

平成27年1月23日

第76回 建設産業史研究会定例講演

『韓国における建設施工の機械化・自動化に関する研究開発 の現状と課題』

NPO国際建設技術情報研究所 理事

(前 高麗大学工学部 建設・環境工学科 教授)

前 田 純 一 郎 氏

ただいまご紹介いただきました前田と申します。本日はどうぞよろしくお願いいたします。ただいまご紹介いただきましたように私は機械屋でございまして、機械屋の立場で建築生産の革新にいろいろと携わってまいりましたが、いわゆる大所高所からの議論といいますか、例えば建設マネジメントのあり方などに関しては不勉強なところがございます。はたして皆さまのお役に立てるかどうかが少し心配な面もありますが、私がこれまで経験してきたことを聞いていただき、またいろいろ教えていただければと思っておりますので、どうぞよろしくお願いいたします。

本日のタイトルは、「韓国における建設施工の機械化・自動化に関する研究開発の現状と課題」です。

スライドー2 本日の話の流れですが、本題に入る前に少しお時間をいただきまして、私の自己紹介といいたまいますか、これまでやってきたことのバックグラウンドを話させていただきます。大学における研究と清水建設における研究開発です。

それから、比較対象のために日本ではどうだったのか、日本における同分野の研究開発の経緯を簡単に述べさせていただきます、韓国との対比を図りたいと思っております。

その後、本論に移りまして、韓国における研究開発についてお話をさせていただきます。最初に韓国の建設生産を取り巻く環境ということで、社会的な環境の変化、あるいは経済的な変化を、私も不勉強なところはありますが、知っている限りでこの辺を少し述べさせていただきます。

それを踏まえて、韓国における建設の自動化・ロボット化の経緯。歴史的な流れを述べまして、あとは事例の紹介に移りたいと思います。いくつかの研究開発の事例を紹介いたしまして、とりわけ韓国版ビル自動化施工システムの研究開発に多少からんできましたので、その辺を少し詳しく、技術的な内容を述べさせていただきます。最後に現状と課題をまとめて終わりにしたいと思います。

スライドー3 まずはバックグラウンド(1)ということで、学生時代に製造業における自動化研究を行いました。具体的には機械部品の製造工程の自動化ということで、ご承知かもしれませんが、機械部品の機械加工にNCという技術が使われています。数値制御工作機械を使いまして、数値的に部品を制御して作っていく技術の研究に携わりました。

どういことかといいますと、最終的な部品はこんなものを作りたいというのがあり、それを作るのに最終形状や材質はこうだという基本的な情報だけを入力することで機械加工全体を全自動化する。そういった技術です。

現状では既に確立している技術ですが、1970年代が研究開発の一番盛んな時期でした。結果として、CNC(コンピュータ制御NC)というのが実現しました。これは1980年代に製造業でFAとFMS、いわゆる無人化工場(Factory Automation)が開いたわけですが、そのベースになった技術です。

その基本にはCAD/CAMの技術、それからCAD/CAMのデータ連動が実現して、無人化工場が実現いたしました。これは80年代です。この頃、ジャパン・アズ・ナンバーワンと言われてまして、製造業における生産技術が世界を席巻した時代がありました。そのベースになった技術です。

その後、CAEやCATという技術が付け加わりまして、90年代に全製造工程のコンピュータ統合が行われました。これがCIMと呼ばれております。21世紀になりまして、これがさらに進化してデジタルエンジニアリングといったものが確立して、現在に至っております。私が関連したのは、この走りの部分です。1970年代にこの辺に少し関係させていただきました。

スライドー4 個人的な気持ちとして、こういった製造業における製造技術を建設生産に展開したらどうなのだろうという願望がございまして、そのために建設会社に入れていただきました。清水建設に

入ることになりました。

最初に、コンピュータをプレハブ部材の製造ラインの業務に展開・適用できないかということをやりました。その後、メインテーマである建設施工プロセスの機械化・自動化・ロボット化というテーマに携わることができました。

最初は単一の建設作業、例えば吹付や床ならしなどの単一作業を自動化・ロボット化するにはどうすればいいかということでもいろいろやってみて、その後、次のステップで、ビル全体の施工を機械化・自動化するにはどうするかということで、自動化施工システムというものに携わりました。現場に普及展開するための改善改良もいろいろやりました。この辺が私のメインの活動でございました。

もう一つ付け加えますと、例えば先端技術を次世代の建設施工に展開・適用するにはどうすればいいかというような研究も少しやりました。空間知能化の基礎研究、こういったことをやってまいりました。

スライドー5 この写真はその活動の様子を撮ったもので、これは玉はずしの機械ですが、ゼネコン各社もいろいろおやりになりましたが天井ボードを貼る機械や、床のケレンをやる機械など、いろいろなことをやりました。これは若かりし頃の私です。このようなことをいろいろやりました。あとは90年代になりまして、後で述べますが、ビル施工自動システムといったものに携わることもできました。

スライドー6 日本における建築施工の自動化・ロボット化の研究開発について、簡単に述べさせていただきます。韓国と比較対象をする意味で聞いていただければと思います。

これにつきましては、ゼネコン各社がそれぞれ精力的に取り組まれました。例えば室さんですが、竹中工務店におかれましてはやはりこの分野の主導的な役割を果たされたお一人です。ゼネコン各社それぞれが積極的に取り組まれて、たくさんの成果が出てまいりました。

スライドー7 これは私のいた清水建設の事例です。どのような流れで取り組まれたかということですが、1980年代初めの頃から基礎的な研究を始めまして、その研究の結果を踏まえて、細かい作業ですが、それぞれのこういったロボットや機械、自動機械、こういったものをいろいろとやりました。これが80年代の流れです。

スライドー8 その流れが90年代も引き続き行われましたが、90年代になりますとそれに加えてビルの工事全体を自動化するにはどうすればいいかということで、これもゼネコン各社それぞれ取り組まれました。そういった基礎研究の取り組みが90年前後から始まりまして、90年代を通じて自動化ビル施工システムといったものの取り組みがございました。清水建設の場合には、システムに取り組んだわけです。

スライドー9 これは日本建築学会が調査して1996年に発表したものです。日本で開発された建築用の施工ロボットの一覧です。ゼネコン各社は非常に大変な努力をされてきて、いろいろな種類のロボットが開発されました。詳しいことは述べませんが、トータルで150機種以上あります。これが80年から90年代半ばまで15年くらいの間に続々と登場しました。

スライドー10 この写真は開発された建築用ロボットの事例の一部で、このような床ならしや溶接、ハンドリング、吹付だとか、外壁であるとか、いろいろなものが登場しました。

スライドー11 これはビル自動化施工システムの事例で、2000年にまとめられた一覧表です。これが会社名です。いろいろな各ゼネコン会社で努力されてきて、自動化施工システムとしてたくさんのシステムが開発されました。これはそのシステムの名前です。

スライドー12 これは開発されたシステムの写真です。各ゼネコンの会社から発表されたものです。こういったものが続々と登場して、現場に適用されてきました。

スライドー13 たまたま私は清水建設におりまして、具体的にはスマートシステムという自動施工システムの開発に携わらせていただきました。その事例です。これは実際の高層ビルに適用した最初の適用だったと思いますが、その事例です。外観です。これは2番目の事例です。このプラントの中はどうなっているかというのは、こんな感じです。

スマートシステムの場合には基本的なコンセプトというのがございまして、それは何かというと、製造業における工場と同じような環境下で、機能的な環境と空間的な環境の両方ありますが、製造業と同じような環境下でビルを作るというのが基本コンセプトです。そのためのツールとして、自動化技術、工業化技術、それから情報化技術、さらには全天候の技術。こういったものをシステムとして統合してコンセプトとしております。目指すところは、作業環境の改善、生産性の向上です。

ここで10分ほどお時間をいただきまして、どのようなものかということ、映像で見ていただければと思います。

(映像)

どうもありがとうございました。きょうはこのテーマについて議論することはございませんので、参考のため、比較のために見ていただきました。この技術自身にもまだまだいろいろ検討の余地がございます、課題が残されたままになっております。日本における建築施工の自動化・機械化を今後どうするのかということに関しましても、まだ議論がなかなか詰まっていない状態です。これはまた別の機会にいろいろと検討すべきことかと思えます。

スライドー14 これから本論に移らせていただきます。本論につきましては、先ほど申し上げましたように、最初に韓国の建設生産を取り巻く社会的・経済的な環境を少し述べまして、それを踏まえて、韓国においての自動化への取り組みの経緯を述べさせていただきます。その中でどのような事例があるかということ、いくつか選んで説明させていただきます。とりわけ韓国版ビル自動化施工システムにつきましては、技術的な内容を詳しくご紹介したいと思います。

スライドー15 まずは取り巻く環境です。社会的な背景と、いわゆる促進要因的なものがあります。まず社会的な背景として、建設投資の変化。これは日本と違いまして、右肩上がりが増加しております。それから、これは日本と全く同じですが少子化・高齢化が急速に進展している。これも日本と同じで、熟練作業者がどんどん減っているという状況です。あとは、労働災害がなかなか減らない。この辺は少し日本とは違います。日本と全く違う要因としては、国の強力な財政的バックアップがあります。

スライドー16 建設投資の変化は、1970年から数年前まで基本的には右肩上がりです。どんどん増えて、直近ではだいたい1300億ドル前後で推移しております。その間にはご承知のようにオイルショックや、韓国においてはIMF危機がございました。これで大変な落ち込みになったのですが、完全にV字回復を果たして、現状では若干の右肩上がり、1300億ドルくらいで推移しております。

スライドー17 これは日本と比較してみました。こちらが韓国で、こちらが日本です。あずき色のグラフがGDPです。韓国はGDPが右肩上がりです。どんどん伸びておりました。それに連動して、建設投資も

基本的に右肩上がり伸びております。どのくらいの額かといいますと、これは数年前の状況ですが、GDPでいくと1063兆ウォン。当時の交換レートで換算しますと77.6兆円になります。建設投資につきましては、2009年で197兆ウォン。日本円に換算すると14.4兆。GDPに対する建設投資の割合が18.6%。20%近くあります。

一方、日本はどうかといいますと、GDPは横ばい状態で若干下がり気味です。規模としましては数年前で474兆円。建設投資は右肩下がり、2009年の時点で42.4兆円です。GDPに占める比率は8.9%。比率からいきますと韓国の約半分です。全体額でいきますと、日本における建設投資はだいたい3倍くらいになっております。

今申し上げた対GDP比率を、韓国と比較して見てみます。こちらが韓国、こちらが日本です。日本は数年前の時点で8%くらいです。韓国は18.何パーセントということで、韓国における建設投資の比重の重さがわかるかと思えます。

スライドー18 マーケットの変化ですが、昨年までいろいろ国家の大きいプロジェクトがたくさんありまして、

インフラですとか、住宅の大きなプロジェクトであるとか、目白押しにあったのですが、その辺がだいたい昨年あたりで終わりに近づくということで、予測ですがおそらく今後ハリニューアルといいますが、いったんできたものをいかに手を入れて改善していくかというリニューアル市場がだんだん伸びるだろうと予測されております。

これは日本と同じ状況で、日本におきましては既に25%を超えているでしょうか。それがますます大きくなりまして、あと10年くらいすると4割くらいになるのではないかと予想されております。韓国も全く同じ動きで、これは予測ですが、上のほうが建設全体で、こちらがハウジング関係の市場の変化予測です。現状ではだいたい十数パーセントですが、おそらく10年後には30%を超えるのではないかと。日本を追ってくるような形になるかということです。

これが大きな動きですが、次に直近の状況を少し。これは細かなデータの裏付けがなくて大変申し訳ないのですが、漏れ聞いた話を少し書いてみました。一言で言いますと、非常に厳しい状況にあります。韓国の経済全体が非常に厳しい状況ですが、建設業界においても非常に厳しいということです。

2014年度の業界です。これは一時期不動産景気というのが非常に華やかで、大規模プロジェクトがどんどん行われていたのですが、それが低迷し始めました。さらにそれに追い打ちをかけた、海外工事の不採算化が目立ってきました。特に大手ゼネコンのサムソンやGS、そのほかにもありますが、そこにおいて海外工事の営業損失が軒並み増大してきたことが報道などでも言われております。

これの背景としましては、何年か前の一時期、オイルマネー狙いの受注を各社が図りまして、いわゆる低価格やダンピングで入札して受注したことがどうやらあるらしいと聞いております。あとは、クライアントのほうの設計変更が度重なりまして、原価が上昇して非常に厳しい状況になってきているそうです。これは大手ゼネコンです。

中堅建設会社につきましては、破産が相次いでいます。マンション事業が一時期かなり華やかだったのですが、それが低迷を始めまして、マンション事業が低迷して中堅ゼネコンの何社かが既に破産したというようなことも聞いております。その象徴が、これです。ご存じの方もいらっしゃると思いますが、東洋一なのでしょうか、超々高層ビルの建設が今はこの辺まで行っていると思いますが、ロッテチャムシルスーパータワーといいまして、123階、555メートルの超々高層です。

これが施工されているのですが、このロッテスーパータワーの工事がどうやら大幅に延びそうだということです。本来であれば昨年末には竣工する予定だったのですが、1年か1年半延びるのではないかということです。これはロッテ財閥がやっているのですが、経済が厳しいものですから工事費をぎりぎりにつまんだ結果が工期の遅延につながっているのではないかということも言われているようで、韓国も直近の建設業界は非常に厳しい状況にあるということです。

スライドー19 あとはまた少し話を変えまして、韓国における人口の構成比率を見てみます。65歳以上のいわゆる高齢世代、それから生産年齢、若年層と分けてみますと、現在ではそれほど大きな問題にはなっていませんが、急速に高齢化が進展します。2050年には65歳以上が4割くらいになるのではないかという予測もあります。

スライドー20 日韓で比較してみると、黄色いのが日本、あずき色が韓国です。日本は既にご承知のように高齢社会に突入しておりまして、高齢者というのは65歳以上の方々ですが、その比率は20何パ

一セントになっております。韓国はまだ10何パーセントですが、これから急激な勢いでその比率が高まるということで、2050年にはおそらく日本を抜くのではないかという話もあります。高齢化がものすごい勢いで進展しているということです。

スライドー21 少子化も非常に大きな問題でございまして、これは合計特殊出生率の韓国における推移です。当初は非常に大きかったのですが、21世紀に入る頃から急激に減りまして、2005年には1.08ということで1を切るのではないかととも言われたそうです。さすがに政府も危機感を感じまして、いろいろ施策を打っているそうですが、なかなか改善しないということで、現在1.1～1.2くらいを推移しているということです。

スライドー22 こういった大きな状況の中で、建設においてもいろいろ問題が出てきております。韓国労務の動向ですが、これは先ほど申し上げた建設投資の推移です。微増といえますか、少しずつ増えているような状況が続いてはいますが、一方、熟練工の数については年々減少しているということで、2008年には120万人を切りました。この建設投資と熟練工の乖離をどうするかというのが非常に大きな問題です。

スライドー23 もう1つは、熟練作業者の高齢化も日本と同様に進んでおります。赤いグラフが全産業における40歳以上の労働者の比率を示しておりまして、5割強くらいで推移しておりますが、建設業界におきましては熟練工、40歳以上の労働者の比率が7割くらいになっており、一般産業に比べてもかなり高いところに来ているという形で推移しております。

スライドー24 熟練作業者の不足も非常に大きな問題になってきております。これは今年2015年の予測値ですが、特に型枠大工、鉄筋工、とび、コンクリート工、こういったところは軒並み不足が目立ってきております。

スライドー25 一方、労働災害につきましても、これは韓国における建設業の労働災害の推移ですが、なかなか減りません。

スライドー26 さらにもっと大きな問題があります。どういうことかといいますと、韓国における建設の就業者数は、全就業者数のだいたい8%です。日本とだいたい同じですが、それにもかかわらず労働災害の全産業の中での比率を見ますと22%になっております。製造業は34%で、製造業の

ほうが多いです。

ところが問題は何かといいますと、こちらのグラフでして、これは軽微なものも含めて労働災害全体ですが、重大災害(死亡事故)だけを見ますと、建設業はトップで34%となっております。製造業は31%で逆転しております。つまり、全就業者数の8%でしかないのですが、重大災害については建設業が34%でトップになっているということで、これ自体が大変社会的な問題だろうということなのです。

スライドー27 もう一つは先ほど少し申しましたように、自動化・機械化の促進要因と言えるかと思いますが、建設に関する研究開発投資、国の助成金がどんどん増大しています。これは21世紀に入り急激に伸びてきておりまして、数年前の状況で建設関係の研究開発が4億ドルに達したということで、この後さらに伸びていると聞いています。今は6億か7億くらいになっているのではないかとされています。とにかく国が強力に財政的にバックアップしているということです。

スライドー28 その事例を2、3見ていただきたいと思います。国の助成による建設自動化研究の事例です。のちほどご説明するビル自動化施工システムがこれですが、高麗大学がスポンサーになりまして、ゼネコンやメーカー、他の大学をメンバーとして国に申請して認められたわけです。このプロジェクトの場合、5年間で約20億の助成金が出ています。18million USDになっています。

これはほかのプロジェクトです。情報化された土工システムで、この場合もやはり10億円くらいになっております。こちらが外壁のメンテナンスシステムですが、この場合もやはり10億くらいの助成金が国から出ております。国の方針として、強力にバックアップするのだという方針が明確に出ているようです。

スライドー29 次に、韓国における建設自動化関係の研究の経緯をご説明いたします。大雑把にいきまして、日本から10～15年くらい遅れてスタートして、日本を追いかけているという状況です。1990年代後半くらいから基礎的な研究開発に着手されまして、最初はいわゆるお勉強的な感じでした。基礎的、基本的な技術を身に付けるための基礎研究が行われました。それからしばらくすると、個別の作業、単一の作業を自動化するための努力がなされました。これについては後で少し事例を申し上げます。

さらに、2010年前後になりますと少し規模が大きくなって、長期的な研究テーマという取り組みになってまいりました。ITと融合した統合的なテーマにも取り組むようになってきております。その中の代表的な事例が、ビル自動化施工システムだということです。

さらにこれから先、情報化技術、ITとロボット技術との融合、それから自動化に適した構工法があるのではないかという、日本でも同じ議論が行われていますが、新しいビルの作り方、建築設計のあり方、こういったものに立ち返って研究すべきだと。これは正解だと私は思っておりますが、そういう取り組みも提唱されております。

スライドー30 それでは、事例をいくつかご紹介いたします。最初に個別作業の自動化について2つほどご紹介いたします。

スライドー31 最初はPHCパイルの杭頭切断システムということで、既にご承知かと思いますが、杭頭、PHC杭を打った後に、基礎工事をする前にこの杭頭を壊さなくてはなりません。これは日本も一緒です。これは従来のやり方で、人手で壊しているわけですが、当然災害的なこともあります。けがが多いとか、品質がばらつくとか、労務量が増えるとか、いろいろ問題点がございました。これをなんとか機械化したいということです。

スライドー32 最初に検討チームが考えたのは、このような揺動するブレードみたいなものがありまして、それで杭を挟んで2方向から近付けて、揺動させながらガリガリやる、そういうことを考えたようです。ところがこれは見事に失敗しました。担当者から聞いたのですが、この方法でやると杭の頭がバラバラになりまして、あちこちにクラックが入って、これは品質的に駄目だとなったそうです。では、これをどう改善するか。

スライドー33 改善の方法としまして、先ほどは2方向からアクセスしていたのですが、これを4個に増やして4方向から近付ける。それから、ブレードの刃の形平べったいのとギザギザのもの2種類を準備して、それを交互に配置して少し回転させながらガリガリと揺動させるようなやり方をとったところ、非常にうまくいき、成功例になりました。縦方向のクラックもほとんど消滅しまして、品質的にも非常に良好なものが得られたそうです。

スライドー34 その後、これをバックホウの先端に取り付けまして、実際の建築現場でいろいろプロトタイ

プの実施を行って、また改善改良を図っているという事例です。

スライドー35 もう1つの事例は、カーテンウォールの取り付けです。これは日本でもいろいろ各社がやっておられましたが、カーテンウォールの取り付けをどうやってやるのかということです。ご承知のように、これが従来の手作業によるカーテンウォール取り付けです。高所で行われますのでかなり危険な作業です。なおかつ、誰でもできるわけではなくて熟練が不可欠です。

これを機械化したいということで、当初こういった建設機械は市販の小型掘削機の先端にマニピュレータを取り付けて、これを使って向きを変えたりしてカーテンウォールに取り付けるというシステムを考えたようです。これは漢陽(ハンヤン)大学が中心になって研究開発されたものです。

スライドー36 ある程度うまくいったのですが、若干の問題が残りました。

ということかといいますと、建設機械の先端にマニピュレータを付けて、これを操作してガチャッとはめ込むわけですが、どちらかというとかずくで移動させてはめ込むことになっておりますので、カーテンウォールの一部が建物とぶつかる場合もあるわけです。そうしますと、やり方によっては破損をしたり、変形をすることがあって、非常に扱いづらいということがあったそうです。そこで、漢陽大学において考え方を換えようということで、人間と機械が協調するHuman Robot Cooperationの考え方を採用したということです。

スライドー37 絵で描くとこんな感じで、これがロボットで、これが作業員です。カーテンウォールはかなり重いわけですが、この重さについてはロボットが支持をして、作業員が本当に小さい力で細かい動きをさせる。それでカーテンウォールを壊したりすることなく非常にスムーズにはめ込むことができたということです。Human Robot Cooperation(HRC)の非常にうまくいった例です。

スライドー38 これはソウルのある現場で実証実験をやっている様子です。

スライドー39 次に、インテグレートされたシステムの事例として韓国版ビル自動化施工システムについてご紹介します。最初に開発目標や方針、実施項目をまとめてみましたが、これは私なりに解釈してアレンジして作ったもので、国のプロジェクトになっていますが国でオーソライズされたものではないです。ただ、大きな間違いはないだろうと思っております。

開発目標としましては、自動化、全天候化、それからタワークレーンを使うのですが、その知能

化です。

開発の方針としては3つあります。1つは、ビルのコア部を先行させて施工するコア先行工法を採用することです。もう1つは、何から何までを新規に開発するのではなくて、既存技術で使えるものはどんどん活用しましょうという既存技術の活用。3つ目に、どうしても足りない部分、これまで自動化に取り組まれていなかったテーマに関しては、部分的ですが積極的な自動化を図る。この3本柱が方針としてあります。

実施項目としては、まず1番に対応してCF(Construction Factory)ということで、施工するプラントの骨組みを、極力軽量化を図る。この軽量化は、コア先行によってだいぶうまく実現されております。それから既存技術の活用ですが、具体的にはジャッキアップする油圧シリンダを極力既存のものを使う。新規に開発しないということです。それから、RFIDタグを使って搬送の制御を智能化しようということもございました。

部分的な自動化についてです。その大きなテーマの1つに、ボルト締めを自動化するという課題がありました。これは日本にはない技術です。韓国オリジナルですが、そのための研究開発をして実現にこぎつけております。もう1つは日本でもやりましたが、自動化に適した形状設計、デザインがあるだろうということで、大梁のジョイント部を大幅に形状変更しまして、組み立てやすくしたのがあります。

スライドー40 これは開発組織です。国から助成金を受けている国のプロジェクトになっておりまして、スポンサーは高麗大学です。その下に産業界や、それ以外の大学、それから公的研究機関、こういったものが多数参加しております。

4つのサブグループがあります。第1グループは高麗大学がリーダーになりまして、システムの全体設計、管理システムを担当いたしました。第2グループはDoosanという、ゼネコンだと思いますが、これが中心になりまして、コンストラクションフロアとリフトアップのシステムを担当しました。

それから、ボルト締めロボットです。これは一番ロボット技術的基準の高いものが要求されるのですが、KIST、これは国の研究所です。日本でいえば産総研のようなものだと思いますが、そこが担当いたしました。第4グループは建国大学というのが中心になりまして、タワークレーンの知能

化を図った。このような構成で、研究が進められました。

これは実証施工をやっているときの写真です。これはのちほど述べますが、ボルト締めロボットです。高麗大学の趙先生というのがサブリーダーでやっておられるところです。特徴としてはここにあるように、国から4年間で約20億円の助成金を受けて研究開発をなされました。高麗大学の中におきましては、3つの学科の学内ジョイント体制といいますか、学内共同研究体制ができて、それを取り組んでもらいました。建築工学科と機械工学科、電子工学科、この3つの学科が協力して取り組んだということです。

スライドー41 システム設計に先立ちまして、いくつかの条件設定があります。その1つは何かというと、接合方式です。日本の場合には超高層ビルになると溶接接合が一般的ですが、韓国の場合には地震がありませんので、鉄骨のメンバーが非常に細いです。H形鋼を使って高層ビルも作られます。接合方式として圧倒的にボルト締めが多く、溶接は非常に少ないということです。これは施工の事例で1つの例ですが、ボルト締めを接合方式の前提として考えようということです。

スライドー42 もう1つは何かといいますと、施工工法としまして、コアを先行させます。これはRCのコアですが、コアを先行して施行しようということです。この写真は一般的な現場です。ソウルの市内でたまたま見かけた普通の事務所ビルを作っているところの写真ですが、このようにRCコアが先行して、それを追いかけるように周辺部分を施工していく。結構こういった事例をたくさん見かけました。今回のビル自動化施工についても、これを前提にしようということです。コア先行型です。

スライドー43 システムの構成は、4つのサブシステムから成っております。システム名称はRCA (Robotic Crane-based Automatic) といまして、このRCAの構成要素は4つあります。1つは部材の供給システム。2番目に、梁の組み立てシステム。3つ目にモニタリング、監視・制御のシステム。それからコンストラクションフロア(施工プラント)。

スライドー44 まず部材の供給については、RFIDタグを使います。タグを貼って、これで部材の識別、ビルのどの位置に持って行くのかという設置位置の情報を、このタグを介して獲得することを行います。それに基づいてコンピュータの中で演算をしまして、部材情報のデータ処理をしまして、運転経路を生成し、その結果をオペレータへ伝達する。

実は私も理由がよくわからないのですが、ここでは自動運転は行いませんでした。運転経路が生成されると自動運転できるわけですが、実際には実証施工においても、この生成された経路にしたがってオペレータが運転したということです。何かいろいろ事情がありそうですが、そういうことで一応、技術的には自動運転が可能になりました。オペレータが運転したものですからインターフェイスが必要になってきて、オペレータが運転しやすいような画面であるとか、そういったものも併せて開発されました。

スライドー45 次に高麗大学で非常に力を入れて取り組んだ課題の1つに、梁の自動化に適したデザインというのがあります。日本で行われた研究開発においても、これは大きなテーマとして各社いろいろ工夫されておりましたが、韓国においてはこのように、1つは、Y型の面外ガイドプレート。これはY型をしております。この面外で梁を規制してやろうというものです。

もう1つは、面内には斜めに梁が切っておりまして、これでもって面内に拘束してやろうと。あとはフランジのところに出っ張りがあって、V型くさびというのが少し出っ張っています。受けるほうには穴が開いています。このような仕掛けを設けました。

スライドー46 どのように使ったかといいますと、そんなに難しい話ではありませんが、これがこれから組み立てようとする大梁(ガーダー)です。これをクレーンで吊っているわけです。最初はこのガーダーを作業床の近くまで下ろしてきます。この辺まで下りてきます。そこで作業員が待機しております。ガイドワイヤーの端を出っ張りの先端に引っ掛けて取り付けます。もう1本のほうを、穴を通してこのような形で垂らしておくわけです。こちらには巻き取り装置がありまして、適宜巻き取れるようになっています。

それをやった後に、タワークレーンが巻き上げます。巻き上げるとガーダーが上がって行って、この辺まで来るわけです。そうするとどうなるかといいますと、先ほどのガイドワイヤーが、初めはこうなっていたものが、このようになるわけです。その状態で巻き取りのスイッチをオンにすると巻き取っていきます。自動的にこの部分が穴の中に入ることになりまして、非常にうまく決まりました。

実は清水建設においても、このガーダーを乗せるのは非常に難しく、各社も苦労されたと思

いますが、風の影響などいろいろあって、なかなかうまく自動化できませんでした。それが、どうみてもハイテクではなくローテクですが非常にうまくいきて、個人の意見としましては、こういうローテクは非常によろしいのではないかと思います。こういうローテクとハイテクをうまく組み合わせでシステムを構成するのがよろしいのではないかと。これは非常にいいアイデアだと思っております。

スライドー47 これは実際にやっているところで、タワークレーンに吊られた大梁が到着しまして、下に作業員が待ち構えてガイドワイヤーをセットしているところです。

スライドー48 次に、梁の組み立てです。この中にボルト締め自動化が含まれています。梁の組み立てに関しましては、走行レールのシステムと吊下げ型移動装置と、あとはボルト締めロボット本体があります。この黄色い走行レールがレールに沿って水平方向に走るわけです。吊下げ型の移動装置がぶら下がっておりまして、これでもってロボットを垂直方向に上げ下げできるようになっております。ここでぶら下がっているのがボルト締めロボットです。

スライドー49 これはロボット本体です。実はこの後ろのほうにオペレータが乗るところがありまして、部分的にオペレータの判断で作業する部分もあります。そのためのインターフェイスが設けられています。こちらがボルト締めするための機械装置で、かなり複雑ですがボルト締めするためのエンドエフェクタ。いわゆるボルトレンチがあります。それから、ロボットが動かないように保持する保持装置があります。

スライドー50 それをどうやってやるかということですが、これがボルト締めの作業フローです。スタート時点ではこのような状態になっています。これが新しく設置された大梁です。大梁がこのような状態で設置されます。ボルトの穴が見えますが、ここにボルトを通して締め付けようというわけです。

そのために、第1ステップとしてこのようなものがあります。これは何かというと、4本のボルトが1つのユニットになっています。このボルトユニットを先ほどのロボットがつかんで4つの穴に入れてやるわけです。これが第1ステップです。この状態を反対側から見るとこのようになっておりまして、ボルトのお尻が4つ飛び出している状態です。そこにナットとワッシャーを1個ずつ供給して、仮締めして本締めするという流れで、最終的にはこのようになります。ですから、ステップとしてはこの

ボルトユニットを供給するプロセスと、ボルトにナットとワッシャーを供給して締め付けるという2段階になっているわけです。

スライドー51 言ってしまうとそんなに難しい話ではありませんが、まんがで描くとこのようになります。4つのボルトを1つのユニットにして、ボルト穴に通してやるわけです。次にワッシャーとナットをロボットがつかんで、ここに供給してやります。入れた時点で1個ずつ仮締めして、4本の仮締めが完了した時点で増し締めをやるという流れになります。

スライドー52 これがボルトを取り付けている状況です。こここのところに先ほどのボルトユニット、4個のボルトがセットになっているのですが、あれをつかむ装置がありまして、このような感じでこれをつかんで近付いていくわけです。これは梁に収めているところで、これが把持する、つかむ装置です。このようにボルトユニットをつかんでいる状態です。穴に入った時点で、つかむ装置が開きまして、ここに入れます。これがボルト取り付けのフローです。

スライドー53 次に、ナットとワッシャーを供給します。そのために、結構複雑ですがこのような装置がありまして、これは一種のレンチですが2種類あります。仮締め用のものと、増し締め用のトルクレンチの2個があります。この2個が回転テーブルの上に乗っておりまして、それが180度ぐるっと向きを変えるわけです。

ここにワッシャーとナットを供給する装置があります。これがぐるっと180度向きを変えてここに近付いてきまして、最初はワッシャーを取って、次にナットを取る。このようなことになります。それが取り終わると、今度はまたもとに180度向きを変えまして、ボルトに近づいていきます。

スライドー54 これはボルト締めのプロセスですが、今申し上げましたようにナットとワッシャーを取っておりますので、それをボルトのお尻に挿入することになるわけです。このステップでロボット技術としての画像処理の技術が使われております。つまり、ナットのセンターとボルトのセンターを合わせなくてははいけません。もちろん人間もできますが、ああでもない、こうでもないと言って結構時間がかかるものですから、それをロボット技術で瞬間的にやっつけてしまおうということです。

カメラでボルトのお尻の写真を撮りまして、そのセンターの位置を平面的に割り出します。ナットのセンターはもともとわかっていますから、両者のセンターを合わせます。合わせた時点ではめる

ことになりますので、瞬間的に終わってしまいます。このようなところにロボット技術、画像処理を使っております。

ここでナットをうまく収めて仮締めをする。4本のボルト全て仮締めが終わったら、今度は増し締め用のレンチが近付いていって、最終的にトルクを出す、増し締めを行うということで、作業が完了するわけです。

これは、今申し上げた画像処理によるボルト挿入のプロセスを自動化した考え方を示したものです。ここにカメラがあります。最初はこのカメラでボルトのお尻の位置を割り出しまして、そのセンターの二次元の情報を取りまして、それとナットのセンターを合わせて位置決めすることになります。

スライドー55 3つ目に、モニタリングのシステム。監視・制御システムの構成です。これは日本の各ゼネコンさんのシステムと似たようなもので、メインのコンピュータがあって、これはロボットの先ほどの位置決めでありますとか、タワークレーンの運搬制御、それからリフトアップするときの上昇の制御、そういったものを制御したりモニターしたりします。

メインのコンピュータがここにあります。この辺の構成はほとんど同じです。あとは、それを見ている作業員に適宜画像情報を送るための見える化の技術もあります。これはモニターしやすいように、オペレータがわかりやすいように、画像に変換して見せることもできます。

スライドー56～58 4つ目に、施工プラント(コンストラクションフロア)の構成ですが、これは非常にシンプルになっております。地震がないということもありますし、コアの部分が先行して施工されておりますので、それに水平力を期待できるわけです。だから、日本のように全てを鉄骨のフレームでもたなくてはいけない、抵抗しなくてはいけないということがありませんので、非常に鉄骨のメンバーが小さくなっておりまして、簡略化・軽量化されております。

当然、ジャッキの容量も小さいわけです。既存の、それほど容量の大きくないジャッキでリフトアップができます。この辺は、見方によってはうまい考え方かと思っております。個人的な意見ですが、似たような考え方が日本のビル自動化にも何か適用できないかと思っております。つまり、RCコアの先行工法と組み合わせて、なるべく施工プラントを簡略化して、仮設の鉄骨のフレームを極

力少なくしてコストダウンにつなげるとか、そういうことを考えてもいいのではないかと考えております。

同調制御についてもうまくいまして、ストローク偏差を5センチ以内。ジャッキは全部で8本ありますが、上昇するスピードが傾いたりしたら困るわけでした、同期化しないといけないのですが、5センチ以内で実現できました。この辺はそれほど目新しい技術ではありません。この技術を使いまして、実際にプラント全体を持ち上げるというリフトアップも行いました。

スライドー59 この辺が実証工事の全体像ですが、これをどう評価して、今後どうするのかという話です。

これを最終的に国に報告したわけですが、ここに書いてあるのは私が個人的にまとめたもので、国に報告した報告書に書いてあるオーソライズされたものではございません。私個人はこんなことを成果として考えていいのではないかと考えております。

成果の評価と今後の展開ということですが、成果としましては要素技術(サブシステム)が一応実現できまして、その性能を検証することができたということです。あくまでもこれは要素技術です。工事全体のトータルのシステムが実現したわけではないと私は思っております。

ただ、システムを構成する重要な要素技術は実現できたのではないかと考えております。揚重・搬送や接合、組み立て、リフトアップ、モニタリングといった要素技術についてはプロトタイプによる実証ができたのではないかと考えております。それなりの効果が確認できたと思います。いろいろ問題ははらんでいますが、データも獲得できましたので、今後の展開に役立てることができると思っております。何が足りないかということも、その裏返しとして把握できたのではないかと考えます。

今後の展開としましては、日本と違いまして、日本の場合にはゼネコンさんがそれぞれリスクを背負って、国にあまり頼らずにがんばりましたが、韓国は少し事情が違っておりまして、この種の長期的なテーマはやはり国主導です。国の助成がないとなかなか前に進まないという状況です。

今回はそういうサブシステムの検証ができたわけでした、これを使って、さらに工法的な見直しも含めて工事全体システムの実現と現場適用検証を行う必要があるのではないかと考えております。そのためにはさらに国の助成金を獲得することも必要になろうかと思っております。

もう一つは、先ほどから何度も申し上げていて、これは日本でもよく議論されるのですが、作り方の研究です。構工法がまだまだ不十分ではないかという議論が韓国でもあります。今回やりましたのも、どちらかというと在来工法に少し手を加えたような感じで、抜本的な構工法の改善・変革にはなっていません。

したがって、新しいビルの作り方、構工法の研究というのは、もっとやられるべきではないかということがあります。このための独自の研究があってもいいのかという気もしています。こういったことが、残された今後の課題ではないかと思っております。

スライドー62 もう一つだけ紹介させていただきます。先ほどのビル自動施工システムは一昨年で全ての開発研究が終わり、クローズしております。次のテーマとして今取り組まれているのが、これです。高層ビル外壁メンテナンスシステムというものです。

これは日本におきましても10年、20年くらい前からいろいろ取り組まれておまして、日本ビソーさんなどが非常に実用的なシステムを開発されておりますが、韓国でもそれをやろうということですので。外壁やガラスのメンテナンスです。清掃をしたり、クラックのチェックをしたり、そのようなことです。

日本と違う点が1つあります。日本でも以前から議論はされていましたが、ビルの建築設計の段階から自動化することを前提にしたデザインにしよう。具体的に言いますと、縦方向、横方向に建築デザインとしての目地、ガイドレールを仕込んでしまおうということです。

横方向のガイドレールは前から日本でもあったのですが、縦方向にもやっけてしまおうということです。縦目地、横目地を建築デザインとして組み込んでしまおうということです。ロボットはその縦目地、横目地をうまく使いまして、なるべく難しい制御をしなくても縦方向、横方向に自由に動けるようなことを目指しております。

スライドー61 今はまだ研究段階ですが、垂直方向、それから水平方向に移動するメカニズムを、特に大学の機械工学科を中心として研究をしております。これはその模型で、実験室モデルです。どういふことかといいますと、これが垂直方向に移動する装置です。これが縦目地を使って上下に動くわけです。これが水平方向に動くユニットです。これは横目地を使って移動いたします。

例えばこのフロアからこのフロアにこれを移したい場合はどうするかといいますと、垂直方向に動くユニットの下にこれがもぐり込んでいきまして、両者が自動的にドッキングします。機械的にドッキングするわけです。水平方向に動くユニットをぶら下げた状態で、垂直ユニットが上に上がります。それで例えばこのフロアで停止すると、水平移動ユニットを自動的に切り離します。切り離された水平移動ユニットが今度は水平方向に、こちらの目地を使って移動していくというような仕組みになっております。

今現在、大学を中心にしてこのドッキングメカニズム、ドッキングと切り離す動きが本当にうまくいくのかどうかという研究をしているようです。垂直・水平移動メカニズムの研究といったことが行われておりまして、来年あたりにはプロトタイプを作って実証実験をやりたいというように聞いております。

以上で、いくつかの事例をご説明申し上げました。もう1つ付け加えますと、韓国におきましては、先ほども申し上げましたように、大雑把に言って日本よりだいたい10～15年遅れているかと思いますが、スタートいたしまして、急速に、追い付くところまではなかなかいかないと思いますが、追ってきております。日本もぼやぼやしていると追い付かれるのかもしれませんが、非常に国全体としても熱心にこの分野の研究開発に取り組んでおります。

スライドー62 例えば、これはたまたま私がおりました2011年にソウルでISARC(国際建設ロボットシンポジウム)が開催されました。ときどき日本でも開催されますが、これはソウルでありまして、そのときに233件の論文発表がございました。その中の58件が韓国でした。主催国ですから当たり前かもしれませんが、熱心に取り組んでいる状況がわかろうかと思います。ちなみに日本は20件でした。

スライドー63 これは発表分野別のテーマです。58件のうちの発表分野です。例えば土木関係、屋外作業、メンテナンス、検査・診断、建築一般工事全般。あとは情報化技術とリンクしたテーマがたくさんございまして、大規模工事の管理システム、建設・管理のコンピュータ化、それから計測がらみの話。あとは意志決定のシステム、BIM関係のテーマ。このようになっております。

スライドー64 どこの大学がどんなものを出したかということですが、全部で58件ありまして、そのうちのハ

ードウェアにからむテーマで発表したのが23件ございました。それを分けてみますと、一番多かったのが漢陽大学で、このようなテーマで発表いたしました。2番目は高麗大学で、あとは延世大学、成均館大学、ソウル大学といったところが発表していたようです。

韓国のいくつかの研究開発事例、それから最近の取り組みの様子を紹介させていただきました。

スライドー65 最後になりますが、簡単にまとめさせていただきたいと思います。韓国における取り組みの現状と課題。あくまでこれは私個人の意見でございまして、オーソライズされたものではありません。

まず、促進要因として、これは日本と同じですが熟練工の不足がますます深刻になります。高齢化もどんどん進んでまいります。あとは労働作業のこともございました。それに加えて日本と違うのは、政府の財政的な強力な支援があるというバックアップがあります。この辺は研究開発の促進要因かと思っております。

ただ、これも個人的な意見ですが、研究開発の現状を見てみますと少し課題というか考えたほうがいいと思われる点があります。何かといいますと、いくつか紹介しましたように、長期的なテーマになると大学中心の取り組みです。大学中心の取り組みがいけないということではありませんが、大学が中心になって、その下にゼネコンであるとかメーカーさんであるとか、あとは事務所やコンサルが入って、全体の開発体制を作って取り組んでいます。なおかつ国の強力な資金援助があります。

それはそれでよろしいのですが、日本の場合はゼネコンさん各社がそれぞれ自分でリスクを負って、特に自動化システムに取り組まれました。その辺が個人的にはどうかという気がいたします。結果として、建設現場での適用がなかなか進まないようなことも見聞きしております。

いわゆる自動化・機械化の技術というのは、生産技術です。生産技術というのは机の上だけで解決する技術ではありません。ご承知のように、泥にまみれてやらないといい技術になりません。最初は机の上で研究してプロトタイプができますが、あくまでもそれは出発点でしかありません。それを実際の現場に持って行って、職人さんに叩かれたり、現場所長からこれでは駄目だと言わ

れたりして問題点を発見して、それをまた持ち帰って改善改良をする。そういうサイクルを何度も何度も繰り返してやっものになるわけです。それが建築の生産技術だろうと思っています。そのサイクルがなかなかうまく回っていないのではないかという気がしております。

論文はいいものがたくさん出てくるのですが、本当に現場で使える技術になかなかつながっていかないのではないかという気がしております。改善改良のサイクルをどうやって回していくのか。本当に使い物になる建築技術にできるかどうかというのが課題ではないかと感じました。

今後の研究開発の課題としまして、これは一般的に言われている話で、日本にも全く同じことが言えますが、現場の本当のニーズをどうやって把握するのか。ご承知かと思いますが、うわべのニーズと本当のニーズは違いますよね。本当のニーズをどうやってつかみ取るか。つかんだテーマはどうやってシステムに落とししていくか。それを現場で適用して、それをどう評価するか。

先ほど申しましたように、継続的な改善改良のサイクルを何度も何度も回して、本当に使い物になる技術に仕立て上げていく。日本においてはかなりゼネコンを中心にやっておりますが、まだ足りない部分もあるのかという気がしております。これは日韓共通です。

さらに、自動化に適した設計、新しい工法での作り方の変革、それからデザイン。自動化に適したデザインのあり方をもっともっと研究する必要があります。それからIT、情報化技術との融合をもっと図っていかなくてはいけないでしょう。これは日韓共通だと思いますが、韓国においても同じことを感じました。

雑駁なまとめになってしまいましたが、私の発表を終わらせていただきます。ご清聴ありがとうございました。

実はもう少し余談がありまして、これで一応ひと通り終わりますが、少しリラックスしていただくということで、数分いただいて余談を少しさせていただこうと思います。高麗大学のご紹介と、キャンパスライフの写真をご覧いただければと思います。この辺はあまり技術的な話ではありませんので、気楽に聞いて下さい。

まず、私が3年ほどお世話になった高麗大学の概要ですが、歴史は古くて1905年です。日本に併合される前です。20学部、学生が3万数千人の総合大学です。私学の名門と言われておりまし

て、延世大学と双璧。日本でいえば早稲田、慶應です。

有名人としましては、前の大統領の李明博さん、その前の大統領の金大中さんがOBです。在校生の有名人としてはキム・ヨナさん。今は3年だそうできて、いろいろ物議を醸している面もありますが、在校生の有名人です。

それから、雲の上のSKY(スカイ)というのがあります。聞いたことがおありかと思いますが、これは何かといいますと、SKYで、Sはソウル大学のS、Kは高麗大学のK、Yは韓国では延世(えんせい)ではなく「よんせい」と発音しますので、そのYです。つまり、SKYというのは韓国大学の御三家ということです。

ご承知のように、韓国というのは日本以上に強烈な学歴社会で、受験競争が過激です。よくテレビなどにも出ますが、そのトップに君臨するのがこの御三家、SKYということで、雲の上にあるということです。ちなみに高麗大学の受験競争率は50~60倍くらいだと言われております。このほかに、技術系の研究開発では漢陽大学、それから成均館大学、こういったところが有名です。

私のお世話になった高麗大学の建設:環境工学科の建築生産研究室ですが、これは学生さんたちと一緒に撮ったものです。学生数の規模からいいますと、学部学生が学科全体で一学年90名。これは環境工学科と建設、これは土木・建築が両方入っています。全部含めて90名です。建築関係はその3分の1で30名くらい。大学院は、だいたい1学年の50%が進学いたします。その中で建築の生産系に7~8名くらいが毎年入ってきます。

韓国に3年ほど滞在しましたが、その間にいろいろセミナーなどにも出させていただきました。これは未来建設技術セミナーというもので、中堅どころのゼネコンさんと、一部大きなゼネコンさんの担当者が集まりまして、いろいろ話を聞くという会があるのですが、そこで話をいたしました。

それから、これは自動化ではありませんが高層ビル国際シンポジウムというのがありました。先ほど見ていただいた123階建てのビルの施工技術に関してもいろいろディスカッションがなされましたが、そこで学生さんと一緒に発表させていただきました。

一昨年になりますが、アジア建築交流国際シンポジウムがありました。これは日本、韓国、中国の各建築学会、3つの建築学会が協同して開催しました。ここにおきましては、日本、韓国、中国

は非常に仲良く議論をしておりました。

これは数年前になります、日本の建築学会と韓国の建築学会で協同して共同シンポジウムを開催いたしました。これはシンポジウム終了後の懇親会の様子です。

それから、先ほど延世大学と高麗大学は私学の双璧と申しました。日本でいえば早稲田、慶應です。伝統の一戦というのがありまして、日本の場合は早慶戦と言いますが、向こうでは高延戦と言っております。野球やフットボール、アメリカンフットボール、ラグビーなど、いろいろありますが、これは野球の応援に行ったときの写真です。これが私です。

応援が非常に華やかで、イケメンの応援団長がおりまして、美女軍団が10人くらいいます。この十数人が一斉に踊って歌って応援いたします。日本の六大学とはだいぶ違うかもしれません。これはそのときの写真です。高麗大学のスクールカラーがあずき色なので、皆さんも私もあずき色のユニフォームを着て応援しました。

大学院には社会人クラスがあります。サムソンの建設部門、それからヒュンダイ、こういった企業から係長か課長クラスの人が派遣されてまいります。あとは中堅ゼネコンの役員の方も、自分でコンサルやっている方々も参加して、だいたい40歳前後の方が多のですが、これを夜間にやるわけです。授業が終わった後にはだいたい飲みに行って盛り上がる。こんなことをやっておりました。

これも社会人大学院クラスの懇親会です。韓国の人は皆さん、お酒が強いものですから、私も意識不明になったことがございました。これは大忘年会です。相当に盛り上がります。

これで最後になります、韓国にもいろいろ記念日があります。その中の1つに、先生の日というのがあります。5月15日が先生の日です。師の日といいます。これは大学の事務室からいただいた記念品ですが、ここに「師の恩に感謝」と書いてあります。やはり儒教の国だと思いましたが、一般的に先生と呼ばれる方に対するお礼をする、感謝をする日であるということでした。

雑駁な話になりましたが、これでお話を終わらせていただきます。ご清聴ありがとうございました。

(拍手)