

갱내화재 사례와 특성에 대하여

朴贊宣 / 資料管理室 室長

최근 대도시에는 인구의 집중, 지가의 앙등 등으로 인하여 지하가, 지하철, 지하철도 등 대형 지하공간이 출현하고 있다. 이들 지하공간은 지상의 환경과는 상이한 환경을 갖고 있기 때문에 화재가 발생하면 피난, 소화활동 등이 곤란하여 많은 인명 피해를 초래하고 있다.

본 논문은 日本 資源環境技術綜合研究所 井清武弘 씨가 쓴 “坑內火災事例와 特性에 대하여”를 번역한 것으로 갱내의 환경조건과 유사점이 있는 지하공간의 화재안전대책수립에 참고가 되었으면 한다.

1. 서론

대도시에서는 지하가, 지하철 등 지하공간에서 사람이 활동할 기회가 많다. 땅값의 仰騰과도 관련하여 이들의 영향이 점점 많아지는 경향이며, 더욱 미개발 지하영역을 적극적으로 이용하고자 하는 것이 최근의 정세이다.

「폐쇄공간」, 「강제통기(환기)」 등, 지상의 일반환경과 상이한 환경을 갖는 특수공간의 이용에 있어서는, 많은 利點과 함께 短點도 사전에 분별해 둘 필요가 있다. 지하공간의 이용과 더불어 가장 확실히 해결해 할 문제로 「안전대책」을 들 수 있다. 여기서는, 탄광에서의 갱내화재의 실험결과 등을 예로 들어 지하공간의 화재안전대책에 참고가 된다고 생각되는 점을 소개한다.

2. 탄광에서의 갱내화재 사례

갱내화재는 그 발생형태에 따라 갱도에 존재하는

가연물이 有炎연소하는 노출형 갱도화재와, 탄층내부 또는 採掘跡의 殘炭이 자기발열하여 연소하는 자연발화로 대표되는 潛狀型화재로 분류된다. 갱내화재발생 통계에 의하면, 발생건수에서는 자연발화가 압도적으로 많아, 석탄탄광에서의 갱내화재의 80% 이상을 점하고 있다. 그러나 갱도화재는 급속히 연소확대하여 다량의 연기와 유독가스를 발생하기 때문에 작업원에 대한 위험성이 높다.

1949년 이후 10명 이상의 罹災者가 발생한 재해발생건수를 원인별로 나타낸 표1에 의하면, 57건의 대규모재해 중 갱도화재에 의한 재해는 9건으로 재해전체의 16%를 점하고 있다. 이것에 비하여, 자연발화에 의한 대규모 재해는 1건에 머무르고 있으며, 화재에 의한 중대재해의 태반은 갱도화재에 기인하고 있는 것을 알 수 있다.

근년, 갱내機材의 난연화대책과 각종 착화원대책이 추진된 결과, 갱도화재 발생빈도에서는 착실한 개선점을 볼 수 있으며, 재해도수율은 매년 감소하는 경향이다.

그러나, 한편으로는 다음에 서술하는 이유때문에 일단 화재가 발생하면 대규모의 중대재해가 될 위험성이 증대하고 있다. 즉, 오늘날 세계적인 경향으로

표 1. 罹災者 10명 이상이 발생한 중대재해 건수(1949년 이후)

갱내화재	자연발화	가스탄진 폭발	갱내출수	가스돌출	낙반
9건	1건	36건	7건	3건	1건
15.8%	1.8%	64.2%	12.5%	5.4%	1.8%

서, 석탄광산의 採部奥部化 더군다나 채굴작업의 기계화가 발전하여, 갱내 기계의 대형화, 자동화에 따라 갱내에서 아주 많은 에너지를 집중하여 소비하고 있다.

이것에 수반하여, 가연성물질로 이루어지는 갱내機材가 증가함과 동시에, 전기불꽃과 마찰發熱 등 착화원이 잠재적으로 많이 발생하고 있다. 이것은, 우리나라에서의 갱도화재에 의한 재해사례에서도 알 수 있다.

표2는, 석탄광산에서 과거 40년 동안에 발생한 갱도화재의 원인, 상황 등을 정리한 것이지만, 그 대부분은 콤페이어벨트, 케이블 등 갱내 기계에서 출화한 후 갱목, 벨트, 케이블 등으로 延燒하여 갱도 전체의 화재에까지 확대하고 있다. 또, 우리나라에서의 有名탄광(1984년 1월)의 재해, 미국의 Wilberg탄광(1984년 12월)의 재해, 소련 Yuzhno-Donbass탄광(1991년 6월)처럼, 근년 갱도화재에 의한 재해규모가 커지는 경향도 볼 수 있다.

3. 갱내화재의 피해확대 요인

3.1 연소피해확대

표3에는 1949년 이후에 발생한 갱내화재 71건 중 50건에 대한 소화방법을 정리한 것을 표시하고 있다. 표에서 소화방법의 합계숫자는 조사대상 50건 보다 배 이상이 많은 109건이 되고 있다. 이것은, 1건의 화재에 대하여 복수의 소화수단이 채용된 것을 가리키고 있다.

화재발견후 초기소화 등의 조치에 의해 직접 소화에 성공한 예도 있지만, 표중에 표시된 밀폐(21건)과 수몰(11건)은 직접 소화가 곤란했었기 때문에 부득이하게 취해진 措置이다.

화재熱과 가스, 연기 등의 저해요인으로 말미암아 화재현장으로의 접근이 곤란한점과 갱도 주변 암반 때문에 원거리방수가 곤란한 것 등 각종 요인에 의해, 갱내에서의 소화작업은, 화재가 어느정도 이상 발달하면 극히 곤란하게 된다. 그 결과, 현장소화를

표2 갱도화재에 의한 재해사례 일람표(1949년 이후)

탄 광 명	년 월 일	발 생 장 소	이 재 자 數	직 접 원인	화재발생 상황
大 和 田	1949. 10. 6	立入갱도	14	압축기	전동기, 절연유의 연소
上 添 田	1950. 1. 15	갱내계원 대기소	3	전동	전동절연용 Bakelite의 연소
大 浜	1950. 10. 11	Gate갱도	1	개폐기	갱도 나무틀의 소실
後 藤 寺	1952. 6. 20	갱내 사무소	10	不明	목재사무실 소실
芦 別	1954. 5. 9	立入갱도	1	Tolley선	Pantograph불꽃의 화상
古 賀 山	1956. 9. 19	Gate갱도	5	케이블	케이블, 갱도 나무틀의 소실
清 水 澤	1957. 4. 9	Gate卸口	2	不明	갱도 나무틀의 소실
上 清	1961. 3. 9	수평갱도	71	煙車	압축기, 갱도 나무틀의 연소
大 辻	1961. 3. 16	卷卸	23	압축기	압축기, 작동油의 연소
大 平 洋	1964. 4. 5	目拔갱도	1	케이블	케이블, 갱도 나무틀의 연소
美 唄	1968. 5. 12	Gate갱도	13	Battery	갱도 나무틀의 소실
平 和	1968. 5. 12	Belt斜坑	31	벨트콘베이어	벨트의 소실
西 部	1973. 5. 29	立道갱도	4	케이블	케이블, 화약고의 소실
幌 内	1975. 11. 27	操車갱도	24	가스폭발	갱도 나무틀의 소실
夕張新鑛	1981. 10. 16	채탄구역	93	가스폭발	갱도 나무틀의 소실
三池有明	1984. 1. 18	Belt斜坑	83	벨트콘베이어	벨트, 갱도 나무틀의 소실

표 3. 갱내 화재시의 소화방법

소 화 법		건 수	%
직 접 소 화	소 화 기	15	24.8
	살수관등교체	23	21.1
	소 화 전	15	13.8
	모래, 岩粉	5	4.6
	소 화 탄	3	2.8
	소 방 차	2	1.8
	기 타	10	9.2
密	閉	12	11.0
水	沿	11	11.0
不	明	1	0.9
계		109	100.0

포기하여 밀폐, 수물 등에 의한 간접소화조치를 취하지 않을 수 없음이 적지않다는 것을 여기에서 나타난 예로 이해할 수 있다.

소화활동에서의 많은 制約이 연소피해확대와 점차 결부되어 생기는 점이 지하에서의 화재특질이 하나라고 말할 수 있다.

3.2 인적피해의 확대

소화활동의 곤란에 더불어 지하의 폐쇄공간에 통

기가 행해지고 있는 갱내의 특성상, 이 통기류를 따라서 연기와 火災跡가스가 유동하는 점과, 경우에 따라서는 통기류에 거슬러 그들이 역류하는 경우 등으로 인한 인적피해가 擴大한다.

前述한 3개의 화재사고사례에 대하여 살펴보면, 유명탄광 재해의 경우, 사망자 전원 83명이 일산화탄소 중독에 의해, 소련의 Yuzhno-Donbass탄광(1991년 6월)의 경우, 32명 사망자 중 31명이 일산화탄소를 중심으로 하는 독성 가스에 의해, 1명이 산소결핍에 의해 사망했다고 되어 있다.

미국의 Wilberg탄광(1984년 12월)재해에서 사망자 27명의 사인에 관한 자료는 명확하지는 않지만, 사망자가 소손범위에서 수십m이상 떨어진 지점에서 발견되고 있기 때문에 상기의 2건의 경우와 유사한 조건이었던 것을 예상할 수 있다.

갱내화재의 경우 罹災자가 소손범위 뿐만아니라 수십m 이상 떨어진 지점에서 많이 발생한다고 하는 사례가 일반적이다. 이와같은 점들은 동일한 폐쇄공간인 일반 지하구조의 화재대책을 수립하는데 주의해야 할 일이다.

4. 갱내화재의 특성

갱내화재는, 그림1에 그 樣相을 模式的으로 표시

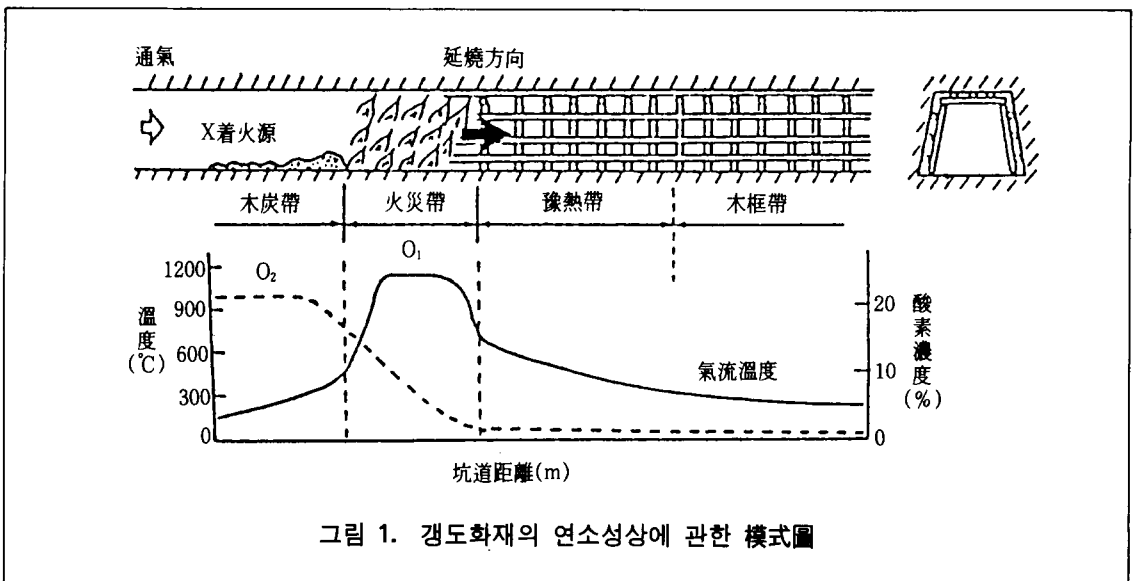


그림 1. 갱내화재의 연소성상에 관한 模式圖

한것 처럼, 갱도 내에 존재하는 가연물이 有炎燃燒를 일으켜 고온의 火災帶가 형성되어, 갱도를 따라 통기 방향으로 延燒를 지속하는 현상이다. 이와같은 갱도 화재의 성상을 지상에서의 일반화재와 비교한 경우 다음에 서술하는 몇개의 특이성을 볼 수 있다.

우선, 갱도와 같은 폐쇄공간에서는 火災熱이 축적되어 霧團氣가 고온이 되기 때문에, 화재현장에 접근하는 것이 곤란하다. 또, 화재延燒에 수반하여 다량의 유해가스가 통기 방향으로 유동함과 동시에, 통기에 대하여 연기와 유해가스가 유동하는 수도 있으며, 兩방향에서의 소화활동을 방해한다. 더욱 화재발생에 의해 갱도주변의 암반이 붕괴하기도 하고, 배관과 케이블 등이 破斷하는 수가 있으며, 소화장치의 화재현장으로의 搬入과 동력사용을 곤란하게 한다.

이런일들 때문에, 갱도화재가 발생하면 초기소화와 직접소화가 곤란하며, 과거의 사례에서는 注水에 의한 갱도수몰 또는 全坑水沿이라고 하는 최종적인 소화수단을 부득이하게 사용한 경우도 많다.

대형 시험갱도 내에서 현장의 木樞과 成木에 유사한 坑木帶 화재시험을 행하여, 연소특성에 미치는 통기속도, 연료조건 및 착화원 강도의 영향에 대하여 검토했다. 실험에서는 그림2에 표시하는 全長 400m, 단면적 5.2m²의 實규모실험갱도를 사용했다. 그 단면은 거의 원형을 이루며, 화재실험에 사용한 부분은 두께 약1m의 철근콘크리트띠가 입혀졌으며, 다시 갱도보호를 위하여 그 벽면을 두께 5cm의 퍼라이트모르터로 라이닝했다.

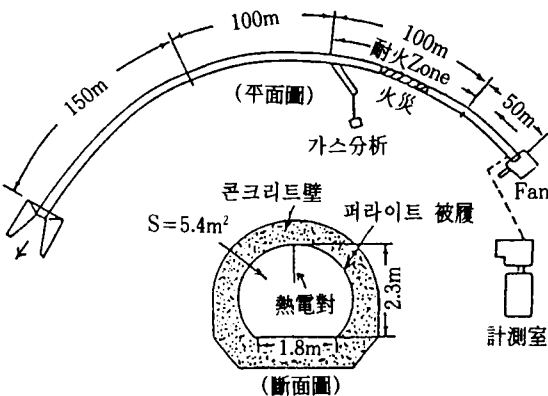


그림 2. 화재실험에 사용하는 실규모 갱도

통기는 갱도의 終端部(詰)에 설치한 多翼 Fan으로 행하며, 종단부에서 坑口방향으로의 반침방식으로 했다.

기타 실험시의 데이터 수집방법과 해석방법의 詳細는 여기서는 생략한다.

각 실험에서의 초기통기속도, 연료밀도, 坑木帶 길이, 착화원 등은 표4에 표시하는 바와 같다. 여기서, 연료밀도라는 것은 갱도단위용적당량의 연료(갱목)의 裝積重量이며, 현재 우리나라 석탄탄광에서의 연료밀도는 대략 20~40kg/m³이기 때문에 표중의 범위조건으로 했다. 또, 坑木帶는 가능한 한 현장의 갱도 支柱에 가까운 상태를 想定하며, 그림3에 표시하는 말굽모양(A)는 말굽모양 지주에 類似하지만, 갱목의 배치방향은 갱도벽에 平行이며, 현장상황과는 다르다.

표 4. 실규모 갱도에 의한 실험의 조건

실험 번호	초기통기속도 (m/s)	坑木帶의 연료조건	연료밀도 (kg/m ³)	坑木帶길이 (m)	착화원의 중량(kg)
2~50	0.5	말굽모양	36	50	400
2~51	1.0	"	"	"	"
2~52	1.5	"	"	"	"
2~53	2.0	"	"	"	"
2~54	1.0	아치형 나무숲모양	30	60	800
2~55	2.0	"	35	100	800
2~56	2.0	"	"	60	400
2~57	2.0	"	"	60	200

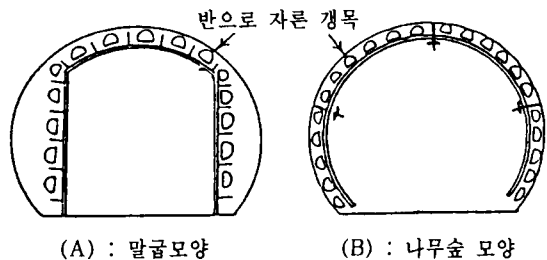
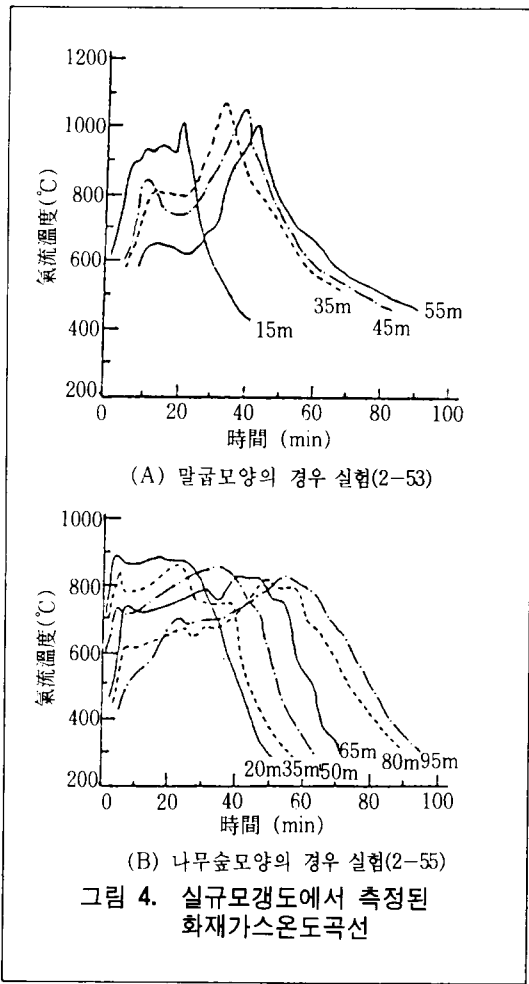


그림 3. 화재실험에 사용하는 坑木帶의 형태 (연료분포상태)



갱목은 어느 것이나 松材이며, 길이 18m, 직경 9cm 인 것을 세로로 쪼갠 모양으로 했다. 착화전의 통기 속도를 0.5~2m/sec로 설정하였으며, 화재시의 통기 속도는 제어하지 않았다. 착화원으로는 背板(裝材廢材)을 사용하여 재목을 만들었으며, 助燃材로서 신문지 3kg과 백등유 10리터를 사용했고, 재목의 중량에 따라 착화원의 강도를 변화시켰다.

(1) 화재온도와 연료분해 상태의 영향

실험 2-53과 2-55에서의 화재가스온도시간변화를 그림 4에 표시한다. 여기서 화재가스온도는 갱내의 대표온도로서 단면 중앙에서 측정된 기류 온도이며, 각 온도곡선 밑의 숫자는 착화위치로부터의 거리를 표시하고 있다. 말굽모양의 길이 50m의 坑木帶를

사용한 실험 2-53에서는, 그림 4 (A)처럼 화재가스 온도는 1000~1100°C이며, 고온화재領域이 서서히 통기방향으로 이동하는 모양이 관측된다.

각 위치에서 화재가스온도의 최고값을 평균한 것을, 그 화재에서의 화재온도라고 하면, 초기통기속도가 0.5, 1.0, 1.5m/sec인 경우의 실험결과에 의하면, 화재온도는 각각 86°C, 930°C, 1010°C이며, 통기속도의 증가와 함께 화재온도가 높아지고 있다.

다음에 아치형나무숲모양의 길이 100m의 坑木帶를 사용한 실험 2-55에서는, 그림 4(B)처럼 고온의 화재영역이 순차 통기방향으로 이동하며, 실험 2-53과 같은 경향을 나타냈다. 그러나 화재온도는 880°C로 같으며, 초기통기속도의 실험 2-55와 비교하여 150°C나 낮으며, 또 온도곡선의 모양이 실험 2-53보다도 완만하게 되기 때문에, 연료로서 사용한 갱목의 분포상태 영향이 드러나고 있는 것이라고 생각된다.

실험후의 관찰에 의하면, 말굽모양의 坑木帶에서는 갱목의 대부분이 炭火할때 까지 연소하는데 비해, 아치형나무숲모양의 경우에서는 갱도벽에 부착한 부분의 갱목이 탄화한대로 잔존하는 것을 알 수 있었다. 이들의 실험결과에서, 연료의 분포상태에 따라 산소공급과 화재를 주도하는 열이동이 있는쪽이 변화하며, 화재성상에 차이를 생기게하는 것이라고 생각된다.

(2) 연소속도와 火災帶길이

실험결과的一例로서, 실험 2-55에서 화재가스온

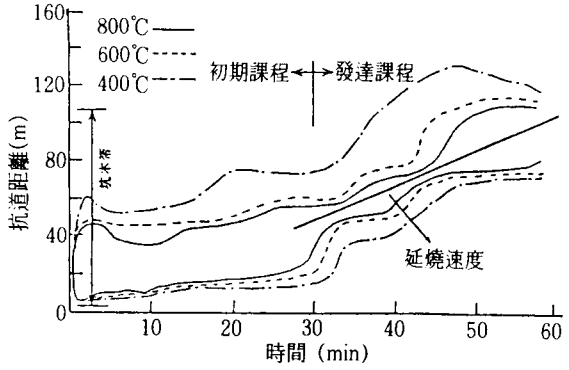


그림 5. 화재기류의 온도곡선(실험 2-55)

도의 시간적, 공간적인 확대를 그림5에 표시한다.

갱목이 有炎연소를 개시하는 온도(400°C)에 대하여 표시한 곡선에 의하면, 화재의 전방과 후방에 등온영역이 나타나며, 이 사이에 어떤 幅을 갖는 화재帶가 존재하는 것을 알 수 있다. 또, 착화후 30분까지는 40m정도의 화재帶로서 완만하게 통기방향으로 이동하지만, 그후 30~60분 사이에서는 火災帶의 폭을 점점 좁혀 급속히 이동하고 있다.

이 전반부분은 착화직후의 초기과정, 후반부분은 화재가 확대하여 정상적인 연소상태를 나타내는 발달과정이라고 생각할 수 있다. 그림 중의 굵은실선은 등온곡선의 중심을 나타낸 것이며, 갱도화재의 발달과정에서는 火災帶가 거의 일정속도로 통기방향으로 이행하는 것을 알 수 있다.

각 측정점에서 화재가스온도가 최고값을 나타낸 시간을 火災帶의 중앙치 도달시간에서 뺀 값을 국소延燒속도라고 하면, 실험 2-50~50에서의 국소연소속도와 갱도거리의 관계는 그림6에 표시하는 것과 같다. 말굽모양의 坑木帶를 사용한 실험 2-50과 실험 2-51에서는 착화원으로부터 40m부근에서의 국소연소속도는 거의 일정하며, 이 발달과정에서의 연소속도는, 각각 0.6m/min, 1.1m/min이었다.

그러나, 실험 2-52와 실험 2-53에서는 50m지점(坑木帶의 風下端)에서도 국소연소속도는 일정하게

되지 않으며, 아직 초기과정 범위에 있다고 생각된다.

다음에, 아치형나무숲모양의 갱목帶를 사용한 실험 2-54와 실험 2-55에서는 착화원부터 50~60m지점에 안정한 延燒성상을 나타내며, 이 발달과정에서의 연소속도는 각각 1.0m/min, 1.7m/min이었다. 또, 등온곡선에서 구할 수 있는 화재帶길이는 실험 2-54에서는 30m, 실험 2-55에서는 45m 전후이며, 통기속도가 클수록 화재帶가 길어지는 경향을 나타냈다.

이와같이, 착화후 초기과정을 지나 발달과정에 도달할 때 까지는 상당히 긴 갱목帶를 필요로 하는 경우가 있으며, 화재帶길이에 대하여는 통기속도의 증가와 함께 길게되는 것이 관찰되었다.

지금까지 實規模갱도 내에서의 착화부터 충분히 확대한 발달과정에 이를때 까지의 넓은영역에서의 화재성상은 거의 보고되지 있지 않기 때문에, 이諸 data는 갱도화재 확대방지시설을 검토하기 위한 기초자료로서 귀중하다.

5. 결 론

탄광에서의 갱내화재대책의 중심은 갱도의 불연화, 機材의 난연화, 착화원관리 등 화재가 발생하지 않도록 하는 것에 주안점을 두고 있는 것은 말할것조차도 없지만, 차선책으로서 갱내작업자에게 자기구명기의 휴대를 의무화하고 있다.

大深度 지하의 이용에 있어서는 차선의 대책이 필요치 않는 안전대책이 요구된다. 관계자 여러분의 노력에 따라 완전한 지하안전시스템의 확립, 운영을 희망하는 바이다.

참고문헌

- 1) 北海道탄광기술회, 九州탄광기술연맹, 「갱내화재 사례집」, 1985년 3월
- 2) 駒井式, 井清武弘, 他, 「갱도화재의 연소특성과 확대방지에 관한 연구」, 자원환경기술총합연구보고서, 제1호, 1992 1월
- 3) 井清武弘, 他, 「지하공간이용에 있어서 보안대책」, 화재, Vol. 40, No. 4, 1990

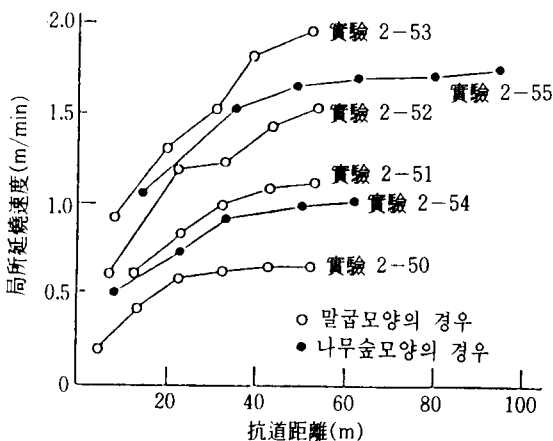


그림 6. 국소연소속도와 갱도거리의 관계 (실험 2-50~50)