의 세부설계 작업을 완성하였다.

폐공팩카의 세부설계 항목도 다음과 같이 구분하였다.

- 가) 팽창팩카 튜브 설계
- 나) 금형 설계
- 다) 투입장치 설계
- 라) 팽창팩카 몸체 설계

팽창팩카 튜브 설계와 금형 설계는 규격별로 사양을 결정하여 진행하였다.

(표 5) 팽창팩카 튜브 및 금형 설계 규격별 사양

(단위 :mm)

| 규격별 | 내부직경 | 길이 | 두께 | 유효최대팽창직경 |
|------|------|-----|----|----------|
| D50 | 61 | 200 | 5 | 65 |
| D75 | 77 | 200 | 5 | 100 |
| D100 | 114 | 250 | 10 | 125 |
| D125 | 140 | 300 | 10 | 150 |
| D150 | 165 | 300 | 15 | 200 |
| D200 | 217 | 400 | 18 | 300 |
| D250 | 267 | 500 | 18 | 350 |
| D300 | 318 | 600 | 18 | 400 |

투입장치와 팽창팩카 몸체 설계는 자체 팽창을 위한 구조장치의 설계가 될 수 있도록 하였다. 또한 팽창고무 튜브의 재질은 그라우트제재의 수화열에 의한 파손을 방지하기 위한 내열성과 고무분해에 따른 수질오염을 예방하기 위한 내약품성, 내열수성이 우수한 실리콘 고무를 선택하도록 하였다.

2) 팽창팩카 튜브 금형 제작

모두 4개의 규격에 대한 금형 제작을 시행하였다.

그 제작 규격은 다음과 같다.

(표 9) 금형의 규격별 사양

| 규격별 | 제작처 | 비고 |
|------------|-------|----|
| 50 × 200L | 동방실리콘 | |
| 70 × 200L | 동방실리콘 | |
| 100 × 250L | 경성고무 | |
| 200 × 400L | 경성고무 | |

3) 이액팽창제 조사

위탁연구기관에서 시행한 내용으로써 크게 우레탄 제재, 에폭시 제재, 벤토나이트 제재로 분류하여 조사되었다. 우레탄은 물과 접촉 시 발포체가 분해 되어 차폐성을 유지하지 못하는 단점이 있었다. 에폭시제재는 별도의 에폭시수지의 경화에 사용되는 폴리아미드수지를 팽창팩카 몸체 내부에 충전하여야 하고 양 제재를 혼합 믹싱하는 과정에서 균일 팽창성 확보가 곤란하였으나 팽창의 신속 응답성과 조달 공급의 편의성이 높아 실용화하기에 적합한 것으로 조사되었다. 벤토나이트(Bentonite)는 점토광물 몬모리로나이트가 주성분으로 되어 있고 물과 반응 시 팽창이 이루어짐으로써 장치 구성을 간단히 할 수 있는 장점을 가질 수 있었다.

(표 10) 벤토나이트 제재 + 물(H₂O)결합 시 팽창성

| 입도 | 팽창성 | 비중 |
|------------------|---------|------|
| NO.300체 잔분 2% 이하 | 600% 이내 | 2.58 |

2. 2차년도 연구목표 및 평가 착안점

가. 연구개발 목표 및 내용

| 구 분 | 연구 개발 목표 | 연구개발 내용 및 범위 |
|------------------------------|---|---|
| 2단계 (2003.10 ~2004.09) | <ul style="list-style-type: none"> ○ 폐공팽창 팩카 각 구성 장치 제작 완료 ○ 시제품 제작 완료 ○ 현장적용시험 및 외부 디자인 완료 ○ 팽창 시험 분석 ○ 이액팽창의 팽창 지연시간 조사 분석 | <ul style="list-style-type: none"> - 폐공팽창 팩카 각 구성 장치 제작 완료 <ul style="list-style-type: none"> ▶ 팽창팩카 튜브 금형 제작 완료 ▶ 팽창팩카 튜브 보호막 제작 ▶ 투입장치 제작 ▶ 이액팽창제 믹싱장치 제작 ▶ 고심도 팽창팩카 제작 - 시제품 제작 완료 - 현장적용시험 및 외부 디자인 완료 <ul style="list-style-type: none"> ▶ 현장적용 성능시험 및 보완 ▶ 외부 및 포장 디자인 - 팽창 테스트 시험 <ul style="list-style-type: none"> ▶ 팽창체적 조사 분석 ▶ 유효 밀도 내 체적 조사 - 이액 팽창의 팽창지연 시간 조정 <ul style="list-style-type: none"> ▶ 총 팽창 소요시간 조사 분석 ▶ 팽창제재의 팽창 지연시간 조정 분석 |

나. 연구평가의 착안점

| 구 분 | 평가의 착안점 및 척도 |
|-----|--|
| | 착 안 사 항 |
| 2단계 | 1. 외관 및 팽창력 확보 2. 팽창팩카 튜브의 내압 3. 자체 팽창 압력 4. 팽창지연 시간 적정성 5. 적용규격(8개 규격으로 $\Phi 50\sim 300\text{mm}$) 충족 |
| | 계 |

다. 연구개발 목표의 달성도

1) 연구개발 목표의 달성도

2단계 기간 중의 연구개발 목표에 대한 결과 달성도를 아래와 같다.

| 구 분 | 연구개발 내용 및 범위 | 연구개발결과 |
|------------------------------|--|---------------------------------|
| 2단계 (2003.10~ 2004.09) | 1. 팽창 팩카의 각 구성 장치 제작 <ul style="list-style-type: none"> ▶ 팽창팩카 튜브 금형 제작 ▶ 팽창팩카 튜브 보호막 제작 ▶ 투입장치 제작 ▶ 이액팽창제 믹싱장치 제작 ▶ 고심도 팽창팩카 제작 | 완 료 완 료 완 료 완 료 완 료 |
| | 2. 시제품 제작 완료 | 완 료 |
| | 3. 현장적용시험 및 외부디자인 <ul style="list-style-type: none"> ▶ 성능시험 및 보완 ▶ 외부 및 포장 디자인 | 완 료 완 료 |
| | 4. 팽창 시험 분석 | 완 료 |
| | 5. 이액 팽창의 팽창지연 시간 분석 | 완 료 |

라. 연구 개발 내용별 달성내용

1) 폐공팽창팩카 각 구성 장치 제작

가) 팽창팩카튜브의 금형제작

금형제작은 1단계에 이어 2단계에서도 각 규격별로 동방실리콘(주)을 협력업체로 하여 제작하였다.

나) 팽창팩카튜브 보호막

팽창팩카튜브 보호막은 자체팽창성은 없으나 기계적 강도와 굴착공 내벽과의 접촉성 감안하여 면소재를 작용하여 제작하였다.

단지, 팽창성을 위한 대안으로서 체결부위인 상단과 하단부에 각각 주름을 형성하여 팽창팩카 튜브가 팽창할 때 용이하게 팽창성이 확보될 수 있도록 함은 물론 팽창팩카 튜브가 외부충격으로부터의 손상을 입게 되는 것을 사전에 예방할 수 있도록 하였다.

연구수행 방법은 동대문 재봉재단 업체를 통해 제작한 제품을 현장에서 설치, 검토하여 재보완 제작하는 방법을 사용하였다.

다) 투입장치 제작

투입 장치는 폐공팽창팩카를 지하수 관정내부에 설치한 후 초기 그라우트 제재를 투입하기 위한 장치로서 원통형의 케이싱에 에어실린더를 장착한 형태로 제작하였다.

투입되는 그라우트 제재가 지하수에 풀리지 않으면서도 침적될 수 있는 구조를 자체 연구를 통해 개발하였으며 실제품은 미진스텐공업사(문래동 소재)에 제작을 의뢰하여 제작가공을 완료하였다.

라) 이액팽창제 믹싱장치 제작

이액팽창제 믹싱장치는 팽창제재가 우레탄이거나 에폭시 제재일 경우 폐공팽창팩카 내부에 설치되어 두 제재를 혼합하여 빠른 시간 안에 반응을 얻고자 제작되는 것이다. 자체 팽창력을 카바이트(탄화칼슘)로 추가함으로써 이액 팽창제 믹싱장치는 카바이트(탄화칼슘) 포켓장치와 급수장치로 구성되어 지상에서의 조작을 통해 급수관이 열리고 카바이트(탄화칼슘) 포켓으로 급수가 진행되면서 화학반응이 일어나고 발생된 가스가 폐공팽창팩카를 팽창시킬 수 있도록 제작되었다. 제작 구조에 대하여는 실험실내

에서 모형제작을 통해 시험하였으며 최종 형태를 결정하였다

마) 고심도 팽창팩카 제작

(1) 제작방법

고심도 팽창팩카로 고심도 특성상 높은 수압을 견디는 형태로 제작되어야 함으로써 고무팽창튜브의 내부에 나일론사를 내장시켜 성형하는 방법을 사용하였다.

두께는 약 18mm 내외로 제작하며 팽창 Tube 고무 전문제작업체인 한솔테크(주)(인천 소재)를 통해 가공·제작 하였다.

(2) 시제품 제작

제작된 폐공팽창팩카 금형에 의거 제작된 팽창팩카 튜브를 시제품으로 제작된 각 규격별 폐공팽창팩카에 끼워 시제품을 제작하였다. 폐공팽창팩카의 Body로 pvc파이프를 사용하였으며 지하수 심정 내부에서 부력에 의해 폐공팽창팩카가 떠오르지 않고 자중에 의해 계획된 깊이까지 설치가 가능하도록 pvc파이프 Body 내부에는 시멘트 몰탈을 채웠고 그 중앙에 카바이트(탄화갈슘) 소켓을 형성하도록 구성하여 제작하였다. 폐공팽창팩카 Body와 팽창Tube와의 결합은 STS Tube 밴드를 사용하여 팽창용 Gas가 외부로 누설되지 않도록 하였다.

(3) 현장 적용시험 및 외부 디자인 완료

(가) 현장 적용을 위해 굴착장비를 이용하여 시험공을 굴착하였으며 시험공 내부에 폐공팽창팩카를 삽입. 설치하여 자체 팽창력과 공 내 지탱력 시험을 시행하였다.

(나) 현장적용시험 추진방법은 시험굴착된 굴착공 내부에 자체팽창 팩카를 삽입하여투입하였다. 투입이 완료된 후 정상적인 팽창여부와 팽창된 팩카가 팽창력에 의해 굴착공 내부에서 스스로 지지되면서 지탱되는지의 여부를 확인하였다.

(다) 팽창팩카를 투입하는 과정에서 굴착공 내부의 지하수 수중에서 형성되는 부력에 의해 초기 팽창팩카가 굴착공 내부의 계획된 깊이까지 투입되지 못하는 문제점을 발견하였다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 팽창제재가 장입된 공간하부에 콘크리트액을 채운 원통체를 소켓을 이용하여 연결하고 한 개의 몸체로 구성하여 팽창팩카가 부력을 극복하는 충분한 하중을 유지할 수 있도록 하였다.

(4) 팽창시험 및 팽창제재 팽창시간 조사

팽창 체적 및 팽창 Tube 내 팽창력 조사는 이액형 팽창제재 중 우레탄 계열로 결정하였으며, 공주대학교에 위탁 시행하였다.

3. 3차년도 연구목표 및 평가 착안점

가. 연구개발 목표 및 내용

| 연구개발 목표 | 연구개발 내용 및 범위 |
|-----------------------|--|
| 1. 시제품 성능 확인 | ①관측공 설치 및 막음장치 성능확인 ②규격별 제작조립을 위한 자체 및 협력공사 설비의 구성 |
| 2. 제작을 위한 협력 공장 설비 설치 | ①8개규격에 대한 제작공정을 마무리 ②자체 생산품목과 협력업체 제작 품목구분 생산체제 구축 |
| 3.국내,외 판매망 구축 | ①지하수개발업체 조달청. 지자체등 수요기관 상대영업망 구축 ②해외기술, 제품판매를 위한 전시, 상담, 인터넷 활용 |

나. 연구평가의 착안점

| 구 분 | 착 안 사 항 |
|----------------|-------------------|
| 3단계 (2004년) | 1. 시제품 성능 확인 |
| | 2. 제작을 위한 협력공장 설치 |
| | 3. 국내, 외 판매망 구축 |

다. 연구개발 목표의 달성도

1) 연구개발 목표의 달성도

| 구 분 | 연구개발 내용 및 범위 | 연구개발 결과 | 비고 |
|-----------|-------------------|---------|----|
| 3단계 | 1. 시제품 성능 확인 | 완료 | |
| (2004.10~ | 2. 제작을 위한 협력공장 설비 | 완료 | |
| 2005.10) | 3. 국내, 외 판매망 구축 | 완료 | |

2) 주요 연구개발 내용별 달성내용

- 가) 시제품 제작이 완료된 상태로서 막음장치의 성능시험을 위한 관측공 설치
- 막음장치 시공 후 수위 변동 여부 확인
 - 2개위치 수위 확인 시 정상

나) 제작과 판매를 위한 디자인까지 전 단계에서 마무리된 상태임으로 본격적인 양산과 판매를 위한 단계로 진입하여 제작 공장 설비를 설치하고 판매망 구축을 완료하며 해외 기술과 제품수출을 위한 작업을 진행

3) 장치의 적용에 따른 경제성 비교

가) 본 연구결과로 제작된 자체팽창 폐공팩카를 이용한 폐공원상복구와 기존 종래의 방법에 의한 폐공원상복구에 대한 경제성을 비교하였다.

종래의 방법에 대한 경제성 비교를 위해서 근거자료로서는 건설교통부와 한국수자원공사가 발간한 지하수 업무수행 지침서(2003. 7)에 등재된 지하수 폐공 원상복구 산출비용을 사용하였다.

종래 방법에 대한 원상복구방법에 의한 공사비는 2002년 1월 21일 고시한 건설교통부 고시 제 2002-9호에 근거한 것으로서 지하수개발.이용시 발생하는 폐공을 반드시 원상복구하기 위한 공사비용 확보를 위해 강제적으로 예치하게 한 원상복구 이행보증

금의 산출비용에 관한 것이다.

그러나, 본 이행보증금 고시가 2002년도에 이루어졌고 그동안 물가와 인건비 상승등을 감안하여 산출된 금액에 20%의 할증을 하여 산출된 금액을 비교금액으로 하였다.

자체팽창용 폐공팩카를 사용한 경제성 비교를 위한 근거자료는 적산자료에 등재된 폐공팩카를 이용한 폐공원상복구 일위대가와 물가정보에 등재된 폐공팩카 단가를 사용하였다. 다만, 실질적으로 현장에서 자재와 장치를 구매하여 시공하는 것은 협력업체 또는 지하수 개발, 이용시공업체이므로 이들에게 공급하는 단가는 물가정보에 기재된 금액의 60%임으로 협력업체에게 공급되는 단가를 환산하여 비교산출되도록 하였다.

특히, 현장에서 가장 많이 발생하는 150mm 와 200mm, 250mm를 비교대상에 두었다.

나) 경제성 비교검토 결과 굴착심도가 100m 이내인 경우 아직 연구개발기술이 비용이 더 지출되는 되는 것으로 산출되었으나 굴착심도가 200m인 경우에는 경제성이 있는 것으로 비교되었다. 물론 이 경우 2002년도 건설교통부 고시의 산출금액에 20%를 할증한 산출에 일부 무리가 있을 수 있다 하겠으나 4년이 경과된 현 시점에서의 정부 노임 단가의 변화와 그동안의 자재물가 상승을 고려할 때 실질적으로 공사시행시 반영될 수 있는 여지가 큼으로 산출금액의 차이는 크지 않을 것으로 사료된다.

종래 방법은 굴착심도가 깊어 갈수록 그 비용이 증가되는 반면 본 연구개발기술은 항상 일정한 비용으로 산출될 수밖에 없어 굴착심도가 깊을수록 그 경제성이 높다 하겠다. 또한, 설계자나 발주자 입장에서도 공사전후 설계변경 요인이 없어 업무의 단순성과 편리성도 충족되어질 수 있다 하겠다.

또한, 이러한 비교 결과는 현재 대체적으로 굴착심도가 점점 깊어져 가고 있고 대체적으로 200m~500m에 이르는 굴착이 많이 이루어지고 있어 점차 본 연구개발기술의 적용확대가 전망되어지고 있다.

(표 11) 연구개발기술의 경제성 비교

| 구분 | 연구기술방법 | | 종래방법 | | 증감 |
|----------------|--|-----------|--|-----------|-----------|
| | 산출근거 | 금액 | 산출근거 | 금액 | |
| 150mm *100m | 자재비1,280,000*60% =768,000 시공비845,271 계1,613,271 | 1,613,271 | 건설교통부고시 제2002-9호 산출금액*120% 1,331,463*120% =1,597,755 | 1,597,755 | + 15,515 |
| 150mm *200m | 자재비1,280,000*60% =768,000 시공비845,271 계1,613,271 | 1,613,271 | 건설교통부고시 제2002-9호 산출금액*120% 1,895,166*120% =1,597,755 | 2,274,199 | 감660,928 |
| 200mm *100m | 자재비1,980,000*60% =1,188,000 시공비845,271 계2,033,271 | 2,033,271 | 건설교통부고시 제2002-9호 산출금액*120% 1,394,772*120% =1,673,726 | 1,673,726 | + 359,545 |
| 200mm *200m | 자재비1,980,000*60% =1,188,000 시공비845,271 계2,033,271 | 2,033,271 | 건설교통부고시 제2002-9호 산출금액*120% 1,975,149*120% =2,370,178 | 2,370,178 | 감336,907 |
| 250mm *100m | 자재비2,370,000*60% =1,422,000 시공비845,271 계2,267,271 | 2,267,271 | 건설교통부고시 제2002-9호 산출금액*120% 1,477,639*120% =1,773,166 | 1,773,166 | + 494,105 |
| 250mm *200m | 자재비2,370,000*60% =1,422,000 시공비845,271 계2,267,271 | 2,267,271 | 건설교통부고시 제2002-9호 산출금액*120% 2,081,102*120% =2,497,322 | 2,497,322 | 감230,051 |

제 2 절 기술발전 기여도

1. 인체에 무해한 실리콘 고무를 활용한 다양한 규격의 팽창튜브 제작이 가능하게 됨으로써 폐공 원상복구 기술발전 기여

2. 팽창튜브를 지하수 관정 공벽의 충격으로부터 보호하여 줄 수 있는 보호카바의 개발로 깊은 심도에서 팽창튜브의 파열 사고를 예방

3. 고심도용 팽창튜브를 나일론사를 함침하여 제작하게 됨으로써 100m 내외의 깊은 지하수 관정 심도에서도 누수 없는 시험조사가 가능한 관련기술 습득이 가능

제 5 장 연구개발 결과의 활용계획

제 1 절 연구개발결과에의 활용 계획

1. 활용현황 및 계획

가. 본 기술은 폐공 원상복구를 위한 관정내에 삽입되어 깊은 심도 내에서 외부의 조작을 통해 자체적으로 팽창되어 차폐가 이루어지도록 하는 폐공 팩카 기술로서 일반 지하수 심정의 폐공 원상복구는 물론 토목공사와 터널공사에도 유용하게 적용되어 질 수 있는 기술로서 보급이 가능하다.

나. 함께 개발된 고심도용 고압팽창튜브는 토목공사 그라우팅 자재로의 변환 사용이 가능하고 지하수 관정의 그라우팅 작업 및 대수성 시험용 팩카 장치로도 활용이 가능하다.

다. 개발된 기술은 제품 생산이 일부 되고 있으며 각 협력업체를 통해 현장 보급이 시작되고 있다.

라. 북한 및 중국시장으로 진출을 위해 노력 중에 있다.

마. 국내 판매실적을 높이기 위해 건설교통부 및 농림부, 환경부에 폐공 원상복구를 위한 필수장치로 인정받기 위해 지침, 고시 등 규정화에 노력할 예정이다.

바. 지하수 개발 과정 중 각기 다른 굴착 직경에서도 정확한 중심 맞춤을 위한 장치로 활용 될 수 있어 건설한 오염방지를 기할 수 있다.

2. 추가연구의 필요성

지하수 관정 내에 삽입 설치 시 관정 내 지하수 중에서 부력으로 인한 강하 시간이 길게 소요되는 문제를 해결하기 위해 노력 중에 있으며, 이와 관련한 추가 연구가 필요하다.

3. 타 연구에의 응용

제작된 고심도 고압 팽창 팩카를 이용하여 상수도 보수용 팽창튜브를 응용 제작 할 수 있도록 연구가 진행 중에 있다.

제 6 장 참고 문헌

1. 서울시 지하수 오염방지 및 관리방안 연구 (1995, 서울시 시정개발연구원)
2. 오염지하수와 토양 환경의 위해성 평가 (1998, 한림원, 한정상)
3. 지하수 환경과 오염 (2000, 한정상)
4. 폐기방치공의 발생원인 분석 및 대책 연구 (2001, 임승태)
5. 주입공법 (1995, 중앙대학교 출판부, 홍원균)
6. 시멘트, 양액, 주입공법 (1996, 원기술 편집부)
7. 지하수 업무수행 지침서 (2003, 건설교통부, 한국수자원공사)
8. 지하수 조사연보 (2004, 건설교통부 . 한국수자원공사)
9. 환경 보전과 토목 (1999, 엔지니어즈, 서규우)
10. 응용지하수학 (2000, 시그마프레스, 손호웅 외)
11. 지하수개발·이용 핸드북 (2005, 건설교통부, 한국수자원공사)
12. 건설신기술 일위대가 (2006, 한국건설신기술협회)