경부운하 건설과 수중발파

안명석[1] · 한동훈[1] · 윤종락[2]

생태네트워크 구축을 위한 물길복원과 국가하천의 대정비사업을 위해 중요한 역할을 하는 경부대운하 건설이 더욱 구체화 되어가고 있는 이 때에 발파공학도의 축적된 기술을 발휘 할 수 있는 터널 및 노천 · 수중발파 영역중에서 부산항 중심 수중발파, 각종 도로공사장의 교각건설용 우물통 수중발파 기술을 소개함으로써 경부운하 약540Km 中 충주-문경간 장대터널과 한강 및 낙동강 상류지역의 주운항로 개설을 위한 수중 암절취공법에 응용함으로써 국토 대개혁 건설사업에 보다 적극적으로 참여하여 발파공학 기술을 더욱 발전시키고 효율이 더욱 향상 될 것으로 기대된다.

1. 서 론

1.1 운하의 역사

1) 중국의 운하

경향 대운하는 중국운하의 역사라고 할 수 있다. 경향 대운하의 개념도는 그림 1과 같다.

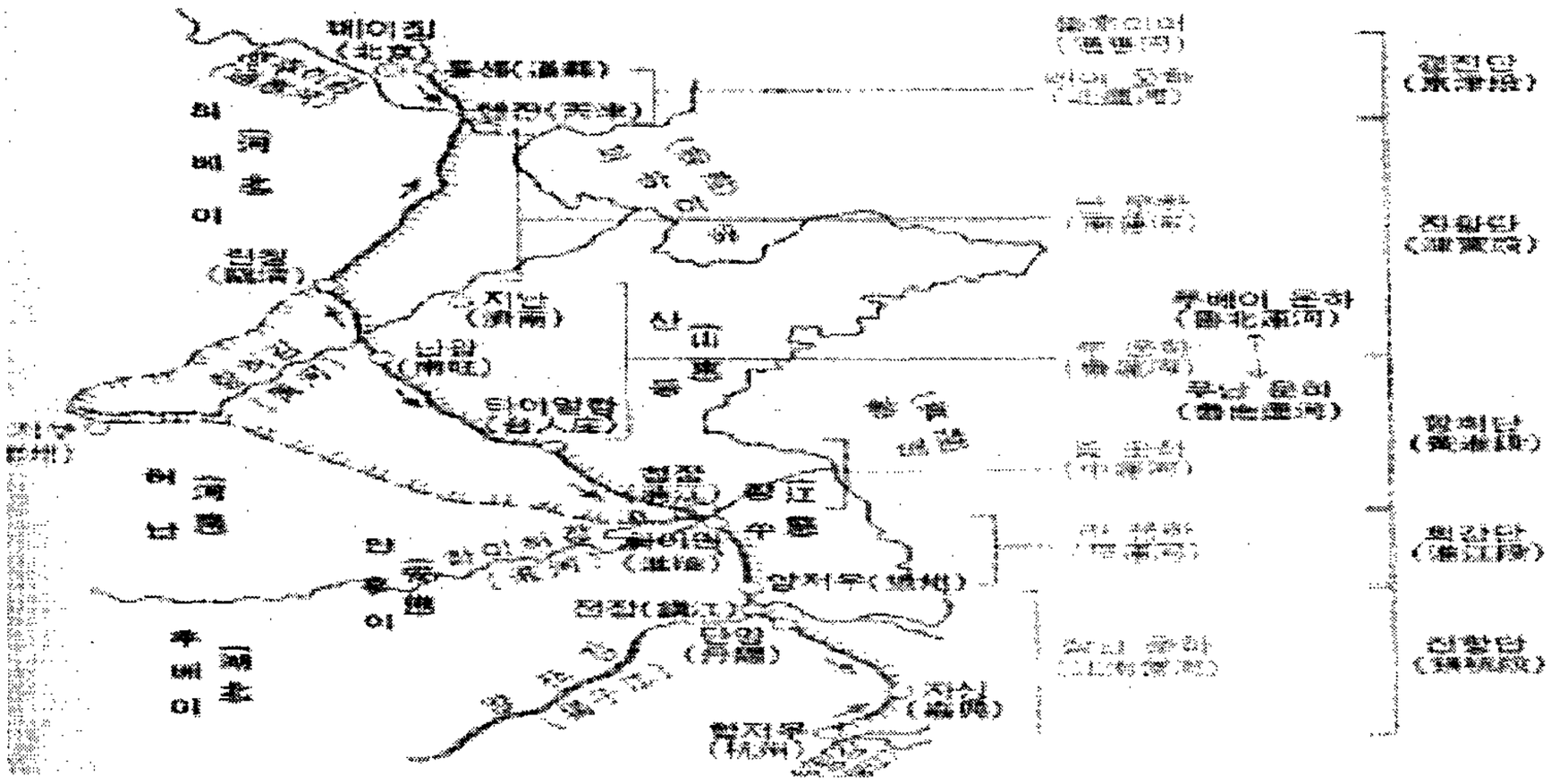


그림 1. 경향 대운하의 개념도

---

1) 동서대학교 amspeoff@chol.com 011-558-2593
2) 부경대학교

2) 유럽의 운하

독일의 라인-마인-도나우 운하를 대표적으로 들수 있으며 스웨덴의 예타 운하와 기타 영국, 벨기에 등에 광범위하게 연계, 운영되고 있다.

3) 수에즈 운하와 파나마 운하

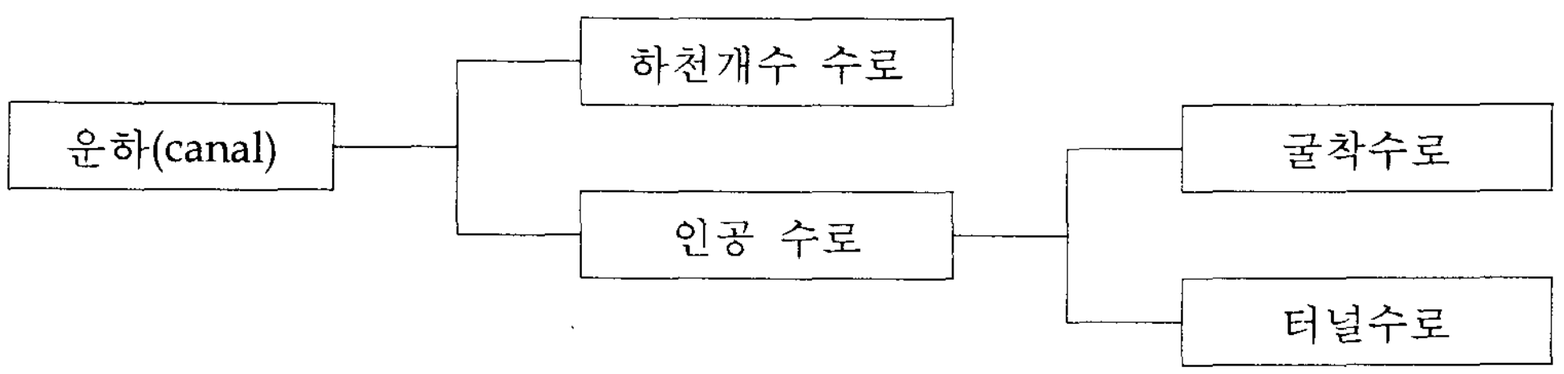
대양간 연결 역할로 물류 절감에 획기적인 역할을 하는 수에르 운하와 파나마 운하를 들 수 있다.

4) 북미의 운하

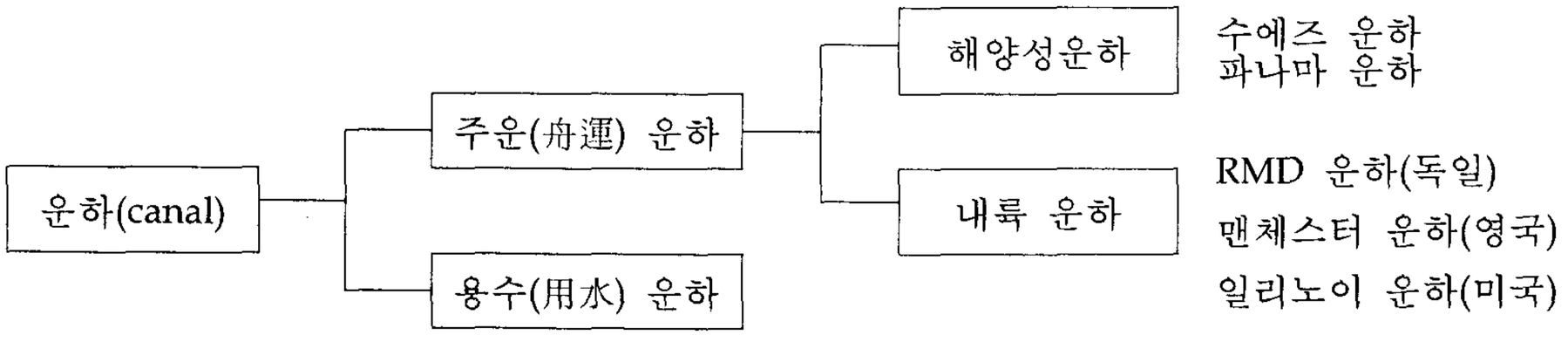
미국과 캐나다의 운하는 내륙물류수송 및 국가간 물류에 큰 역할을 하고 있다.

1.2 운하의 종류 및 분류

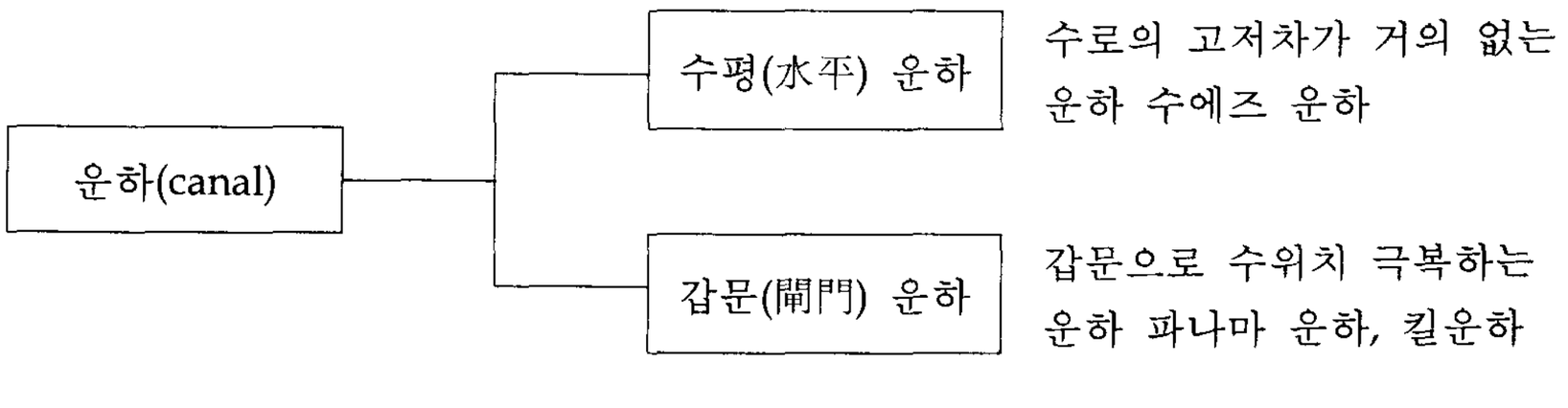
1) 공학적 분류



2) 기능적 분류



3) 구조적 분류



1.3 한반도 대운하와 경부 운하건설

운하(運河, canal)란 강과 강의 하도를 이어 배가 다닐수 있는 길을 내는 것으로서 선박의 운항이나 농지의 관개와 배수 또는 용수공급을 위해 인공적으로 만들어진 수로(水路)이다.

한반도 대운하는 고려시대 부터 거슬러 올라갈수 있으며, 조선시대에는 고려의 조운보다 훨씬 발달하였는데 "조선후기 지토선의 세곡임운활동 구역 및 임운항로도"를 보면 그 개념도를 이해 할 수 있다. 향후 남북 통일 이후에 북한의 대동강등과 연계계획을 가지고 한반도 대운하를 계획하여야 하지만, 여기서는 남한의 한강과 낙동강을 연계하는 경부대운하를 위주로 연구하고자 하며, 특히 주요공정중 하나인 충주~문경간 24Km 예상 터널굴착과 문경 ~ 상주간 수중 주운항로개설을 위한 수중굴착을 주안점으로 하였다.

2. 본 론

2.1 운하공사와 암절취 공법

1) 운하공사의 개요

수문이란 유수의 소통을 위하여 하천제방을 가로질러 설치된 하천제방 효용을 갖춘 공작물이다. 통수단명이 큰 것은 수문, 작은 것을 통문 또는 통관이라 한다.

2) 수문과 통문(통관)의 구분

① 수문

- 내수배제, 용수의 취수, 주운 및 염해방지를 위하여 하천, 해안, 호안, 제방의 일부에 설치된 구조물 중 통수단명이 크고, 제방을 분단하여 상부가 개방된 것을 수문이라 한다.
- 수문은 경간길이가 3m 이상인 것을 말한다.

② 통관, 통문

- 통수단면이 직사각형인 것을 통문, 원형단명인 것을 통관이라 한다.
- 크기로 할 때 대략 1m 이내인 것을 통관이라 하며
- 단면의 연수로 구분할 때 1연을 통관이라고 한다.
- 구조로 구분할 때 흄관같이 철근 콘크리트로 라이닝한 것을 통관이라 하며
- 형상으로 구분시 원형을 통관 이외인 것을 통문이라고 한다.

3) 사용목적에 따른 구분

- 배수통문
- 용수통무
- 역수통문
- 통선통문

- 방조수문 및 조절 수문

2.2 수중 암절취공법의 종류와 경제성 검토

수중(항만)공사의 설계표준에 있어서 각종 중기 특히 선박중기에 대한 작업효율을 고정하고 있는 것이 특색이며, 수중공사에 있어서의 잠수작업의 시간성, 물의 명암도, 수심별 수압의 측정, 해상운반의 계산식 등이 명확하게 제시되지 아니한 것과 육상과 수중의 명확한 작업한계 등의 규정이 없는 것 등은 개선되어야 할 당면의 과제가 된다. 운하항은 항로, 선류장, 방파제, 방조제, 로크, 물양장, 안벽, 임항교통시설인 도로, 철도 등과 항해보조시설, 하역시설, 역개시설, 보관시설, 선박 보급 및 후생시설 등이 필요하다.

암반층의 준설(암절취공법)의 경우 디퍼준설선과, 쇄암봉준설선 굴착, 발파준설(암파쇄)공법을 들수 있다. 깊은 수심의 수중 암절취공사의 경우 35tom 내지 52tom 쇄암봉 작업에 비해 발파작업은 공기가 1/2로 줄어들며 62%정도의 공사비가 절감된 사례를 아래에 제시하였다.[4)]

표 1. 발파 및 쇄암 작업시 경제성 비교 검토표

구문	수량(m^3)	발파작업시(A)		쇄암작업시(B)		증감(B-A)	
		단가	금액	단가	금액	단가	금액
직접비	31,263	224.7천원	7,025백만원	366.0천원	11,422백만원	141.3천원	4,417백만원

2.3 수중 암파쇄 발파공법

1) 수중발파

대상암석의 일부 혹은 전부가 물로 덮여 있는 경우의 발파를 말한다. 천공이나 장약 및 배선작업 등이 모두 수중에서 이루어지므로 일반발파와는 다른 점이 많다.

2) 수중발파의 특성

① 천공 착점이 수면 하이므로 잠수부들이 천공작업을 해야 하고 별도의 주상작업이 필요할 뿐만 아니라 공의 방향이나 정밀도를 확인하기 힘들다는 점을 들 수 있다. 또 천공을 실시한 천공 중에는 장약불능공이 2~10%에 달하므로 천공수가 육상시보다 늘어난다.

② 육상의 계단식발파보다 장약량이 증가하는데 수심에 따라 3~6배에 달하기도 한다.
③ 뇌관장치가 특수하며 전기뇌관의 경우에는 도통시험 외에 누전측정도 해야 한다. 배선이 완료된 후 뇌관과 각선과 모선의 도선이 못쓰게 되는 경우도 5~20%나 되므로 이를 고려하여 천공수나 장약량을 충분히 해야 한다.

3) 수중발파기법

발파 기법상 수중발파는 계단식발파와 비슷하나 물이 폭발압을 감소, 완충시키므로 발파 설계시 수압을 고려해야 하고 불발 또는 장약공 간의 공폭에 의해 균열이 불완전해질 우려가 있어 계획공간거리와 장약량의 편차를 더 많이 고려해야 한다.

파쇄된 암석을 준설하거나 폐석 운발할 때는 파쇄 정도가 중요한 실제문제로 대두 되었는데 바닥면을 고르게 하기 위해서는 상당량의 초과천공이 필요하며 수심이 깊은 경우나 진흙으로 덮인 지역은 장약량이 특히 증가하는 점도 계단식발파와는 다른 점이다.

4) 수중발파가 실시되는 경우

① 항만이나 해협, 하천, 호소 등의 준설, 항만시설, 호안공사
② 교각의 기초
③ 해저에 침몰한 선박의 철판절단
④ 어초 조성, 해저암포의 제거 및 이동, 어초용 콘크리트블럭 안치
⑤ 기뢰, 어뢰, 폭로 등의 폭발
⑥ 지진탐사 등을 위한 해저 발파

2.4 수중암 발파 및 CM(건설사업관리)사례

국내에는 운하개설을 위한 수중발파 사례는 전무하다.

경부대운하 건설구간 540Km중 터널구간 약 24Km를 제외하고 대부분의 구간은 수중암발파 혹은 준설이 예상된다.

특히 한강상류 및 낙동강상류(문경~상주구간)의 경우 수심이 낮아 수중발파의 중요도가 매우 높은 편이다. 필자는 13년간 약 600여건 이상의 발파설계 및 기술지도 경력 중 도로건설을 위한 강 혹은 하천의 얕은 수심의 우물통 발파 사례와 항로 중심을 위한 깊은 수심의 수중발파 사례와 발파공정(사업)관리(CM)의 사례를 간단히 소개하고자 한다.

1) 수중암 발파공법의 종류[6)]

수중발파는 장약방법의 종류에 따라 수중현수발파, 수중부착발파, 수중천공발파로 분류한다. 수중발파의 3종류를 그림 2에 나타내었다.

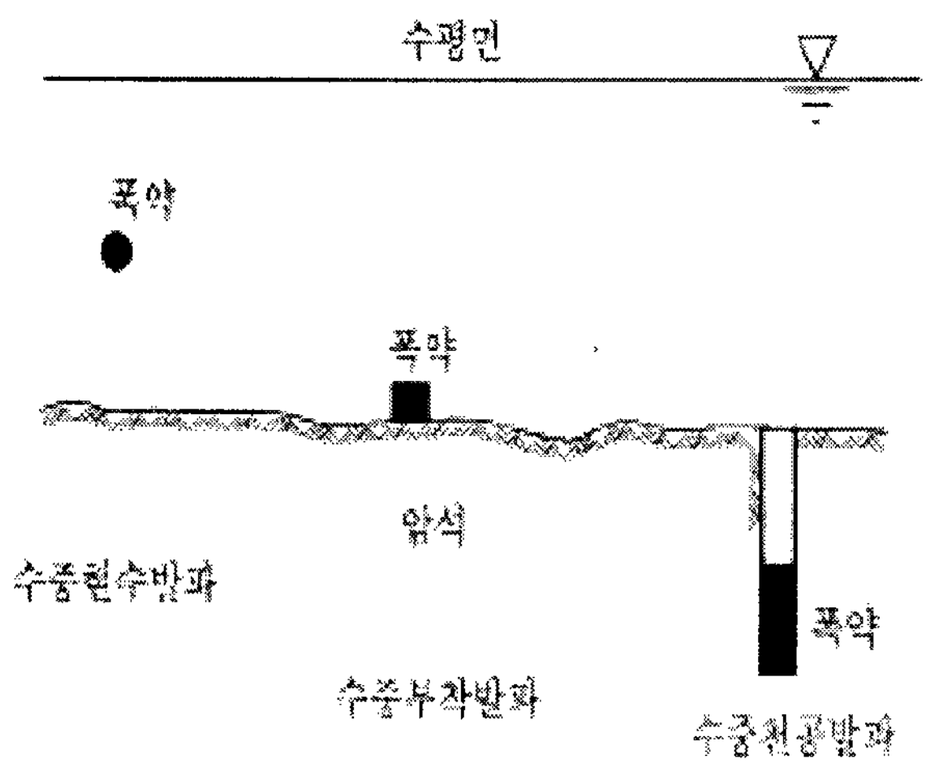


그림 2. 수중발파법

2) 도로교각 가설용 우물통 안착 얕은 수심의 수중발파 사례

가. 공사개요

- 공사명 : ○○대교 확장 및 성능개선공사
- 암반특성 : 선캠프리아기 경기편마암 콤프렉스 호상편마암, 연경암
- 굴착심도 : 1~2m
- 보안물건간 거리 : 9~1500m
- 보안물건의 종류 : 우물통, 교각, 주택
- 진동안전기준 : 25.4cm/sec, 5.0cm/sec, 0.5cm/sec

나. 발파제원

- 천공경 :75mm
- 장약량 : 50mm
- 천공장 : 1.5m
- 공당장약량 : 1.2~2.0kg
- 사용폭약 : 다이나마이트
- 사용뇌관 : 전기뇌관

다. 계측결과

- 진동 : 1.92~0.183cm/sec(교각)
- 소음 : 90.2dB(A)
- 음압 : 128.3dB
- C.C : 변위 없음

라. 발파 CM적용 사례

- CM의 유형으로는 CM for Fee 방식과 Turn Key 방식 등이 있으나 본 공사장의 경우는 Turn Key 방식을 취하여 공정관리 (발파에 관한 건설사업관리)를 실시하였다.

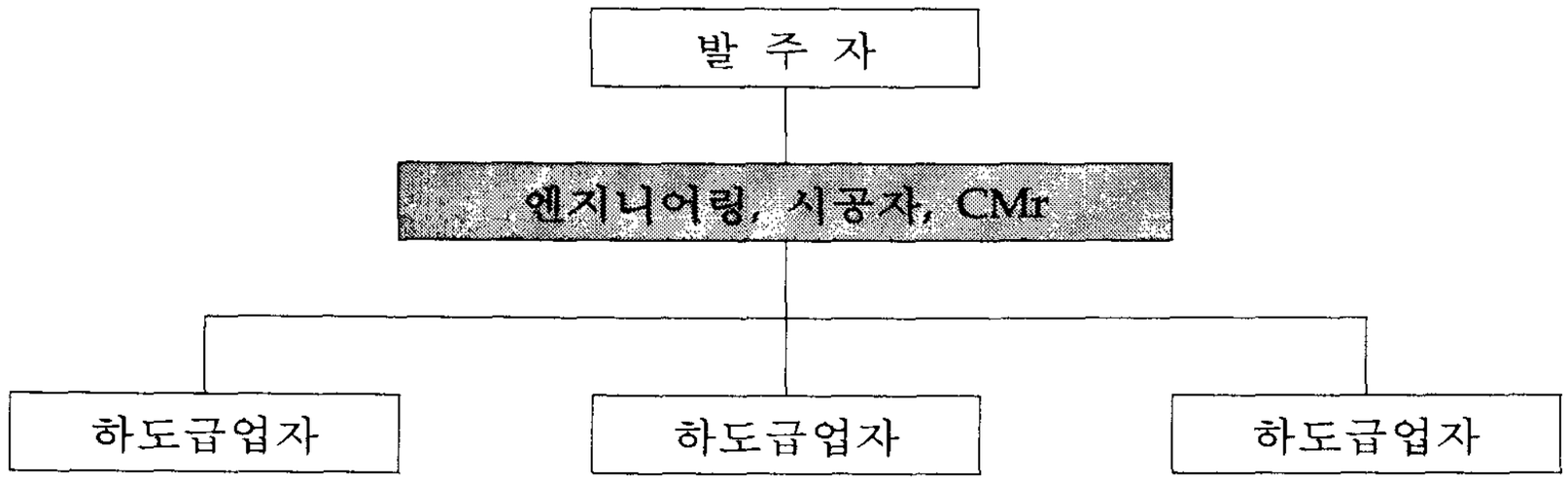


그림 3. CM사업의 유형 中 Turn Key 방식

- 공정관리(발파CM) 기간 : 2001.11.16 ~ 2003.4.23
- 적용결과 : 우물통파손 및 주변 교각에 변위(피해)없이 성공적으로 공사가 완료됨

3) 항로중심을 위한 깊은 수심의 수중발파 사례

① 다이나마이트를 사용한 시공사례[7)]

가. 공사개요

- 공사명 : ○○항 중심 준설공사
- 암반특성 : 화강섬록암, 일축압축강동 1897Kg/㎠
- DL하부 12m부터 기반암, 점토층 0.9~1.1m
- 굴착심도 2~3m
- 보안물건간 거리 : 부두 147m, 등대 574m

나. 발파제원

- 천공경 : 75:mm, 120mm
- 장약경 : 50mm
- 천공장 : 2~3m
- 공당장약량 : 2~3Kg
- 사용폭약 : 다이나마이트
- 사용뇌관 : TLD, DHD 비전기식 뇌관

다. 진동계측 결과

- 진동 : 0.0127~0.40cm/sec
- 소음 : 73.8~86.6dB(A)
- 음압 : 93.9~105.7dB(L)
- C.C : 변위 없음

라. 발파 CM 적용사례

- CM사업의 유형중 Turn Key 방식을 적용하였음
- 공정관리(발파CM)기간 : 2004.6.7~2006.4.30
- 시설물관리상태: 등대, 부두, 방파제등 균열, 파손이 없었음

- 진동, 소음관리 상태 : 0.4cm/sec 이하, 105.7dB(L)이하로써 진동 기준치 2.5cm/sec, 음압기준치 120dB(L) 이하였다. 소음치는 최대 측정치 86.6dB(A)로써 소음기준치 80dB(A)를 일부 초과하였다.

② 에멀젼폭약을 사용한 시공사례[2)]

가. 공사개요

- 공사명 : ○○신항 증심공사
- 위 치 : 경남진해시 안골동 토도해상
- 암 량 : 65000㎡

나. 발파제원

- 천공경 : 75mm, 150mm
- 장약경 : 50mm, 130mm
- 천공장 : 4.0m, 6.5m, 8.0m, 10.0m
- 공당장약량 : 5.0, 36, 54, 78Kg
- 총장약량 : 240, 282, 810, 420Kg
- 비장약량 : 0.87, 0.62, 0.75, 0.87Kg/㎥

다. 진동계측 결과

- 70m : 지점 0.364㎝/sec
- 120m : 지점 0.384㎝/sec
- 85m : 지점 1.6㎝/sec
- 130m : 지점1.69㎝/sec

라. 결과분석

① 천공경의 선택은 현장여건에 따라 달라질수 있으나 본 공사장의 경우 작업의 효율성, 천공상태의 유지, 발파효과 등을 고려하여 150mm의 천공경을 선택하였다.

② 전색은 최소 2m 이상을 반드시 실시하였다.

③ 기폭 시스템은 전기뇌관 보다 비전기식 뇌관을 사용하는 것이 안전하고 성공적인 결과를 기대 할 수 있었다.

④ 최소한 2개 이상의 기폭용 뇌관을 사용하여야 한다.

4) 수중 소음이 어류에 미치는 영향[5)]

① 소음과 수중 소음의 특성

인위적인 소음은 인간은 물론 동물에게도 해로운 영향을 미치며 해양 포유류나 어류 등의 수서 생물에게도 먹이 활동이나 기타 생리에 해로운 영향을 줄 수 있다. 어류는 평시에 적용하고 있는 배경소음보다 수중에서 발생하는 인위적인 원인 소음의 크기가 게 되면 인간과 마찬가지로 해양 생물은 도피 행동이나 손상 등을 보이게 된다.

② 수중 소음에 의한 피해영향 범위

- 준설선 : 450m 이하(직접적인 피해영향 범위)
- 예인선 : 15m이하
- 원형파일 : 10m이하
- 쉬트파일 : 30m이하
- 쇄암봉(45tom) : 3000m
- 수중발파(8kg) : 260m
- 이상의 피해범위는 각 수중소음원의 피해범위이며 준설선이나 예인선 소음이 어류의 이동경로에 위치하게 되면 어류의 이동을 차단하게 되어 간접적인 피해를 주게 될 것이다.

3. 결 론

본 연구에서는 경부대운하 사업을 성공적으로 수행하기 위하여 운하의 개념을 정리하였으며, 특히 수중암 절취공법에 대해 논하였고 국내 시공사례를 통하여 설계 및 시공을 위한 구체적인 수중발파 기술을 소개하였으며, 요약 정리하면 다음과 같다.

1) 경부 대운하 공사의 성공적 완수는 한반도 대운하 구축에서 가장 중요한 요소이다. 특히 충주~문경간 대단면 장대터널 발파기술과 주운항로 건설을 위한 수중발파는 매우 중요한 기술이다.

2) 수중발파의 경우 국내에서도 몇몇 전문가에 의해 간헐적으로 시공해 왔으나 대부분 정립·정예화 되지 못하고 있는 실정이다.
그러나 외국의 운하 건설과 한국의 경부운하 건설은 운하의 크기와 강의 특성 및 환경 보호론자의 반대 등으로 더욱 세심한 조사와 분석, 설계, 검증이 필요할 것이다.

3) 본문에 소개된 수중발파 사례를 볼 때 국내 기술로도 충분히 해결될 수 있음이 입증되었다. 그러므로 충분한 시공경력과 설계 및 감리제도의 활용, 특히 건설사업관리(CM)에서 한단계 진보한 CM for Fee 방식의 건설(발파)사업관리 제도를 도입한다면 경부대운하건설 사업에서 발파기술의 역할은 충분할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. 김방식외 4인공저 2006 “최신토목시공학” 도서출판 구미서관 P.686~700
2. 안봉도·이익주·허태문, 2007 화약·발파 “에멀젼폭약을 사용한 수중발파사례”(사)대한화약발파공학회 Vol.25, No.2, 2007.P.71~78

3. 민형동외 2명, 2008 " 수중발파시공", 2008대한화약발파공학회 발파기술워크숍, 2008.2.2 P.1~20
4. "시험쇄암기술검토서", 2003 (주)한진해운·거양해운(주), 2003.3.31 P.10~11
5. 윤종락·안명석외, 2006 "수중 소음이 어류에 미치는 영향" 2006추계 소음진동학술대회 (사)한국소음진동공학회 2006.11.17 P.21~22
6. 강추원, 2005 "발파공학" A to Z, 구미서관 2005.9.5 P.236
7. "시험발파결과보고서", 2004 (주)한진중공업, 2004.6.21 P.26