

자동화 장치(GS-SCM)를 이용한 거더교 슬래브 기계화 시공

Girder Bridge Slab Mechanization Construction that Used GS-SCM



김도학*
Do-Hak Kim



서정우**
Jeong-Woo Seo



조성한***
Sung-Han Cho



박중현****
Jong-Heon Park

1. 머리말

최근의 건설 산업은 대형화, 복잡화되고 건설생산 기술이 고도화됨에 따라 기계장치에 의한 시공축진을 필요로 하고 있으며, 노동집약적인 건설 산업에서 탈피하여 생산성을 향상시킬 수 있는 시공기술의 개발이 요구되고 있다. 이러한 시공법 개발요구 중 기계화 시공기술 개발은 다양한 건설업 분야에 투입되는 기능공을 대체시킴으로써 생산성 향상을 기대할 수 있다. 생산성 향상을 통해 공사비 절감과 안전사고 방지, 품질향상, 공사기간의 단축, 작업영역 확대 등의 효과를 얻음으로써 건설업의 경쟁력을 향상시킬 수 있을 것이다.

기계화 시공기술은 고소작업 및 중량물 취급 등 열악한 작업 환경과 인력 의존도가 높은 건설공사의 안전성 확보문제, 작업 환경 개선, 부족한 인력대체를 위한 해결책이 될 수 있을 것이다. 국내의 경우 선진국과 같은 기계화 장치의 개발은 극히 부진한 것으로 평가되고 있으며, 대체적으로 외국의 장비를 들여와 사용하고 있는 실정이다. 국내 현실에 맞는 자동화 기계 장치의 개발이 필요한 시점이라 할 수 있다. 특히, 국내의 경우 사장교 및 현수교 등 특수교량을 제외한 일반교량이 차지하는 비율이 약 86.5%¹⁾인 점을 감안했을 때 자동화 장비사용이 부진한 일반교량에 대한 개발이 우선되어야 할 것으로 판단된다. 이러한 일반교량에 대해 단순하면서 위험도가 높은 작업의 인력대체 용도와 새로운 건설의 도전을 위한 첨단장비의 개발을 위해 발명된 기계화 장치로 GS-SCM(slab construction machine)이 있다.

GS-SCM은 2004년 준공된 국내 전체 교량에서 약 48%¹⁾를 점유하고 있는 거더교 슬래브 공사를 대상으로 기계화 시공을 위

해 2005년 GS건설에서 개발한 신규 장치이다. 현재, 거더교 슬래브 공사는 인력 의존도가 높고 작업 효율성 측면에서 시공합리화를 가장 필요로 하고 있는 공종이다. 거더교 공사는 인력을 이용한 거푸집과 철근의 소운반 작업으로 인해 추락 및 낙하의 위험에 노출되어 있다. 작업방식도 소규모 형태의 반복 작업으로 이루어져 공사 진행속도를 늦추고, 생산성을 향상하기에 불리한 구조이다. 이러한 작업구조의 개선과 생산성향상을 위해 개발된 장치가 GS-SCM으로서 거더교 슬래브 작업의 시공합리화 및 생산성 향상을 위한 슬래브 작업 전용 종합장치이다. GS-SCM은 작업용도에 따라 ABM(auto bar machine)과 CFM(crane & finisher machine)으로 구분된다. ABM은 슬래브 시공 작업 초기 인력을 이용하여 운반하였던 거푸집 및 철근 등의 각종 자재 운반을 수행하고 철근배근 시 횡방향 철근을 자동으로 배출 및 배열 시키는 작업을 수행한다. CFM은 슬래브 공사를 하기위해 현장에 반입되어온 거푸집 및 기타 부재 등의 작업반경내 운반과 설치를 수행하게 된다. 이후, 주철근과 직각방향인 종방향 철근의 이동과 배치 및 콘크리트 면 고르기를 수행하도록 개발되었다. 두 개의 장치는 독립적 또는 함께 구동하도록 고안되었으며, 생산성 향상과 안전사고 방지를 도모하기 위한 자동화 장치이다.

ABM과 CFM과 같이 이동을 수반하는 자동화 장치의 경우 재사용 및 기존 장비와의 연계 등을 감안한 경제성 확보방안과 철근배근 시 간섭, 작업 인력과의 협력 용이성 등의 시공성이 포함된 레일의 개발과 적용이 중요하다. 이러한 목적을 위해 특수 개발된 GS-SCM의 소개와 이를 이용한 거더교의 콘크리트 슬래브 기계화 시공법을 소개한다.

2. 국내 슬래브 시공 장치 및 레일 현황

거더교 슬래브 자동화 장치는 크게 가로보 거푸집 설치 장치와 슬래브 콘크리트 타설시 면 고르기를 위한 Deck-Finisher 장치로 분류할 수 있으며, 이러한 장치는 현장에서의 작업 필요성

* GS건설 기술연구소 선임연구원

dohkim@gsconst.co.kr

** GS건설 토목기술1담당

*** GS건설 기술연구소 수석연구원

**** GS건설 기술연구소 수석연구원

에 의해 제작되어 사용되어지고 있다. 장치의 이동용 레일은 가로보 거푸집 설치 장치의 경우 전단철근 사이에 H-BEAM을 이용한 지지대와 각관을 이용하여 주행레일로 사용하고 있고, Deck-Finisher의 경우 원형 강관 파이프를 이용한 지지대와 각관을 이용하여 주행 레일로 사용하고 있는 것으로 조사되었다.

2.1 국내 슬래브 시공 장치 및 레일의 특징

국내 개발 슬래브 시공 장치에 대한 특허관련 자료 조사에 의하면 2000년 특허 출원된 콘크리트빔 사이의 크로스빔 시공용 거푸집 이동작업 장치²⁾가 거더교 슬래브 시공 장치의 출발점이라 할 수 있다. 이후 크로스빔 거푸집 이동작업 장치의 단점을 보완하여 2002년 이동식 타워크레인 MTC(moveable tower crane)³⁾가 개발 되었다. 2종류의 장치 모두 크로스빔 거푸집이 목재에서 강재로 변환되는 시점에 맞춰 개발된 것이다.

2차선 교량의 크로스 빔 강재 거푸집이 평균적으로 약 320 kg인 것을 감안하였을 때, 현장에서 일반적으로 사용하는 하이 드로크레인 사용 시 경제성과 시공성이 크게 떨어지는 것을 알 수 있다. 이러한 단점의 개선을 위해 크로스빔 시공 장치가 개발되었으나, 거푸집 이동 작업 장치의 경우 거더 2개소 당 1대를 설치해야 하기 때문에 많은 작업 장치가 필요한 것과 이동용 레일의 설치 및 해체의 어려움과 반복횟수가 많은 등 시공성이 떨어져 개발 후 오랜 시간동안 사용되지는 못한 것으로 알려져 있다. 이후 개발된 것이 MTC로서, 앞서 개발된 크로스빔 시공용 거푸집 이동작업 장치의 단점인 많은 대수의 장치설치와 레일의 해체 및 설치에 대한 어려움의 문제점을 해결하고자 거더 3개소 당 1대를 설치하는 장치를 개발하였다. 특히 MTC는 크레인 지브(JIB)를 3차선(약 15.0m)까지 작업할 수 있도록 개발함으로써 작업반경의 확대와 중량물 인상 시의 안전사고 방지 및 생산성 향상에 기여 하였다.

그러나 거더 전도방지에 대한 기술적 보완의 미비와 이동용 레일의 설치, 해체를 위한 별도의 장비를 필요로 하는 등 시공성 저하문제, 높은 임대료로 인한 현장 적용성 등의 문제점으로 인해 현재는 사용되는 않는 것으로 조사되었다. 이후 크로스빔 시공용 거푸집 이동작업 장치를 개조하여 프리캐스트 거푸집을 시공하는 장치가 개발되었으며, 중량의 물체를 운반할 수 있도록 개발되어 사용되고 있다.

슬래브 콘크리트 타설 후 면 고르기용 Finisher장치는 수작업에 의해 콘크리트 면 고르기 작업을 수행하던 1980년대 초반 외국에서 장치를 수입하여 전문 업체별 부분적으로 사용하다가 국산화하여 현재에 이르고 있는 것으로 알려져 있다. 장치는 거푸집 및 철근작업이 완료된 후, 원형 강관 파이프를 철근과 용

접하여 지지대로 사용하고 각관을 이용하여 레일로 사용하고 있다. 하지만 거푸집 설치 장치 및 면 고르기 장치 모두 단일 공종을 자동화한 것으로서, 슬래브 공사 전체의 자동화를 이루었다고 평가하기는 어려울 것이다. 이에 비해 GS-SCM은 거더 설치 후 가로보 철근 및 거푸집의 설치와 슬래브 거푸집 설치, 주철근의 자동배출 및 배열, 종방향 철근의 시공합리화, 콘크리트 면 고르기 등 전체 공정을 자동화 한 장치이다. 작업 반경 내 소운반을 없애고, 중량물을 기계장치로 운반함으로써 작업안전성을 확보하였고, 공사비 절감 및 공사기간 단축 등 생산성 향상을 기대할 수 있다.

종래 개발되었거나 현재 사용하고 있는 대부분의 자동화 장치는 각각의 목적에 맞게 레일을 개발하여 사용하고 있으며, H-BEAM을 이용한 지지방식과 원형강관 파이프를 이용한 지지방식으로 분류되고 특징지어진다. <그림 1>은 앞서 소개한 국내에서 개발되어 사용되었거나, 현재 사용하고 있는 대표적인 자동화 장치의 모습이다.

아래의 <표 1>은 국내에서 개발되어 사용되었거나, 현재 사용하고 있는 대표적인 거더교 자동화 장치들의 레일에 대한 개략적인 현황을 설명한다.





2.2 경험에 근거한 장치 개발 한계

국내 거더교 슬래브 공사는 인력과 기계에 의한 작업장 내 소운반이 많고, 고소작업에 따라 작업행동이 자연스럽게 못함으로 인해 생산성이 저하되는 문제점이 있다. 또한, 기능 인력의



그림 1. 대표적 거더교 바닥판 기계화 장치

표 1. 거더교 슬래브 시공 장치별 레일 특징

항목	장치	크로스 빔 거푸집 이동	이동식 타워 크레인(MTC)	프리캐스트 거푸집 시공	콘크리트 면 고르기
사용 목적		강제 거푸집 설치	강제 거푸집 설치	프리캐스트 거푸집 설치	슬래브 콘크리트 면 고르기
레일		각형 50×50×3.2	각형 50×50×3.2	철도레일 30 A	각형 50×50×3.2
지지대		H-BEAM 200×200	H-BEAM 200×200	목재 200×200	강관 $\phi 27.2 \times 3.4$
관련 사진					
적용가능 폭(B)		2,500 mm	15,000 mm	10,000 mm	15,000 mm

부족으로 공시수행에 차질이 있으며 숙련되지 못한 기능 인력으로 인해 품질저하 및 안전사고 발생의 원인이 되고 있음은 알려진 사실이다. 이러한 기능 인력 부족현상의 보완을 위해 외국인 노동력 투입과 크레인 장비의 활용빈도를 높이거나 가설부분의 개선 등 많은 부분에서 노력하고 있다.

이중 기능 인력의 부족을 기계화 및 자동화 시공으로 대체하려는 노력이 증가되고 있으며, 이러한 현상은 건설기계의 첨단화를 요구하고 있다. 그러나 국내에서 활용중인 건설장치의 대부분은 인력에 의한 작업을 보조해 주는 정도의 수준으로서 부분적 생산량 증가 및 공기의 단축효과 등을 거두고 있을 뿐 아직도 많은 인력이 요구되고 있으며, 인력중심으로 작업이 수행되고 있는 실정이다.

앞서 언급한 크로스빔 및 슬래브 거푸집 설치 장치, 콘크리트 면 고르기 장치 등은 연구를 통해 개발된 것이 아닌 현장에서의 작업 필요성에 의해 개발된 것으로서, 작업자의 경험에 의해 개발됨으로 인해 많은 부분이 검증을 거치지 않고 사용되고 있는 실정이다. 이러한 현상은 보다 향상된 장치개발을 저해할 뿐 아니라 사용자의 인식저하와 선행기술의 자료 미비에 따른 동일한 실수의 반복 가능성 등 많은 문제점을 내포하고 있다.

3. GS-SCM 장치 개발

GS-SCM은 거더교 슬래브 공사의 생산성향상 및 안전사고 방지를 위해 최초로 개발된 슬래브 시공 자동화 장치이다. 기존 유사 장치가 일부 공중에 국한하여 시공합리화를 위해 개발된 것에 비하면 GS-SCM은 인력에 의해 행해지던 작업장 내 소운반을 없애고, 철근의 자동배열 및 콘크리트 면 고르기 등 거더교 슬래브 공사 전체의 자동화가 가능하도록 개발된 종합장치이다(그림 2). GS-SCM장치 중 ABM은 거더 설치 후 사용하

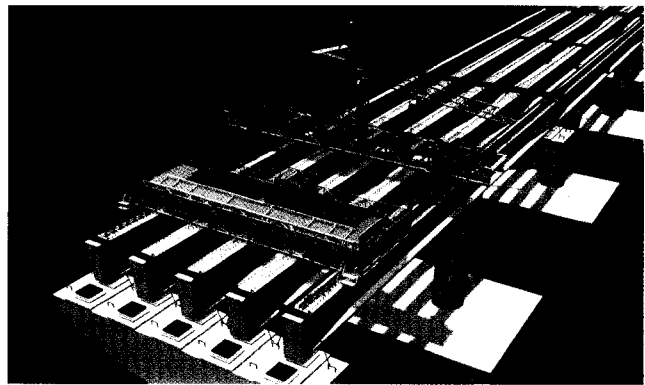


그림 2. GS-SCM 장치 이미지

게 되며, 종래 인력을 이용하여 운반하던 가로보 철근을 작업자 반경 이내로 자동 운반하여 사용하게 함으로서 공중에서의 인력 소운반 작업을 없앴다. 가로보 거푸집의 운반과 CFM을 이용한 거푸집 설치, 슬래브 및 캔틸레버 거푸집 운반을 수행하고 거푸집 작업이 완료되면 주철근을 자동배출 및 배열한다. CFM은 공장에서 제작되어 현장으로 반입된 각종자재의 인상과 설치를 수행하게 되며, 종방향 철근의 묶음단위(약 1.5톤)배치와 슬래브 타설 콘크리트 면 고르기를 수행한다.



(a) 목재 거푸집 운반 (b) 강제 거푸집 크레인 이용 설치

그림 3. 거푸집 운반 및 설치 전경

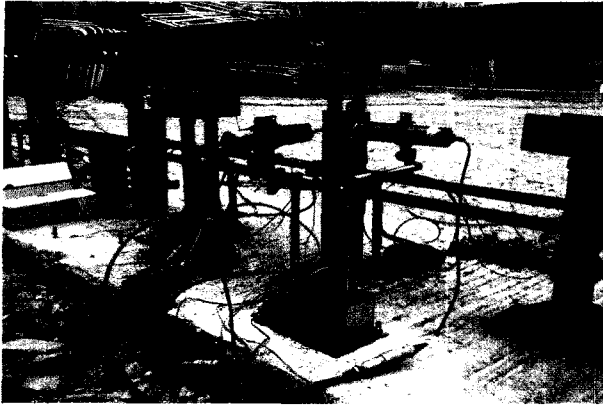


그림 7. GS-SCM 레일 계측

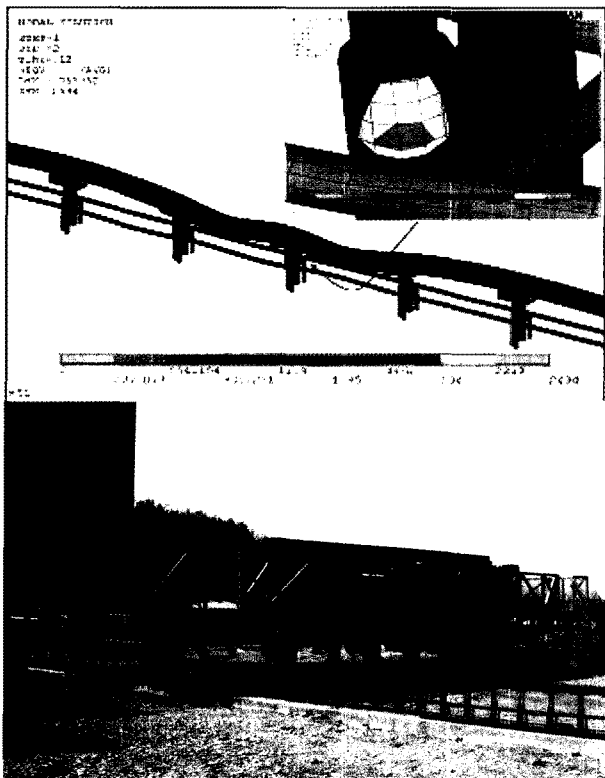


그림 4. ABM 전경



그림 5. CFM 전경

3.1 ABM(auto bar machine)

거더교 중 대표적 형식인 PSC-BEAM교 슬래브 시공을 위해, 현재는 거더 설치 후, 크로스빔 철근과 거푸집을 인력을 이용하여 운반한다. 거푸집이 목재일 경우에는 인력을 이용하고, 강재일 경우에는 크레인을 이용하여 설치한다(그림 3).

그러나 인력운반 시 빔 폭이 약 70cm로 협소하고 진단철근이 돌출되어 있어 추락 및 낙하사고 등의 안전사고가 빈번하게 일어나고 있는 현실이며, 전체 건설 분야 중대재해 사고의 약 50%⁴⁾가 추락 및 낙하사고이다. 크레인을 이용하여 거푸집을 설치하는 경우에도 별도의 신호수가 필요하고, 크레인 장비 이동에 따른 시간손실이 많은 것으로 조사되었다.

슬래브 거푸집 설치 시에도 상기와 같은 문제점을 내포하고 있으며, 특히 캔틸레버 거푸집 설치 시 많은 추락사고가 있음을 알 수 있다. 거푸집 작업완료 후에는 철근을 배근하게 되며, 철근인상을 위한 크레인의 이동제한에 따라 일정 장소에 놓인 가공 철근을 인력을 이용하여 철근을 운반하게 됨으로써 노무강도가 높아짐에 따른 생산성 향상에 한계가 있음을 알 수 있다.

상기의 단점을 개선하고 작업생산성을 향상시킨 자동화 장치가 ABM으로서, 거더 설치 후 크로스빔 철근 및 거푸집의 운반과 슬래브 거푸집, 캔틸레버 거푸집 등의 운반을 수행하게 된다. 이후 주철근을 자동으로 배출하고, 일정간격으로 배열하게 됨으로서 추락 및 낙하 등의 안전사고 방지와 함께 노무강도를 완화하여 생산성을 높일 수 있다. 장치는 폭 12.3m×길이 5.0m 규모로, 적재중량은 6.5톤이며 주행속도는 10.0m/min이다(그림 4).

3.2 CFM(crane & finisher machine)

CFM은 각종 자재의 인상 및 설치, 종방향 철근의 묶음단위 배치, 콘크리트 면 고르기 수행을 위한 드럼이 설치되어 있는 장치이다(그림 5). 크로스빔 거푸집의 해체와 ABM장치에 의

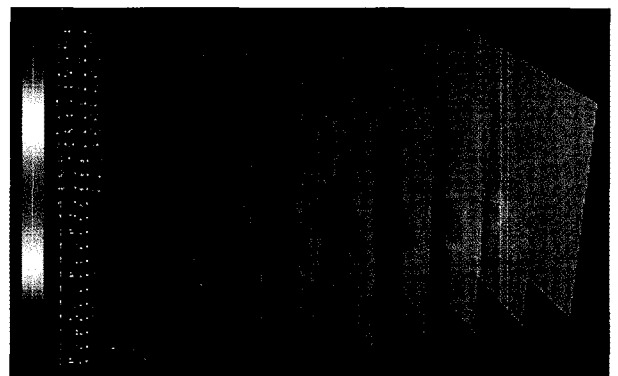


그림 6. 풍하중 안정성 검토

해 운반된 중량의 각종 거푸집을 크레인 기능을 이용하여 시공한다. ABM에 의해 배열된 횡방향 철근과 직각으로 종방향 철근을 설치하기 위해 묶음단위의 철근을 배치한 후, 인력을 이용하여 배열하고 결속하게 된다.

철근작업이 완료된 후에는 콘크리트를 타설하고 슬래브 면 고르기를 위한 작업을 수행한다. 2~3차선을 작업할 수 있도록 폭 15.0m 규모로 개발하였으며, 권상하중은 최대 2.5톤, 작업반경은 8.0m 범위이다. 설계풍속은 작업 시 16m/sec 으로서 자체 안정을 위해 최대풍속 45m/sec에 적합한 형식으로 고안하였다(그림 6). 오작동에 의한 전도 및 미끄럼 방지, 인력간섭문제 등의 안전성 확보를 위해 stopper와 빔 센서 등을 설치하였으며, 타워상단부에 설치된 카메라를 이용하여 현장사무실 내에서의 관측이 가능하도록 개발하였다. 작업 주행속도는 10.0m/min이다.

3.3 GS-SCM 레일

GS-SCM레일은 일반 구조형 각형강관으로 이루어진 레일과 형강 및 사각나사, 원형강관, 평철(flat bar)로 구성된 지지대로 구분되며, 레일 지지대는 전도에 대한 안정성을 확보하기 위해 D19mm 철근을 빔의 전단철근과 용접하여 사용하게 된다. 수직 및 수평하중, 충격력, 브레이크 하중 등에 대한 구조적 안정성과 경제성 향상을 위해 개발된 레일에 대해 실구조물의 계측 실험을 수행하였다(그림 7). 또한, 비선형 정적 유한요소 해석 및 비선형 동적 유한요소 해석을 이용하여 SCM 레일의 종방향 및 횡방향 거동을 분석하였다. 계측결과를 이용하여 종방향 하중을 가정한 후 비선형 유한요소 해석을 이용하여 횡방향 하중을 추정하였고, 비선형 동적해석을 통해 SCM레일의 동적거동을 해석한 결과, 종방향 7%, 횡방향 10%의 하중이 추가로 작용하고 있음을 확인할 수 있었다(그림 8).

이러한 거동특성은 천정크레인의 하중비와 유사한 거동을 보이고 있으며, 현장에서 빈번히 사용하고 있는 Deck-Finisher 등의 장치와 관련된 레일 검토 등에 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

3.4 기대효과

GS-SCM은 개발 및 시운전이 완료된 상태로서, 2차선 PSC-BEAM 60.0m를 기준으로 한 시뮬레이션결과 공사기간이 현재의 평균 45일에서 29일로 단축되는 효과가 있다. 이는 거푸

집 및 철근 등의 소운반과 철근배근 등의 9단계 작업을 단축하거나 생략할 수 있어 발생된 효과로서, 약 30%의 공사기간 단축효과가 발생될 것으로 예상된다. 또한, 불필요한 노무인력을 배제하고 크레인 사용횟수 등을 효율적으로 운영함으로써 공사비용을 약 30%절감하는 효과가 기대된다. 이외에도 기계화 시공에 따른 균질한 품질의 확보와 추락 및 낙하사고 등의 안전사고 요인을 없애고, 인력의 효율적 배치에 따라 약 40%의 노무인력 절감 효과가 있는 것으로 분석되었다.

4. 맺음말

생산성 향상과 작업 안전성 확보라는 현장의 요구사항과 시공합리화를 위해 자동화 장치를 개발하였다. 경제성과 시공성을 고려하여, 개발초기 현장의 다양한 의견과 작업현상을 분석하여 장치의 기능을 보완하였고, 안전사고 방지 및 효율적 운영이 가능하도록 세심한 부분까지 고려하였다. 교량 슬래브는 넓은 면적으로 인해, 많은 인원과 장비 투입이 요구되는 대표적인 노무집중 공종으로 분류되어 진다. 관행적이고 경제성만을 고려한 작업방식 등으로 높은 노무강도를 필요로 하고, 고소작업에 따른 안전사고 노출, 한여름 더위 속에서 중량의 철근 및 거푸집 등을 운반해야 하는 작업조건을 개선해 보고자 슬래브 전용 기계화 장치를 개발하였다. 현장에서 근무하시는 많은 분들의 지도와 격려 속에 본 장치가 지속적으로 업그레이드되어 안전사고방지와 작업자들의 노무강도가 완화되는데 기여하기를 바란다. □

참고문헌

1. 박기태, "전국 교량 현황 분석", 대한토목학회지, Vol.53, No.5, 2005, 5, 131 pp.
2. 영신기공, "빔 사이의 크로스빔 시공방법", 특허청, 2005. 5, 4 pp.
3. 영신기술, "이동식 타워 크레인(MTC)", 보고서, 2002. 9, 2 pp.
4. 한국산업안전공단, "재해사례 통계", 2002 ~ 2005 중대재해 원인분석 보고서 편집.